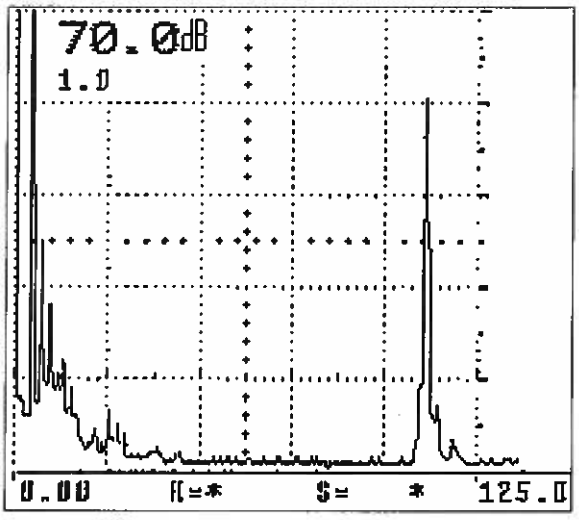
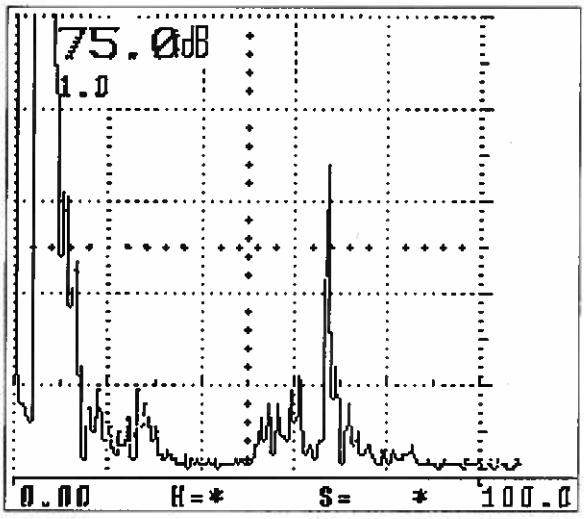
FAM-INFORMATION

November 1999 / 379 P/W

Eidg. Forschungsanstalt
für Milchwirtschaft, Liebefeld
CH-3003 Bern

Der Nachweis von Rissen in Käselaiben mit Ultraschall-Echografie





B. Albrecht, J.O. Bosset

In: Jahrestagung 1999 - Zerstörungsfreie Materialprüfung, Berichtsband 68, Band 1. 10 Jahre Vereinigung der ZfP in Deutschland, Celle, 10. – 12. Mai 1999, S. 481-488. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung E.V., Berlin 1999

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG
Jahrestagung 1999
Celle, 10.-12. Mai 1999

Der Nachweis von Rissen in Käselaiben mit Ultraschall-Echografie

B. Albrecht, J.O. Bosset, FAM, Bern (CH)

Zusammenfassung

Risse ("Gläs") in locharmen Laiben von Halbhart- und Hartkäsen wie Greyerzer können beim automatischen Zuschneiden und Verpacken der Portionen zu Produktionsunterbrechungen führen. Bisher wurden Risse durch "Abhorchen" der Käselaibe festgestellt, das heisst Abklopfen mit einem kleinen Hammer und Auswertung der Schallemission mit dem menschlichen Ohr. Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (FAM) in Liebefeld bei Bern hat eine einfache, rasche, zuverlässige, zerstörungsfreie und automatisierbare Methode für den Nachweis von Rissen in Käselaiben entwickelt, das "elektronische Ohr". Es handelt sich um eine neue Anwendung der Ultraschall-Echografie, einer Technik, die seit fünf Jahrzehnten zur zerstörungsfreien Prüfung von verschiedenen Materialien eingesetzt wird und die auch in der medizinischen Diagnostik breite Anwendung findet.

Käseherstellung

Käse spielt als Untersuchungsmaterial in der zerstörungsfreien Prüfung eine sehr unbedeutende Rolle. Die Käseherstellung wird deshalb nachfolgend kurz beschrieben, schematisch ist sie in Bild 1 dargestellt.

