

Profil der Listerienkontamination von Schweizer Emmentaler-Käse aus Rohmilch

Robert Aebi¹, Marc Mühlemann², Georges Bühlmann², Melchior Schällibaum² und Urs Spahr²

¹Pôle européen de gestion et d'économie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France

²Eidgenössische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Bern

Eingegangen 5. Dezember 2002, angenommen 21. März 2003

Einleitung

Lebensmittelsicherheit ist Stolz und Selbstverständnis bedeutender Wirtschaftszweige. Trotzdem traten und treten immer wieder Fälle von Lebensmittelkontaminationen chemischer, physikalischer oder mikrobiologischer Herkunft auf. Die Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (FAM) befasst sich mit der Entstehung, Fortpflanzung und Verminderung mikrobiologischer Gefahren und Risiken in Milch und Milchprodukten; Umstände, die den Export von Schweizer Käsespezialitäten erschweren sowie die Sicherheit der Verbraucher gefährden können. Um vergleichbar – nicht objektiv! – zu sein, sollten Beurteilungen von Expositionen quantitativ erfolgen. In der Vergangenheit wurden Beurteilungen für verschiedene Mikroorganismen publiziert (1, 2). Verschiedene Wege zur semi-quantitativen bis aufwändig quantitativen Beurteilung von Risiken wurden besprochen. Zu ihnen gehören der Ansatz über die Wahrscheinlichkeitstheorie (3), die Entwicklung eines generellen Rahmens für die quantitative mikrobiologische Risikobeurteilung (4) oder die Ermittlung der Gesamtgefahr eines Lebensmittelbetriebes aufgrund der Inspektion (5). Ausserdem wurden computergestützte Anwendungen wie das «Pathogen Modeling Program» in den USA (6) oder das «Food Micromodel» in England (7) entwickelt. Diesen Ansätzen und Anwendungen ist gemeinsam, dass sie oft nur von Risikofachkräften und Mathematikern verstanden werden und selten, wie vom Codex Alimentarius (8) gefordert, die ganze Nahrungsmittelkette vom Bauernhof bis zum Konsumenten abdecken. Zudem erschweren Zahlen, Annahmen und strukturelle Voraussetzungen die Risikokommunikation. Aus diesem

Umfeld heraus haben wir uns gefragt: Wäre es nicht anschaulich, Kontaminationen und deren Entstehung entlang des Veredelungsprozesses eines Produktes graphisch darzustellen? Wäre es nicht nötig, Kontaminationen mittels Gefahren und deren Quellen zu beschreiben, die eine konkrete Einflussnahme erlauben? Am Beispiel von Schweizer Emmentaler-Käse aus Rohmilch zeigen wir, wie sich Listerienkontaminationen (*Listeria monocytogenes*) von der Rohmilch bis zum Tafelkäse entwickeln. Zentrales Resultat ist das Kontaminationsprofil der Milchveredelung, in dem jeder Prozessstufe die Kontaminationen des Zwischenproduktes in numerischer und graphischer Form zugeordnet werden. Wahrscheinlichkeiten repräsentieren Expertenwissen, das auch – falls vorhanden – aus Daten und Stichproben geschätzt werden kann. Die Fortpflanzung der Kontaminationen entlang des Veredelungsprozesses beschreiben wir mit so genannten bedingten Übertragungswahrscheinlichkeiten bei gegebenen negativen Einflüssen.

Ansatz

Das Ziel der Arbeit ist eine praktikable, transparente und schnelle, quantitative Bewertung der Listerienkontamination von Schweizer Emmentaler-Käse aus Rohmilch, wie sie von der Rohstoffgewinnung über die Produktion bis zum Verkauf auftreten kann. Das Resultat ist ein Kontaminationsprofil der Milchveredelung, in dem jeder Prozessstufe die Kontaminationen des Zwischenproduktes in numerischer und graphischer Form zugeordnet werden. Oberstes Prinzip hierbei ist, Kontaminationen mittels Gefahren und deren Quellen (Einflussgrößen) quantitativ zu beschreiben (Kausalitätsprinzip). Die Bewertung der Gefahren erfolgt als Funktion von Zuständen der Einflussgrößen und deren Gefahrenpotential (Daten oder Expertenwissen). So können Strategien zur Verminderung der Kontamination entsprechend den Beiträgen der Einflussgrößen entwickelt werden (9).

Der Ansatz hat die Form einer «Risiko-Tanne» (Abb. 1): Der Stamm steht für die in aufsteigender Hierarchie angeordneten Veredelungsstufen. Die Äste der «Risiko-Tanne» stellen die zugehörigen Einflussgrößen (Gefahrenquellen) dar. Eine Gabelung eines Astes entspricht der Erklärung der ursprünglichen Gefahrenquelle durch differenziertere Einflussgrößen. Das Ziel dieser Arbeit befindet sich auf Schulterhöhe der Risikotanne: Die *L. monocytogenes*-Kontamination von Tafelkäse. Weitere Beiträge werden uns zum Wipfel der Risikotanne führen: Dieser repräsentiert das sich entlang des Veredelungsprozesses über die einzelnen Stufen entwickelnde Risiko von Schweizer Emmentaler-Käse aus Rohmilch. Unter Risiko verstehen wir die gesamten, durch *L. monocytogenes*-Exposition beim Konsumenten verursachten materiellen Konsequenzen, welche nach der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens gewichtet werden.

In unserem Modell der «Risiko-Tanne» besitzt jede Stufe ihr (Zwischen-)Produkt: vom Bauernhof mit Rohmilch bis zum in der Schweiz verkauften Tafelkäse (offen oder abgepackt verkaufter Emmentaler-Käse aus Rohmilch, Abb. 2). Für uns sind die Stufenzielgrößen Wahrscheinlichkeiten mit den Symbolen u DL, n DL und

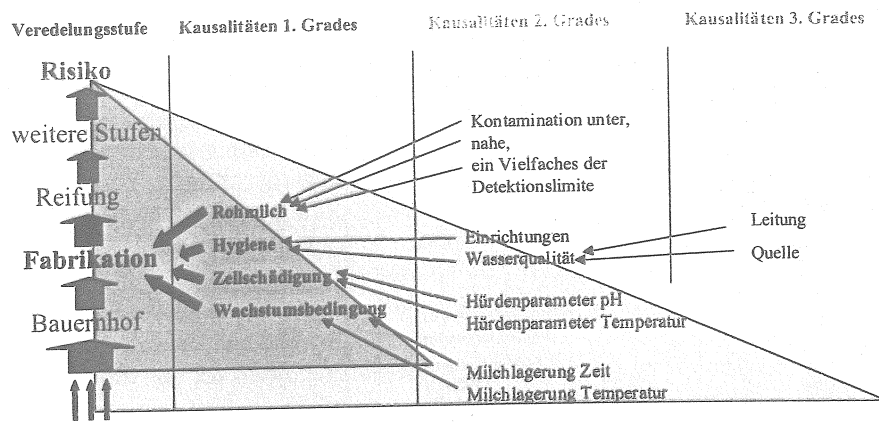


Abbildung 1 Die Risiko-Tanne. Hierarchische und kausale Risikobeurteilung basierend auf Expertenwissen und Wahrscheinlichkeitsrechnung

v DL, welche für «Kontamination durch Listerien unter, nahe bzw. um ein Vielfaches über Detektionslimite (DL)» stehen. Die Größenordnung der Kontamination wird für u, n bzw. v DL auf 0–1, 2–10 bzw. 11–100 *L. monocytogenes* pro Gramm Teig oder pro Quadratzentimeter Teigoberfläche bzw. Rinde beziffert. Wir nennen das Modell hierarchisch, weil die Stufenzielgröße die einzige Information ist, die von einer Stufe zur nächsten gelangt.

Mit welcher Chance kommen *Listeria monocytogenes* in und auf den Käse?

Dazu gibt es zunächst noch keine Antwort, dafür zwei neue Fragen: 1. Wie gross ist die Chance für die Gelegenheit? 2. Wie gross ist die Chance, in bzw. an den Käse zu gelangen, falls die Gelegenheit eingetreten ist?

