

Hochschule Neubrandenburg

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Lebensmitteltechnologie

WS 2009/ 2010

Einfluss des Calciumgehaltes auf die sensorischen Eigenschaften und die Festigkeit von Schnittkäse

Bachelor-Arbeit

01.01.2010 – 07.03.2010

Verfasserin: Linda Bernett

Betreuer: Prof. Dr. Siegfried Bolenz (Hochschule Neubrandenburg)
Dipl.-LM-Ing. Sabine Walter (Nordmilch AG)

Edeweicht, 01. März 2010

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2009-0388-5

Abstract

The current paper concerns with the influence of calcium chloride (CaCl_2) on the firmness of semi hard cheese. The samples with the lowest CaCl_2 -addition, 0,020 %, had the highest firmness. The cheeses with 0,060 % CaCl_2 were softest. The differences were every time highest significant. In contrast, the prevalent scientific opinion is that the firmness can be increased by the use of a larger amount of calcium chloride.

During the 35-day ripening the cheeses became firmer, the firmness increases from 30 to 36 N. The ratio between water-soluble and bound calcium was 58 to 42 %. An influence of the addition of calcium chloride was not recognizable. It can not be assumed that the ratio had an effect on the firmness of the cheeses.

After the ripening the cheeses were evaluated sensorial, with a ranking test. Significant differences were only found by the criteria taste and texture. The cheese with the highest amount of calcium chloride has the best taste, the cheese with only 0,020 % CaCl_2 , the lowest amount, were firmest. This correlates with the results of measurements with the penetrometer.

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen, Symbole und Einheiten

ANOVA:	Varianzanalyse
CaCl ₂ :	Calciumchlorid
F. i. Tr.:	Fett in der Trockenmasse
N:	Newton, Einheit der Kraft
r _{x,y} :	Korrelationskoeffizient
p:	Irrtumswahrscheinlichkeit
TM:	Trockenmasse
v:	Variationskoeffizient
\bar{x} :	Mittelwert
**:	Irrtumswahrscheinlichkeit unter 0,01, hoch signifikant
***:	Irrtumswahrscheinlichkeit unter 0,001, höchst signifikant

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen, Symbole und Einheiten	3
1 Einleitung	6
2 Stand der Wissenschaft und Technik	7
2.1 Labkäseherstellung	7
2.1.1 Milchvorbehandlung	8
2.1.2 Der Käsungsprozess	10
2.1.3 Reifung und nachgelagerte Prozessschritte	14
2.2 Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Schnittkäse	18
2.2.1 Beeinflussung der Festigkeit	18
2.2.2 Beeinflussung der sensorischen Eigenschaften	21
2.3 Einfluss von Calciumchlorid auf die Käseausbeute	23
2.4 Festigkeitsmessung	23
3 Material und Methoden	26
3.1 Rezepturvarianten	26
3.2 Chemische Untersuchungen	27
3.3 Penetrometrische Festigkeitsmessung	28
3.3.1 Das Penetrometer	28
3.3.2 Probenvorbereitung und Messung	29
3.4 Sensorische Beurteilung	30
3.5 Auswertung und statistische Ergebnisbetrachtung	32
4 Ergebnisse	37
4.1 Der Käsungsprozess	37
4.2 Gehalt an Calcium	39
4.3 Penetrometrische Festigkeitsmessung	41
4.4 Sensorische Beurteilung	47
4.5 Statistische Ergebnisbetrachtung	48
4.5.1 ANOVA	48
4.5.2 Korrelationsanalysen	50
4.5.3 Sensorik	53

5 Diskussion	57
5.1 Zusammensetzung der Käse	57
5.2 Festigkeit in Abhängigkeit variierender Calciumchloridzugaben und –verhältnissen	60
5.3 Veränderung der Festigkeit im Laufe der Reifung	62
5.4 Einfluss der variierenden Calciumchloridzugaben auf die Sensorik	63
5.5 Nächste Schritte und Umsetzung der Ergebnisse	65
6 Zusammenfassung	67
7 Literaturverzeichnis	68
8 Abbildungsverzeichnis	70
9 Tabellenverzeichnis	71
10 Formelverzeichnis	72
11 Anhang	73
Erklärung über die selbständige Anfertigung der Arbeit	80

1 Einleitung

Im Rahmen dieser Bachelor-Arbeit werden Versuche zur Auswirkung von Calcium auf die Festigkeit und die sensorischen Eigenschaften von Edamer durchgeführt.

Alle Versuche werden bei der Nordmilch AG in Edewecht durchgeführt. Die Molkerei ist mit 4,1 Mrd. kg verarbeiteter Milch das größte milchwirtschaftliche Unternehmen in Deutschland. In sieben Werken werden Käse, Butter, Frisch- und UHT-Produkte, milchbasierte Komponenten, Milch- und Molkenpulver produziert. 2008 wurde mit etwa 2500 Mitarbeitern ein Umsatz von rund 2,5 Mrd. Euro erwirtschaftet. Der Standort Edewecht gehört zu den größten Käsereien in Europa, hier werden foliengereifte Schnittkäse hergestellt (Nordmilch AG (Hrsg.), 2009).

Ein Großteil der produzierten Käsemenge wird heutzutage nicht mehr direkt an den Einzelhandel verkauft, sondern von Industriebetrieben weiterverarbeitet. In diesem Zusammenhang stiegen in den vergangenen Jahren auch die Ansprüche an die funktionellen Eigenschaften von Käse, da dieser, je nach Verwendungszweck, optimale Verarbeitungseigenschaften besitzen muss. Für die Konfektionierung von Käse spielt, neben den sensorischen Eigenschaften, die Festigkeit eine wichtige Rolle.

Die Festigkeit von Käse kann durch Variation verschiedener Prozessparameter beeinflusst und verändert werden. Eine Möglichkeit, die vielfach in Fachliteratur beschrieben wird, ist die Erhöhung der Calciumchloridzugabe während des Käsungsprozesses (U. a. Kammerlehner, 2003).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, den Einfluss der zugegebenen Calciumchloridmenge auf die Festigkeit sowie die sensorischen Eigenschaften von Schnittkäse zu untersuchen. Dafür ist es zunächst notwendig, Käse (Edamer mit 40 % F. i. Tr.) mit unterschiedlicher Calciumchloriddosagen herzustellen. Zu definierten Reifungszeitpunkten werden dann penetrometrische Festigkeitsmessungen, chemische Analysen und sensorische Beurteilungen durchgeführt. Dabei sollen einerseits Kenntnisse über den Zusammenhang zwischen zugegebener Calciumchloridmenge, der Festigkeit und der Veränderung der Festigkeit über den Reifungsverlauf gewonnen werden. Andererseits soll die Auswirkung unterschiedlicher Calciumchloridzugaben auf die sensorischen Eigenschaften von Käse untersucht werden. Durch eine statistische Ergebnisbetrachtung können mögliche Zusammenhänge quantitativ dargestellt werden.