Die Ausgangsstoffe Käsereimilch und "Kultur", eine Mischkultur von Mikroorganismen, werden dickgelegt, es bildet sich die Gallerte. Die Gallerte wird zerteilt, z.B. mit einer Harfe geschnitten. Dabei entsteht das Gemisch von Bruch und Molke. Der Bruch wird in eine Form gefüllt, gepresst und dadurch von der Molke getrennt. Der entstandene Frischkäse wird gesalzen und unter kontrollierten Bedingungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit während einigen Monaten gereift. Die Bruchkörner verwachsen in den ersten Tagen zu einem homogenen Käseteig.

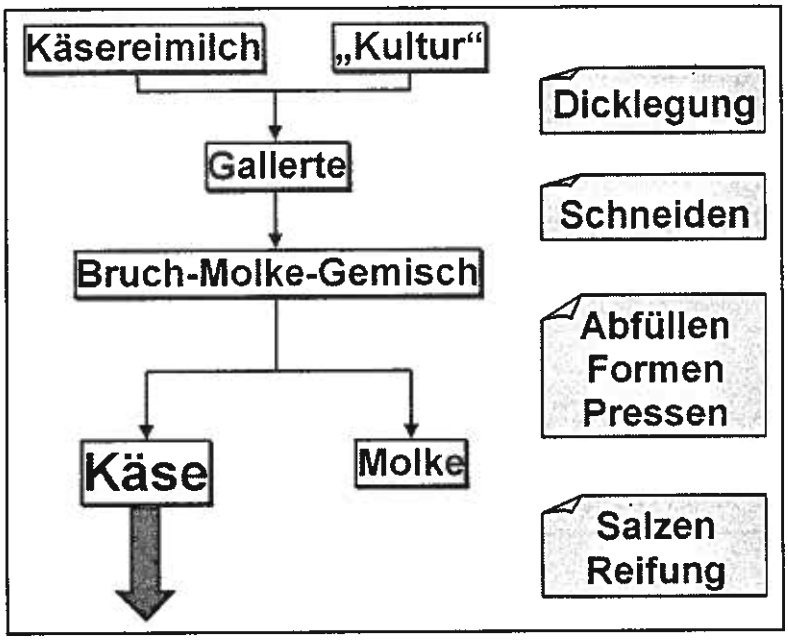


Abb. 1: Käseherstellung (schematisch)

Problemstellung

Bisher wurde Gläs durch Abhorchen der Käselaibe festgestellt. Erfahrene Fachleute können mit dieser aufwendigen Technik Risse in den ersten Zentimetern unter der Käserinde hören. Greyerzer haben eine Laibhöhe von 10 - 12 cm. Zur Beurteilung der ganzen Käselaibe müssen diese gewendet und auf beiden Seiten abgeklopft werden. Teilweise führt allerdings nur die Entnahme eines Böhrlings mit dem Käsebohrer zu einem eindeutigen Ergebnis. Aus diesem Grund ist die Käseindustrie an einer einfachen, zuverlässigen, raschen, zerstörungsfreien und wenn möglich automatisierbaren Methode interessiert, die es erlaubt, Risse im Frühstadium der Reifung zu erkennen. Durch gezielte Massnahmen, wie Senkung der Lagertemperatur, Verkürzung der Reifungszeit oder durch vorzeitige Deklassierung der minderwertigen Laibe könnten dann die entsprechenden Waren- und Wertverluste verringert werden.