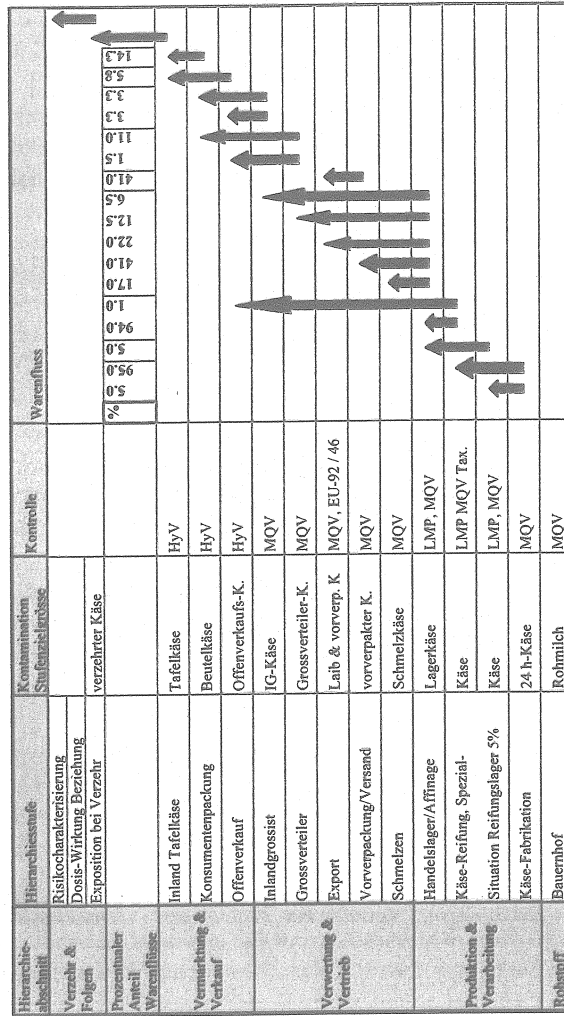
Betrachten wir das gleiche Problem im vertrauten Kontext von Jasskarten. Gegeben sind die gewohnten 36 Spielkarten mit den vier «As». Wir ziehen Karten ohne Zurücklegen. Wie gross ist die Wahrscheinlichkeit, dass die zweite gezogene Karte ein «As» ist, d.h. $P(2. \text{Karte } \langle \text{As} \rangle)$, wobei P für Probability (Wahrscheinlichkeit) steht? Wir wissen, dass:

$$P(1. \text{Karte } \langle \text{As} \rangle) = 4/36 = 1/9 = 0.111\dots$$

$$P(2. \text{Karte } \langle \text{As} \rangle / 1. \text{Karte } \langle \text{As} \rangle) = 3/35$$

Letzteres ist die bedingte Wahrscheinlichkeit von 2. Karte «As» unter der Bedingung, dass 1. Karte «As» (oder: gegeben 1. Karte «As», wie der Mathematiker sagt). Analog gilt:

$$P(2. \text{Karte } \langle \text{As} \rangle / 1. \text{Karte kein } \langle \text{As} \rangle) = 4/35.$$



HyV Hygieneverordnung 817.051
 MQV: Milchqualitätsverordnung 916.351.0
 EU-92 / 46: EU-Richtlinie 92/46
 LMP: Listerien Monitoring Programm der Schweiz. Käsewirtschaft
 Tax.: Taxation
 K.: Käse
 IG: Inlandgrossist

Abbildung 2 Schweizer Emmentaler aus Rohmilch: Warenflussdiagramm (% der Gesamtproduktion, ausgehend vom 24 h-Käse)

Nun zerlegen wir das uns interessierende Ereignis
 $\{2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle\} = (\{2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle\} \cap \{1. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle\}) \cup (\{2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle\} \cap \{1. \text{ Karte kein } \langle \text{As} \rangle\})$
 in zwei Ereignisse mit leerem Durchschnitt. Für seine Wahrscheinlichkeit gilt dann:
 $P(2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle) = P(2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle \text{ und } 1. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle) + P(2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle \text{ und } 1. \text{ Karte kein } \langle \text{As} \rangle)$
 $= P(2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle / 1. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle) \times P(1. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle) + P(2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle / 1. \text{ Karte kein } \langle \text{As} \rangle) \times P(1. \text{ Karte kein } \langle \text{As} \rangle)$
 $= 3/35 \times 4/36 + 4/35 \times 32/36$
 $= 4 \times (3 + 32) / (35 \times 36) = 1/9 = 0.111\dots$

Diese Darstellung der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses nennt sich Satz der totalen Wahrscheinlichkeit (10).

Um uns von der Richtigkeit des Konzepts der bedingten Wahrscheinlichkeiten anhand unseres Jasskartenbeispiels zu überzeugen, betrachten wir das Ziehen von zwei Karten ohne Zurücklegen. Es ergeben sich 36×35 Paare von Karten, die alle dieselbe Wahrscheinlichkeit besitzen. Bei 4×35 Paaren ist ein «As» an 2. Stelle:

$$P(2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle) = 4 \times 35 / (35 \times 36) = 1/9$$

Unsere Absicht ist es, die Chance zu bestimmen, mit welcher die Listerien in bzw. auf den Käse kommen. Dazu identifizieren wir die entsprechenden Ereignisse und finden, dass:

$$P(1. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle) = P(\text{Gelegenheit})$$

$$P(2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle / 1. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle) = P(\text{Keim auf Käse} / \text{Gelegenheit})$$

$$P(2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle / 1. \text{ Karte kein } \langle \text{As} \rangle) = P(\text{Keim auf Käse} / \text{keine Gelegenheit})$$

bekannt sind. Mit dem Satz der totalen Wahrscheinlichkeit können wir nun die gesuchte Wahrscheinlichkeit

$$P(2. \text{ Karte } \langle \text{As} \rangle) = P(\text{Keim auf Käse})$$

bestimmen.

Umsetzung

Die allgegenwärtige Zufälligkeit schürt Unsicherheit und fördert damit den fehlerhaften Umgang mit Gefahren und Risiken. Folglich werden zur Beschreibung, Bewertung und Minderung von Kontaminationswahrscheinlichkeiten (Expositionen) zwar so viele Einflussgrößen wie nötig doch grundsätzlich so wenige wie möglich berücksichtigt. Expositionsbeurteilungen sollten so einfach wie möglich gestaltet und Informationen so sparsam und präzise wie möglich verwendet werden (9). Allerdings würden Experten vorzugsweise alle bekannten Einflussgrößen berücksichtigen. Deshalb erweist es sich als nützlich, die Einflussgrößen in verschiedene Kausalitätsklassen zu unterteilen (Abb. 1). Die Kausalitäten ersten Grades umfassen grundlegende Einflussgrößen (auf Stufe Bauernhof z.B. Mastitis vorhanden *vs.* nicht vorhanden, Haltungqualität bedenklich oder unbefriedigend *vs.* befriedigend, Tab. 1). Die Kausalitäten zweiten Grades erklären das Zustandekommen der Kausalitäten ersten Grades (z.B. könnte Haltungqualität erklärt werden mit Fütterung,

Tabelle 1
Stufen, Einflussgrößen und deren Zustände bis zur Expositionsbeurteilung

Hierarchiestufe	Einflussgrößen	Zustände
Offenverkauf	Je Teig und Rinde Offenverkaufskäse Separierung Käsesorten in Vitrine Gerätehygiene asymptomatische Träger	u DL/n DL/v DL nein/ja ungenügend/effizient ja/nein
Inlandgrossist, schlechte hygienische Situation	Je Teig und Rinde Lagerkäse ¹ Abtrennung von anderen Käsen Schneideplatzhygiene LKW-Transport-Kontamination asymptomatische Träger	u DL/n DL/v DL ² nein/ja ungenügend/effizient vorhanden/nicht vorhanden ja/nein
Inlandgrossist, gute hygienische Situation:	Je Teig und Rinde Lagerkäse ¹ Bandreinigung/Rollenreinigung Zulieferung zum Einbeuteln	u DL/n DL/v DL ² nicht optimal/optimal manuell/maschinell
Grossverteiler	Je Teig und Rinde Lagerkäse ¹ Rinde entfernen Bandreinigung/Rollenreinigung Zulieferung zum Einbeuteln	u DL/n DL/v DL ² nein/ja nicht optimal/optimal manuell/maschinell
Vorverpackung/ Versand	Je Teig und Rinde Lagerkäse ¹ Rinde entfernen Bandreinigung/Rollenreinigung	u DL/n DL/v D ² nein/ja nicht optimal/optimal
Handelslager/Affinage	Je Teig und Rinde Käse ¹ Kreuzkontaminationen über: Reifungsart Käsepflege mangelhafte Desinfektion Mikrobiolog. Eingangskontrolle zielgerichtete Verwertung	u DL/n DL/v DL ² feucht/trocken gelagert, mild zentral/mobil ja/nein nein/ja nein/ja
Käse-Reifung	24h-Käse (homogene Masse) Prozess Schweine-stall Hygiene (Arbeit und Einrichtung)	u DL/n DL/v DL ² maschinell/manuell angegliedert/fehlt mangelhaft/gut
Käse-Fabrikation	Rohmilch hygienische Praxis Einrichtung hygienische Praxis Wasser Wachstum Erreger Abtötung durch Hürdenparameter	u DL/n DL/v DL ² Biofilm/sauber Quelle/Leitung geben/nicht gegeben nicht erfüllt/erfüllt
Bauernhof	<i>L. monocytogenes</i> -Mastitis Haltungsqualität	ja/nein bedenklich/unbefriedigend/ befriedigend

¹Teig und Rinde wurden jeweils separat auf die Zustände der Einflussgrößen und, wo möglich, auf deren Beeinflussung der Kontamination bewertet.