Aus den gewonnenen Ergebnissen soll abschließend eine Empfehlung, für eine optimale Calciumchloriddosage, im Hinblick auf Festigkeit und sensorische Eigenschaften, gegeben werden.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Labkäseherstellung

Die Herstellung von Käse unterliegt den gesetzlichen Bestimmungen. Diese sind in der deutschen Käseverordnung, zuletzt 2007 geändert, festgeschrieben. Laut dieser Verordnung wird Käse wie folgt definiert: „Käse sind frische oder in verschiedenen Graden der Reife befindliche Erzeugnisse, die aus dickgelegter Käsereimilch hergestellt sind.“ Zur Milch darf hierfür auch Buttermilch, Sahne und/ oder Molke zugesetzt werden. Die Dicklegung kann durch Zugabe von Milchsäurebakterien oder Lab geschehen. Für die Herstellung von Labkäse wird meistens beides zugesetzt. Im Gegensatz dazu erfolgt die Dicklegung von Sauermilchkäse ausschließlich über direkt zugesetzte oder von Mikroorganismen gebildete Säuren.

Neben Vorschriften für die Herstellung wurden auch die Zusammensetzung und Eigenschaften einzelner Käsesorten festgesetzt. Diese sind in der Tabelle 1 für Edamer beispielhaft dargestellt (Käseverordnung, 2007).

Tab. 1: Gesetzliche Bestimmungen zur Zusammensetzung und Eigenschaften von Edamer

Parameter	Ausprägung
Fett i. Tr.	30 – 59 %
Mindesttrockenmasse	49 – 57 %
Farbe im Käseinneren	elfenbeinartig bis goldgelb
Teig	matt glänzend, geschmeidig
Lochung	vereinzelt, bis Erbsengröße
Geruch, Geschmack	mild, nicht säuerlich
Mindesthaltbarkeitsdatum	Sechs Monate

Nach ihren Fettgehalten in der Trockenmasse werden Käse in Fettgehaltsstufen eingeteilt. Durch diese wird die Mindesttrockenmasse, die eingehalten werden muss, bestimmt. Edamer mit 40 % F. i. Tr. wird der Fettstufe zugerechnet und muss eine Trockenmasse von mindestens 53 % aufweisen. Ursprünglich stammt der Käse aus den Niederlanden und wurde aus Rohmilch hergestellt. Heutzutage wird die Käsereimilch für die industrielle Herstellung in der Regel pasteurisiert. Statt der traditionellen Naturreifung, bei der sich während der Reifung eine Rinde bildet, wird vorwiegend eine Folienreifung angewendet, wodurch dem gereiften Käse die Rinde fehlt (Ternes u. a., 2005).

2.1.1 Milchvorbehandlung

Ein Großteil der Käsesorten wird aus Kuhmilch hergestellt, so auch Edamer. Ein Flussdiagramm zu den einzelnen Schritten der Vorbehandlung der Milch zeigt die Abbildung 1:

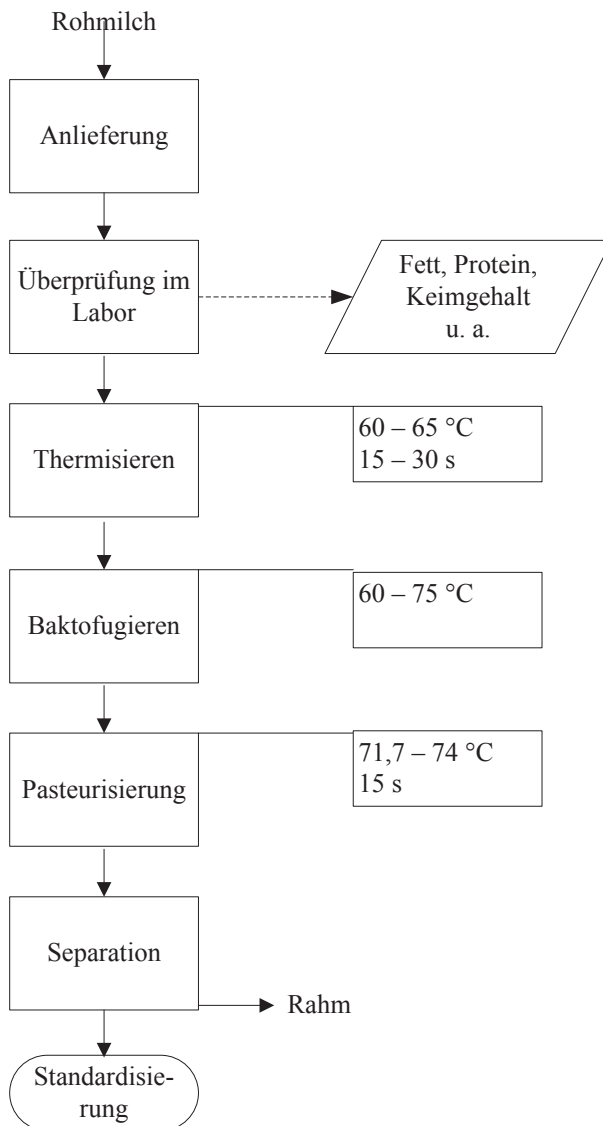


Abb. 1: Schematische Darstellung der Milchvorbehandlung

Die Milch wird mit Milchsammelwagen von den Landwirten abgeholt und zur Molkerei gebracht. Dort wird sie im Labor auf ihre Käseereitauglichkeit untersucht. Dazu gehört beispielsweise die Keimbelastung. Auch die chemische Zusammensetzung wird überprüft, also Parameter wie der Fett- und Proteingehalt. Diese sind besonders wichtig, da sie die Zusammensetzung der späteren Produkte bestimmen. Der Gefrierpunkt wird untersucht, um auszuschließen, dass die Milch mit Wasser verdünnt oder mit Reinigungsmitteln verunreinigt ist. Er liegt in Rohmilch bei $-0,52\text{ °C}$ und nähert sich durch Verwässerung dem Nullpunkt an, bzw. sinkt durch Salze, wie sie

auch in Reinigungsmitteln vorhanden sind. Vor der Weiterverarbeitung wird die Milch in Tanks zwischengelagert (Kammerlehner, 2003).

Vor dem eigentlichen Käsungsprozess wird die Milch einer vierstufigen Vorbehandlung unterzogen, wobei in der Literatur viele Einstellungen für die ausschlaggebenden Parameter zu finden sind (Kammerlehner, 2003; Spreer, 1995).

In vielen Molkereien wird der Rohstoff thermisiert, also auf 60 bis 65 °C erhitzt. Dabei werden psychrophile, wärmeempfindliche, Mikroorganismen abgetötet. Durch die Thermisation ist die Milch länger lagerfähig, so kann sie bei Lastschwankungen zwischengelagert werden ohne dass die Keimbelastung ansteigt (Kammerlehner, 2003).

Das anschließende Baktofugieren dient dem Entfernen von milchfremden Bestandteilen, wie Tierhärchen oder Sporen. Letztere werden bei einer Wärmebehandlung nicht abgetötet und müssen daher auf diesem Weg reduziert werden. Dies geschieht in einer, als Baktofuge bekannten, Zentrifuge.

