



Käse Typ Emmentaler

Überblick über die Arten von Hart- und Halbhartkäse mit Propionsäuregärung und über spezifische Aspekte ihrer Herstellung, ihrer Qualität und der Ernährung

Autorinnen und Autoren

Marie-Therese Fröhlich-Wyder, Walter Bisig, Dominik Guggisberg, Hans-Peter Bachmann, Barbara Guggenbühl, Meral Turgay und Daniel Wechsler



Adressen der Autorinnen und Autoren

Marie-Therese Fröhlich-Wyder
Agroscope, Schwarzenburgstr. 161, 3003 Bern, Schweiz
+41 58 463 82 23
marie-therese.froehlich@agroscope.admin.ch

Walter Bisig
Agroscope, Schwarzenburgstr. 161, 3003 Bern, Schweiz
+41 58 46 40580
walter.bisig@agroscope.admin.ch

Dominik Guggisberg
Agroscope, Schwarzenburgstr. 161, 3003 Bern, Schweiz
+41 58 46 38118
dominik.guggisberg@agroscope.admin.ch

Hans-Peter Bachmann
Agroscope, Schwarzenburgstr. 161, 3003 Bern, Schweiz
+41 58 46 38491
hans-peter.bachmann@agroscope.admin.ch

Barbara Guggenbühl
Agroscope, Schwarzenburgstr. 161, 3003 Bern, Schweiz
+41 58 46 38301
barbara.guggenbuehl@agroscope.admin.ch

Meral Turgay
Agroscope, Schwarzenburgstr. 161, 3003 Bern, Schweiz
+41 58 46 38155
meral.turgay@agroscope.admin.ch

Daniel Wechsler
Agroscope, Schwarzenburgstr. 161, 3003 Bern, Schweiz

Impressum

Herausgeber	Agroscope Schwarzenburgstrasse 161 3003 Bern Schweiz www.agroscope.ch
Auskünfte	Walter Bisig
Gestaltung	Petra Asare
Titelbild	Sortenorganisation Emmentaler Switzerland
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2022
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as134g

Haftungsausschluss :

Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben dienen allein zur Information der Leser/innen. Agroscope ist bemüht, korrekte, aktuelle und vollständige Informationen zur Verfügung zu stellen – übernimmt dafür jedoch keine Gewähr. Wir schliessen jede Haftung für eventuelle Schäden im Zusammenhang mit der Umsetzung der darin enthaltenen Informationen aus. Für die Leser/innen gelten die in der Schweiz gültigen Gesetze und Vorschriften, die aktuelle Rechtsprechung ist anwendbar.

Inhalt

Zusammenfassung	4
Key words	4
1 Einleitung	5
2 Technologie	6
3 Kulturen	8
3.1 Milchsäurebakterien-Säuerungskulturen	8
3.2 Propionsäurebakterien	8
3.3 Fakultativ heterofermentative Laktobazillen	10
4 Reifung von Käse Typ Emmentaler	10
4.1 Die Propionsäuregärung	10
4.2 Proteolyse	11
4.3 Lipolyse	13
5 Lochbildung	15
6 Textur	18
7 Flavour-Eigenschaften	19
8 Wichtiger Beitrag zu einer gesunden Ernährung	21
9 Käsefehler	22
10 Hygienische Sicherheit	25
11 Weiterführende Literatur	26
Im Gedenken an Daniel Wechsler	27

Zusammenfassung

Charakteristisch für Käse des Typs Emmentaler ist die Propionsäuregärung. Das primäre Substrat der Propionsäuregärung durch *Propionibacterium freudenreichii* ist die Milchsäure, die im frischen Käse immer im Übermass vorhanden ist. Die Propionsäuregärung beeinflusst den Käse auf eine einzigartige Weise; sie ist verantwortlich für die typischen, grossen Löcher und, im Zusammenspiel mit anderen flavouraktiven Komponenten inkl. Salz, für das nussige sowie süssliche Aroma. Dieses Agroscope Science gibt einen umfassenden Überblick über die verschiedenen Arten von Halbhart- und Hartkäse mit einer Propionsäuregärung und über spezifische Aspekte der Herstellung, der Qualität und der Ernährung: Technologie, Kulturen, Reifung, Lochbildung, Textur, Flavour, ernährungsphysiologische Eigenschaften, unerwünschte Käsefehler und hygienische Sicherheit.

Key words

Swiss-type cheese, propionic acid fermentation, *Propionibacterium freudenreichii*, cheese making technology, cheese ripening, cheese quality, texture, eye formation, flavour, health effect, cheese defect, hygienic safety



Abbildung 1: Emmenspitz: Schweizer Halbhartkäse Typ Emmentaler aus thermisierter Milch. Der Salzgehalt von ca. 1% trägt dazu bei, den süsslich-nussigen Geschmack zu unterstützen und bittere und chemisch-metallische Geschmacks- und Aroma-Noten zu vermeiden.

1 Einleitung

Käse des Typs Emmentaler sind Käsesorten mit grossen Löchern, und die gewollt eine Propionsäuregärung durch *Propionibacterium freudenreichii* durchlaufen. Sie werden in Fachkreisen auch als Grosslockkäse bezeichnet; Konsumentinnen und Konsumenten kennen diesen Namen jedoch nicht. Daher, und um den Schweizer Ursprung all dieser Käsesorten herzustellen, werden sie im Folgenden als Käse Typ Emmentaler bezeichnet. Die Propionsäuregärung ist für alle Käse Typ Emmentaler ein unverwechselbares Merkmal, das zu den charakteristischen Löchern und dem typischen nussigen und leicht süsslichen Aroma führt. Käse Typ Emmentaler wurden ursprünglich im Emmentaler (Schweiz) hergestellt; ihre Vorläufer waren Bergkäse, deren Herstellung auf das 12. Jahrhundert zurückgeführt werden kann. Heute ist der in der Schweiz hergestellte Grosslockkäse, der Emmentaler AOP, dem Original am nächsten. In den USA werden Käse mit einer erwünschten Propionsäuregärung und unabhängig vom Herstellungsland schlicht und einfach «Schweizer Käse» (Swiss cheese) genannt, was jedoch zu Verwechslungen mit anderen Käsesorten aus der Schweiz und zu Missverständnissen führen kann. Aus diesem Grunde haben die Autoren und Autorinnen in einer vorangegangenen Arbeit die Einteilung von Käse mit einer Propionsäuregärung in fünf verschiedene Kategorien vorgeschlagen (Fröhlich-Wyder, Bisig, Guggisberg, Jakob, & Wechsler, 2017):

- Emmentaler Käsesorten mit einer geschützten Ursprungsbezeichnung (GUB) bzw. der bekannteren französischen «Appellation d'Origine Protégée (AOP)» oder mit einer geschützten geografischen Angabe bzw. der bekannteren «Indication Géographique Protégée (IGP)». Diese Käsesorten werden häufig aus Rohmilch hergestellt. Beispiele in dieser Kategorie sind Emmentaler AOP (Schweiz), Allgäuer Emmentaler g. U. (Deutschland), Emmental de Savoie IGP (Frankreich), und Emmental français Est-Central IGP (Frankreich).
- Emmentaler Käse hergestellt nach den Richtlinien des Codex Standard 269-1967; dies sind Hartkäse vom Typ Emmentaler, die nach den weniger strengen Anforderungen des Codex Alimentarius hergestellt werden.
- Typ Emmentaler-Halbhartkäse, der typischerweise aus pasteurisierter Milch und mit mesophilen Kulturen hergestellt wird. Käse dieses Typs werden in Fachkreisen gerne auch «Goutaler» genannt, da die Herstellungstechnologie dieser Kategorie eine Mischung aus Gouda und Emmentaler darstellt. Typische Beispiele sind Jarlsberg (Norwegen), Maasdamer und Leerdammer (die Niederlande), Fol Epi (Frankreich), Samsøe (Dänemark), Alpsberg und Felsberg (Deutschland), Emmenspitz (Schweiz; Abbildung 1) und Grevé (Schweden). Die Markenkäse Leerdammer und Fol Epi haben in der Schweiz eine enorme Verbreitung gefunden.
- Käse mit einer spontanen Propionsäuregärung, hergestellt aus Rohmilch. Zwei bekannte Käsesorten, Comté fruité AOP (Frankreich) und Fontina AOP (Italien), gehören in diese Kategorie.
- «Schweizer Käse» (engl. Swiss cheese oder Swiss) wird in den USA als Synonym für Emmentaler Käse verwendet, unabhängig vom Produktionsland. «Baby Swiss» ist eine kleinere und mildere Version, ebenfalls typisch in den Vereinigten Staaten. Auch die Schweizer Käsebranche verwendet den Namen «Swiss»: Als Switzerland Swiss wird in Folien gereifter meist viereckiger Käse Typ Emmentaler bezeichnet. Der Name «Swiss cheese» hat für Switzerland Swiss auch im Schweizer Detailhandel Eingang gefunden.

Käse Typ Emmentaler werden heutzutage weltweit in den verschiedensten Ländern mittels Technologien hergestellt, die stark vom Original, dem Emmentaler AOP, abweichen können. Käse Typ Emmentaler werden jedoch immer gebrannt und durchlaufen immer eine minimale Reifungszeit. Im vorliegenden Artikel werden allgemeine Informationen über *P. freudenreichii* erörtert sowie über verwendete Säuerungskulturen, über verschiedene Herstellungstechnologien, über die Lochbildung, Textur und Reifung, sowie über Flavour-Eigenschaften, ernährungsphysiologische Aspekte, mögliche Fehler und die hygienische Sicherheit.

2 Technologie

Für die Herstellung von Käse Typ Emmentaler wird entweder Rohmilch oder pasteurisierte Milch verwendet. Für den Emmentaler AOP ist nur Rohmilch erlaubt, deren hohe mikrobiologische Qualität von entscheidender Bedeutung ist. Allgäuer Emmentaler AOP (Bayern, Deutschland), Emmental de Savoie IGP (Savoyen, Frankreich) und Emmental français Est-Central IGP verwenden ebenfalls Rohmilch. Um Kontaminationen mit Sporen von *Clostridium butyricum* und *Clostridium tyrobutyricum* zu vermeiden, verwenden Emmentaler AOP, Allgäuer Emmentaler AOP und Emmentaler français Est-Central IGP nur Milch von Kühen ohne Silagefütterung. Milchproduzenten für die Herstellung von Emmental de Savoie IGP dürfen Silage von Maiskolben und Körnermais verfüttern, jedoch keine andere Silage. Generischer Emmentaler-Käse gemäss Codex Alimentarius Standard für Emmentaler Käse 269-1967 wird normalerweise aus pasteurisierter Milch hergestellt. Um Spätblähung durch die erwähnten Clostridien zu verhindern, wird die Milch baktofugiert oder mikrofiltriert, oder Konservierungsstoffe wie Nitrat, Lysozym oder Benzoyl-Peroxid (USA) werden dazugegeben. Dasselbe gilt für halbharte Käse Typ Emmentaler wie Maasdamer, Jarlsberg, Grevé, und viele andere. Die Milch wird auf 30 – 32 °C erwärmt bzw. gekühlt, Milchsäurebakterien-Kulturen werden dazugegeben und die Milch für ca. 30 min vorgereift. Für die Milchgerinnung wird entweder Kälbermagenlab, mikrobielles Gerinnungsenzym – oder für generischen Emmentaler Käse und halbharte Sorten auch mittels GVO gentechnisch hergestelltes Chymosin – zugegeben und die Milch während 25 bis 45 min dickgelegt. Die Gallerte wird dann in Würfel von 4-8 mm geschnitten.

Die Reduktion des vergärbaren Milchzuckers ist ein wichtiger Schritt der Herstellung von Käse Typ Emmentaler, um die Absenkungen des pH während der Fermentation zu begrenzen, z. B. für Emmentaler AOP auf den vergleichsweise hohen Wert von 5.25 – 5.35. Bei Emmentaler AOP wird dazu Wasser von 10 – 20% der Milchmenge zur Milch und/oder zum Bruch dazugegeben, bei anderen Sorten bis 55%. Für nicht traditionelle Sorten wird zur Laktosereduktion anstelle oder in Kombination mit Wasserzusatz möglicherweise auch Ultra-Filtration mit niedrigem Aufkonzentrierungsfaktor angewendet. Der vorangehend aufgeführte hohe pH führt zu einem hohen Kalzium-Gehalt im Bruch und damit zur gewünschten weichen und elastischen Konsistenz im jungen Käse, welche die regelmässige Lochbildung ermöglicht. Der Codex Standard 269-1967 nennt ein Minimum von 800 mg Kalzium/100 g Käse. Ein hoher pH-Wert fördert auch das Wachstum der Propionsäurebakterien, deren pH-Optimum bei 6 – 7 liegt. Das Bruch-Molken-Gemisch für Emmentaler AOP wird bei 52 – 54 °C gebrannt, für generischen Emmentaler bei ca. 50 °C, und für halbharte Varianten bei 34 – 40 °C. Die Ausrührzeit bei der Brenntemperatur beträgt 30 – 60 Min. für Emmentaler AOP und variiert zwischen 20 Min. und 2 Stunden bei anderen Käsen Typ Emmentaler. Die spezifischen Brenn- und Ausrührbedingungen steuern den Wassergehalt, neben anderen Faktoren. Der Trockensubstanzgehalt von Emmentaler AOP beträgt mindestens 62%, für generischen Emmentaler mindestens 60% beim Referenz-Fettgehalt von 45 – 50% F.i.T., und 53 – 56% bei den halbharten Sorten. Die Abfüllung des Käsebruchs in die Formen muss immer unter Molkenspiegel geschehen, um den Einschluss von Luftblasen zu vermeiden und damit eine saubere Lochbildung zu ermöglichen.