²u DL: Kontamination unter der Detektionslimite/n DL: Kontamination nahe der Detektionslimite/v DL: Kontamination um ein Vielfaches der Detektionslimite

Lagerstätte, Stallhygiene, Melkhygiene usw.). Konsequenterweise hänge die Melkhygiene von Kausalitäten dritten Grades wie Sauberkeit des Tieres, Aufbinden des Schwanzes, Zitzenreinigung, manuelles oder maschinelles Melken, Sauberkeit der Melkutensilien, Personalhygiene des Melkers usw. ab. Als Beispiel eines MS-Excel-Modellaufbaus diene die Darstellung der Stufe «Bauernhof» (Abb. 3).

Der Aufbau der «Risiko-Tanne» als Arbeitsanleitung:

1. Bestimmung und Benennung der Stufen
2. Auswahl der wichtigsten Einflussgrößen (Kausalitäten ersten Grades)
3. Falls angebracht: Auswahl der wichtigsten Kausalitäten zweiten Grades
4. Bestimmung der Zustände der Einflussgrößen (Gefahrenquellen)
5. Bestimmung der negativen Einflüsse, d.h. bezüglich Kontamination entscheidende Kombinationen von Zuständen der Einflussgrößen (Gefahren)
6. Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten der negativen Einflüsse (Daten, Beurteilung)
7. Bestimmung der gefährlichen Kombinationen aus Kontamination der Vorstufe und den negativen Einflüssen der aktuellen Stufe. Die Wahrscheinlichkeiten dieser gefährlichen Kombinationen ergeben sich aufgrund ihrer Unabhängigkeit durch Multiplikation der einzelnen Wahrscheinlichkeiten.
8. Bestimmung der bedingten Kontaminationswahrscheinlichkeiten unter, nahe und ein Vielfaches der Detektionslimite (DL) unter den gefährlichen Kombinationen aus Punkt 7
9. Berechnung der Kontaminationsverteilung unter, nahe und ein Vielfaches der Detektionslimite (DL) des Milchproduktes der betrachteten Veredelungsstufe nach dem Satz der totalen Wahrscheinlichkeit

Die Organisation eines Projektes «Expositionsbewertung» erfolgt in vier Phasen mit eingebautem Feedback:

1. Befragung von Experten und Praktikern
2. Systementwurf nach Stufen und Kausalitäten
3. Stufenweise Überprüfung der Modellierung durch Experten der entsprechenden Stufe
4. Stufenübergreifender Systemabgleich durch alle beteiligten Experten

Kontamination und Kausalität

Unser Ziel ist ein Kontaminationsprofil der Milchveredelung zu Emmentaler-Käse. Tabelle 1 listet die Hierarchiestufen von Bauernhof bis Offenverkauf sowie Einflussgrößen und deren Zustände auf. Prominente Betrachtung genießt die Stufe Käse-Fabrikation, die eine der Kernkompetenzen der FAM darstellt. Im Folgenden wird für alle Stufen das für den Modellansatz benötigte Wissen aufbereitet.

Bauernhof

Listerien finden sich ubiquitär in Boden, Wasser und Pflanzenmaterial sowie in schlecht fermentierten Silagen. Diese Umgebungen sind die natürlichen Reservoirs

Einflussgrößen*Listeria monocytogenes*-Mastitis (Lm-M)

ja (%)	nein (%)
0,025	99,975

Haltungsqualität (HQ)

bedenklich (%)	unbefriedigend (%)	befriedigend (%)
1,5	14,5	84

Negative Einflüsse

Negative Einflüsse Bauernhof	Zustandskombinationen der Einflussgrößen Lm-M	HQ	Wahrscheinlichkeit des negativen Einflusses in %
EB1	ja	beliebig	0,025
EB2	nein	bedenklich	1,500
EB3	nein	unbefriedigend	14,496
EB4	nein	befriedigend	83,979
			100

Übertragungswahrscheinlichkeiten der Kontaminationen

Bedingte Wahrscheinlichkeit $P(K/EB_i)$ einer Kontamination K der Rohmilch unter (u), nahe T (n) bzw. ein Vielfaches (v) der Detektionslimite in % gegeben negative Einflüsse Bauernhof (EBi)

$P(K=./EB_i)$	$P(K=u./)$	$P(K=n./)$	$P(K=v./)$
EB1	40	30	30
EB2	94	4	2
EB3	97	2	1
EB4	100	0	0

Berechnung der Kontaminationswahrscheinlichkeit der Rohmilch

Totale Wahrscheinlichkeit $P(K=.)$ einer Kontamination unter (u), nahe (n) bzw. einem Vielfachen (v) der Detektionslimite wobei $P(K=.) = \sum P(K=./EB_i) \cdot P(EB_i)$

$P(K=u)$	$P(K=n)$	$P(K=v)$
99,46	0,36	0,18

Abbildung 3 Modell auf Stufe Bauernhof

für Listerien und bilden die Ursprungskontamination, welche auf die Nahrungsmittelkette übertreten kann. Listerien werden in Fäkalien von 37 verschiedenen, meist asymptomatischen Säugetierarten nachgewiesen. Generell wird in weidenden Kühen ein tieferer Prozentsatz fäkal kontaminierter Tiere gefunden als in mit Silage gefütterten (11). In der Schweiz wird nur Milch aus der Silo-Verbotszone für die Fabrikation von Rohmilchkäse eingesetzt. In der Silo-Verbotszone enthielten in einer Untersuchung der FAM 0,125 % der Lieferantenmilchproben *L. monocytogenes* (12). Kühe können auch an *L. monocytogenes*-Mastitis erkranken, wobei die Erkrankung sich meistens nur in einem Euterviertel manifestiert (13). International wird mit einer Inzidenz von 0,01 % bis 0,1 % gerechnet (14). Aufgrund des freiwilligen Mastitis-Präventions- und Kontrollprogrammes der Schweiz, welches die Aufnahme der Eutergesundheit, Behandlung und – nötigenfalls – die Schlachtung therapieresistenter Kühe beinhaltet, rechnen wir im Modell mit einer Inzidenz von 0,025 % (Einflussgrösse). Zur Beurteilung der Haltunqsqualität wird die Keimbelastung der Lieferantenmilchen herangezogen (15).

Als Wahrscheinlichkeiten der Kontamination von Rohmilch mit *L. monocytogenes* ergeben sich u DL 99,46 %, n DL 0,36 % und v DL 0,18 %. Diese Werte werden im Kontaminationsprofil auf der Stufe Bauernhof eingetragen.

Käse-Fabrikation

Entsprechend der hierarchischen Struktur des Modells («Risiko-Tanne») fliesen als erste Einflussgrösse «Rohmilch» die berechneten Kontaminationswahrscheinlichkeiten aus der Vorstufe ein.

Bei 39 verschiedenen Stämmen von *L. monocytogenes* wurden die Lag-Phasen für das Wachstum bei 10°C mit 36,5 bis 68,9 Stunden bestimmt (16). Somit ziehen sie sich im Fall von Umweltkontaminationen über die übliche Dauer der Milchlagerung auf dem Bauernhof, beim Milchtransport und in der Käserei hin. Dies dürfte für *L. monocytogenes*-Mastitiden nicht gelten, da diese Stämme an das Medium Milch adaptiert sind.

92,7 % der gewerblichen Emmentalerkäsereien fabrizieren täglich, 3,8 % sechs mal und 3,1 % fünf mal wöchentlich (17). In den Käsereien wird die Morgenmilch sofort verkäst und die Abendmilch überstellt (Lagerungsdauer 12 h), wobei die Anforderungen bezüglich Milchlagertemperatur grösstenteils eingehalten werden und nur kleine Auswirkungen auf die Milchflora gemessen werden konnten (mehrere Einflussgrössen in Kombination) (18).