Außer für Rohmilchkäse wird die Milch einer weiteren Wärmebehandlung unterzogen. Der Denaturierungsgrad der Proteine muss möglichst gering gehalten werden, um die Labfähigkeit zu erhalten, da die Eiweiße sich sonst nicht zum Labgel verbinden können. Daher wird am häufigsten die Pasteurisierung angewendet, wobei eine Kurzzeiterhitzung auf 71 bis 74 °C, bei einer Heißhaltezeit von 15 s, am schonendsten ist. Es werden alle pathogenen Keime abgetötet. Caseine werden dabei nur minimal verändert, wodurch die Käseitauglichkeit erhalten bleibt.

Die Zusammensetzung der Milch ist wichtig, um eine bestimmte Käsesorte mit den gewünschten Eigenschaften zu erhalten. Daher wird der Fettgehalt in einem Separator eingestellt. Vor der Standardisierung wird die Milch in einem Separator in Magermilch und Rahm getrennt. Der Magermilch wird dann, bis zum benötigten Fettgehalt, Rahm wieder zugefügt. Der überschüssige Rahm wird weiterverarbeitet, beispielsweise in einer Butterei. Auch eine Standardisierung des Proteingehaltes, über die Zugabe von Molkenproteinen oder Milchpulver, ist möglich. Dieses wird aber nicht in allen Molkereien durchgeführt. Von einigen Milchverarbeitern wird die Milch erst nach der Standardisierung einer Wärmebehandlung unterzogen (Spreer, 1995).

2.1.2 Der Käseprozess

Nach der Wärmebehandlung und dem Standardisieren der Milch schließt sich der eigentliche Käseprozess an. Die Abbildung 2 zeigt die einzelnen Arbeitsschritte dazu schematisch:

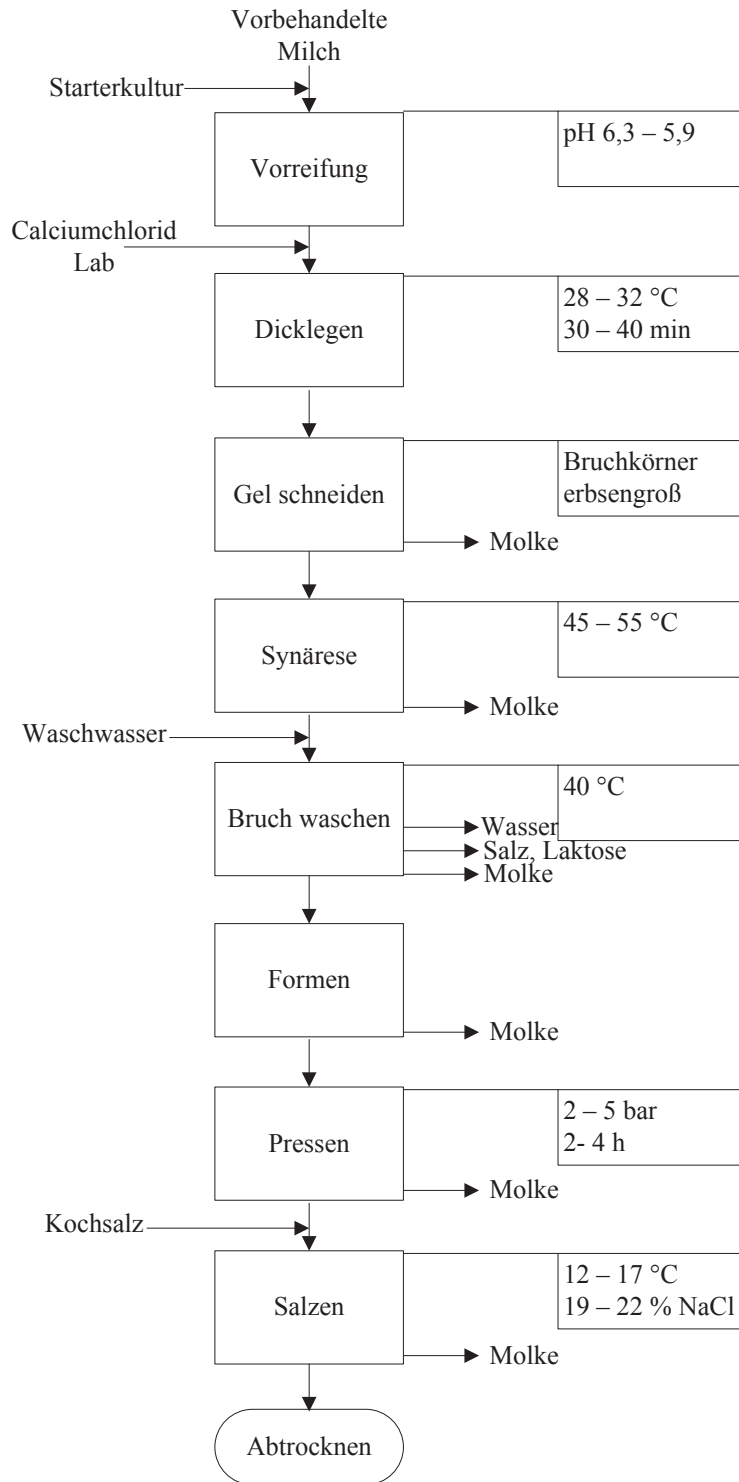


Abb. 2: Schematischer Ablauf des Käseprozesses

Vorreifung:

Der Käsungsprozess beginnt mit dem Vorreifen der Milch, indem dem vorbehandelten Rohstoff Säuerungsbakterien zugesetzt werden, z. B. Lactobazillen oder Streptokokken. Die zugegebenen Mikroorganismen bilden in ihrem Stoffwechsel unter anderem Milchsäure. So wird der pH-Wert der Milch auf 6,3 bis 5,9 gesenkt. Für Schnittkäse wie Edamer werden mesophile Säuerungskulturen eingesetzt (Spreer, 1995).

Während der Vorreifung wird auch Calciumchlorid zur Käsereimilch zugegeben. Das Calcium liegt in der Milch zu einem Teil gelöst und zum Anderen an Casein gebunden vor. Nur über Calcium-Phosphat-Brücken können sich die Micellen nach der Labzugabe zu einem stabilen Netzwerk verbinden, wodurch das Calcium gebunden wird. Durch eine höhere Calciumkonzentration kann sich das Gel schneller bilden und wird fester (Lucey u. a., 1993).

Dicklegen:

Das Dicklegen der Milch geschieht durch die Zugabe von Lab, dieses führt zur enzymatischen Gerinnung der Proteine. Der Vorgang ist in der Abbildung 3 dargestellt. Die Labenzyme Chymosin und Pepsin wirken sich auf die Caseine aus, welche den Hauptanteil der Milchproteine ausmachen. Ein weiterer Teil sind Molkenproteine, diese werden allerdings nicht vom Lab gefällt.