Traditioneller Emmentaler hat eine Laibgrösse von 75 – 120 kg, halbharte Käse Typ Emmentaler-Sorten wiegen 10 – 16 kg pro Laib oder Block. Während des Pressens von grosslaibigen Rohmilch-Emmentaler bleibt dank der grossen Masse die Temperatur während mehrerer Stunden um 50 °C, was zur Inaktivierung von unerwünschten Mikroorganismen beiträgt. Die anschliessende Salzbadbehandlung dauert für grosse Laibe von Rohmilch-Emmentaler zwei bis drei Tage, was zu einem Salzgehalt von durchschnittlich nur 0.34% führt (n = 2997, Minimum 0.10%, Maximum 0.55%). Halbharte Käsesorten des Typs Emmentaler nehmen mehr Salz auf, da die Laibe oder Blöcke kleiner sind und der Wassergehalt höher. Es resultieren Salzgehalte im Käse von 1.0 – 1.6%. Im Vergleich zu anderen Käsesorten werden die Salzgehalte relativ tief gehalten, um das Wachstum der mehr oder weniger salzempfindlichen Propionsäurebakterien zu ermöglichen. Abbildung 2 zeigt, dass ihre Salzempfindlichkeit stammspezifisch ist. Die Propionsäurebakterienkultur Prop 96 (Liebefeld Kulturen AG) bildet weniger als die Hälfte CO₂ bei einer Salzbaddauer von 3 Tagen, verglichen mit der Variante ohne Salzung. Die CO₂-Bildung von Prop V (Propionsäurebakterien-Veruchskultur) wird durch das Salzen auch beeinflusst, jedoch wesentlich weniger stark.

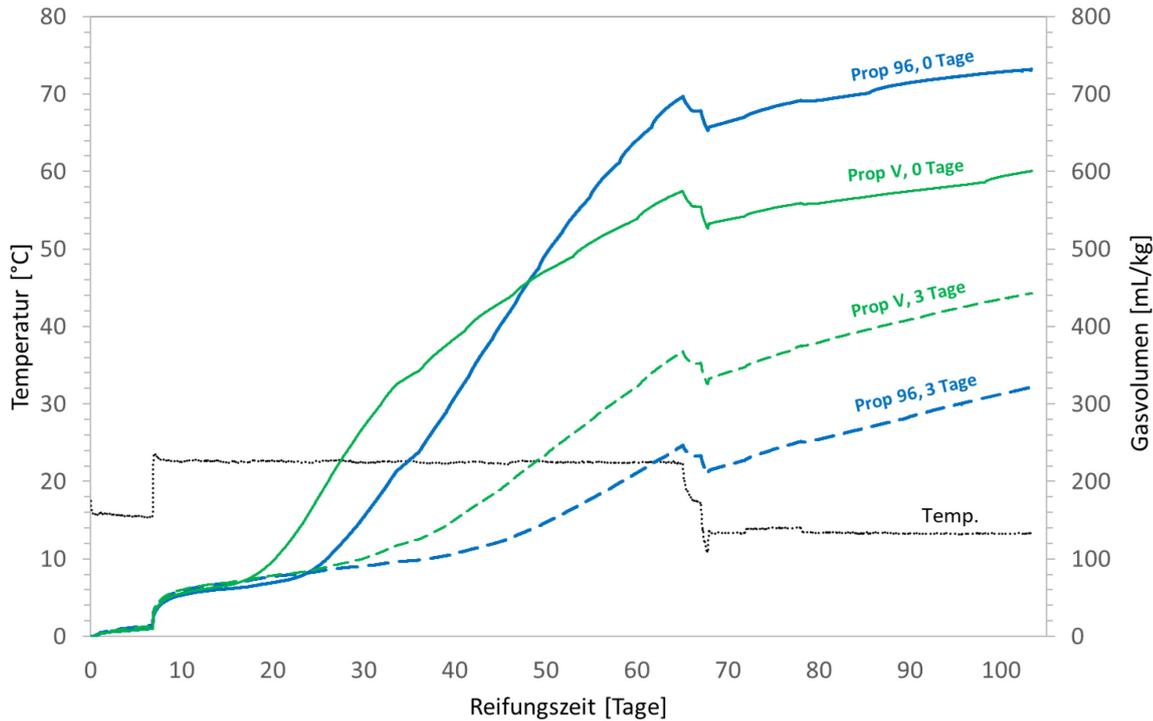


Abbildung 2: Bildung von CO₂ in experimentellen Käsen Typ Emmentaler während der Reifung in Abhängigkeit der Salzbad-dauer (0 Tage oder 3 Tage) durch zwei verschiedene Prop-Kulturen (Prop 96 und Prop V). Prop V zeigte eine geringere Salzempfindlichkeit. Die Gasbildung wurde in einem Gasvolumenmonitor der Firma abiotech gemessen. Daten von Agroscope.

Um die typische Propionsäuregärung zu starten und zu fördern wird die Reifungstemperatur während einer sortenspezifischen Zeit von zwei bis acht Wochen auf 20 – 24 °C angehoben. Sobald eine genügende Lochbildung erreicht ist, wird die Temperatur für die weitere Reifung auf 11 – 13 °C gesenkt. Emmentaler AOP reift bei 65 – 75% relativer Luftfeuchtigkeit und formt dadurch eine natürliche trockene Rinde. Generischer Emmentaler Käse und halbharte Sorten werden für die Reifung meist entweder gewachst oder unter Vakuum in Kunststoffolien verpackt. Die typischen Reifungsbedingungen für Käse Typ Emmentaler mit dem partiellen oder vollständigen Milchsäureabbau und die Aromabildung durch die Propionsäurebakterien im Inneren, kombiniert mit Wachsen oder Kunststoffolien-Einbeutelung, erlauben kurze Reifungszeiten, geringe Gewichtsverluste und eine hohe Automatisierung. Das führt zu tiefen Herstellkosten für generische Emmentaler Käse- und halbharte Käse-Sorten des Typs Emmentaler in Blockform. Sie werden in grossen Mengen hergestellt, in Scheiben geschnitten und in attraktiven Verpackungen oft teuer verkauft. Die geringe Blockgrösse erlaubt auch einen höheren Salzgehalt, welcher den süsslich-nussigen Flavour fördert. Andere Käse Typ Emmentaler enthalten im Vergleich zu Emmentaler AOP mehr Wasser, mehr Salz (Tabelle 1) und werden wesentlich weniger lange gereift (minimal vier Wochen).

Tabelle 1: Zusammensetzung einiger Käse des Typs Emmentaler (Mittelwerte und Standardabweichungen s, n=2, Agroscope-Daten).

	Wasser- gehalt [g/kg]	s	Fett- gehalt [g/kg]	s	Salz [g/kg]	s	pH [-]	s	Propionsäure- gehalt [mmol/kg]	
Fol Epi	425	10	293	8	17.0	0.6	5.63	0.01	45	20.9
Maasdamer (inkl. Leerdammer)	422	3	274	1	13.6	0.6	5.57	0.02	65	3.5
Allgäuer Emmentaler	393	12	282	6	7.3	1.7	5.63	0.04	63	3.5
Switzerland Swiss	374	3	302	1	4.1	0.0	5.59	0.01	55	6.1
Emmentaler AOP 4 Monate	358	17	327	10	3.6	0.4	5.69	0.06	74	8.3
Emmentaler AOP 12 Monate	315	5	343	7	8.4	2.0	5.66	0.05	71	7.4

3 Kulturen

3.1 Milchsäurebakterien-Säuerungskulturen

Für den ursprünglichen Emmentaler AOP werden nicht im Detail definierte Mehrstammkulturen thermophiler Milchsäurebakterien der Arten *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* und *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* isoliert aus Käsen im AOP-Gebiet als Säuerungskultur verwendet. Für generische Emmentaler mit einer kürzeren Reifungszeit und einer gewissen Toleranz für Rissen und Spalten (Pick und Gläs) finden oft stärker proteolytische *Lactobacillus helveticus* anstelle von *L. delbrueckii* subsp. *lactis* Verwendung. Halbharte Käse Typ Emmentaler-Sorten werden typischerweise mit Kulturen aus bekannten Stämmen oder Mischkulturen der Arten *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *L. lactis* subsp. *cremoris*, *L. lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*, und *Leuconostoc* spp. gesäuert. Die thermophilen Starterkulturen des Emmentaler AOP garantieren den homofermentativen Abbau des Milchzuckers zu über 90% zu Milchsäure. Laktose wird im Allgemeinen über den Fruktose-1,6-Biphosphat- (Embden-Meyerhof-Parnas) Stoffwechselweg abgebaut und innerhalb von 4 – 6 h nach der Kulturenzugabe vollständig zu Glukose und Galaktose hydrolisiert. Die Milchsäuregärung ist nach 24 h abgeschlossen. Zu Beginn der Fermentation sind v. a. die Streptokokken aktiv, sie verstoffwechseln bevorzugt Glukose und bilden nur L(+)-Milchsäure. Die Galaktose aus dem Milchzuckerabbau wird ab ca. 4 h Fermentation hauptsächlich durch Laktobazillen verstoffwechselt. Streptokokken haben ihr Wachstumsoptimum zwischen 38 – 42 °C bei einem pH von 6.0 – 6.5. *L. delbrueckii* subsp. *lactis* baut Milchzucker komplett zu D(-)-Milchsäure ab, *L. helveticus* – nicht eingesetzt in Emmentaler AOP – dagegen bildet beide Isomere. Laktobazillen wachsen am besten zwischen 38 – 45 °C bei pH 5.0 – 5.5. Milchsäure hemmt nicht nur das Wachstum von unerwünschten Mikroorganismen, sondern beeinflusst auch die Synärese und damit die Textur und die Proteolyse im Käse. Die Proteinasen und Peptidasen der Laktobazillen spielen eine wesentliche Rolle beim Kaseinabbau während der Reifung.

Die mesophilen Starterkulturen für halbharte Käse Typ Emmentaler bestehen im Wesentlichen aus homofermentativen Laktokokken welche L(+)-Milchsäure bilden und bei 10 °C, aber nicht bei 45 °C wachsen. Die Laktokokken *L. lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* und *Leuconostoc* spp. bauen Zitrat zu CO₂ und Diacetyl ab, welches zum buttrigen Flavour (Geschmack und Aroma) beitragen kann. *Leuconostoc* spp. sind heterofermentativ und bilden zusätzlich CO₂ aus Milchzucker, was möglicherweise zur Einleitung der Lochbildung vor der Propionsäuregärung beiträgt.

3.2 Propionsäurebakterien

Das charakteristische Aroma und die typische Lochbildung von Käse Typ Emmentaler sind das Ergebnis der Propionsäuregärung. Sie erfolgt durch die Zugabe von Kulturen der Spezies *Propionibacterium freudenreichii*. Agroscope-Kulturen bestehen aus mehreren Stämmen dieser Spezies. Drei weitere rohmilchassoziierte Arten, *Acidipropionibacterium acidipropionici*, *Acidipropionibacterium jensenii* und *Acidipropionibacterium thoenii*, könnten auch zur Propionsäuregärung in Käse eingesetzt werden. Allerdings sind diese Arten als kommerzielle Kulturen aufgrund ihrer geringeren Hitzebeständigkeit für Emmentaler nicht von grosser Bedeutung. *P. freudenreichii* ist anaerob bis aerotolerant, grampositiv und unter dem Mikroskop als kurze Stäbchen erkennbar, wobei ihre Form je nach den Bedingungen und der Wachstumsphase der Kultur variieren kann.

Bei optimalen Wachstumsbedingungen von 30 °C und einem pH-Wert von 6 – 7 beträgt die Generationszeit etwa 5 – 6 h. Ausgespatelt auf Hefe-Extrakt-Laktat (YEL)-Medium bilden sie kreisförmige, hellbraun bis dunkelbraun gefärbte Kolonien mit einer Grösse von 1 – 4 mm innerhalb von 6 – 10 Tagen (Abbildung 3).

Für einen traditionellen Emmentaler AOP wird die Rohmilch mit 10⁴ – 10⁵ koloniebildenden Einheiten (KBE) pro Liter Kessmilch beimpft (meist mit der Kultur Prop 96, Liebefeld Kulturen). Bei anderen Käsen des Typs Emmentaler wird mit 10⁵ – 10⁶ KBE pro Liter Kessmilch ausgegangen (zum Beispiel mit der Kultur Prop 01, Liebefeld Kulturen). Die Propionsäuregärung beginnt bei Emmentaler AOP in der Wachstumsphase, etwa 30 Tage nach Beginn der Herstellung. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich die Käse im Wärmeraum bei ca. 17 – 24 °C, wo sie für etwa 7 Wochen bleiben. Die Propionsäuregärung wird im anschliessenden Reifungsraum bei 10 – 13 °C verlangsamt. Verzehrfertiger Käse enthält etwa 10⁸ – 10⁹ KBE/g an Propionsäurebakterien.