Die Fabrikation von Schweizer Emmentaler-Käse aus Rohmilch weist charakteristische Merkmale bei der Temperaturführung, dem pH-Verlauf und der Beigabe von Starterkulturen auf. Diese Merkmale erfahren während des Fabrikationsprozesses in kurzer Zeit grosse Veränderungen (19). Sie wirken als Hürden für das Wachstum von *L. monocytogenes*. Die Hürdentechnologie nach Leistner zielt darauf ab, die mikrobiologische Stabilität in einem Lebensmittel durch ein Aneinanderfügen mehrerer Hürden zu erreichen (20, 21). Hierbei müssen die einzelnen

Hürden für sich betrachtet keine vollständig bakterizide Wirkung haben, wohl aber ihre Kombination (22). Eine limitierte bakterizide Wirkung auf *L. monocytogenes* ist der Brenntemperatur (bei Emmentaler-Käse 52 °C bis 54 °C) zuzuschreiben (Einflussgrösse in Kombination), während sich der pH-Verlauf (Einflussgrösse in Kombination) sowie die Konkurrenz durch die zugegebenen Starterkulturen bei der Fabrikation (nicht als Einflussgrösse berücksichtigt) lediglich bakteriostatisch auswirken dürften. D-Werte (Reduktion um 1 log KBE/Zeiteinheit) für *L. monocytogenes* verhalten sich zwischen 50 °C bis 75 °C in verschiedenen Flüssigmedien und Lebensmitteln linear. Für in Milch suspendierte *L. monocytogenes* wurden D-Werte von 38,2 min (52,2 °C), 7,4 min (57,8 °C) und 0,12 min (68,9 °C) gefunden (16). Unter isolierter Betrachtung des Hürdenparameters Brenntemperatur kann eine Reduktion der vorhandenen Kontamination in der Grössenordnung von 2–3 log KBE/ml erwartet werden.

Die pH-Kardinalswerte für das Wachstum von *L. monocytogenes* betragen minimal 4,4, optimal 7,0 und maximal 9,6. Im Verlaufe der Fabrikation sinkt der pH-Wert der Milch von 6,3 auf 5,2 im 24-Stunden-Käse, wobei beim Absinken der Brenntemperatur unter 45 °C schon ein pH-Wert von 5,4 erreicht wird (12, 19). Zu diesem Zeitpunkt liegen *L. monocytogenes* hitzegeschädigt vor. Allgemein wird angenommen, dass *L. monocytogenes* in Produkten mit pH-Werten unter 5,2 nicht mehr wachsen können (16).

Milchzucker wird in Hartkäse innerhalb 24 h beinahe vollständig zu Milchsäure abgebaut: Schon nach 4 h ist kaum mehr Laktose vorhanden (23). Den Listerien wird somit rasch die C-Quelle für die Energieproduktion entzogen. Thermophile und fakultativ heterofermentative Gärungsorganismen erreichen in Emmentaler-Käse ihre maximale Populationsdichte um 8 log KBE/g, während andere Mikroorganismen wie z.B. Enterokokken und salztolerante Keime sich bis maximal 3 log KBE/g vermehren können. In den ersten Stunden der Käsefabrikation findet eine ausgeprägte Competition um die verfügbaren Energiequellen statt, die während der Reifung und Lagerung noch zunimmt. Ein zeitlich begrenztes Überleben vereinzelter Listerien im Käseteig kann aufgrund der Zellyse der Milchsäurebakterien nicht ausgeschlossen werden, da Pyruvat, Trehalose, Ribose, N-Acetyl-Glucosaminase, Arginin und Glyzerin als Nährstoffquellen dienen könnten (24).

98–99 % der gewerblichen Emmentaler-Käsereien arbeiten mit Starterkulturen der Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (FAM). Der Käser legt davon eine Betriebskultur mit 8,5 log KBE/ml an, die er 1000× verdünnt der Fabrikationsmilch zusetzt. Die Wachstumsraten dieser zugegebenen Konkurrenzflora liegen für Streptokokken bei 15–25 min zwischen 25–42 °C und für Laktobazillen bei 35–45 min zwischen 38–42 °C. Die Wachstumsraten für *L. monocytogenes* in Milch betragen 102–114 min bei 21 °C und 41 min bei 35 °C (16). Eine eventuell vorhandene *L. monocytogenes*-Kontamination in einer Betriebskultur wird sich in Folge der schlechten Wachstumsmöglichkeit, des Verdünnungseffektes im Fabrikationspro-

zess sowie der Konkurrenz zu den Startermikroorganismen nicht bemerkbar machen.

Eine Vermehrung von *L. monocytogenes* im Käseteig während Fabrikation und Reifung konnte ausgeschlossen werden: In Untersuchungen an Schweizer Hartkäsen (Emmentaler, Gruyère), hergestellt aus künstlich kontaminierter Rohmilch (jeweils 3 Käse mit 0, 400 und 40000 KBE *L. monocytogenes*/ml Milch), konnten weder in der 6 h-Presssirte noch im 24 h-Käse *L. monocytogenes* nachgewiesen werden. Alle Käse blieben in der untersuchten Reifungszeit von 120 Tagen frei von *L. monocytogenes* (25).

Die Trinkwasserqualität (Einflussgrösse) wird in der Schweiz zu rund 13 % beanstandet (26). Verunreinigungen mit *L. monocytogenes* wurden bisher nicht gemessen und werden aufgrund der Trinkwasseraufbereitung nicht erwartet. Dem Sirte-Bruch-Gemisch wird zur Steuerung des Laktoseabbaus Wasser in Trinkwasserqualität zugesetzt. Einige Käsereien benützen dazu eigene Quellen, wobei sie das Wasser mehrheitlich pasteurisieren (27). Wir unterstellen im Modell hohe 1,4 % (Trinkwasser), respektive 1 % (Quellwasser) Kontamination mit *L. monocytogenes*. Die Wahrscheinlichkeiten der Zustandskombinationen der negativen Einflüsse werden aus Erfahrung beurteilt, denn sie ergeben sich wegen fehlender stochastischer Unabhängigkeit nicht durch Multiplikation der einzelnen Wahrscheinlichkeiten.

Die Bildung von Biofilmen in und an den Apparaturen der gewerblichen Käsereien (Einflussgrösse) wird in 1 % der Fälle angenommen.

Die berechneten Wahrscheinlichkeiten der Kontamination von 24 h-Käse lauten u DL 99,90 %, n DL 0,08 % und v DL 0,02 %. Sie finden sich im Kontaminationsprofil auf der Stufe Käse-Fabrikation wieder.

Käse-Reifung

Aus der Vorstufe Käse-Fabrikation fliessen als erste Einflussgrösse die Kontaminationswahrscheinlichkeiten von 24 h-Käse ein. Ab Stufe Käse-Reifung werden Teig und Rinde des Käses parallel modelliert. In unser Kontaminationsprofil gehen allerdings nur die Kontaminationswahrscheinlichkeiten des Teigs ein. Wir benötigen die Rinde, weil sie stärker als der Teig Kreuzkontaminationen ausgesetzt ist. Auf der Rinde angesammelte Kontamination kann später bei der Portionierung und im Offenverkauf auf die Teigoberfläche gelangen (Modellierung mittels bedingter Übertragungswahrscheinlichkeiten der Kontamination).

Für Käsereien sind eine Reihe negativer Einflussgrössen bekannt, von denen durch gesteigertes Hygienebewusstsein der Käser viele aus dem Käserlei-Alltag verbannt werden konnten (28, 29, 30). Alle Einflussgrössen wirken auf die Rinde des Emmentaler-Käses. Das Modell trägt dem Absterben vereinzelt im Teig des Käses vorhandener *L. monocytogenes* mit einer Rate von 25 % pro Monat Rechnung. Aus der Käsereiberatung und dem Listeria Monitoring Programm der Schweizerischen Käsewirtschaft ist bekannt, dass rund 25 % der Käsereien den Emmentaler-Käse maschinell pflegen und die andern manuell (Einflussgrösse). Hierbei verteilen sich

die Kontaminationen hälftig auf beide Pflegesysteme. Die Maschinen können trotz guter Reinigung wiederholt zur Drehscheibe für Listerienkontaminationen werden. Kontaminationen bei manueller Käsepflege treffen überwiegend kleine und kleinste Käsereien, in denen gelegentlich kontaminiertes Waschwasser gefunden wurde (31, 32).

Die Angliederung eines Schweinestalls – in der Schweiz in 39% der Emmentaler-Käsereien beobachtet und im Modell integriert – ist eine negative Einflussgrösse, die bei gutem Hygieneverständnis des Käasers beherrschbar scheint.

Die Hygiene von Arbeiten und Einrichtungen in den Reifungskellern der Käsereien (Einflussgrösse) wurde in 75% der Fälle als gut angenommen.

Die berechneten Wahrscheinlichkeiten der Kontamination des Teigs von Käse betragen u DL 99,92%, n DL 0,07% und v DL 0,02%. Sie finden sich im Kontaminationsprofil auf der Stufe Käse-Reifung wieder.