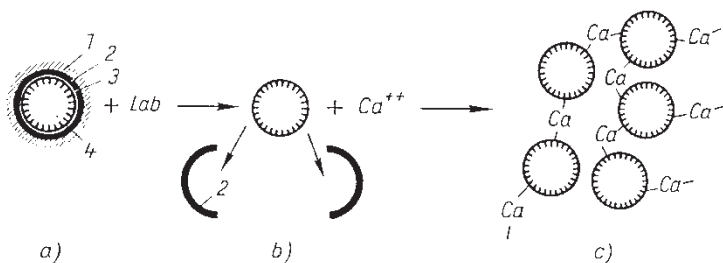


Abb. 3: Schematische Darstellung der Caseingerinnung (Spreer, 1995)

Die Caseine liegen in geordneten Micellen vor (a). Nur das κ -Casein besitzt Glycomakropeptide (2), die in die wässrige Phase der Milch hineinragen und durch ihre hydrophilen Eigenschaften eine Hydrathülle (1) bilden. Ein weiterer Teil vom κ -Casein ragt ins Innere der Micelle (3). Auch die weiteren Casein-Fractionen, α_{s1} , α_{s2} und β , befinden sich innerhalb der Micelle (4).

Die Hydrathülle verhindert die Aggregation der Casein-Micellen untereinander. Durch die Enzyme werden die Glycomakropeptide vom κ -Casein abgespalten und Para- κ -Casein entsteht (b). So geht die „Schutzhülle“ verloren, die Micellen können sich über die Calcium-Phosphat-Brücken zu Aggregaten verbinden und es bildet sich ein Labgel (c).

Die Absenkung des pH-Wertes erhöht die Aktivität der Labenzyme, wodurch sich die Dickerungszeit verkürzt (Spreer, 1995).

Bruchbearbeitung:

Durch die Gerinnung der Milch wird der wässrige Teil im Gel als Molke gebunden. Es liegt dabei zum größten Teil als sogenanntes Hohlraumwasser in den Poren und Hohlräumen vor. Das entstandene Labgel wird geschnitten, um die Molke effektiv entfernen zu können, da diese erst nach dem Öffnen der Hohlräume abfließen kann. Je kleiner die entstandenen Bruchkörner sind, desto mehr Molke kann entfernt werden und desto höher wird die Trockenmasse. Der Prozess der Molkenabgabe wird Synärese genannt.

Nachdem ein Teil der Molke entfernt wurde, kann der Bruch gewaschen werden. Dazu wird dem Bruch-Molke-Gemisch Wasser zugegeben, wodurch aus dem Käsebruch Salze und Lactose ausgewaschen werden. Da den Mikroorganismen so die Energiequelle entzogen wird, wird die Säuerung verlangsamt und der spätere Käse ist milder und nicht sauer. Auch die Molkenabgabe wird gefördert. Dazu muss die Temperatur des Waschwassers gesteuert werden, es werden Temperaturen bis 55 °C angewendet, wodurch parallel zum Waschen nachgewärmt werden kann.

Durch das Nachwärmen, bei einigen Käsesorten auf bis zu 35 °C Produkttemperatur, wie auch bei Edamer, lässt sich die Synärese beschleunigen. Dadurch verstärkt sich wiederum auch die Säuerung, da thermophile Bakterien, wie sie unter anderem für Hartkäse zugesetzt werden, in ihrem Wachstum gefördert werden (Spreer, 1995).

Formen:

In industriellen Molkereien findet die Käseherstellung parallel in mehreren Fertiggern statt. Damit diese nach der Bruchbearbeitung schnell wiederverwendet werden können, wird das Bruch-Molke-Gemisch vor der Weiterverarbeitung in Puffertanks gefüllt. So können die Lastschwankungen ausgeglichen werden, um eine gleichmäßige Ausnutzung der weiterführenden Maschinen zu erreichen.

Das Bruch-Molke-Gemisch wird von den Zwischentanks aus in perforierte Formen gefüllt, wozu verschiedene Methoden zur Verfügung stehen. Eine Möglichkeit besteht darin, den Bruch von Hand in die passenden Formen zu schöpfen.

Meistens wird dieser aber automatisch eingelassen, beispielsweise über eine Casomatic. Diese besteht aus einer perforierten Säule, in der der Bruch nach unten sinken kann und dann in die Formen eingelassen wird. Der Bruch wird gleichzeitig durch den Eigendruck vorgepresst. Parallel kann im oberen Teil der Säule Molke abgesaugt werden. Auch durch Löcher in den Formen

kann weiterhin Molke ablaufen, während die Bruchkörner zu einem zusammenhängenden Käse-laib zusammenwachsen (Spreer, 1995).

Pressen:

Schnitt- und Hartkäse werden in den Formen zusätzlich gepresst, für zwei bis vier Stunden bei zwei bis fünf bar Druck. Dadurch wird weitere Molke entfernt und somit die Trockenmasse erhöht. Durch das stärkere Zusammenwachsen der Bruchkörner wird auch die Form verbessert.

Nach diesen Prozessschritten wird der Bruch als Rohkäse bezeichnet, also der frisch geformte Käse vor Beginn der Reifung (Spreer, 1995).

Salzen:

Nach dem Pressen verbleiben die meisten Käse, je nach Sorte, für mehrere Tage in einem Salzbad. Dadurch verbessert sich zum Einen der Geschmack des Produktes. Zum Anderen wird die Aktivität der Reifungsenzyme und die spätere Textur beeinflusst, da der a_w -Wert, die Wasseraktivität, sinkt. Außerdem wird eine konservierende Wirkung gegen Schadkeime wie Clostridien erlangt, da der Käse während des Salzens den niedrigsten pH-Wert erreicht. Dieser liegt bei Edamer direkt nach dem Salzen zwischen 5,1 und 5,3.

Zum Salzen gibt es verschiedene Methoden. Die meisten Käse werden hierzu in ein Salzbad eingebracht. Der Salzgehalt der Lake beträgt für Schnittkäse circa 20 %. Der Grund für die Salzaufnahme der Käse ist die Osmose, da die Konzentration in der Lake ein Vielfaches höher ist als in den Rohkäse. Gleichzeitig diffundiert Molke durch den osmotischen Druck aus dem Käse in das Salzbad, wodurch die Trockenmasse der Käse steigt. Auch wenn die Geschwindigkeit des Austausches durch die Verringerung der Konzentrationsunterschiede nachlässt, könnten sich die Vorgänge bis zu einem Gleichgewicht fortsetzen. Allerdings verweilen die Käse nicht so lange im Salzbad. Hartkäse bleiben bis zu sechs Tage in der Lake, Weichkäse verlassen sie schon nach wenigen Stunden.

Weitere Möglichkeiten des Salzens:

- Zugabe zur Käsereimilch
- Bruchsalzen
- Trockensalzen durch Wälzen der Käse im Salz
- Injektion direkt in die Rohkäse

Die Käseoberfläche wird nach dem Salzen oft abgetrocknet, um ein Wachstum von unerwünschten Hefen oder Schimmelpilzen zu verhindern. Dazu werden die Käse in der Regel einem

Luftstrom ausgesetzt (Spreer, 1995). In einigen Molkereien werden die Käse vor einer Folienreifung nicht abgetrocknet, da sie so leichter in die Reifungsfolie verpackt werden können.