Im Käse verstoffwechseln die *P. freudenreichii*-Stämme hauptsächlich Laktat. Es werden beide Laktat-Isomere abgebaut, L-Laktat wird jedoch gegenüber D-Laktat bevorzugt. Laktat wird zu Pyruvat oxidiert, das zu einem Teil über den Wood-Werkman-Zyklus zu Propionat reduziert und zu einem anderen Teil zu Acetat und CO₂ oxidiert wird. Das molare Verhältnis von Propionsäure zu Essigsäure beträgt 2:1. Bei Vorhandensein von Aspartat im Käse und *P. freudenreichii*-Stämmen mit der Fähigkeit zur Vergärung von Aspartat wird mehr Succinat gebildet, währenddem mehr Laktat zu Essigsäure und zu CO₂ als zu Propionsäure umgewandelt wird. In solchen Stämmen katalysiert das Enzym Aspartase die Umwandlung von Aspartat in Fumarat und Ammoniak. Im Wood-Werkman-Zyklus wird Fumarat weiter zu Succinat reduziert. Die Aminosäuresequenz der Aspartase kann sich von Stamm zu Stamm unterscheiden und trägt zur unterschiedlichen Aspartaseaktivität des Stammes bei. Zahlreiche Stämme haben zusätzlich zu einem Aspartase-kodierenden Gen ein zweites benachbartes Gen. Die meisten untersuchten Stämme mit zwei benachbarten Aspartase-kodierenden Genen wiesen eine hohe Aspartaseaktivität und starke Succinatbildung im Käse auf. Obwohl Stämme mit hoher Aspartaseaktivität eine Nachgärung hervorrufen können, sollten sie bei der Kulturentwicklung berücksichtigt werden, da sie die Geschmacksintensität und die Lochbildung positiv beeinflussen und den Aufenthalt im Wärmeraum verkürzen können.

Weitere stammspezifische Merkmale von *P. freudenreichii*, die zur Geschmacksbildung während ihres Wachstums beitragen, sind die lipolytische Aktivität und die Fähigkeit, Aminosäuren (d. h. Leucin, Isoleucin und Valin) in Carbonsäuren und Alkohole umzuwandeln (siehe Abschnitt über Flavour-Eigenschaften). Durch die Kenntnisse des *P. freudenreichii*-Genoms wird es zunehmend möglich, phänotypische Merkmale mit genetischen Merkmalen zu verknüpfen. Dies erleichtert die Auswahl von potenziellen Stämmen für die Entwicklung von neuen Kulturen. Natürliche bakterielle Gemeinschaften (z. B. in Rohmilch und Käse), die eine grosse Vielfalt an Propionsäurebakterien beherbergen, bilden nach wie vor ein grosses Reservoir an potenziellen Stämmen.

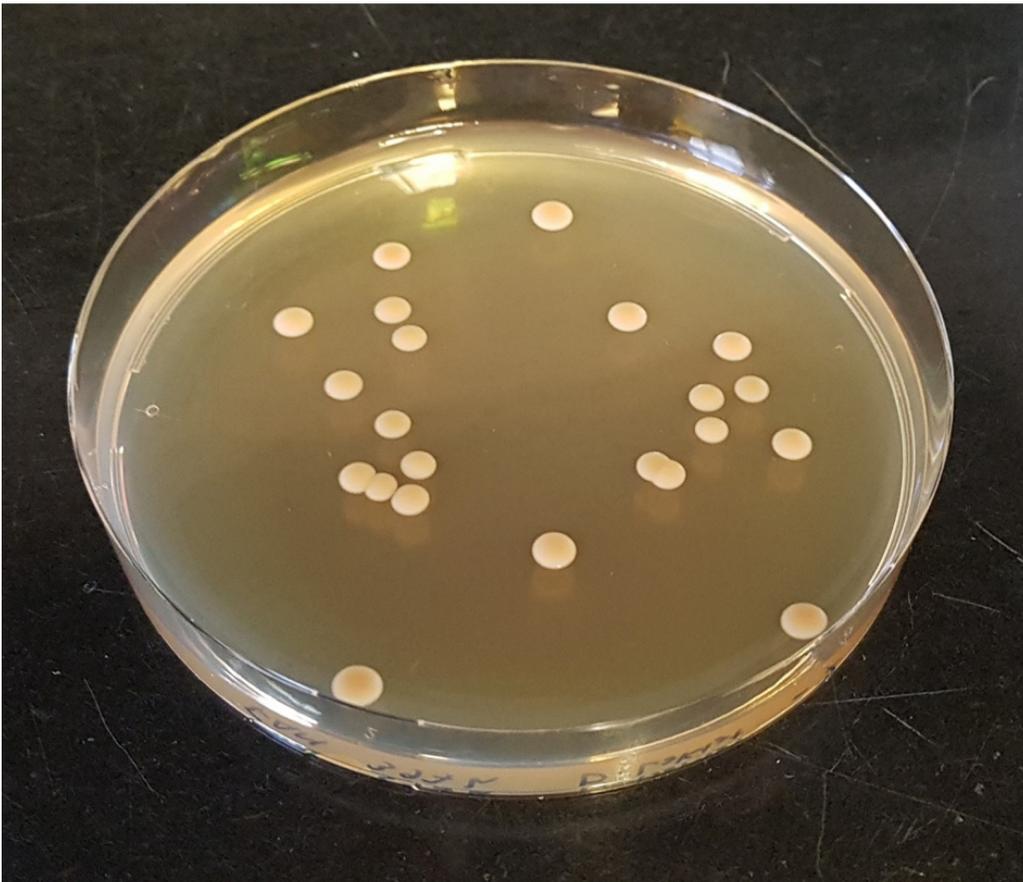


Abbildung 3: Kolonien eines Stammes von *Propionibacterium freudenreichii* aus der Agroscope-Stammsammlung auf Hefe-Extrakt-Laktat (YEL)-Medium nach 10 Tagen Bebrütung bei 30 °C unter anaeroben Bedingungen. Der Kolonien-Durchmesser beträgt 2 – 3 mm (Foto Agroscope).

3.3 Fakultativ heterofermentative Laktobazillen

Fakultativ heterofermentative Laktobazillen sind grampositive anaerobe bis mikroaerophile Stäbchen welche Sechsfachzucker ausschliesslich über den Fruktose-1,6-Diphosphat-Weg zu Milchsäure abbauen. Bei tiefem Glukose-Angebot fermentieren sie jedoch Sechsfachzucker auch zu Milchsäure, Essigsäure, Ethanol und Ameisensäure. Nach der Milchsäuregärung bauen sie das in der Milch vorhandene Zitrat zu Ameisensäure, Essigsäure, CO₂ und Diacetyl ab. Diese Gruppe von Mikroorganismen umfasst unter anderem *Lacticaseibacillus paracasei* and *Lacticaseibacillus rhamnosus*, welche Bestandteil der Rohmilchflora sind. Die zwei Arten wachsen bei 15 °C. *L. rhamnosus* ist die einzige Art innerhalb der fakultativ heterofermentativen Laktobazillen, welche fähig ist, auch bei 45 °C zu wachsen. Um Gläsbildung durch Nachgärung bei lange gereiftem Emmentaler AOP vorzubeugen, kann die Intensität der Propionsäuregärung durch Zusatzkulturen bestehend aus *L. paracasei* oder *L. rhamnosus* reduziert werden. Diacetyl und Ameisensäure, gebildet von diesen Bakterienarten, wirken hemmend auf Propionsäurebakterien. Zusätzlich führt der Zitratabbau dieser Bakterienarten zur Freisetzung von komplexiertem Kupfer, welches besonders in Rohmilch-Emmentaler, hergestellt im Kupferfertiger, vorhanden ist. Dies erhöht die hemmende Wirkung des Kupfers auf die Propionsäurebakterien. Der genaue Wirkungsmechanismus der fakultativ heterofermentativen Laktobazillen auf die Propionsäurebakterien ist noch nicht komplett geklärt. Fakultativ heterofermentative Laktobazillen werden manchmal auch als Schutzkulturen gegen Clostridien dazugegeben.

4 Reifung von Käse Typ Emmentaler

Nach der Salzbadbehandlung werden Käse Typ Emmentaler häufig bei 8 – 13°C und 85% rel. Feuchtigkeit während 1 – 4 Wochen gelagert, um das Verwachsen der Bruchkörner und die Synärese zu fördern, bevor sie anschliessend in den Gärraum gelangen (17 – 24 °C / 80% rel. Feuchtigkeit). Nach der Reifung im Gärraum (2 – 8 Wochen) folgt eine weitere, letzte Reifezeit bei 7 – 14 °C und 70 – 90% rel. Feuchtigkeit. Die Reifedauer kann in Abhängigkeit der betreffenden Käsesorte stark variieren. Währendem Hartkäse-Sorten 4 – 8 Wochen im Gärraum verbringen und anschliessend für mehrere Monate bei 12 – 14 °C gelagert werden, bleiben Halbhartkäse-Sorten nur etwa 2 Wochen im Gärraum und werden anschliessend bei relativ tiefen Temperaturen von 7 – 8 °C gelagert.

Käse Typ Emmentaler können entweder natürlich durch Rindenbildung, in Plastikfolien oder mit Hilfe eines Coatings gereift werden.

Die relative Feuchtigkeit im Reifungskeller ist für eine natürliche Trockenreifung eher tief (70 – 80%). Zusammen mit der Salzbadbehandlung trägt die tiefe relative Feuchtigkeit zur Bildung einer festen und trockenen Rinde bei, welche den Verlust von CO₂ reduziert und dem Käse seine stabile Form gibt.

Die Propionsäuregärung, die Proteolyse, die Lipolyse und nachfolgende sekundäre Reifungsprozesse sind wichtige Faktoren für die Käsereifung und die Bildung eines sortentypischen Flavours.

4.1 Die Propionsäuregärung

Der Abbau von Milchsäure durch *P. freudenreichii* trägt zu einem pH-Anstieg bei, welcher verschiedenste Reifungsprozesse zu beschleunigen vermag. Eine nachweisbare Aspartaseaktivität in *P. freudenreichii* führt zu vermehrter Succinat- und Ammoniakbildung. Letzteres trägt ebenfalls zu einem pH-Anstieg bei.

Während der Reifung im Gärraum sinkt die Konzentration an Milchsäure kontinuierlich, gleichzeitig steigt die Konzentration an Propionsäure deutlich an (Abbildung 4). Diese markanten Veränderungen bei den organischen Säuren finden während des ersten Montes der Reifung von Halbhart-Käse statt bzw. während den ersten 3 Monaten der Reifung von Hartkäsen.

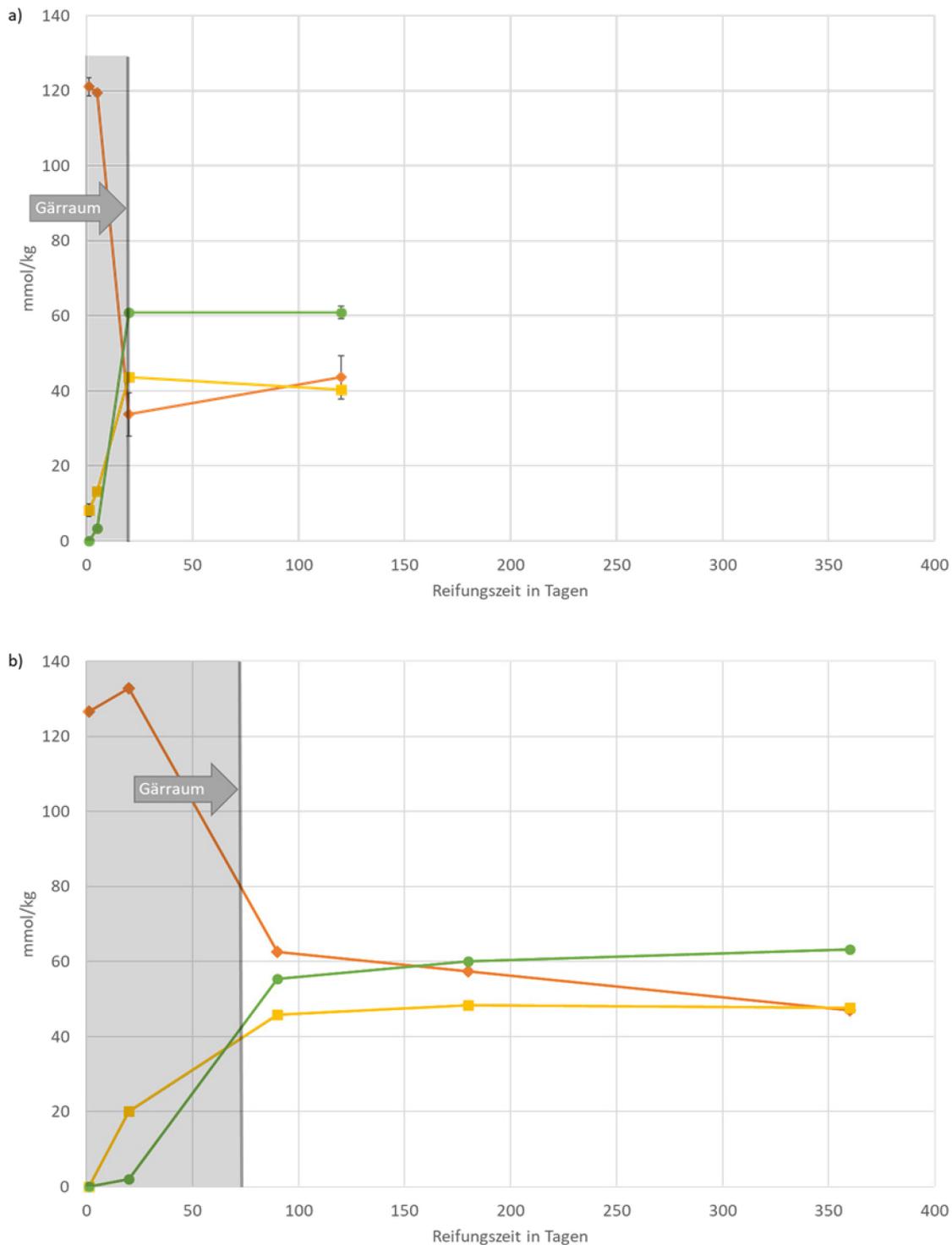


Abbildung 4: Abbau von Milchsäure (♦), sowie Bildung von Propionsäure (●) und Essigsäure (■) während der Reifung a) des Halbhart-Käses Grevé (Rehn et al., 2011) und b) des Hartkäses Emmentaler AOP (Bachmann et al., 2011).