Handelslager und Affinage

Bevor die Käse aus der Käse-Reifung in die Handelslager zur Ausreifung (Affinage) überführt werden, müssen sie Klassierung und Taxation durch Spezialisten passieren. Bevorzugt angekauft werden bestklassierte Käse, deren Überführung sortengetrennt und chargenweise auf Paletten erfolgt. Eine Charge entspricht in der Regel der Monatsproduktion einer Käserei und kann mengenmässig stark variieren.

Als erste Einflussgrösse fliessen die berechneten Kontaminationswahrscheinlichkeiten aus der Vorstufe Käse-Reifung ein. Die Hierarchiestufe Handelslager ist bedeutend: die Verteilung der Emmentaler-Käse in den inländischen Markt und den Export findet hier statt (Einflussgrösse). Ebenso wird hier über die zielgerichtete Verwertung von Chargen mit *L. monocytogenes*-positiven Prozesskontrollen entschieden (Einflussgrössen). Ursprünglich setzte deshalb auf dieser Hierarchiestufe das Listeria Monitoring Programm der Schweizerischen Käsewirtschaft ein. Milde, trocken und feucht gelagerte Emmentaler-Käse weisen gegenwärtig im Schweizer Markt Anteile von 60%, 15% und 25% auf. Sie erfordern in aufsteigender Folge vermehrt Pflegeeinheiten, die insbesondere bei zentraler Pflege (Einflussgrösse, 19%, nur mild) und trotz Maschinendesinfektion (Einflussgrösse) Kreuzkontaminationen nach sich ziehen können. Sowohl die mikrobiologische Eingangskontrolle mit Quarantänemassnahme (Einflussgrösse) als auch die zielgerichtete Verwertung kontaminierter Chargen (Einflussgrösse) wirken stark Gefahr neutralisierend. Entsprechend der Reifungsart werden 52–99% der Chargenoberflächen auf *L. monocytogenes* untersucht und zielgerichtet verwertet, also geschabt (% variabel), zu Schmelzkäse verarbeitet (17%, nur mild) oder desinfiziert (2%, nur mild). Ab Handelslager und Affinage gelangen 22% der Emmentaler-Käse als Laibe mit Rinde in den Export.

Als Wahrscheinlichkeiten der Kontamination des Teigs von Lagerkäse finden wir u DL 99,999%, n DL 0,001% und v DL 0,000%. Sie werden im Kontaminationsprofil auf der Stufe Handelslager/Affinage eingetragen.

Vorverpackung und Versand

Aus der Vorstufe Handelslager/Affinage beziehen wir als erste Einflussgrösse die Kontaminationswahrscheinlichkeiten des Lagerkäses, wobei nach Teig und Rinde unterschieden wird.

41 % der Emmentaler-Käse gelangen als Handelspackung in den Export, 84 % davon seitlich und an einer Oberfläche geschabt. Die andere Oberfläche trägt seit 2002 das eingewachsene Etikett, welches der Identifizierung und Rückverfolgbarkeit der Emmentaler-Käse dient. Mit Hilfe der Formeln für Kreise und gerade Kreiszyylinder ergibt sich für den geschabten Anteil schlussendlich 56 % (Einflussgrösse). Zum Schaben werden die Emmentaler-Käse über Rollen transportiert. Dabei kann bei nicht optimaler Rollenreinigung kontaminierte Rinde eine Kreuzkontamination auf der Rinde nachfolgender Käse verursachen (Einflussgrösse). Hierbei muss die Rindenkontamination kleiner ausfallen als in der Vorstufe, jedoch wird mit dem Aufschneiden der Käselaipe erstmalig eine Kontamination des Käseteils möglich. Beim Portionieren nicht geschabter 10 kg-Stücke ergibt sich ein Verhältnis 2,5 zu 1 von Teig- zu Rindenoberfläche. Ab dieser Modellstufe werden die Übertragungswahrscheinlichkeiten der Kontaminationen bei Rinde und Teig als annähernd gleich gross angenommen. 2–3 mm der Rinde werden auf dem Drehtisch entfernt, und dadurch der möglicherweise kontaminierte Anteil vollständig eliminiert. Danach wird der Emmentaler-Käse vertikal geschnitten, die Käsestücke kippen seitlich auf ein Förderband und werden maschinell in Folie eingeschlagen. Mitarbeiter der Verpackung werden bei Neueintritt, jährlich und nach Ferien im Ausland auf Salmonellen, *Campylobacter* und Listerien untersucht. Der Einfluss asymptomatischer Träger wird auf dieser automatisierten Stufe als unwahrscheinlich angenommen und im Modell nicht berücksichtigt. Aufgrund der Automation und der Portionierung grosser Käsestücke (um 10 kg) wird die Stufe Vorverpackung/Versand mit niedrigen Übertragungswahrscheinlichkeiten der Kontamination eingeschätzt. Beim Schneiden von Käse mit Rinde können Bruchstücke der Rinde (Krumen) auf das Band und, nicht optimale Bandreinigung vorausgesetzt, auf den Teig nachfolgender Käse verschleppt werden. Die Kontamination durch das Band scheint niedrig, da die Käsestücke über Rollen zum Band gelangen, wobei die Krumen herunterfallen. Zudem wurde die Reinigung von Rollen und Bändern im Modell berücksichtigt. Das Verhältnis von mildem, trocken und feucht gelagertem Emmentaler-Käse beträgt im Export 85 % zu 5 % zu 10 % und wurde im Modell ebenfalls berücksichtigt.

Emmentaler-Reibkäse erfährt in der Regel eine, die Gefahr neutralisierende Hitzebehandlung und wird im Modell nicht separat berücksichtigt.

Die Wahrscheinlichkeiten der Kontamination des Teigs von vorverpacktem Käse lauten μ DL 98,74 %, n DL 1,25 % und v DL 0,01 %. Sie finden sich im Kontaminationsprofil auf der Stufe Vorverpackung/Versand wieder.

Grossverteiler

Die auf der vorangegangenen Stufe Vorverpackung/Versand ermittelten Kontaminationswahrscheinlichkeiten des Lagerkäses (parallel für Teig und Rinde) gehen als erste Einflussgrößen in die Stufe Grossverteiler ein.

Ab Handelslager gelangen 12,5 % der Emmentaler-Käse durch die Vertriebskanäle der Grossverteiler zum Inland-Konsumenten, wobei 11 % als Konsumpackungen eingebeutelt auf den Markt kommen und 1,5 % mit Rinde in den Offenverkauf. Diese Vertriebskanäle werden als «hygienisch» angenommen und mit guter Qualitätskontrolle im Modell berücksichtigt. Milde und trocken gereifte Emmentaler-Käse werden analog der Vorstufe geschabt, was bei feucht gereiften in der Regel entfällt (Einflussgrösse). Bei einer durchschnittlichen Verpackungsgrösse von 200 g beträgt das Verhältnis von Teig- zu Rindenoberfläche bei ungeschabtem Käse 5 zu 1. Die Zulieferung der geschnittenen Stücke zum Einbeuteln erfolgt zu 35 % manuell, was vermehrt Kreuzkontaminationen erlaubt (Einflussgrösse). Aus vorgängig genannten Gründen können wir auf Stufe Grossverteiler von ähnlich niedrigen Übertragungswahrscheinlichkeiten der Kontamination wie in der Vorstufe ausgehen, jedoch können durch das Abpacken kleiner Portionen in dieser Stufe Kreuzkontaminationen häufiger den Teig betreffen. Da das Verhältnis von mildem, feucht und trocken gelagertem Emmentaler-Käse sich nach den Konsumbedürfnissen richtet, wurde es gleich dem der Stufe Handelslager/Affinage angenommen (60 %, 15 %, 25 %).

Für die Wahrscheinlichkeiten der Kontamination von Teig des Grossverteiler-Käses finden wir μ DL 98,135 %, n DL 1,808 % und v DL 0,0056 %. Sie gehen auf der Stufe Grossverteiler ins Kontaminationsprofil ein.

Inlandgrossist

Der Inlandgrossist bezieht seinen Käse von der Stufe Handelslager/Affinage. Also entsprechen der ersten Einflussgrösse die Kontaminationswahrscheinlichkeiten des Lagerkäses, parallel ermittelt für Teig und Rinde.