2.1.3 Reifung und nachgelagerte Prozessschritte

Nach dem Ausformen und Salzen kann die Reifung der Käse beginnen. Außer Frischkäse müssen alle Käsesorten laut Käseverordnung reifen. Währenddessen entsteht, durch komplexe chemische und mikrobiologische Vorgänge, das sortentypische Aroma, die Textur ändert sich und gegebenenfalls kommt es zur Lochbildung.

Abbildung 4 zeigt ein Flussdiagramm zu den letzten Arbeitsschritten der Käseherstellung mit einer Folienreifung und anschließender Konfektionierung:

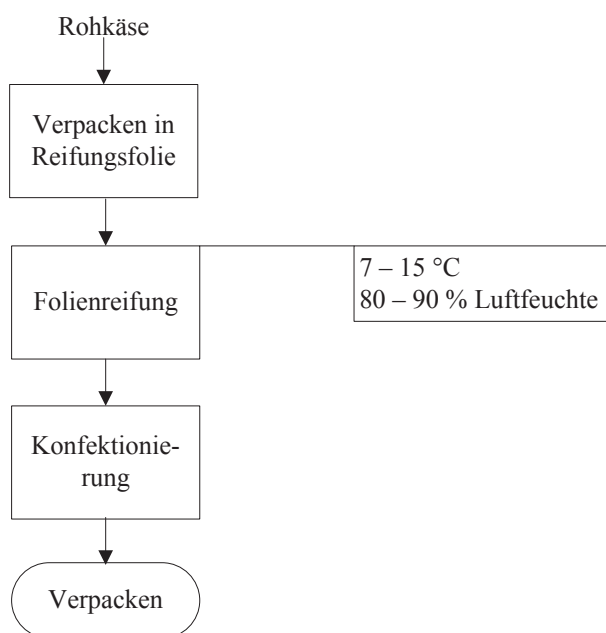


Abb. 4: Schematische Darstellung der Reifung und nachfolgender Prozessschritte

Für Schnittkäse sollte die Temperatur in den Reifungsräumen zwischen 7 und 15 °C liegen, bei einer relativen Luftfeuchte von 80 bis 90 %. Die Luftfeuchtigkeit ist vor allem bei naturgereifter Ware wichtig, bei einer Folienreifung hat sie wenig Einfluss. Über Klimaanlage wird die Atmosphäre in den Reifungsräumen gesteuert, so lassen sich die Reifungsbedingungen konstant halten. Die Dauer der Reifung wird von der Käsesorte bestimmt. Schnittkäse wie Edamer reifen vier bis neun Wochen, Hartkäse auch mehrere Monate bis zu einem Jahr (Kammerlehner, 2003). Es wird zwischen Natur- und Folienreifung unterschieden.

Naturreifung:

Für eine Naturreifung werden die Käse geschmiert, beispielsweise mit einer schwachen Salzlösung oder einem Coating. Durch die wasserdampfdurchlässige Schicht sinkt der Wassergehalt der Käse während der Reifung und die Oberfläche trocknet aus. Dies führt dazu, dass sich eine Rinde bildet und die Käse durch den Wasserverlust fester werden (Spreer, 1995).

Die Calciumverteilung ändert sich innerhalb der Käse. Das freie Calcium diffundiert in der wässrigen Phase gelöst nach außen, daher steigt während der Naturreifung der Calciumgehalt im Rindbereich an (Moreno-Rojas u. a., 1994).

Folienreifung:

Für die Folienreifung werden die Käse vor dem Reifungsbeginn in eine fünfschichtige, dampf- undurchlässige Kunststoffolie verpackt. Diese verhindert Feuchtigkeitsverluste, wodurch ein höherer Wassergehalt im gereiften Käse ermöglicht wird und somit auch eine höhere Ausbeute zur Folge hat. Die chemische Zusammensetzung verändert sich während der Reifung kaum. Insbesondere Fett-, Salz-, Calciumgehalt und die Trockenmasse bleiben konstant. Außerdem sind die Käse besser vor äußeren Einflüssen, wie Mikroorganismen und Schimmelbewuchs, geschützt (Spreer, 1995).

Während der Reifung läuft eine Vielzahl an komplexen chemischen, enzymatischen und mikrobiologischen Vorgängen ab. Die wichtigsten Prozesse für Schnittkäse sind die Milchsäuregärung, Proteolyse und Lipolyse. Diese sind für den gewünschten Produktcharakter verantwortlich und werden daher im Folgenden näher erläutert.

Milchsäuregärung:

Die Milchsäuregärung vollzieht sich durch die zugesetzten Kulturen. Die Milchsäurebakterien nutzen die im Käse enthaltene Lactose als Energiequelle und wandeln diese über Glucose und Pyruvat in Milchsäure um. Unterschieden werden kann zwischen homofermentativer und heterofermentativer Milchsäuregärung. Der größte Teil der eingesetzten Milchsäurebakterien gehört zum ersten Typ (Abbildung 5).

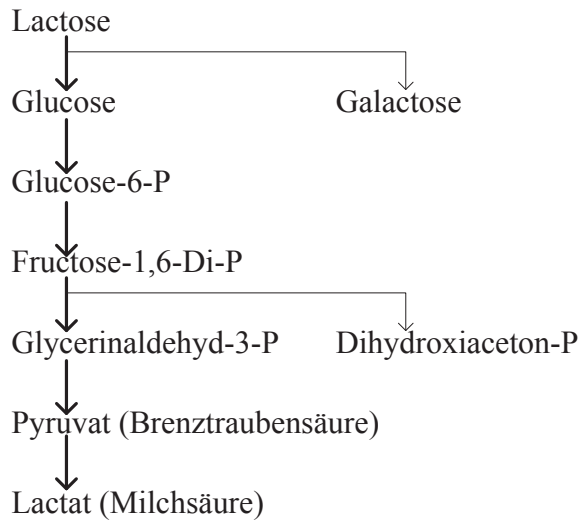


Abb. 5: Homofermentative Milchsäuregärung (Jakob u. a., 2005)

Die homofermentativen Milchsäurebakterien bilden aus der Lactose fast ausschließlich Milchsäure, andere bilden auch Essigsäure, Diacetyl, Kohlenstoffdioxid oder Alkohole. Durch die Gase entsteht die Lochung im Käse, da die gasförmigen Stoffe durch den Käseteig diffundieren und sich an Hohlraumansätzen sammeln.

Durch die gebildete Milchsäure sinkt der pH-Wert im Käse, so werden Fäulniserreger wie Enterokokken in ihrem Wachstum gehemmt. Auch der Geschmack der gereiften Produkte wird beeinflusst, vor allem durch die Nebenprodukte wie Diacetyl (Jakob u. a., 2005; Spreer, 1995).

Proteolyse:

Proteolytische Enzyme der Milchsäurebakterien bauen die Proteine im Käse zu niedermolekularen Verbindungen ab (Abbildung 6).