Wahl und Entwicklung der Methode

Die Idee, Käse mit Hilfe von Ultraschall zu untersuchen war zwar nicht neu, für die vorliegende Problemstellung aber vielversprechend: Bereits 1956 wurden Laufzeitmessungen durchgeführt um den Reifegrad oder das Alter von Käse zu schätzen [1]. Untersuchungen von Blanc [2] haben gezeigt, dass die Ultraschall-Echografie nicht nur Informationen über die Lochung von Käsen, sondern auch über die Anordnung der Bruchkörner liefern kann. Orlandini und Mitarbeiter [3,4] haben aus Ultraschall- und Röntgenuntersuchungen an Parmigiano-Reggiano die Schlussfolgerung gezogen, dass sich die beiden Techniken zur Beurteilung der Käseteigstruktur ergänzen: Ultraschall liefert im Frühstadium der Reifung wichtige Informationen über mögliche Fehler, Röntgen erlaubt beim älteren Käse den einfachen Nachweis von kleinen Teigfehlern.

Vorversuche an Raclettekäse mit dem Untersuchungsgerät aus der Humanmedizin ALOKA Micrus SSD-500 und mit den Linearsonden UST-5512U (40 mm, 7.5 MHz) und UST-5024N (96 mm, 3.5 MHz) ergaben Eindringtiefen von nur 20 und 35 mm.

Weitere Vorversuche wurden an der EMPA [5] mit einem USIP 12 von Krautkrämer und mit dem Prüfkopf B1S bei 1 MHz in Tauchtechnik durchgeführt. Bild 2 zeigt das C-Bild eines 110 mm hohen Greyerzers und das A-Bild der rund markierten Stelle.

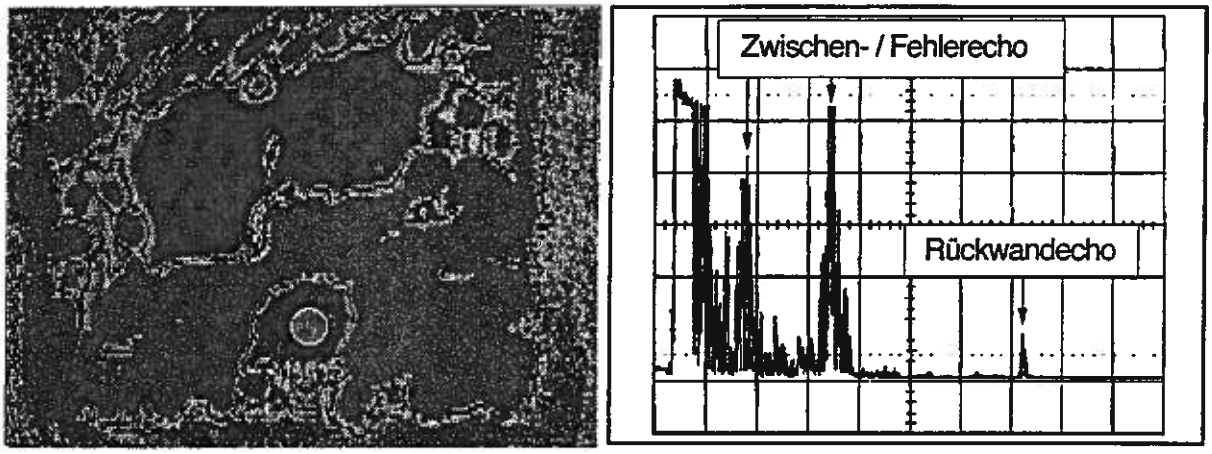


Abb. 2: C-Bild von einem 110 mm hohen Greyerzer und A-Bild der markierten Stelle

Die Ergebnisse dieser Vorversuche haben gezeigt, dass der Nachweis von Rissen in Käselaiben bei der Frequenz von 1 MHz technisch realisierbar ist. Untersuchungen mit einem Materialprüfgerät USM 20 von Krautkrämer bei 1 MHz haben diesen Befund bestätigt. Mit diesem Prüfgerät wurden dann 5 Prüfköpfe verglichen. Jeder Prüfkopf wurde auf die gleiche benetzte Stelle eines Greyerzers ohne Gläs aufgesetzt. Durch leichtes Andrücken des Prüfkopfes wurde das Maximum der Amplitude des Rückwandechos gesucht, dann wurden die folgenden Kriterien ermittelt:

- die notwendige Verstärkung damit die Amplitude des Rückwandechos 80 % der Skalenhöhe erreicht
- die Tiefe der toten Zone (in mm) gemessen mit einer Blende bei 20 % der Skalenhöhe
- das Signal / Rausch-Verhältnis (S/N)

Von den getesteten Prüfköpfen ist der K1S von Krautkrämer sowohl in Bezug auf das Signal/Rausch-Verhältnis wie auch auf den Durchmesser am geeignetsten. Die getesteten Prüfköpfe und die beurteilten Kriterien sind in Tab.1 zusammengefasst.

Bezeichnung (Hersteller)	Art	Ø mm	Verstärkung dB	Tote Zone mm	S/N
K 1 S (Krautkrämer)	Senkrecht-Prüfkopf	34	47	6	27
K 1 SC (Krautkrämer)	Komposit-Senkrecht-Prüfkopf	25	35	8	18
CM0116-S (Staveley)	Senkrecht - Prüfkopf	25	45	15	18
H 1 N (Krautkrämer)	Senkrecht-Prüfkopf, Tauchtechni	20	60	13	5
SEB 1 G40 (Krautkrämer)	SE-Senkrecht-Prüfkopf	34	71	3	4

Tabelle 1: Die getesteten Prüfköpfe und die beurteilten Kriterien (Ø: Durchmesser des Prüfkopfes, S/N: Signal/Rausch-Verhältnis)

Mit dem Materialprüfgerät USM 20 von Krautkrämer und dem Prüfkopf K1S bei der Frequenz von 1 MHz und unter Verwendung von Wasser als Ankopplungsmittel wurden dann:

- die Schallgeschwindigkeit in Greyerzer bestimmt
- die Eindringtiefe oder die erreichbare Durchschallung überprüft
- die Einsatzmöglichkeit an verschiedenen Käsesorten geprüft.

Zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit wurde die Laibhöhe am USM 20 als Abbildungsbreite eingegeben. Am Gerät wurde die Schallgeschwindigkeit dann so eingestellt, dass das Rückwandecho mit der Abbildungsbreite zur Deckung kam (Bild 3). Für 3 - 4 Monate alten Greyerzer beträgt die Schallgeschwindigkeit 1'600 m/s.

Zur Abschätzung der Eindringtiefe oder der erreichbaren Durchschallung bei 1 MHz wurde an einem Greyerzer mit einer Laibhöhe von 106 mm versucht ein Folgeecho zu erzeugen. Bild 4 zeigt das Rückwandecho bei 106 mm und das Folgeecho bei 212 mm bei einer Verstärkung von 80 dB.

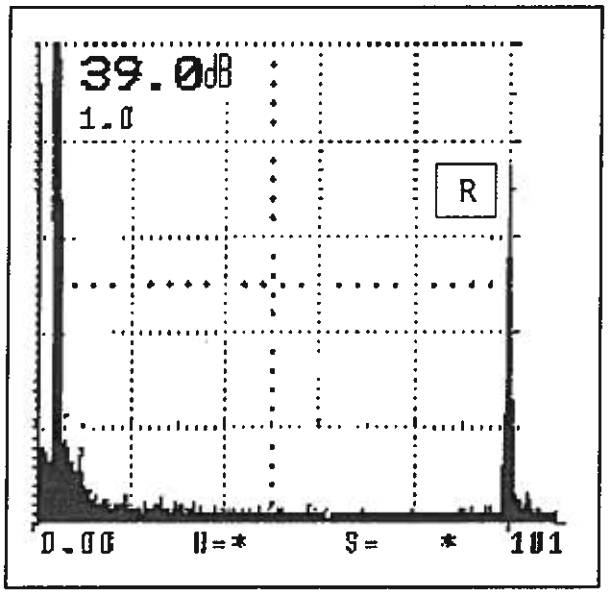


Abb. 3: Greyerzer, Laibhöhe: 101 mm, Bestimmung der Schallgeschwindigkeit R: Rückwandecho