Etwa 40 Inlandgrossisten vertreiben 6,5 % der Gesamtproduktion an Emmentaler-Käse an die Konsumenten. Bei Betrieben und Personal von Inlandgrossisten wurden wenige bis keine Untersuchungen auf Salmonellen, *Campylobacter* und Listerien durchgeführt, weshalb die Modellstufe auf Expertenmeinung basiert. Zwei Situationen werden im Modell im Verhältnis 75 zu 25 berücksichtigt: eine hygienisch gute (Einflussgrösse), den Grossverteilern entsprechende, und eine mit verbesserungsfähiger Hygiene (Einflussgrösse). Alle Emmentaler-Käse werden mit Rinde verarbeitet und verkauft. Da verschiedene Hart- und Halbhartkäsesorten gleichen Orts ausgereift, gepflegt, gelagert, von Hand geschnitten und abgepackt werden können, gelangen zusätzliche Einflussgrößen für vermehrte Kreuzkontaminationen ins Modell. Nur rund 10 % des Käsevolumens bei Inlandgrossisten ist Emmentaler-Käse. Somit ist die Wahrscheinlichkeit für Kreuzkontaminationen durch schlechte Abtrennung von (halb-)harten Käsesorten gegeben (Einfluss-

grösse). Weichkäse sind in dieser Stufe in der Regel abgepackt und sollten somit für Kreuzkontaminationen nicht relevant sein. Im Modell wird ungenügende Schneideplatzhygiene berücksichtigt, wobei die Kreuzkontamination von Rinde auf Teig sowie von Rinde auf Rinde möglich ist (Einflussgrösse). Die Übertragungswahrscheinlichkeiten der Kontaminationen fliessen verschieden gewichtet ins Modell ein: In der guten hygienischen Situation werden sie ähnlich den Grossverteilern angenommen, in der schlechten hygienischen Situation hingegen werden sie bei fehlender Abtrennung anderer Käsesorten und ungenügender Schneideplatzhygiene im Vergleich zur Stufe Grossverteiler mehrheitlich verdoppelt. Mögliche Kontaminationen während des Lastwagentransports werden im Modell ebenfalls berücksichtigt. Die negativen Ereignisse (Gefahren) im Modell bilden die Verschiedenheit der zwei betrachteten hygienischen Situationen ab, ohne Durchmischung und Verwässerung zuzulassen.

Die Wahrscheinlichkeiten der Kontamination von Teig des Inlandgrossistenkäse in der hygienisch guten Situation lauten u DL 98,29 %, n DL 1,58 % und v DL 0,14 %. In der hygienisch schlechten Situation betragen die Wahrscheinlichkeiten der Kontamination von Teig dagegen u DL 95,28 %, n DL 3,52 % und v DL 1,20 %. Diese Werte finden sich, gewichtet nach der Häufigkeit der hygienischen Situation, im Kontaminationsprofil auf der Stufe Inlandgrossist wieder.

Offenverkauf

Im Offenverkauf wird 5,8 % des Emmentaler-Käses vermarktet, wobei 1 % direkt aus der Käserei-Reifung (Ortsreserve) und 1,5 % von Grossverteilern respektive 3,3 % von Inlandgrossisten stammen. Als erste Einflussgrössen fliessen deshalb die berechneten Kontaminationswahrscheinlichkeiten aus den erwähnten Vorstufen für Teig und Rinde parallel und anteilmässig ein.

Kreuzkontaminationen können insbesondere durch fehlende Separierung der Käsesorten in der Verkaufsvitrine weitergegeben werden (Einflussgrösse). Die empfohlene Ordnung verlangt eine stufenweise Abtrennung von (Extra-) Hartkäse zu Weichkäse, wobei die Käse in der Vitrine immer am gleichen Ort platziert und in Folie eingeschlagen sein müssen. Ungenügende Gerätehygiene (Arbeits- oder Schneideplatz und -werkzeuge) können Kreuzkontaminationen zwischen verschiedenen Käsesorten fördern (Einflussgrösse). Idealerweise sollten für Hart-, Halbhart- und Weichkäse getrennte Schneideplätze und Schneidwerkzeuge existieren. In der Praxis wird aber meist nur ein Schneideplatz und ein Schneidwerkzeug verwendet, jedoch bleiben die Käse in Folie eingeschlagen. Asymptomatische Träger werden ebenfalls im Modell berücksichtigt, zeigen doch Studien, dass 0,8 % der gesunden Lebensmittelhändler (Deutschland) und 9,7 % der Käsefabrik-Angestellten (USA) Ausscheider oder Träger von *L. monocytogenes* sind (33). Im Modell wird von 3 % asymptomatischen Trägern ausgegangen (34), wobei die Übertragungswahrscheinlichkeit der Kontaminationen zwischen u DL und n DL zusammen auf 3 % gesetzt wurde. Es wird angenommen, dass die Kühlkette im Offenverkauf

sowohl während des Transportes als auch in der Vitrine aufrecht erhalten wird. Die Übertragungswahrscheinlichkeiten der Kontamination werden von der schlechten hygienischen Situation bei Inlandgrossisten übernommen. In der Schweiz wurden in 4,9% aller vermarkteten Käse *L. monocytogenes* gefunden, wobei 6,6% Weichkäse, 1,9% Halbweichkäse und 0% Hartkäse betroffen waren (35, 36). Beide Untersuchungen betrafen die Zeit vor der Vacherin Mont d'Or-Epidemie.

Die Wahrscheinlichkeiten der Kontamination von Teig des offen verkauften Käses betragen u DL 96,79%, n DL 2,43% und v DL 0,78%. Sie finden sich im Kontaminationsprofil auf der Stufe Offenverkauf wieder.

Tafelkäse

Als Tafelkäse haben wir die Gesamtheit des in der Schweiz offen oder abgepackt verkauften Emmentaler-Käses aus Rohmilch bezeichnet. Zur Berechnung seiner Kontaminationswahrscheinlichkeiten fliessen aus den zuliefernden Vorstufen die jeweiligen Kontaminationswahrscheinlichkeiten anteilmässig ein, wobei wiederum Teig und Rinde separat betrachtet werden (Tab. 2).

Tabelle 2
Inland-Tafelware

Zusammensetzung Tafelware

28,75 %	Offenverkauf
59,6 %	Beutelverkauf beim Grossverteiler
8,73 %	Beutelverkauf beim Inlandgrossisten (gute Situation)
2,92 %	Beutelverkauf beim Inlandgrossisten (schlechte Situation)

	$P(K=u)$	$P(K=n)$	$P(K=v)$
Teig des Grossverteilerkäses	98,14	1,80	0,06
Rinde des Grossverteilerkäses	98,31	1,65	0,04
Teig des Inlandgrossistenkäses (gute Situation)	98,29	1,58	0,14
Rinde des Inlandgrossistenkäses (gute Situation)	98,28	1,65	0,07
Teig des Inlandgrossistenkäses (schlechte Situation)	95,28	3,52	1,20
Rinde des Inlandgrossistenkäses (schlechte Situation)	96,64	2,43	0,93
Teig des Offenverkaufkäses	96,79	2,43	0,78
Rinde des Offenverkaufkäses	96,79	2,43	0,78
Teig des inländischen Tafelkäses	97,68	2,01	0,31
Rinde des inländischen Tafelkäses	97,82	1,89	0,29

P(K): Wahrscheinlichkeit der Kontamination
 (K=u): Kontamination unter der Detektionslimite
 (K=n): Kontamination nahe der Detektionslimite
 (K=v): Kontamination um ein Vielfaches der Detektionslimite

So finden wir für die Wahrscheinlichkeiten der Kontamination von Teig des inländischen Tafelkäses u DL 97,68%, n DL 2,01% und v DL 0,31%. Diese Werte repräsentieren unsere Beurteilung der Exposition, befinden sich auf Schulterhöhe

der «Risiko-Tanne» und bilden den Abschluss des Kontaminationsprofils auf der Stufe Inland-Tafelkäse.