4.2 Proteolyse

Abbildung 5 fasst die Hauptakteure der Proteolyse während der Reifung von Käsen Typ Emmentaler zusammen. Bei der Proteolyse von Halbhart-Käsen Typ Emmentaler spielt das Lab eine wichtige Rolle, dies im Gegensatz zu Hartkäsen Typ Emmentaler, in welchen das Lab durch hohe Brenntemperaturen inaktiviert wird. In diesen Käsen sind milcheigene Proteasen, insbesondere die Serinprotease Plasmin, und Proteasen von thermophilen Milchsäurebakterien hauptsächlich für den Abbau von Kasein verantwortlich. Eine Wärmebehandlung inaktiviert die Inhibitoren

von Plasmin und der Plasminogen-Aktivatoren, was in einer erhöhten Plasminaktivität in Hartkäsen Typ Emmentaler bzw. in Käsen Typ Emmentaler aus pasteurisierter Milch resultiert. Der pH-Anstieg während der Reifung und die hohe Pufferkapazität von Käse Typ Emmentaler tragen ebenfalls zu einer Zunahme der Plasminaktivität bei. Thermophile Laktobazillen besitzen Proteinase und Peptidasen, die Kasein zu Peptiden und weiter zu Aminosäuren hydrolysieren können. Thermophile Streptokokken hingegen leisten primär einen peptidolytischen Beitrag zur Proteolyse. Die mesophilen Laktokokken, die für die Herstellung von Halbhart-Käse Typ Emmentaler verwendet werden, weisen ebenfalls primär peptidolytische Aktivität auf. Ihre Zellwand-assoziierte Proteinase (cell envelope proteinase CEP) und ihre Peptidasen hydrolysieren mittellange Peptide zu kürzeren Bruchstücken und zu Aminosäuren. Im Gegensatz dazu weist *Leuconostoc* spp. kaum proteolytische Aktivität auf. In Käse Typ Emmentaler aus Rohmilch können mesophile Laktobazillen der Milch zur Proteolyse beitragen. Schliesslich kann *P. freudenreichii* nach Zelllyse zur Proteolyse im Käse beitragen. Die Spezies besitzt hohe peptidolytische Aktivität, die Peptidasen sind jedoch meist intrazellulär lokalisiert.

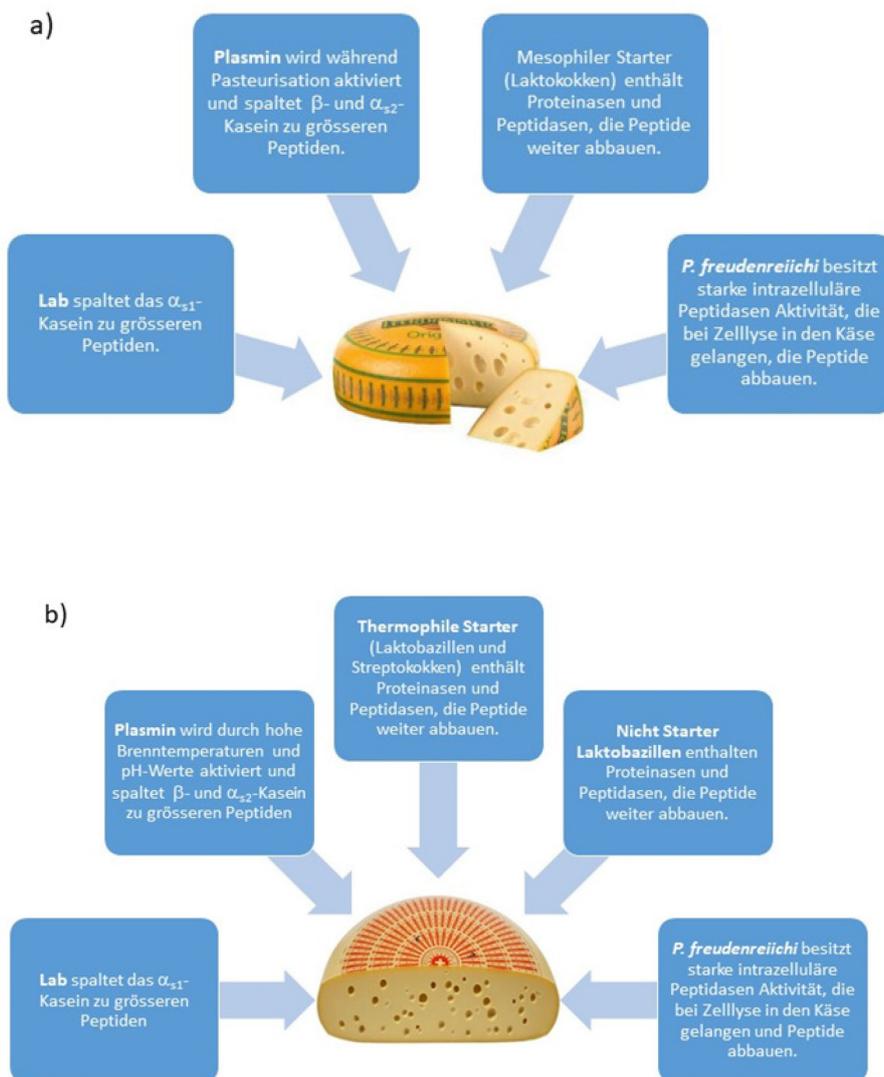


Abbildung 5: Hauptakteure der Proteolyse während der Reifung eines a) Halbhart-Grosslockkäses sowie b) Hartkäses Typ Emmentaler.

Die während der Proteolyse freigesetzten Aminosäuren werden weiter enzymatisch via Dekarboxylierung, Deaminierung, und Transaminierung abgebaut (siehe Abschnitt Flavour-Eigenschaften). Die Milchsäurebakterien sind hauptsächlich am Aminosäurenkatabolismus beteiligt, aber auch *P. freudenreichii* trägt beachtlich zum Abbau von Aminosäuren zu flüchtigen Aromakomponenten wie beispielsweise Fettsäuren bei.

Der Gehalt an wasserlöslichem Stickstoff (WLN) beschreibt allgemein das Ausmass der Proteolyse; dessen Bildung steigt während des Aufenthaltes im Gärraum steil an (Abbildung 6). Im Alter von 3 Monaten können unabhängig von der Härtestufe in Käse Typ Emmentaler etwa 18% WLN gemessen am totalen Stickstoffgehalt nachgewiesen werden. Da jedoch normalerweise für Hartkäse Typ Emmentaler die Reifezeiten länger und die Reifungstemperaturen höher sind, nimmt der Gehalt an wasserlöslichem Stickstoff nach dem Gärraum stärker zu als in Halbhart-Käsen Typ Emmentaler. Die Summe der freien Aminosäuren – ein Mass für die Proteolyse in die Tiefe – ist in Emmentaler AOP nach 3 Monaten bereits um 5 g höher als in einem Maasdamer und nach 6 Monaten bereits um 8 g höher (nicht publizierte Resultate, Agroscope). Dies ist nicht nur die Folge der oben erwähnten Faktoren "höhere Reifungstemperatur" und "längere Reifungszeit" bei Hartkäse, sondern auch die Folge einer höheren proteolytischen Aktivität von thermophilen Milchsäurebakterien.

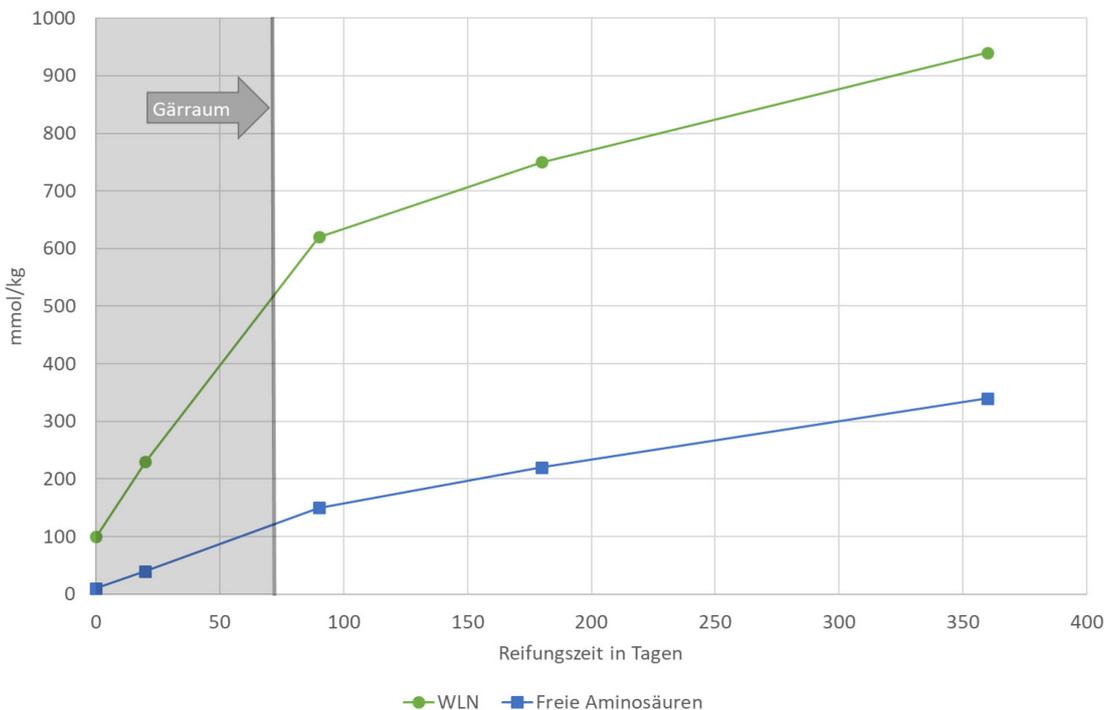


Abbildung 6: Proteolyse in Emmentaler AOP (ALP Forum Nr. 80 / 2010, Agroscope, Liebefeld, Schweiz). WLN, wasserlöslicher Stickstoffgehalt.

4.3 Lipolyse

Generell wird die Lipolyse als unabdingbar für das typische Flavour (Geschmack und Aroma) von Käse Typ Emmentaler beurteilt. Den grössten Beitrag zur Lipolyse leisten die Lipase aus der Rohmilch – die Lipoproteinlipase (LPL) – und die Lipasen der Starter- und Zusatzkulturen. Die LPL wird jedoch bei der Pasteurisierung der Milch vollständig inaktiviert und teilweise während des Brennens bei hohen Temperaturen. Starter-Kulturen wie *Lactococcus* spp. und *Lactobacillus* spp. bilden Lipasen und/oder Esterasen, sind aber nur schwach lipolytisch. Ein Beitrag zur Lipolyse ist lediglich bei einer hohen Zellkonzentration oder einer langen Reifezeit zu erwarten. Eine 10 – 100-mal höhere lipolytische Aktivität kann von *P. freudenreichii* erwartet werden, dessen Stämme in ihrer lipolytischen Aktivität stark variieren können. In Käse Typ Emmentaler können Gehalte an freien Fettsäuren von 2 – 4 g/kg nachgewiesen werden; höhere Gehalte können zu Ranzigkeit führen. Die Freisetzung von freien Fettsäuren beginnt im Gärraum und

verläuft parallel zum Wachstum von *P. freudenreichii*. Abbildung 7 zeigt den Gehalt an Capronsäure – ein einfacher Indikator für das Ausmass der Lipolyse – in verschiedenen Sorten von Käse Typ Emmentaler. Eine längere Reifezeit ergibt höhere Gehalte an Capronsäure.