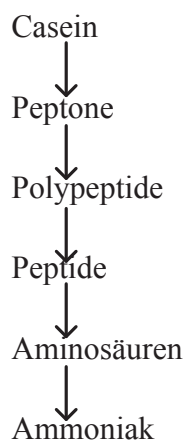


Abb. 6: Proteolyse (Jakob u. a., 2005)

Das Casein wird durch hydrolytische Spaltung zum Teil bis zu den Aminosäuren abgebaut. Ein weiterer Abbau zu Ammoniak würde Fäulnis bedeuten (Spreer, 1995).

Die Abbauprodukte vom Casein sind wasserlöslich, daher sind sie nicht mehr in die Proteinmatrix eingebunden und das Netzwerk wird dünner. Der Käse wird trotzdem nicht weicher, da bei der Spaltung neue Ionengruppen gebildet werden, die Wasser binden. Daher werden Hart- und Schnittkäse auch bei einer Folienreifung, währenddessen die Trockenmasse nicht ansteigt, fester (Lawrence u. a., 1987).

Zudem sind Abbauprodukte der Proteine, beispielsweise Aldehyde und Peptide, sehr geschmacksintensive Stoffe, also aromabildend (Jakob u. a., 2005).

Lipolyse:

Während der Lipolyse wird Fett enzymkatalytisch in Glycerin und Fettsäuren gespalten. Lipasen katalysieren die Reaktion, diese stammen zum Einen aus der Milch und können zum Anderen mikrobiellen Ursprungs sein. Die gebildeten freien Fettsäuren sind sehr geschmacksintensiv, daher ist eine gewisse Lipolyse für die Geschmacksbildung erwünscht. Bei einer zu hohen Konzentration der freien Fettsäuren werden die Käse ranzig (Jakob u. a., 2005).

Nachgelagerte Prozessschritte:

Nach Ablauf der Reifezeit wird ein Teil der Käse noch in der Molkerei weiterverarbeitet. In der Konfektionierung werden die gereiften Produkte, je nach Verwendungszweck, geraspelt, in Stücke oder in Scheiben geschnitten. Die konfektionierte Ware wird überwiegend an den Einzelhandel verkauft.

Vor einer Auslieferung müssen die Käse verpackt werden, um sie gegen äußere Einflüsse zu schützen und so Qualitätseinbußen zu verhindern. Es muss dabei auch sichergestellt werden, dass es zu keinen Beeinträchtigungen durch die Verpackungsmaterialien kommt, beispielsweise durch den Übergang von gesundheitsgefährdenden Stoffen in den Käse. Am häufigsten werden Kunststofffolien zur Verpackung genutzt.

Käse, die vom Werk als foliengereifte Blockware verkauft werden, müssen nicht neu verpackt werden. Sie sind durch die Reifungsfolie geschützt. Die Blöcke werden in Industriebetrieben weiterverarbeitet, in dem sie beispielsweise geraspelt werden. Der Endverbraucher konsumiert diese Käse meistens in Convenience Produkten wie Fertiglasagne (Spreer, 1995).

2.2 Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Schnittkäse

2.2.1 Beeinflussung der Festigkeit

Soll Käse industriell weiterverarbeitet werden, ist die Textur des Produktes ein wichtiger Parameter für dessen Qualität. Möglichkeiten zur Weiterverarbeitung liegen in der Verwendung für Convenience Food, wie Tiefkühlpizzen. Hierfür muss der Käse maschinell geraspelt werden.

Als Textur werden die strukturellen Eigenschaften eines Lebensmittels verstanden. Hierzu zählt, neben Einflussgrößen wie die Adhäsivität, auch die Festigkeit. Die Adhäsivität bezeichnet die Wechselwirkungen zwischen den Grenzflächen beteiligter Phasen. Dies kann zur Klebrigkeit führen. Festigkeit ist eine Werkstoffeigenschaft, die den mechanischen Widerstand gegen plastischer Verformung oder Trennung beschreibt (Spreer, 1995).

Viele Autoren, wie Lucey u. a. (2003) und Kammerlehner (2003), haben aufgezeigt, welche Einflussfaktoren es für die Textur von Schnittkäse gibt, hierzu zählen:

- Proteingehalt
- Wassergehalt
- Fettgehalt
- Salzgehalt
- pH-Wert
- Calciumgehalt
- Reifungsbedingungen

Es spielt also die gesamte Zusammensetzung der Käse eine wichtige Rolle (Kammerlehner, 2003). Aus der flüssigen Emulsion Milch entsteht, durch die Bildung eines Labgels und der weiteren Bearbeitung, der Feststoff Käse. Wie oben bereits beschrieben, wird das Gel durch die Aggregation der Casein-Micellen gebildet (Kapitel 2.1.2, Spreer, 1995).

Proteingehalt:

Kammerlehner (2003) zeigte, dass der Proteingehalt im Käse Einfluss auf die Festigkeit hat. Die gebildete Proteinmatrix wird mit zunehmender Konzentration dichter, wodurch der Käse fester wird.

Dies bedeutet, dass die physikalischen Eigenschaften durch die Wechselwirkungen zwischen den Casein-Molekülen bestimmt werden, also der Anzahl, der Stärke und dem Typ der Bindungen zwischen den Micellen (Lucey u. a., 2003). Verbindungen zwischen den Caseinen können auf unterschiedlichen Wegen gebildet werden: Calciumphosphat-Brücken verbinden die einzelnen Submicellen zu größeren Micellen und nach Zugabe der Labenzyme die Micellen zu

Aggregaten. Ohne vorhandenes Calcium bilden sich Verbindungen aufgrund von elektrostatischen und hydrophoben Wechselwirkungen. Diese Verbindungen sind allerdings weniger stark und leicht zu lösen, weshalb eine Mindestmenge an Calcium vorhanden sein muss, um ein stabiles Labgel bilden zu können (McMahon u. a., 1984).

Wassergehalt:

Bei einem höheren Wassergehalt wird die Proteinkonzentration und somit die Dichte des Proteinnetzwerkes geringer. Daher sind Käse mit einer geringeren Trockenmasse weicher (McMahon u. a., 2005).

Salzgehalt:

In der Salzlake diffundiert Molke aus dem Käse heraus und Salz hinein. Dadurch steigt die Trockenmasse und die Wasseraktivität nimmt ab. Demzufolge zeigt sich ein höherer Salzgehalt nicht nur in einem veränderten Geschmack, sondern auch in einer höheren Festigkeit (Spreer, 1995; Lucey u. a., 2003).

Fettgehalt:

Einige Autoren führen auch den Fettgehalt als Einflussgröße auf die Textur an. Ein höherer Gehalt führte zu einem weicherem Käse, der bessere Schmelzeigenschaften hatte. Auch bei einem höheren Fettgehalt ist die Konzentration der Proteine und folglich die der Caseine geringer (Foe-geding u. a., 2007; Kammerlehner, 2003). Im Gegensatz dazu zeigten Lucey u. a. (2003), dass der Fettgehalt nur wenig Einfluss auf die Festigkeit hat.