Resultate und Diskussion

- Es gelang, ein praktisches, hierarchisches und kausales Modell zur Beurteilung der Fortpflanzung von Listerienkontaminationen entlang des Veredelungsprozesses des Lebensmittels Emmentaler-Käse aus Rohmilch zu erstellen (Abb. 1, Tab. 1).
- Tafelkäse stammt zu 28,75 % aus dem Offenverkauf und zu 71,25 % aus Konsumentenpackungen (Abb. 2, Tab. 2). Die quantitative Beurteilung der *L. monocytogenes*-Exposition des Teigs von Tafelkäse beträgt u DL 97,68 %, n DL 2,01 % und v DL 0,31 %. Diese Werte beziehen sich auf Emmentaler-Käse zum Zeitpunkt des Einpackens für den Verkauf (Konsumentenpackung oder Einschlagen in Käsepapier im Offenverkauf). Es wird festgestellt, dass Kontaminationen vorhanden sein können, die sich auf sehr tiefem Niveau bewegen. Untersuchungen der FAM zum Verhalten von *L. monocytogenes* auf der Teigoberfläche von Halbhartkäsen zeigten, dass sich artifiziell inokulierte *L. monocytogenes* nicht vermehren konnten. Die Mikroorganismen reduzierten sich sowohl in Konsumentenpackungen als auch in eingeschlagenem Käse in der Grössenordnung von 30–50 % am ersten Tag, respektive von 50–80 % innerhalb Wochenfrist (37). Diese Reduktionen sind in der Expositionsbeurteilung des verkauften Tafelkäses nicht berücksichtigt, ergeben sie sich doch zum Teil erst beim Konsumenten.
- Der Gesamtmarkt (Inland und Export) wird ab der Modellstufe Handelslager und Affinage beliefert. Diese Stufe ist die am besten kontrollierte und besitzt für Teig die kleinste Kontaminationswahrscheinlichkeit: u DL 99,999 %, n DL 0,001 % und v DL 0,000 %. Die Grössenordnung der Kontamination konnte für u DL, n DL respektive v DL auf 0–1, 2–10 respektive 11–100 *L. monocytogenes* pro Gramm Teig oder pro Quadratcentimeter Teigoberfläche respektive Rinde festgelegt werden.
- Das Kontaminationsprofil (Abb. 4) für Teig von Schweizer Emmentaler-Käse aus Rohmilch veranschaulicht die Kontaminationswahrscheinlichkeit von der Rohmilch bis zum Tafelkäse. Kontaminationswahrscheinlichkeiten von v DL (schwarz) und n DL (grau) zusammen können entsprechend der Hierarchiestufe in 0,001 % bis 4,73 % der Fälle erwartet werden. Somit wird die Kontaminationswahrscheinlichkeit von u DL (keine detektierbare Kontamination) über alle Systemstufen in 95,27 % bis 99,999 % erwartet. Über Milchgewinnung, Fabrikation, Lagerung und Affinage der Emmentaler-Käse wird die Kontamination durch *L. monocytogenes* wirksam zu Null hin reduziert. Die Teigkontaminationen in handelsüblichem Emmentaler-Käse stammen von Kreuzkontaminationen entlang der Veredelungsstufen in Verwertung, Vertrieb, Vermarktung und Verkauf und treten nach der Stufe Handelslager/Affinage auf. Hierbei wird die

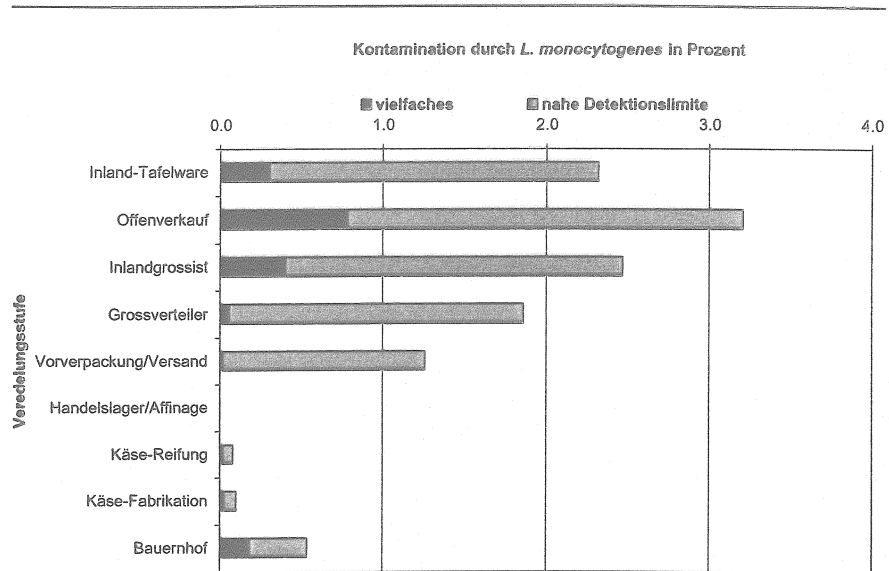


Abbildung 4 Kontaminationsprofil für Teig von Emmentaler-Käse

Kontaminationswahrscheinlichkeit n DL 3 bis 140-mal häufiger erwartet als diejenige für v DL (Tab. 2).

- Ab Handelslager und Affinage gelangen die Käse in unterschiedlicher Verarbeitung und über verschiedene Verteiler in den heimischen und ausländischen Markt. Diese Märkte sind geprägt durch länderspezifische Eigenheiten wie z.B. der Esskultur oder dem Hygieneverständnis, welche Veränderungen des Kontaminationsprofils von exportiertem Emmentaler-Käse nach der Stufe Handelslager/Affinage erwarten lassen.
- Rindenkontaminationen zeigen ab Handelslager/Affinage eine Zunahme, die sich aber im tiefen einstelligen Prozentbereich bewegen. Die Rinde von Hartkäse ist ungeniessbar und wird in der Regel nicht konsumiert. Die Praxis, einseitig eingewachsene Etiketten zwecks Identifizierung und Rückverfolgbarkeit der Emmentaler-Käse nicht zu schaben, hat Einfluss auf die vorhergesagten Kontaminationswahrscheinlichkeiten. Ab Stufe Vorverpackung/Versand sind sie generell erhöht. Aufgrund fehlender Erfahrung mit der neuen Praxis (eingeführt 2002) ist es zu früh für verlässliche Aussagen.
- Das Modell basiert nicht auf relativen Häufigkeiten aus Stichproben, sondern auf Wahrscheinlichkeiten. Diese Wahrscheinlichkeiten repräsentieren die Quintessenz des Wissens und der Erfahrung von Experten der jeweiligen Stufen des Veredelungsprozesses. Wahrscheinlichkeiten lassen sich aus experimentellen

Daten und Stichproben abschätzen. Tatsächlich sind aber oft zu wenig Beobachtungen verlässlicher Qualität vorhanden. Verschiedene Computerprogramme liefern dem Anwender ästhetisch befriedigende Darstellungen. Doch wer ist bei dieser Art der Modellierung noch in der Lage zu sagen, was ursprüngliche Informationen und was importierte Strukturannahmen sind? Unsere Alternative ist es, die «Beurteilung von Daten» der Erfahrung der Substanzwissenschaftler anzuvertrauen. So gewonnene Angaben repräsentieren in ihrer aggregierten Form die Wahrscheinlichkeiten in unserem Ansatz. Unsere Resultate dienen dem Überblick und der Suche nach Zusammenhängen. Sie profitieren von vertieften mikrobiologischen Analysen und statistischen Auswertungen zusätzlich gewonnener Daten (38).

Dank

Für ihre Mitarbeit danken wir U. Bütikofer, D. Gerber, R. Imhof, D. Isolini, J. Jimeno, P. Lavanchy, W. Luginbühl, F. Rentsch, H. Sollberger, H. Winkler (alle Forschungsanstalt für Milchwirtschaft), E. Kaufmann (Emmental Switzerland, Bern) sowie F. Schmutz (Emmental AG, Zollikofen).

Summary "Profile of *Listeria*-contamination of Swiss Emmental cheese made from raw milk"

About 33 % of the total Swiss agricultural earnings are from the milk production which is therefore an important part of the Swiss agricultural industry. In our approach the origin and propagation of hazards from contamination with *Listeria monocytogenes* in Swiss Emmental cheese made from raw milk is modeled in a simple and transparent manner. Knowledge and experience of experts involved at all production levels and science areas was used to identify and assess the hazard potentials from the farm to the point of sales. The model shows the important cause-effect relationships of contamination. We propose our exposure assessment system as a contribution to a better understanding of preventive measures for the food safety. The approach allows to model cross-contamination between body and rind of hard cheese that are not modeled as a homogenous mass. Our risk assessment-results can be graphically represented by a so-called contamination profile. Our considerations refer to typical Swiss conditions but the modeling approach is adaptable to other parameters and types of problems.

Zusammenfassung

Die Milchwirtschaft ist mit einem Anteil von ca. 33 % des landwirtschaftlichen Endrohertrages ein bedeutender Zweig innerhalb der schweizerischen landwirtschaftlichen Produktion. Für Schweizer Emmentaler-Hartkäse aus Rohmilch wird gezeigt, wie Entstehung und Fortpflanzung von Gefahren aus Kontaminationen von *Listeria monocytogenes* einfach und transparent modelliert werden können. Wissen und Erfahrungen von Experten aller involvierten Kompetenzbereiche

tragen dazu bei, das Gefahrenpotenzial einzukreisen und einzuschätzen. Das Modell beschreibt die Milchverarbeitung vom Bauernhof bis zum Verkauf und zeigt die entscheidenden Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung für Kontaminationen. Unser Ansatz zur Beurteilung der Exposition versteht sich als Beitrag zum guten Verständnis präventiver Massnahmen zur Lebensmittelsicherheit. Mit unserem Ansatz gelingt es, Hartkäse nicht als homogene Masse zu modellieren, sondern Rinde und Teig separat darzustellen. Ebenfalls möglich wird die Darstellung von Kreuzkontaminationen des Teigs von Emmentaler-Käse. Unsere Resultate lassen sich grafisch als Kontaminationsprofil visualisieren. Die vorliegende Beurteilung bezieht sich auf typisch schweizerische Bedingungen, der Modellansatz ist jedoch adaptierbar auf andere Parameter und Problemstellungen.