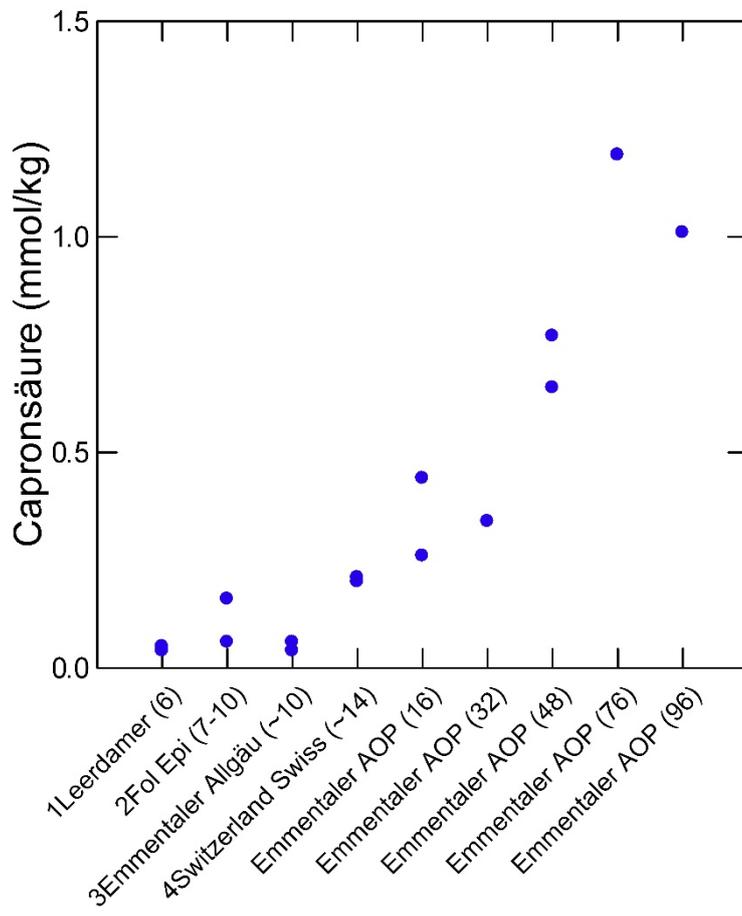


Abbildung 7: Gehalt an Capronsäure als ein Mass für die Lipolyse in verschiedenen Grosslochkäse-Sorten. Das ungefähre Alter der Käse ist in Wochen angegeben (Zahl in Klammern; Untersuchungen von Agroscope, Liebefeld; Einzelwerte).

5 Lochbildung

Die Präsenz von Löchern mit einem Durchmesser von 1 – 5 cm ist ein charakteristisches Merkmal von Käsen des Typs Emmentaler, das die Aufmerksamkeit der Konsumentinnen und Konsumenten auf sich zieht und dazu beiträgt, solche Käse von anderen Käsesorten zu unterscheiden. Daher stellen Grösse, Anzahl, Form und Verteilung der Löcher in Käsen Typ Emmentaler wichtige Qualitätsparameter dar. Über das ganze Jahr hinweg eine typische, konstante und reproduzierbare Lochbildung (runde Löcher) zu erreichen, ist eine grosse Herausforderung bei der Herstellung von Käse Typ Emmentaler. Eine ausreichende Gasbildung, das Vorhandensein von Lochansatzstellen und eine verformbare, elastische Käsetextur sind drei Grundvoraussetzungen für die Bildung von Löchern in Käse. Die Herstellung von Käse Typ Emmentaler beinhaltet deshalb eine Reihe von technologischen Massnahmen, mit denen die Lochbildung während der Käsereifung gezielt unterstützt und gesteuert werden kann.

Die Fermentation von Laktat durch Propionsäurebakterien ist die Hauptquelle für die Bildung von CO₂. Die CO₂-Produktion beginnt jedoch schon vor der Propionsäuregärung, da bereits bei der Milchsäuregärung und durch den Abbau von Zitrat geringe Mengen CO₂ entstehen. Der steile Anstieg der CO₂-Produktion, der zu einer Sättigung des Käseteigs und folglich zu einer verstärkten Diffusion aus dem Käse führt, setzt jedoch erst mit dem Beginn der Propionsäuregärung ein. Die CO₂-Produktion und die Diffusionsrate nehmen ab, wenn die Käse vom Gärraum (17 – 24 °C) in den kalten Reiferaum (10 – 13 °C) gebracht werden, da dies das Wachstum und die Stoffwechselaktivität der Propionsäurebakterien verlangsamt (Abbildung 2).

Die Steuerung der Propionsäuregärung über die Reifungstemperatur ist die wichtigste Massnahme zur Kontrolle der CO₂-Bildung. Darüber hinaus werden der Zeitpunkt und das Ausmass der CO₂-Bildung durch verschiedene stamm-spezifische Eigenschaften wie pH-Empfindlichkeit, Salztoleranz, spezifische Aspartaseaktivität, Aminosäureabbau und Wechselwirkungen mit Milchsäurebakterien beeinflusst. Bei einem 80 kg schweren Käselaub beträgt die gesamte CO₂-Produktion etwa 120 L bis zum Erreichen der Konsumreife. Etwa 60 L bleiben im Käseteig gelöst, etwa 20 L befinden sich in den Löchern, und etwa 40 L diffundieren aus dem Käse heraus. Die CO₂-Verluste durch Diffusion hängen vom Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen des Käses ab und sind daher bei kleinformatigen Käse Typ Emmentaler grösser. Bei trocken gereiften Käsen Typ Emmentaler reduziert die Rindenbildung die CO₂-Verluste, während bei foliengereiften Käsen das Ausmass der Lochbildung durch die CO₂-Durchlässigkeit der verwendeten Folie beeinflusst werden kann.

Lochansatzstellen beinhalten mikroskopisch kleine Hohlräume, die die anfängliche Anreicherung von CO₂ im Käsekörper ermöglichen. Die genaue Beschaffenheit der Lochansatzstellen blieb für fast 100 Jahre eine unbeantwortete Frage. Kürzlich haben Agroscope-Studien gezeigt, dass die Zugabe von Heupartikeln zur Käsemilch eine dosisabhängige Wirkung auf die Lochbildung hat (Abbildung 8). Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, enthalten diese Mikropartikel kapillare Strukturen, die Lufteinschlüsse beherbergen können und dadurch zum Ausgangspunkt für die Ansammlung von CO₂ werden. Bessere hygienische Bedingungen bei der Milchproduktion sowie die Anwendung von Milchvorbehandlungen (z. B. Reinigungsfiltration, Zentrifugation, Baktofugation oder Mikrofiltration) verringern oder entfernen die Lochansatzstellen in der Milch. Ein Mangel an Lochansatzstellen in der Milch führt trotz ausreichender CO₂-Bildung zu einer spärlichen Lochbildung, da mehr CO₂ aus dem Käse herausdiffundiert. Die Lochansatzstellen beeinflussen nicht nur die Anzahl der Löcher, sondern indirekt auch deren Grösse. Käse Typ Emmentaler mit sehr geringen Lochzahlen weisen grössere Löcher auf und neigen vermutlich als Folge eines höheren CO₂-Überdrucks im Käseteig zur Riss- oder Spaltbildung. Der Zusatz von geeigneten und lebensmitteltauglichen Mikropartikeln zur Käsemilch ist daher eine effiziente Möglichkeit zur Kontrolle der Lochbildung und zur Verringerung des Risikos von Lochbildungsfehlern.

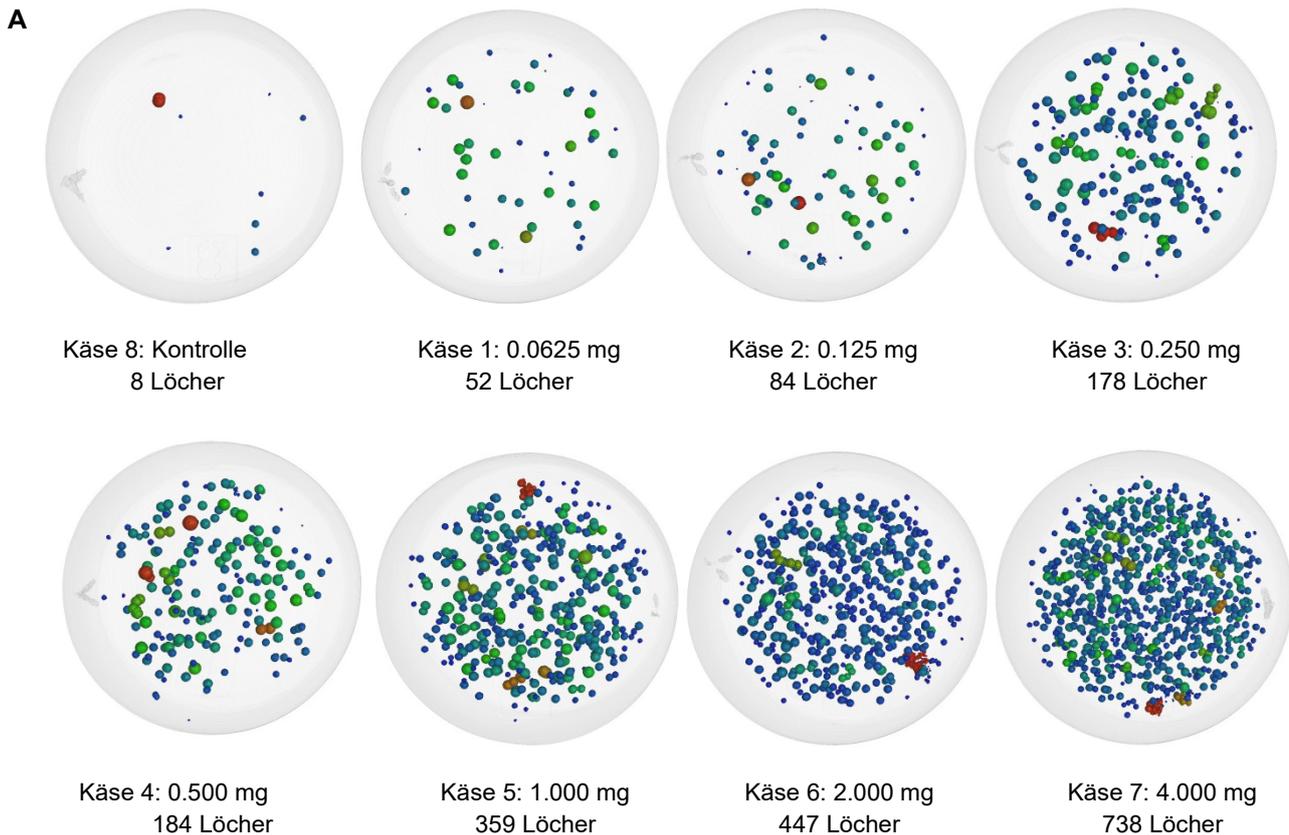


Abbildung 8: Visualisierung der Lochbildung durch Röntgen-Computertomographie-Daten in 45 Tage gereiften Emmentaler-Versuchskäsen, die aus mikrofiltrierter Milch mit Zusatz von Heupulver (0.0625 – 4.000 mg/90 L Milch) hergestellt wurden (A). Der Kontrollkäse (Käse 8) wurde ohne Zusatz von Heupulver hergestellt. Die Löcher sind entsprechend ihrem Volumen gefärbt; zusammenhängende Löcher werden als ein Loch gezählt. Die Nummerierung der Käselaike entspricht der Beschriftung der Käse in Abbildung 8B. Schnittbild der 130 Tage gereiften Versuchs-Emmentaler-Käsen mit unterschiedlicher Dosierung von Heupartikeln (B). (Nachdruck aus Guggisberg, D., Schuetz, P., Winkler, H., Amrein, R., Jakob, E., Fröhlich-Wyder, M.T., Irmeler, S., Bisig, W., Jerjen, I., Plamondon, M., Hofmann, J., Flisch, A., Wechsler, D., 2015. Mechanism and control of the eye formation in cheese. *Int. Dairy J.* 47, 118–127.)

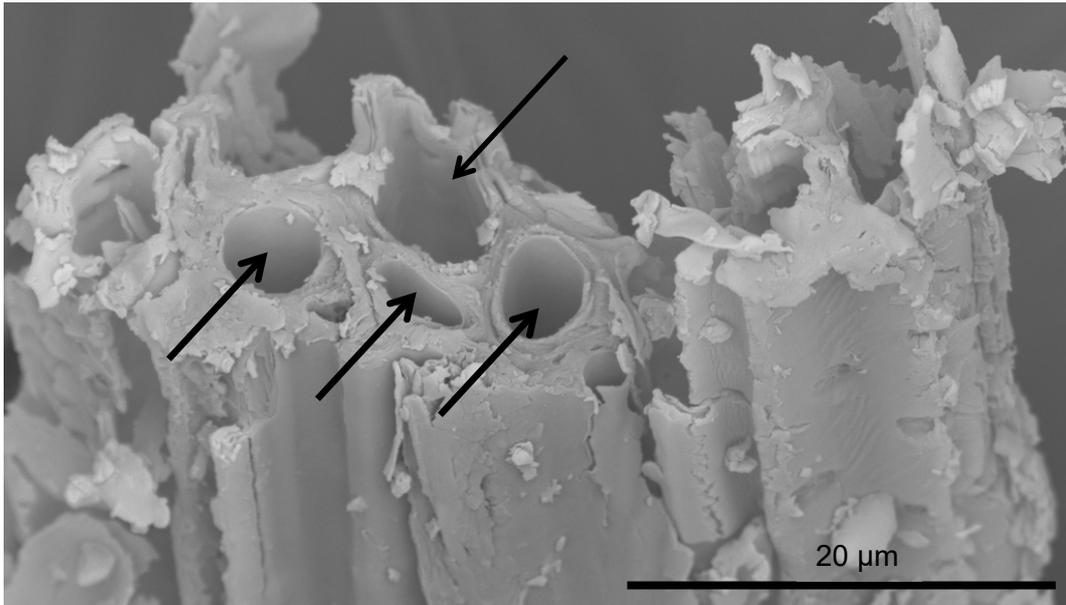


Abbildung 9: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Heupartikels. Die im Mikropartikel enthaltenen kapillaren Strukturen (Pfeile) wirken als Lochansatzstellen. Der Einschluss von Luft in diesen Kapillaren dient als Ausgangspunkt für die Lochbildung. Durch Diffusion gelangt das von den Bakterien gebildete CO_2 in diese mikroskopisch kleinen Hohlräume, wodurch diese zu sichtbaren Löchern heranwachsen. (Nachdruck aus Guggisberg, D., Schuetz, P., Winkler, H., Amrein, R., Jakob, E., Fröhlich-Wyder, M.T., Irmeler, S., Bisig, W., Jerjen, I., Plamondon, M., Hofmann, J., Fleisch, A., Wechsler, D., 2015. Mechanism and control of the eye formation in cheese. *Int. Dairy J.* 47, 118–127.)