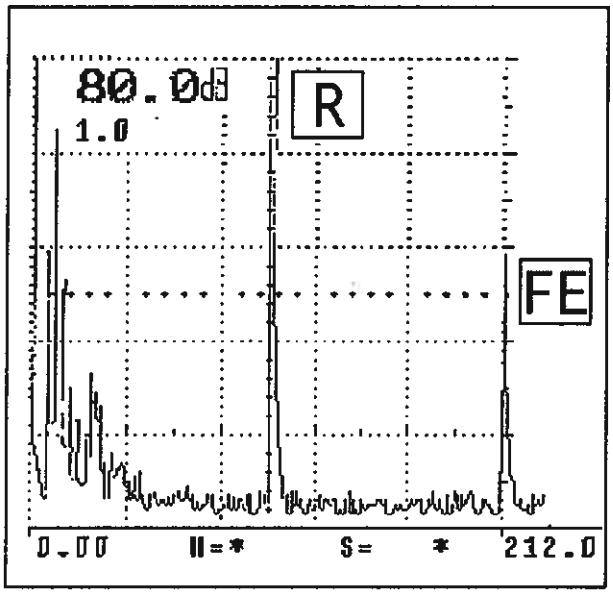


Abb. 4: Greyerzer, Laibhöhe: 106 mm, Eindringtiefe oder erreichbare Durchschallung, R: Rückwand-, FE: Folgeecho

Untersuchung verschiedener Käsesorten

Das A-Bild von einem 69 mm hohen Raclettekäse mit einer schaumartigen Ansammlung von vielen kleinen Löchern ("Nest") beidseitig unter der Oberfläche ist in Bild 5 dargestellt. Bei einer Verstärkung von 75 dB sind die sogenannten Nester (N) deutlich erkennbar, die Amplitude des Rückwandechos erreicht nur oder immer noch 70 % der Skalenhöhe.

Bild 6 zeigt das Untersuchungsergebnis eines 72 mm hohen Tilsiters, der wegen eines Pressfehlers eine stark nestige Struktur nahe der Oberseite aufwies. Die Streuung an vielen kleinen Löchern im Käseteig führt zu Fehler- und Folgeechos bis zur Rückwand, das A-Bild ist übersät mit "Gras".

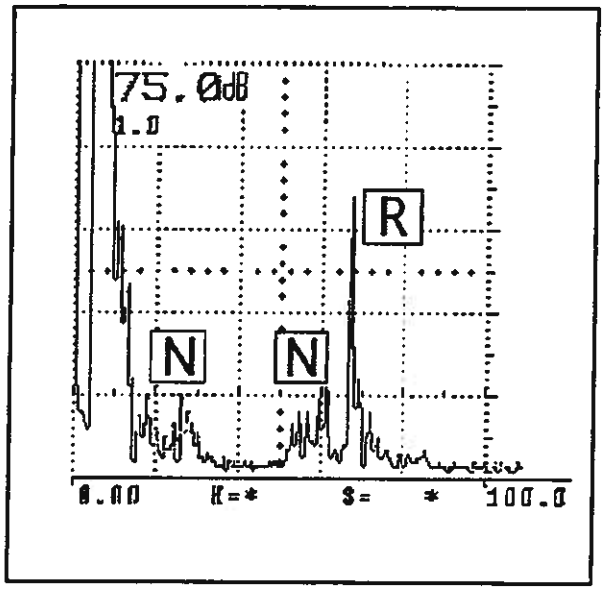


Abb. 5: Raclettekäse, Höhe: 69 mm, mit feiner Lochung (N: Nest) beidseitig unter der Oberfläche, R: Rückwandecho