Die Fettanteile im Käse liegen, je nach Messtemperatur, fest oder flüssig vor. Wurden die Untersuchungen bei einer Temperatur oberhalb des Schmelzpunktes der Fette gemacht, wird dieses zumindest teilweise geschmolzen sein und so die Festigkeit der Käse verringert haben. Allerdings wurde in keiner der zitierten Publikationen die Temperaturen der Proben veröffentlicht.

pH-Wert:

Auch zu den Auswirkungen des pH-Wertes auf die Textur von Schnittkäse existieren widersprüchliche Aussagen. In eigenen Versuchen wurde gezeigt, dass dieser keinen signifikanten Einfluss auf die Festigkeit hat. Er stieg während der Reifung leicht an, lag aber während des gesamten Untersuchungszeitraums zwischen 5,20 und 5,35 (Bernett, 2009).

In anderen Untersuchungen kam man zu dem Ergebnis, dass die Textur bei niedrigerem pH-Wert weicher wird. Dies liegt vor allem daran, dass das gebundene Calcium ab einem pH-Wert unter

5,5 anfängt, sich von den Casein-Micellen zu lösen, wodurch die Größe der Micellen abnimmt. Der pH-Wert sinkt während der Produktion der Käse durch die Säurebildung der zugegebenen Kultur. Somit hat der pH-Wert durch die Beeinflussung des Calciums einen indirekten Einfluss auf die Textur der Käse, der allerdings erst bei größeren Unterschieden signifikant wird (Johnson u. a., 2006; Lawrence u. a., 1987; Lucey u. a., 2003).

Calciumgehalt:

Laut zahlreichen Publikationen hat besonders der Calciumgehalt einen großen Einfluss auf die Festigkeit von Käse. Das unlösliche Calcium ist am Para- κ -Casein und den α_{s1} - und α_{s2} -Caseinen gebunden, verbindet die Submicellen miteinander und bildet somit größere Micellen. Dadurch wird das gebildete Caseingerüst, also die Proteinmatrix, dichter und stabiler und der Käse fester. Entscheidend ist demzufolge nicht der Gesamtgehalt, sondern das Verhältnis zwischen unlöslichem, also gebundenem, und wasserlöslichem, sprich freiem, Calcium (Hassan u. a., 2004; Johnson u. a., 2006; Kammerlehner, 2003; Lucey u. a., 2003; McMahon u. a., 2005; O'Mahony u. a., 2006).

Der native Calciumgehalt in der Rohmilch liegt nur bei 0,12 %. Diese Menge ist für die Bildung eines stabilen Labgels nicht ausreichend. Daher wird in der Regel Calciumchlorid zur Käsereimilch zugegeben, um ein festeres Labgel und damit auch einen festeren Käse zu erhalten (Kammerlehner, 2003).

Dieser Effekt konnte in eigenen Versuchen nicht bestätigt werden. Es zeigte sich eine negative Korrelation zwischen der Zugabe von CaCl_2 und der Festigkeit der Käse. Die Käse wurden also proportional zur Menge an Calciumchlorid weicher (Bernett, 2009). Auch Lucey u. a. (1993) stellten fest, dass eine sehr hohe Calciumzugabe zu einer Reduzierung der Festigkeit führte. Es wird angenommen, dass das Calcium die Löslichkeit der Hydrathülle des κ -Caseins reduziert. Wenn die Glycomakropeptide nicht abgespalten werden, können die Casein-Micellen untereinander nicht aggregieren.

Reifungsbedingungen:

Das Verhältnis zwischen freiem und an den Casein-Micellen gebundenem Calcium ist nicht konstant. Es ändert sich während der Reifung zu Gunsten der löslichen Mineralien. Aufgrund der Proteolyse wird Casein abgebaut, das daran gebundene Calcium wird in der Folge frei. So sinkt der Gehalt an unlöslichem Calcium innerhalb von vier Monaten von 73 auf 58 %. Die größten Änderungen im Verhältnis finden in den ersten vier Wochen statt, also zu Beginn der Reifung

(Hassan u. a., 2004). Dass die Käse trotz des dünner werdenden Caseinnetzes mit steigendem Alter fester werden, wurde bereits im Kapitel 2.1.3 dargestellt.

So stieg die Festigkeit von foliengereiften Edamer von 24 N in zwei Wochen altem Käse auf 30 N in 40 Tage gereiftem Käse. Die Messungen fanden dabei jeweils in der Mitte der Käseblöcke statt (Bernett, 2009).

Somit ist die Textur der gereiften Produkte auch von den Reifungsbedingungen, welche das Maß der Proteolyse beeinflussen, abhängig.

Bei eigenen Versuchen wurden neben der Festigkeit von Edamer mit 40 % F. i. Tr. auch der Fett- und der Salzgehalt und die Trockenmasse untersucht. Es zeigte sich, dass keiner dieser drei Faktoren einen Einfluss auf die Festigkeit der Käse hatte. Die Proben reiften in einer Folie, wodurch sich die Zusammensetzung im Laufe der Reifung nicht veränderte, wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben. Unter welchen Bedingungen die Käse in den zitierten Untersuchungen reiften, konnte den Publikationen nicht entnommen werden. Bei einer Naturreifung ändert sich die Zusammensetzung aufgrund von Diffusionsvorgängen und dem Wasserverlust stärker, dadurch könnten die Parameter einen stärkeren Einfluss auf die Textur der Käse zeigen. Die unterschiedlichen Reifungsbedingungen können demzufolge ein Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse sein (Bernett, 2009).

Wie erläutert, können also alle Prozessschritte, von der Milchzusammensetzung bis zu Reifung, die Festigkeit der Käse beeinflussen (Lucey u. a., 2003).

2.2.2 Beeinflussung der sensorischen Eigenschaften

Für den Endverbraucher, der Schnittkäse vor allem in Scheiben kauft und konsumiert, sind alle sensorischen Qualitätskriterien von Bedeutung: Wichtig sind vor allem der Geruch und der Geschmack, das Aussehen entscheidet häufig über den Kauf eines Produktes. Die Textur hat eher eine untergeordnete Rolle, sie wird meistens nur dann wahrgenommen, wenn sie stark vom Standard abweicht, beispielsweise bei Klumpenbildung von geraspeltem Käse.

Die sensorischen Eigenschaften des Produktes hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab. Neben dem Herstellungsprozess hat bereits die Milchzusammensetzung und –qualität einen Einfluss auf die Eigenschaften des Endproduktes (Lucey u. a., 2003). Auch die Säuerung durch zugesetzte Starterkulturen und die damit zusammenhängende Entwicklung des pH-Wertes beeinflussen das Aroma. Die Salzaufnahme aus dem Salzbad unterstützt die Geschmacksbildung. Die

Zusammensetzung des Käses hat ebenfalls Einfluss auf seinen Geschmack. Vor allem der Fettgehalt beeinflusst den Geschmack, da er Träger von fettlöslichen Aromastoffen ist.