Ein hoher Kalziumgehalt im Käsebruch führt zu einer elastischen Textur, was ebenfalls eine entscheidende Voraussetzung für die Ausbildung von Löchern ist (siehe Abschnitt Technologie). Die hohe Lagertemperatur im Gärraum fördert zu Beginn der Reifung nicht nur die CO_2 -Bildung, sondern erhöht auch die Plastizität des Käseteigs und erleichtert damit die Lochbildung. Die Reduktion der Teigelastizität durch die fortschreitende Proteolyse ist eine wichtige Ursache für das Auftreten von Fehlern wie Pick und Gläs in fortgeschrittenen Reifestadien. Daher sollte die Gasbildung mit fortschreitender Reifung dank geeigneter Propionsäurebakterienkultur, Temperaturabsenkung und Vermeidung anderer Gasquellen auf ein Minimum reduziert werden, um Pick und Gläsbildung zu verhindern.

Bei einem traditionellen Emmentaler AOP läuft der Prozess der Lochbildung zeitlich wie folgt ab: Etwa 30 Tage nach der Herstellung erscheinen die ersten Löcher; die Zahl der neuen Löcher nimmt danach bis ins Alter von 50 – 60 Tagen kontinuierlich zu, wobei sich die Löcher im gleichen Zeitraum auch rasch vergrößern. Mit abnehmender CO_2 -Produktion und der gleichzeitigen Verfestigung des Käseteigs im kalten Reiferaum nimmt die Bildung neuer Löcher stark ab.

Im warmen Gärraum bleibt der CO_2 -Druck mit 1500 – 2500 Pa (15 – 25 mbar) relativ niedrig, da der Käselaiab bei 22 – 24 °C nur einen geringen Verformungswiderstand aufweist. Im nachfolgenden kälteren Reifungsraum (12 °C) steigt der CO_2 -Druck auf 4000 – 8000 Pa an, was sich durch den erhöhten Verformungswiderstand des abgekühlten Käseteigs, die in reduziertem Umfang fortlaufende CO_2 -Produktion und die zunehmende Rindenbildung erklärt.

6 Textur

Die Zusammensetzung von Käse Typ Emmentaler entspricht derjenigen von Hart- oder Halbhartkäse, und in den frühen Reifestadien ist der Käseteig durch eine elastische und glatte Textur gekennzeichnet. Die viskoelastischen Teigeigenschaften von Käse Typ Emmentaler sind ein wichtiger Aspekt der Käsequalität und stehen in engem Zusammenhang mit der Lochbildung und Fehlern wie Pick und Gläs. Die Käsetextur hängt in hohem Masse von der Mikrostruktur innerhalb und zwischen den Bruchkörnern ab und ist stark von Faktoren wie Wasser-, Fett-, Kalzium- und Salzgehalt sowie pH-Wert, Temperatur und Proteolysegrad abhängig. Zusätzlich zum hohen Kalziumgehalt, der z.B. bei Emmentaler AOP typischerweise $\sim 9.5 \text{ g kg}^{-1}$ ($n=308$) beträgt, unterstützen erhöhte Wasser- oder Fettgehalte auch die "lange" und "elastische" Textur von Käse Typ Emmentaler. Die Bruchdeformation ist bei Emmentaler AOP höher als bei anderen Käsesorten (Abbildung 10). Während der Reifung verliert der Käse infolge der Proteolyse jedoch allmählich seine elastischen Eigenschaften, und die Textur wird bröckelig. Die Gasbildung in fortgeschrittenen Reifestadien erhöht daher das Risiko der Bildung von Fehlern wie Pick, Gläs oder Spalten (siehe Lochbildung).

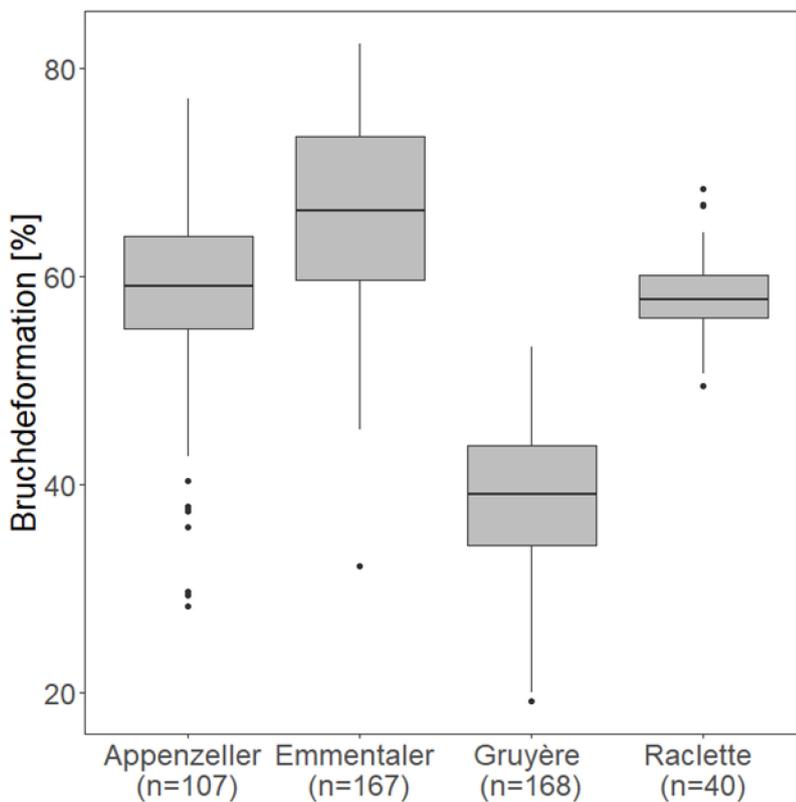


Abbildung 10: Mittels uniaxialem Kompressionstest gemessene Bruchdeformation (%) von halbhartem Appenzeller® und Raclette Suisse Käse sowie der Hartkäsesorten Emmentaler AOP und Gruyère AOP. (Nachdruck aus Fröhlich-Wyder M. T., Bisig W., Guggisberg D., Bachmann H.-P., Guggenbühl B., Turgay M., Wechsler D. (2022). *Swiss-Type Cheeses*. In: McSweeney P.L.H. and McNamara J.P. (Eds.) *Encyclopedia of Dairy Sciences* (third edition), Academic Press (Elsevier), 386-399.)

7 Flavour-Eigenschaften

Für den in der englischen Sprache verwendeten Ausdruck Flavour/Flavor (englisch/amerikanisch) gibt es im Deutschen keinen entsprechenden Begriff. In der Lebensmittelensorik umfasst das Wort Flavour den Gesamteindruck der im Mund und der Nase wahrgenommenen retronasalen Geruchs- und Geschmackseindrücke sowie der trigeminalen, haptischen und temperaturbedingten Sinneseindrücke.

Der charakteristische Flavour von Käse Typ Emmentaler, der oft als süß und nussig beschrieben wird, ist wie bei jeder anderen Käsesorte das Ergebnis komplexer Wechselwirkungen zwischen dem Rohstoff Milch, der Produktionstechnologie, dem Salzen und den Reifungsbedingungen. Mikroorganismen aus der (Roh-)Milch sowie Starter- und Zusatzkulturen haben zusammen mit intrinsischen Milchenzymen einen grossen Einfluss auf die Geschmacksbildung während der Käsereifung. Biochemische Reaktionen, nämlich der Stoffwechsel von Restlaktose (Glykolyse), Laktat und Zitrat, der Abbau von Kaseinen in Peptide und Aminosäuren (Proteolyse) sowie die Freisetzung von Fettsäuren aus Triglyceriden (Lipolyse) sind erste Schritte der Geschmacksbildung bei Käse. Der weitere Abbau von Zwischenprodukten führt zu einem komplexen Gemisch von flavouraktiven Stoffen zu denen Fettsäuren, Aldehyde, Ketone, Schwefelverbindungen, Laktone, Ester und Alkohole sowie verschiedene kurzkettige Carbonsäuren, Aminosäuren und Salze gehören (Abbildung 11).

Sowohl die Menge als auch der Anteil der schätzungsweise mehr als 200 verschiedenen flüchtigen Verbindungen, die in Käse Typ Emmentalern zu finden sind, bestimmen den spezifischen Geschmack dieses Käsetyps. Zu den Schlüsselfaktoren, die für den charakteristischen Geschmack dieser Käsesorte verantwortlich sind, zählen flüchtige Substanzen, die durch die Aktivität der Propionsäurebakterien (PSB) gebildet werden.

Käse Typ Emmentaler weisen im Vergleich zu anderen Käsesorten in der Regel höhere Mengen an kurzkettigen Carbonsäuren wie Essig- und Propionsäure in freier Form sowie als Ammonium-, Natrium-, Kalium-, Magnesium- und Calciumsalze auf. Vor allem die Propionsäure wird für die typische süssliche Note der Käse Typ Emmentaler-Sorten verantwortlich gemacht.

Darüber hinaus sind Buttersäure, Capronsäure und Glutaminsäure sowie Leucin, 2,3-Butandion (Diacetyl) und 3-Methylbutanal zusammen mit Homofuraneol, Furaneol, Ethylbutanoat, Ethylhexanoat und Methional wichtige Komponenten, die zum Flavoureindruck von Käse Typ Emmentaler beitragen.

Die Qualität des Flavourprofils von Käse Typ Emmentaler wird zudem von der Art der PSB, wie beispielsweise *P. freudenreichii*, *Acidipropionibacterium acidipropionici*, *Acidipropionibacterium jensenii* und *Acidipropionibacterium thoenii*, sowie von stammspezifischen Unterschieden beeinflusst. Innerhalb der verschiedenen Arten können die Unterschiede zwischen den Stämmen in Bezug auf die Menge an flavouraktiven Stoffen bis zu 500-fach variieren. Bei Hartkäsen Typ Emmentaler kommen nur *P. freudenreichii* zum Einsatz, nur sie überleben die hohe Brenntemperatur. Sie sind auch für Halbhartkäse Typ Emmentaler am verbreitetsten.

Im Vergleich zu anderen Käsesorten zeichnen sich Käse Typ Emmentaler, insbesondere Emmentaler AOP, in der Regel durch niedrige Natriumchlorid (Kochsalz-)Konzentrationen aus und werden daher im Allgemeinen als wenig salzig empfunden. Natriumchlorid ist jedoch dafür bekannt, dass es die Intensität bestimmter Geschmacksmerkmale wie fruchtige oder nussige Noten verstärken oder unerwünschte sensorische Merkmale oder Geschmacksdefekte, wie beispielsweise die metallische Note von Emmentaler Käse, maskieren kann. Salz hemmt die Bildung hydrophober Bitterpeptide aus dem hydrophoben Carboxyl-Terminus des β -Kasein-Moleküls durch Lab und bakterielle Proteinasen. Bei kommerziell hergestelltem finnischen und internationalen Käsen Typ Emmentaler nahm die Beliebtheit mit steigendem Salzgehalt (0.3 – 1.3 g/100 g) und mit dem salzigen Geschmack zu (IDF et al., 2014). Um Bitterkeit und chemisch-metallischen Geschmack zu vermeiden, weisen daher viele Käse Typ Emmentaler Salzgehalte zwischen 0.8 und 1.7 g/100 g auf, höher als Emmentaler AOP mit nur 0.34% (n= 2997, Minimum 0.10%, Maximum 0.55%). Ausserdem spielen die Konzentrationen von Glutamat und Succinat eine wichtige Rolle in der wahrnehmbaren Intensität der Umami-Note von Käse Typ Emmentaler, insbesondere bei länger gereiften Käsen, bei denen die Proteolyse fortgeschritten ist: die Aminosäure Glutamat wird bei der Proteolyse freigesetzt und Succinat wird aus dem Wood-Workman-Zyklus gewonnen (siehe Abschnitt "Propionsäurebakterien").

Die Reifungsdauer von Käse Typ Emmentaler ist ein weiterer wichtiger Faktor, welcher die Menge der flavouraktiven flüchtigen Stoffe beeinflusst.

Käse Typ Emmentaler-Sorten, die in der Regel nur kurz gereift sind, wie beispielsweise Fol Epi oder Leerdamer, weisen häufig grössere Mengen von Diacetyl und Acetoin auf, die sich beide durch eine ausgeprägte Butternote auszeichnen. Andere Keton-Verbindungen sowie Substanzen aus der Gruppe der Laktone tragen ebenfalls zur buttrigen sowie zu einer milchigen Note bei (Abbildung 11).