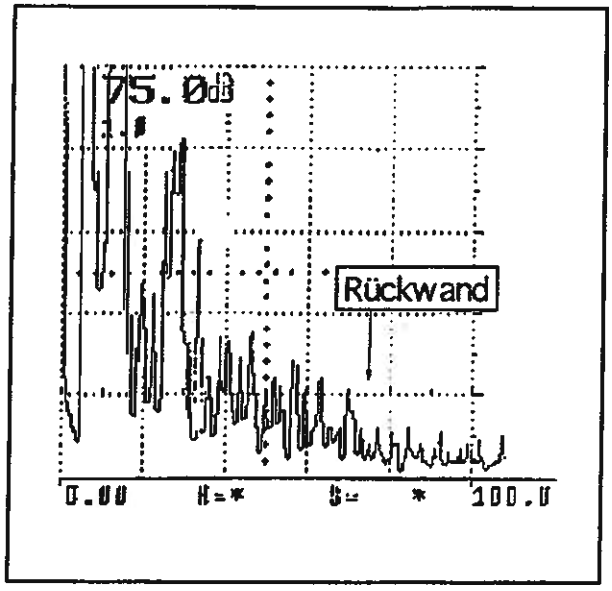


Abb. 6: Tilsiter, Höhe: 72 mm, mit vielen kleinen Löchern (stark nestige Struktur)

Sbrinz ist ein Schweizer Hartkäse mit homogener Struktur. Bild 7 gibt das Ergebnis der Untersuchung einer 114 mm hohen Sbrinz-Probe wieder. Neben dem breiten Anfangspuls zeigt das A-Bild lediglich ein intensives Rückwandecho (R). Aufgrund der fehlenden Fehler- oder Zwischenechos kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die untersuchte Zone völlig "blind" das heisst ohne Risse und Löcher ist.

Der italienische Hartkäse Parmesan oder Parmigiano hat eine ausgeprägt brüchige Struktur. Bild 8 zeigt das A-Bild mit gespreizter Abszisse von einer 59 mm hohen Probe eines reifen Parmigiano. Die Grobstruktur führt zu diffuser Streuung, die sich im A-Bild bei einer Verstärkung von 72 dB als "Gras" in den ersten 35 - 40 mm manifestiert. Bei dieser Käsesorte können folglich Risse oder andere Öffnungsfehler mit der Ultraschall-Echografie nicht nachgewiesen werden.