Résumé

Avec une participation d'environ 33 % au rendement agricole brut épuré, l'économie laitière est une branche importante de la production agricole suisse. Avec une modélisation simple et claire nous montrons l'apparition et la propagation des dangers causés par une contamination par *Listeria monocytogenes* dans les fromages d'Emmental à pâte dure au lait cru. Les connaissances et expériences des experts de tous les domaines de compétence concernés nous aidons à cerner et à estimer les potentiels de danger. La modélisation décrit la production de la ferme à la vente et montre les causes-effets de la contamination. Notre modèle d'appréciation de l'exposition peut être considéré comme une contribution à l'économie fromagère suisse et permet de bien faire comprendre les mesures préventives destinées à assurer la santé des consommateurs. Notre approche ne représente pas les fromages à pâte dure comme une masse homogène, mais comme un ensemble avec croûte et pâte. Par conséquent il y a une modélisation des contaminations croisées sur la pâte du fromage d'Emmental. Nos résultats sont présentés sous la forme d'un profil graphique des contaminations. Bien que notre étude tienne compte des conditions typiquement suisses, l'approche est toutefois adaptable à d'autres paramètres et conditions.

Key words

Exposure assessment, Contamination profile, *L. monocytogenes*, Swiss Emmental, Raw milk cheese

Literatur

- 1 *Anonymus*: Structure and initial data survey for the risk assessment of the public health impact of foodborne *Listeria monocytogenes*. *Listeria monocytogenes* Risk Assessment Team. Food and Drug Administration, USA (1999) (Verfügbar unter <http://vm.cfsan.fda.gov/~dms/listrisk.html>)
- 2 *Anonymus*: Draft risk assessment on the human health impact of fluoroquinolone resistant *Campylobacter* associated with the consumption of chicken. Food and Drug Administration, USA (2000) (Verfügbar unter <http://www.fda.gov/cvm/antimicrobial/ra/risk.html>)
- 3 *Kaplan S. and Garrik B.J.*: On the quantitative definition of risk. *R. An.*, 1, 11–25 (1981)

- 4 McNab W.B.: A general framework illustrating an approach to quantitative microbial food safety risk assessment. *J. Food Prot.*, 61, 1216–1228 (1998)
- 5 Müller U.: Ermittlung der Gesamtgefahr eines Lebensmittelbetriebes aufgrund der Inspektion. *Mitt. Lebensm. Hyg.*, 92, 104–109 (2001)
- 6 Anonymus: Pathogen Modelling Program. USDA/ARS Eastern Regional Research Center. Microbial Food Safety Research Unit, USA. (Verfügbar unter <http://www.arserrc.gov/mfs/pathogen.htm>)
- 7 Anonymus: Food Micromodel. Leatherhead Food RA, Great Britain. (Kommerziell verfügbar unter <http://www.lfra.co.uk/lfra/micromod.html>)
- 8 Joint FAO/WHO Food Standards Programme: Report of the fifteenth session of the Codex Committee on general principles. Paris, France, 10–14 April 2000 (Alinorm 01/33) CAC, 1–15 (2000)
- 9 Kammen D.M. and Hassenzahl D.M.: Should we risk it? Exploring environmental, health, and technological problem solving. Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1999)
- 10 Feller W.: An introduction to probability theory and its applications. John Wiley & Sons, New York (1968)
- 11 Fenlon D.R.: *Listeria monocytogenes* in the natural environment. In: Ryser E., Marth E.: *Listeria*, Listeriosis and Food Safety. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc., New York (1999)
- 12 Bachmann H.P. and Spahr U.: The fate of potentially pathogenic bacteria in Swiss hard and semihard cheeses made from raw milk. *J. Dairy Sci.* 78, 476–483 (1995)
- 13 Stephan R., Senczek D., Müller Ch. und Feusi Ch.: Isolierung von *Listeria* spp. und *Aspergillus fumigatus* – zwei Fallberichte aus der Mastitisdiagnostik. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 142, 7, 387–390 (2000)
- 14 Wesley, I.V.: Listeriosis in animals. In: Ryser E., Marth E.: *Listeria*, Listeriosis and Food Safety. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc., New York (1999)
- 15 Anonymus: Payment Systems for Ex-Farm Milk. IDF Bulletin 348 (2000)
- 16 Lou Y. and Yousef A.E.: Characteristics of *Listeria monocytogenes* important to food processors. In: Ryser E., Marth E.: *Listeria*, Listeriosis and Food Safety. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc., New York (1999)
- 17 FROMARTE: Ergebnisse der Mitgliederumfrage Ende 1996. 1–24 (1997)
- 18 Bühlmann G. und Aebi R.: «Gesamtkeimzahl» in Rohmilchproben und in deren Mischungen. Proceedings of the 28th AFEMA scientific days in Ovar, Ungarn. 5–6 October 2000
- 19 Spahr U. and Schafroth K.: Fate of *Mycobacterium avium* subsp. *Paratuberculosis* in Swiss hard and semihard cheese manufactured from raw milk. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67, 4199–4205 (2001)
- 20 Leistner L.: Hürdentechnologie für die Herstellung stabiler Fleischerzeugnisse. *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung*, 84, 5882–5889 (1984)
- 21 Leistner L.: Basic aspects of food preservation by hurdle technology. *Int. J. Food Microbiol.*, 55, 181–186 (2000)
- 22 Bachmann H.P. und Puban Z.: Verhalten von potentiell humanpathogenen Bakterien in Hart- und Halbhartkäse aus Rohmilch. *Schweiz. Milchw. Forschung* 23, 54–61 (1994)
- 23 Sollberger H.: Gärungsvorgänge in Käse. Kursunterlagen für Käsereiberater. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (1999)
- 24 Jimeno J.: Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, pers. Kommunikation
- 25 Kaufmann U.: Verhalten von *Listeria monocytogenes* während der Hartkäsefabrikation. *Landwirtschaft Schweiz* 2, 573–577 (1989)
- 26 Baumgartner A. und Schwab H.: Lebensmittelasoziierte, mikrobiell bedingte Erkrankungen. In: *Vierter Schweizerischer Ernährungsbericht*, Bundesamt für Gesundheit (1998)
- 27 Spahr U.: Keine Viren in Käsereiwasser gefunden. *Agrarforsch.* 6, 277–278 (1999)

- 28 Schweizerische Käseunion: HACCP-System für die Mitgliedfirmen der Schweizerischen Käseunion. Dokument AA 14.03, 1–13 (1996)
- 29 Verordnung über die Qualitätssicherung bei der Käsereifung und Käseverpackung. Vom 13. April 1999
- 30 Emmentaler Switzerland: Reglement Qualität ES. 1. Mai 2001 bis 30. April 2002
- 31 Kaufmann E.: Emmentaler Switzerland, pers. Mitteilung
- 32 Pak S., Spahr U., Jemmi T. and Salman M.D.: Risk factors for *L. monocytogenes* contamination of dairy products in Switzerland, 1990–1999. *Prev. Vet. Med.* 53, 55–65 (2002)
- 33 Slutsker L. and Schuchat A.: Listeriosis in humans. In: Ryser E., Marth E.: *Listeria*, Listeriosis and Food Safety. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc., New York (1999)
- 34 Bannerman E., Heitz M., Hartmann D., Ischer F. and Bille J.: Assessment of *Listeria* carriage rate in healthy and hospitalized populations during and after an epidemic due to *L. monocytogenes*. Abstracts Schweiz. Ges. Mikrobiol., 47. Jahresversammlung, St. Gallen, Schweiz (1988)
- 35 Anonymus: Jahresbericht, Schweizerische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, 344–357 (1987)
- 36 Breer C.: Occurrence of *Listeria* spp. in different foods. WHO Working Group on Food-borne Listeriosis, Geneva, Switzerland, 15–18 (1988)
- 37 Spahr U.: Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, pers. Mitteilung
- 38 Aebi R.: Kundenorientiertes Knowledge Management. Addison-Wesley, München (2000)

Korrespondenzadresse: Dr. Marc Mühlemann, Eidgenössische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Liebefeld, Schwarzenburgstrasse 161, CH-3003 Bern,
E-Mail: marc.muehlemann@fam.admin.ch