Im Gegensatz dazu nimmt der Anteil der Carbonsäuren mit längerer Reifung zu. Wie bei jeder Käsesorte tragen kurzkettige Carbonsäuren zu den säuerlichen, käsigen Geschmacksnoten bei. In höheren Konzentrationen sind kurzkettige Säuren meist mit unerwünschten Geschmacksmerkmalen verbunden, wie z. B. mit lipolytischen und ranzigen Noten. Mit längerer Reifungszeit steigt auch die Menge der Verbindungen aus der Ester-, Alkohol- und der Indol-Familie (Abbildung 11). Ester und Alkohole sind für ihren fruchtigen Charakter bekannt, Verbindungen aus der Indol-Familie zeichnen sich durch animalische Noten aus.

Von den leicht flüchtigen und reaktiven Schwefelverbindungen mit ihren zwiebel-, kohl- oder knoblauchähnlichen Noten haben die Konzentrationen von Dimethylsulfid und Mercaptan einen besonders grossen Einfluss auf den wahrgenommenen Geschmack von Käse Typ Emmentaler.

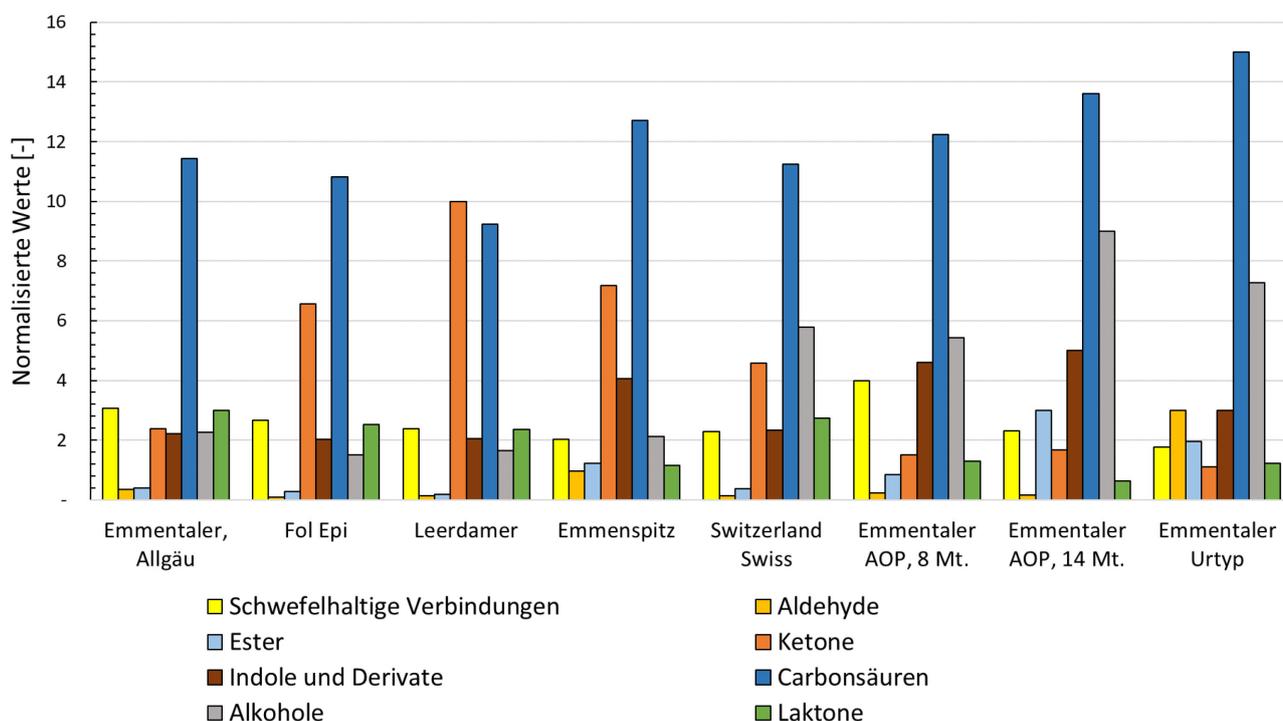


Abbildung 11: Flavourprofil von acht Grosslochkäsesorten. Klassifizierung der flüchtigen Verbindungen in acht chemische Familien (Schwefelverbindungen, Aldehyde, Ester, Ketone, Indole und Derivate, Carbonsäuren, Alkohole und Laktone). (Agroscope, unveröffentlichte Daten)

8 Wichtiger Beitrag zu einer gesunden Ernährung

Kurzkettige Fettsäuren, insbesondere Propionsäure, können unerwünschte Entzündungsvorgänge im menschlichen Körper hemmen, z.B. bei Autoimmunkrankheiten. Auch bei der Regulation des Zucker- und Fettstoffwechsels spielen sie offenbar eine günstige Rolle. Kurzkettige Fettsäuren werden auf natürliche Weise bei der Fermentation von Nahrungsfasern im Dickdarm gebildet. Bei einer westlichen, ballaststoffarmen Ernährung kann der Verzehr von fermentierten Lebensmitteln mit Propionsäuregärung, wie z.B. Emmentaler AOP und anderen Käsen vom Typ Emmentaler, einen wesentlichen Beitrag zur Versorgung mit Propionsäure leisten. Der Genuss von Käse Typ Emmentaler kann deshalb eine vernünftige Alternative zu einem Präparat mit synthetisch hergestelltem Propionat sein (Abbildung 12).

Bakterielle Stoffwechselprodukte sorgen für die Kommunikation zwischen der Darmmikrobiota und dem Immunsystem und beeinflussen das Gleichgewicht zwischen pro- und anti-inflammatorischen Mechanismen, das für das intestinale Immunsystem wesentlich ist. Wissenschaftliche Studien deuten darauf hin, dass die Erhöhung des Gehalts an kurzkettigen Fettsäuren ein vielversprechender Weg ist, um das Risiko von Überreaktionen des Immunsystems durch vorbeugende Ernährung zu verringern: Wenn zu wenig kurzkettige Fettsäuren im Darm vorhanden sind, kann auch die Zahl der regulatorischen T-Lymphozyten zu niedrig sein. In einem gesunden Körper verhindern diese Zellen normalerweise die Entstehung von Autoimmunerkrankungen (d.h. Krankheiten, bei denen das Immunsystem zu stark oder falsch reagiert und den Körper selbst angreift). Dies führt zu Entzündungsreaktionen im Körper, die das Gewebe schädigen. Eine ausreichende Versorgung mit kurzkettigen Fettsäuren wirkt wie eine "Entzündungsbremse" und hilft dem Körper, sich selbst zu helfen.

Milchoriginäre Propionsäurebakterien wie *P. freudenreichii* sind in der Lage, zahlreiche biologisch aktive Verbindungen zu produzieren. Neben Propionsäure können sie auch eine breite Palette funktioneller Biomoleküle produzieren, wie z. B. Vitamine der B-Gruppe (insbesondere Vitamin B₁₂, Folsäure, Vitamin B₂), Trehalose, Bacteriocine und bifidogene Faktoren wie DHNA (1,4-Dihydroxy-2-naphthoesäure). Einige Stämme von *P. freudenreichii* können zudem freie Linolsäure in konjugierte Linolsäure (CLA) umwandeln. Das Hauptisomer, das produziert wird, ist die cis-9, trans-11-Octadecadiensäure, die als vorteilhaft für die Prävention von chronischen Entzündungen gilt. *P. freudenreichii* kann sich an Darmepithelzellen und Darmschleim anheften und somit wichtige Funktionen der Darmschleimhaut, einschliesslich Zellproliferation und Immunreaktionen, beeinflussen.

Vollfette Käse Typ Emmentaler wie Emmentaler AOP und andere Käse Typ Emmentaler sind die einzigen Lebensmittel, die natürlicherweise bedeutende Mengen an allen drei relevanten kurzkettigen Fettsäuren Essig-, Propion- und Buttersäure, sowie eine grosse Anzahl an lebenden Zellen von *P. freudenreichii* enthalten. Da es sich beim Emmentaler AOP zudem um einen Rohmilchkäse handelt, ist es durchaus plausibel anzunehmen, dass weitere positive Wirkungen auf das Immunsystem zu erwarten sind. Die Ernährung mit Rohmilchprodukten begünstigt die Vielfalt des Mikrobioms im Darm, schützt vor Allergien und fördert damit einen guten Gesundheitszustand.



Abbildung 12: Käse mit Propionsäuregärung wie Emmentaler AOP oder Emmentaler enthalten mehr kurzkettige Fettsäuren, insbesondere Propionsäure. Dies trägt bei ballaststoffarmer Ernährung besonders zur Versorgung mit diesen Fettsäuren bei.

9 Käsefehler

Bei Käse Typ Emmentaler sind Fehler in der Lochbildung und die Bildung von Rissen (Pick, Gläs) und Spalten ein gravierender Qualitätsmangel, insbesondere für Emmentaler AOP. Die meisten dieser Mängel stehen im Zusammenhang mit einer übermässigen Gasbildung, die durch eine unkontrollierte Propionsäuregärung, die Bildung biogener Amine durch Decarboxylierung freier Aminosäuren oder die Bildung von Wasserstoff, die entweder durch Clostridien- oder durch Enterobakterienarten entstehen kann. Eine übermässige CO₂-Bildung während der Lagerung im Gärraum führt zu übergrossen und ovalen Löchern, während in fortgeschrittenen Reifungsstadien der Käsekörper dem Druck der anhaltenden Gasbildung oft nicht standhält und so Risse oder Spalten entstehen.

Unter "Nachgärung" versteht man eine übermässige Gasbildung in fortgeschrittenen Reifungsstadien, die meist durch Propionsäurebakterien mit hoher Aspartaseaktivität (Abbildung 13) verursacht wird. Auch die Bildung von biogenen Aminen durch Mikroorganismen, die Aminosäuren decarboxylieren können (Abbildung 14A) führt zu Symptomen einer Nachgärung. Diese beiden Fehler treten hauptsächlich in fortgeschrittenen Stadien der Reifung auf, wenn freie Aminosäuren als Folge der fortschreitenden Proteolyse zunehmend verfügbar werden.



Abbildung 13: Emmentaler AOP mit übermässiger Gasbildung (Laib unten) als Folge einer Nachgärung durch Propionsäurebakterien. (Nachdruck aus Fröhlich-Wyder M. T., Bisig W., Guggisberg D., Bachmann H.-P., Guggenbühl B., Turgay M., Wechsler D. (2022). *Swiss-Type Cheeses*. In: McSweeney P.L.H. and McNamara J.P. (Eds.) *Encyclopedia of Dairy Sciences* (third edition), Academic Press (Elsevier), 386-399.)

Käse Typ Emmentaler sind besonders anfällig für Fehlgärungen durch Clostridien, deren Wachstum neben übermässiger Gasbildung auch zu schweren Geschmacksstörungen führt. Die Buttersäuregärung (auch "Spätblähung" genannt) wird meist durch *Clostridium tyrobutyricum*, gelegentlich auch durch *Clostridium beijerinckii* verursacht und beinhaltet die Umwandlung von Laktat in Buttersäure, Essigsäure, CO₂ und Wasserstoff. Buttersäure wird schon in geringen Konzentrationen als Fehlgeschmack wahrgenommen. Im Gegensatz dazu führt das Wachstum der stark proteolytischen Spezies *Clostridium sporogenes* zur Bildung von weissen Flecken und einem fauligen Fehlgeschmack.

Eine frühe Gasbildung vor der Propionsäuregärung durch unerwünschte Mikroorganismen, wie coliforme Keime oder obligat heterofermentative Milchsäurebakterien, führt zu einer unsaubereren, schwammartigen Lochbildung. Solche Käse enthalten oft zusammengewachsene Löcher mit walnussähnlichen Oberflächen (Abbildung 14B).