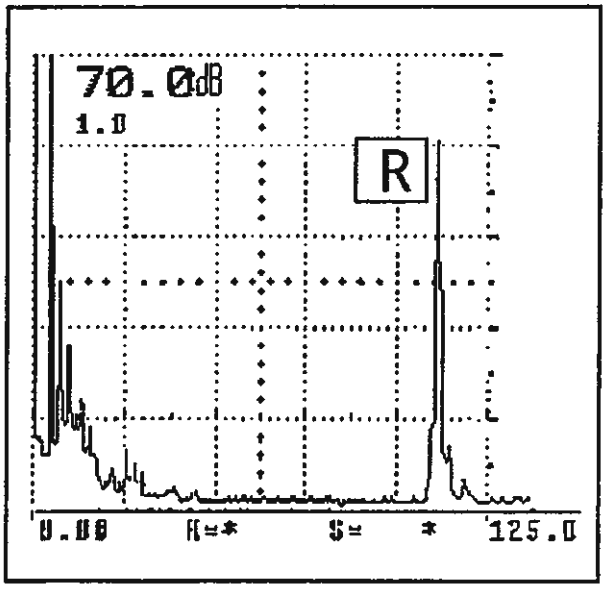


Abb. 7: Sbrinz, Laibhöhe: 114 mm, R: Rückwandecho

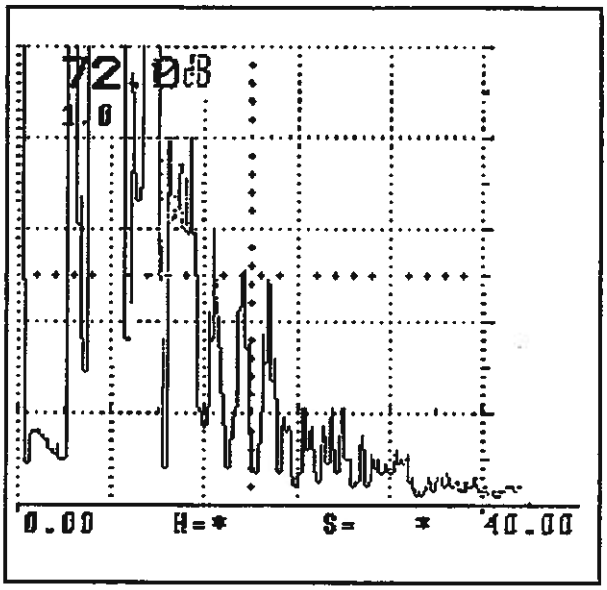


Abb. 8: Parmesan, Höhe: 59 mm

Ergebnisse

- Manuelle Messungen können mit serienmässigen Materialprüfgeräten bei 1 MHz, z.B. USM 20 mit Prüfkopf K1S von Krautkrämer durchgeführt werden.
- Als Ankopplungsmittel kann Salzwasser verwendet werden. Salzwasser wird bei geschmierten Käsesorten wie z.B. Greyerzer, Tilsiter, Appenzeller, sowie Raclette ohnehin zur regelmässigen Pflege der Käserinde während der Reifung verwendet.
- Die vorgeschlagene Methode erlaubt den einfachen, zuverlässigen, raschen und zerstörungsfreien Nachweis von Rissen oder anderen Lochungsfehlern. Sie erlaubt zusätzlich den Nachweis von unerwünschten Fremdkörpern im Käseteig.
- Die Auswertung erfolgt durch Interpretation der Fehler- und des Rückwandechos im A-Bild.
- Die Ultraschall-Echografie kann allgemein zum Nachweis von Rissen in Halbhart- und Hartkäsen eingesetzt werden, falls diese keine oder wenige, kleine Löcher aufweisen. Grössere Löcher streuen zu stark. Die Unterscheidung zwischen Riss und Loch ist nicht möglich. Die brüchige Struktur von reifem Parmesan streut ebenfalls zu stark.
- Die Methode ist objektiv, schnell und kostengünstig.
- Die Schallgeschwindigkeit in 3 - 4 Monate altem Greyerzer beträgt 1'600 m/s. Bei einer Laibhöhe von 10 - 12 cm ergibt sich damit eine Laufzeit von 125 - 150 µs.

- Die vorgeschlagene manuelle Methode wird weiterentwickelt, um sie als automatisierte Detektionsmethode in den vollständig automatisierten Frottierprozess der Käselaibe während der Reifung zu integrieren. Dabei kann man direkt von der Benetzung der Käselaibe mit Salzwasser und der Bildung von Schmiere profitieren, die eine gute Ankopplung des Prüfkopfes über die teils poröse Rinde an den Käselaib gewährleistet.

Bibliografie

[1] Herzog R., Max C. Meister AG, Morgental 35, CH-8126 Zumikon (Krautkrämer-Vertretung Schweiz), persönliche Mitteilung (1998)

[2] Blanc, B., L'utilisation des ultrasons dans l'expÈrimentation fromagËre, XXI International Dairy Congress, 1, Book 1, 396-398 (1982)

[3] Orlandini I., Annibaldi S., Indagine preliminare su nuove tecniche di valutazione della struttura del formaggio Parmigiano-Reggiano: ecografia e X grafia, Scienza e Tecnica Lattiero-Casearia, 34 (1), 20-30 (1983)

[4] Orlandini I., Bertoni, G., Ballarini G., Annibaldi S., Radiologia ed ecografia del formaggio Parmigiano-Reggiano e del prosciutto di maiale, Obiettivi Veterinari, 1, 21-27 (1985)

[5] Lüthi T., Neuenschwander J., Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Zerstörungsfreie Prüfung / Drahtseilprüfung, Überlandstr. 129, CH-8600 Dübendorf, persönliche Mitteilung (1998)