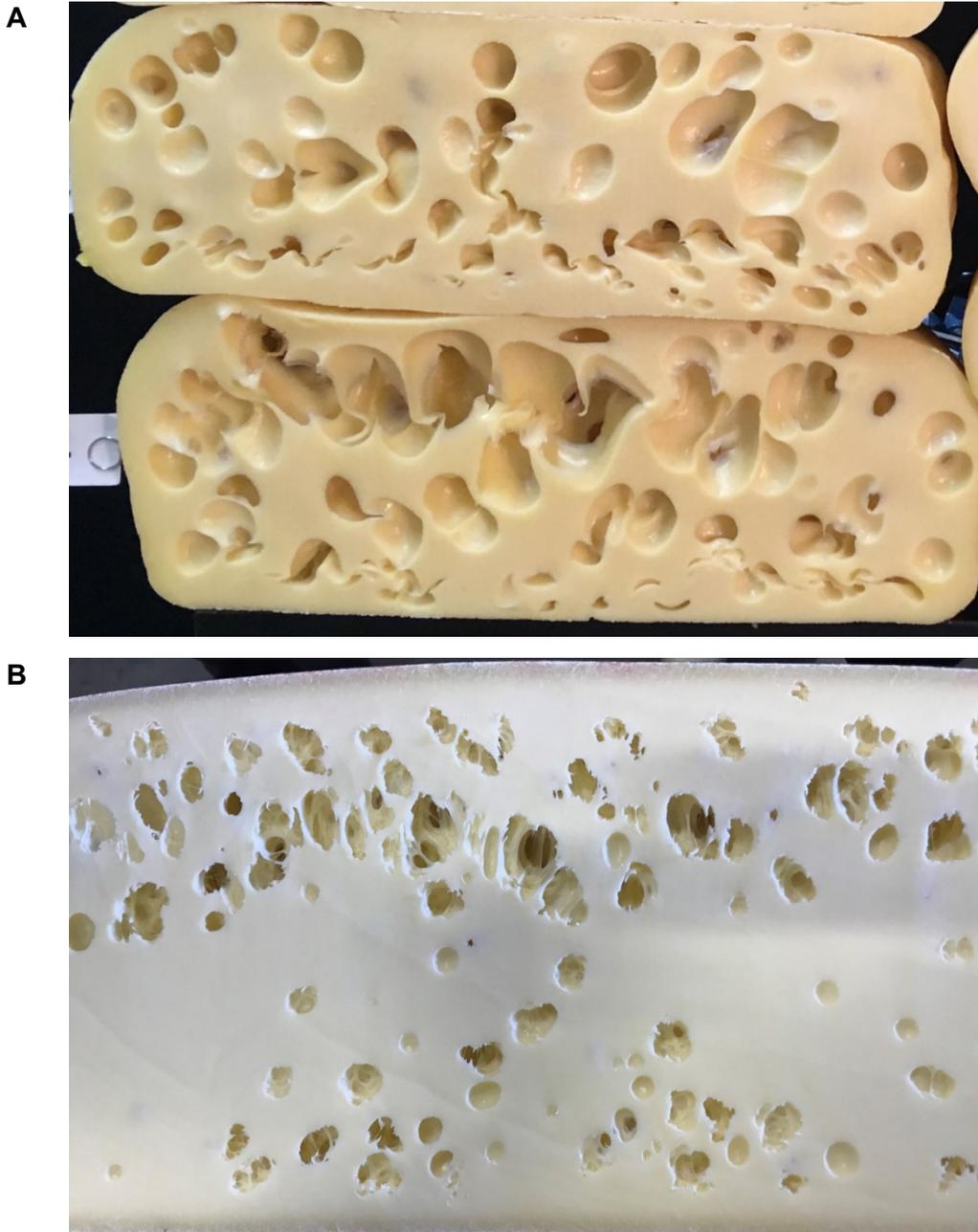


Abbildung 14: Grosslockkäse mit übermässiger und unsauberer Lochbildung (A), verursacht durch die Bildung von biogenen Aminen durch *Lactobacillus wasatchensis* und die damit verbundene Bildung von CO_2 . B) Grosslockkäse mit stark gestörter Lochbildung als Folge einer frühen Gasbildung (CO_2 , H_2) durch Enterobacteriaceen (*Klebsiella pneumoniae*). (Nachdruck aus Fröhlich-Wyder M. T., Bisig W., Guggisberg D., Bachmann H.-P., Guggenbühl B., Turgay M., Wechsler D. (2022). *Swiss-Type Cheeses*. In: McSweeney P.L.H. and McNamara J.P. (Eds.) *Encyclopedia of Dairy Sciences* (third edition), Academic Press (Elsevier), 386-399.)

Zur Herstellung von Käse Typ Emmentaler wird das Gemisch aus Käsebruch und Molke in der Regel unter Anwendung eines Molkespiegels abgefüllt. Unterbrechungen des Abfüllvorgangs können, wie z. B. wenn der bereits abgefüllte Käsebruch trocken läuft, zu Lufteinschlüssen führen. Der resultierende Fehler ist im gereiften Käse leicht zu erkennen, da die lineare Anordnung vieler kleiner Löcher die Lage der Unterbrechung anzeigt. Unzureichendes Pressen ruft ebenfalls einen ähnlichen technischen Lochungsfehler hervor, der als Vielsatz bezeichnet wird. Eine zu sparsame Lochbildung ist ein weiteres technisches Problem und wird durch die Entfernung von Lochansatzstellen durch Milchvorbehandlungen wie Mikrofiltration, Zentrifugation oder Bactofugation verursacht (siehe Lochbildung). Eine unzureichende Lochbildung kann auch auf eine verzögerte Propionsäuregärung zurückzuführen sein, die durch einen anfänglich zu niedrigen pH-Wert (< 5.20) des Käses verursacht wird (Abbildung 15).



Abbildung 15: Grosslochkäse mit Gläs verursacht durch eine zu sparsame Lochung. (Nachdruck aus Fröhlich-Wyder M. T., Bisig W., Guggisberg D., Bachmann H.-P., Guggenbühl B., Turgay M., Wechsler D. (2022). Swiss-Type Cheeses. In: McSweeney P.L.H. and McNamara J.P. (Eds.) *Encyclopedia of Dairy Sciences* (third edition), Academic Press (Elsevier), 386-399.)

Bei grossformatigen Käse Typ Emmentalern wie Emmentaler AOP können erhebliche zonale Unterschiede im Grad der Proteolyse zwischen Kern- und Randzone auftreten. Da die äussere Zone schneller abkühlt, ist die Reifungsflora in dieser Zone tendenziell proteolytisch aktiver, was zu einer kurzen und festen Textur führt, die zur Bildung von Rissen neigt.

10 Hygienische Sicherheit

Die Herstellungsbedingungen und die minimale Reifezeit der verschiedenen Sorten von Käse Typ Emmentaler sind je nach gewünschter Festigkeit (halbhart, hart) und der Art der verwendeten Säuerungskultur (mesophil oder thermophil) sehr unterschiedlich. Um die hygienische Sicherheit von Käse Typ Emmentaler mit niedriger Brenntemperatur zu gewährleisten, können zusätzliche technologische Maßnahmen bei der Vorbehandlung der Milch erforderlich sein. Bei Käse Typ Emmentaler-Sorten, bei denen der Käsebruch auf weniger als 48°C erwärmt wird, können Krankheitserreger wie *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* und enteropathogene Stämme von *Escherichia coli* ein Risiko für die Sicherheit des Käses darstellen. Deshalb wird bei der Herstellung von solchen Käse Typ Emmentalern die Milch in der Regel pasteurisiert. Verschiedene traditionelle Käse Typ Emmentaler wie Emmentaler AOP, Emmental de Savoie IGP und Emmental Français est-central IGP werden dagegen aus Rohmilch hergestellt. Trotz intensiver hygienischer Bemühungen kann eine Kontamination der Rohmilch mit pathogenen Mikroorganismen nie völlig ausgeschlossen werden. Infektionskrankheiten bei Milchkühen oder Verunreinigungen der Milch während des Melkens, der Lagerung, des Transports oder der Verarbeitung stellen potenzielle Gefahren dar. Dies hat entsprechend zu Diskussionen über die hygienische Sicherheit von Rohmilchkäsen geführt. Untersuchungen haben gezeigt, dass die hygienische Sicherheit von Emmentaler AOP aus Rohmilch mit derjenigen von Käsen aus pasteurisierter Milch vergleichbar ist. Bereits nach dem Brennen des Käsebruchs ist eine erhebliche Reduktion der Keimzahlen von pathogenen Mikroorganismen festzustellen, und innerhalb der ersten Woche der Reifung verschwinden diese fast vollständig. Es besteht ein allgemeiner Konsens darüber, dass bei Hartkäsen mit einer Reifungsdauer von mehr als 60 Tagen keine pathogenen Mikroorganismen mehr vorhanden sind. Das Verschwinden der pathogenen Mikroorganismen in Emmentaler AOP lässt sich durch die kombinierte antagonistische Wirkung der Starterkultur, der langen Verweildauer des Bruchs bei Temperaturen über 50°C, der antimikrobiellen Wirkung von Milch-, Essig- und Propionsäure und der langen Reifezeit erklären. Die Bildung von Staphylokokken-Enterotoxinen ist ebenfalls unwahrscheinlich, da das Wachstum von Staphylokokken bereits kurz nach Beginn der Erhitzung des Käsebruchs gehemmt wird.

11 Weiterführende Literatur

- Bachmann, H.P., Spahr, U., 1995. The fate of potentially pathogenic bacteria in Swiss hard and semihard cheeses made from raw milk. *J. Dairy Sci.* 78, 476–483.
- Bisig, W., Guggisberg, D., Jakob, E., Turgay, M., Irmeler, S., Wechsler, D., & Fröhlich-Wyder, M.-T. (2019). The effect of NaCl and metabolic profile of propionibacteria on eye formation in experimental Swiss-type cheese. *International Dairy Journal*, 89, 86-95.
- Castada, H.Z., Hanas, K., Barringer, S.A., 2019. Swiss cheese flavor variability based on correlation of volatile flavor compounds, descriptive sensory attributes, and consumer preference. *Foods* 8(2) 78-94
- Correa-Oliveira R., Fachi J.L., Vieira A., Sato F.T., & Vinolo M.A., 2016. Regulation of immune cell function by short-chain fatty acids. *Clin Transl Immunology*, 5: e73.
- Falentin, H., Postollec, F., Parayre, S., Henaff, N., Le Bivic, P., Richoux, R., Thierry, A. & Sohler, D. (2010b). Specific metabolic activity of ripening bacteria quantified by real-time reverse transcription PCR throughout Emmental cheese manufacture. *International Journal of Food Microbiology*, 144, 10-19.
- Fröhlich-Wyder M.T., Bisig W., Guggisberg D., Jakob E., Turgay M., Wechsler D. (2017). Cheeses with propionic acid fermentation. In: P. L. H. McSweeney, P. F. Fox, P. D. Cotter and D. W. Everett (Eds.) *Cheese: chemistry, physics and microbiology*, Vol 2: *Cheese Technology and Major Cheese Groups* (4th edn., pp 889-910), Elsevier, Academic Press, Amsterdam, The Netherlands.
- Guggisberg, D., Schuetz, P., Winkler, H., Amrein, R., Jakob, E., Fröhlich-Wyder, M.T., Irmeler, S., Bisig, W., Jerjen, I., Plamondon, M., Hofmann, J., Flisch, A., Wechsler, D., 2015. Mechanism and control of the eye formation in cheese. *Int. Dairy J.* 47, 118-127.
- Hartmann, K., Eugster-Meier, E., Fröhlich-Wyder, M.-T., Jakob, E., Wechsler, D., Ardö, Y., Düsterhöft, E.-M., Engels, W. J., Huppertz, T., Perotti, M. C., & Bergamini, C. V. (2017). Swiss-Type Cheeses (Propionic Acid Cheeses). In P. Papademas & T. Bintsis (Eds.), *Global Cheesemaking Technology: Cheese Quality and Characteristics* (Vol. 1, pp. 336-348): Wiley.
- IDF, Paquin, P., Ardö, Y., Bisig, W., Everett, D., Guinee, T. P., Hill, A., Hoffmann, W., Johnson, M. E., Jordan, K., Labrie, S., & Skeie, S. (2014). The importance of salt in the manufacturing and ripening of cheese (Die Bedeutung von Salz bei der Käseherstellung und –reifung). *IDF Special Issue 1401*. 92 pages. ISBN 978 90 822099 07 (English) / 978 90 822099 14 (deutschsprachige Ausgabe)
- Lamichhane, P., Auty, M., Kelly, A.L., & Sheehan, J. (2020). Dynamic in situ imaging of semi-hard cheese microstructure under large-strain tensile deformation: Understanding structure-fracture relationships. *International Dairy Journal*, 103, 1-9.
- Lamichhane, P., Kelly, A.L., & Sheehan, J. (2018). Symposium review: Structure-function relationships in cheese. *Journal of Dairy Science*, 101, 2692-2709.
- Swiss Federal Office for Agriculture, 2006. Product specification Emmentaler PDO, revision 2018. <https://www.blw.admin.ch/blw/fr/home/instrumente/kennzeichnung/ursprungsbezeichnungen-und-geografische-angaben.html>
- Thierry, A., Maillard, M.-B., Herve, C., Richoux, R. & Lortal, S. (2004). Varied volatile compounds are produced by *Propionibacterium freudenreichii* in Emmental cheese. *Food Chemistry*, 87, 439-446.
- Turgay M., Bachmann H.-P., Irmeler S., Von Ah U., Fröhlich-Wyder M. T., Falentin H., Deutsch S.-M., Jan G., Thierry A. (2020). *Propionibacterium* spp. and *Acidipropionibacterium* spp. In: *Encyclopedia of Dairy Science*. Ed. 3. Reference Module in Food Science, Elsevier Ltd.

Im Gedenken an Daniel Wechsler

verstorben am 15. Dezember 2021



Daniel Wechsler hat während knapp 20 Jahren die Käseforschung bei Agroscope stark mitgeprägt. Viele wertvolle Forschungsergebnisse aus seiner Zeit zum Käse Typ Emmentaler und zu anderen Käsesorten kommen heute in der Käsebranche zur Anwendung. Zusammen mit Kolleginnen und Kollegen bei Agroscope und aus gewerblichen und industriellen Betrieben gewann er viele wertvolle Erkenntnisse. Diese tragen zu einer hohen Qualität und Effizienz der Herstellung und Reifung von Schweizer Käse bei.

Die Erforschung der Bildung von biogenen Aminen, CO₂ und Geschmacksfehlern durch *Lentilactobacillus parabuchneri* (bisher *Lactobacillus parabuchneri*) oder *Paucilactobacillus wasatchensis* (bisher *Lactobacillus wasatchensis*), die Aufklärung des Einflusses von feinen Heupartikeln auf den Lochbildungsvorgang oder die Käsefehler-Diagnostik mittels qPCR und weiteren Methoden der Molekularbiologie sind nur drei Beispiele von Errungenschaften aus Daniels Zeit.

Wir haben in Daniel einen motivierten Forscher und geschätzten Kollegen verloren.