Besonders wichtig für die Ausprägung der sensorischen Eigenschaften von Schnittkäse sind die komplexen Vorgänge während der Reifung (Kapitel 2.1.3). Aus dem fast geschmacksneutralen ungeriebenen Käse entwickelt sich ein Endprodukt mit den charakteristischen Eigenschaften und Aromaprofilen. Das Aussehen ändert sich, je nach Reifungsart, durch die Bildung der typischen Oberfläche. Die Farbe ist abhängig von zugegebenen Farbstoffen, zum Beispiel β -Carotin. Mikroorganismen sind für die Lochung und die Bildung von Aromastoffen verantwortlich. Geruch und Geschmack werden auch und vor allem durch enzymatische Vorgänge wie Lipolyse und Proteolyse beeinflusst (Spreer, 1995). Kubis u. a. (2001) stellten eine signifikant positive Korrelation zwischen dem Maß der Proteolyse und der Entwicklung von Geruchs- und Geschmacksintensität fest.

Die Reifungsbedingungen müssen genau festgelegt und gesteuert werden, um die Entwicklung von Fehleraromen zu verhindern. So können die in der Käseverordnung beschriebenen Eigenschaften erreicht werden (Tabelle 1 in Kapitel 2.1). Bei abweichenden Prozessparametern kann es beispielsweise zu einem fehlerhaften Geschmack, aufgrund Wachstums unerwünschter Mikroorganismen, kommen. Auch eine zu hohe Zugabe von Calciumchlorid kann zu einem Fehler führen, der Käse wird dann bitter (Kammerlehner, 2003).

Bei einer sensorischen Beurteilung von 40 Tage altem Edamer mit Calciumchloridzugaben zwischen 0,020 und 0,080 % wurden keine Unterschiede im Geschmack festgestellt. Die Konsistenz wurde beim Käse mit 0,080 % CaCl_2 geringfügig schlechter bewertet, da das Produkt etwas weicher war. Der Calciumchloridzusatz hatte aber keinen signifikanten Einfluss auf die bewerteten Qualitätskriterien Aussehen, Geruch, Geschmack und Konsistenz (Bernett, 2009).

2.3 Einfluss von Calciumchlorid auf die Käseausbeute

Calcium vernetzt während des Käseungsprozesses die Caseine miteinander (Abbildung 3, Kapitel 2.1.2). So wird mit steigender Calciumchloridzugabe der Bruch fester und die benötigte Gerinnungszeit wird verkürzt. Gleichzeitig erhöht der Zusatz von CaCl_2 die Käseausbeute. Diese bezeichnet die Menge an Käse, die aus einer bestimmten Menge Milch erzeugt wird (Kammerlehner, 2003).

Da das Proteinnetzwerk durch Calcium fester und stabiler wird, kann mehr Fett in den Bruch mit eingebunden werden und es gehen weniger Inhaltsstoffe verloren. Dies zeigt sich in einem geringeren Fett- und Proteinverlust in die Molke und einer geringeren Trockenmasse derselben. Da folglich höhere Konzentrationen im Käse verbleiben, erhöht sich die Ausbeute.

Ustunol u. a. (1990) untersuchten die Auswirkungen der Calciumchloridzugabe auf die Käseausbeute. Sie gaben 0, 0,02, 0,03 und 0,05 % CaCl_2 zur Milch zu. Die höchste Ausbeute wurde mit einer Zugabe von 0,05 % Calciumchlorid erreicht. Der Verlust von Fett in die Molke sank signifikant mit steigendem Zusatz. Der Proteinübergang veränderte sich nicht signifikant. Auch in anderen Untersuchungen kam man zu ähnlichen Ergebnissen. Bei Calciumchloridzugaben von 0,06 und 0,08 % enthielt die Molke vier Prozent weniger Fett und sogar 14 % weniger Protein als mit geringeren Zusatzmengen von CaCl_2 (Bernett, 2009).

Von den Molkereien wird eine möglichst hohe Ausbeute angestrebt. Durch den Verkauf von Käse wird ein höherer Gewinn erreicht, auch wenn eine Verarbeitung der anfallenden Molke durch neue Verwertungsmöglichkeiten heutzutage ebenfalls wirtschaftlich sein kann. Sie wird vor allem zu Pulver getrocknet, für die Schweinemast oder die Lebensmittelindustrie, und als Trinkmolke angeboten (Kammerlehner, 2003).

2.4 Festigkeitsmessung

Da die Textur von Käse, zu der auch die Festigkeit zählt, einen Einfluss auf die Qualitätsbewertung des Produktes hat, sollte diese während Qualitätskontrollen in den Molkereien regelmäßig überprüft werden. Werden die Produkte weiterverarbeitet, ist die Textur, je nach dem Verwendungszweck, genauso wichtig oder sogar wichtiger als der Geschmack. Beispielsweise müssen Käse zum Raspeln eine Mindestfestigkeit haben, da der Käse sonst schmieren würde und dadurch die Anlagen verkleben kann.

Es stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, um die Textur von Schnittkäse zu untersuchen. Die mechanischen Prüfungen lassen sich in die drei Gruppen der imitierenden, fundamentalen und empirischen Tests einteilen (Tunick, 2000).

Imitierende Tests:

Bei den imitierenden Tests wird das Kauen im Mund nachgeahmt. Die einfachste Form besteht aus zwei Keilen, die auf die Probe gedrückt werden. So kann das Durchbeißen nachvollzogen werden. Am wichtigsten ist heute die Texturprofilanalyse, bei der die Probe zwischen zwei Platten liegt. Die obere Platte wird hoch gefahren und anschließend auf die Oberfläche der Käse gedrückt. Durch Wiederholen dieses Vorgangs kann das Kauen imitiert werden. Diese Methoden sind gut geeignet für Vergleiche zwischen verschiedenen Zusammensetzungen oder Produkten. Sie liefern aber keine Ergebnisse zu wahren rheologischen Eigenschaften, beispielsweise der Festigkeit, die dann mit anderen Methoden verglichen werden könnten. (Tunick, 2000).

Fundamentale Tests:

Fundamentale Tests geben eine bessere Repräsentation der Textur wider. Es findet ein systematisches, genau definiertes Verfahren statt, so dass mehrere Parameter in einer Prüfung erfasst werden können. Dazu zählt beispielsweise der Drucktest. Es wird die Deformation der Käseprobe ermittelt, aber auch die Kraft in der Einheit Newton und die Arbeit in Joule, die zum Brechen der Struktur nötig sind.

Da die Anschaffung von Geräten zur Durchführung fundamentaler Tests mit hohen Kosten verbunden ist, wird häufig auf andere Testmethoden zurückgegriffen (Tunick, 2000).

Empirische Tests:

Als kostengünstigere Alternative werden daher oft empirische Tests durchgeführt. Zudem sind sie einfacher durchzuführen. Die Ergebnisse einer Prüfung beziehen sich nur auf eine Eigenschaft der Textur. Zu den empirischen Methoden zählt auch die penetrometrische Festigkeitsmessung. Bei diesem Gerät wird eine Kugel oder ein Zylinder eine genau definierte Strecke in die Probe gedrückt und die dafür benötigte Kraft gemessen.

Nachteil der Messmethoden ist die schlechte Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen anderer Geräte, da die Testbedingungen willkürlich gewählt werden können (Tunick, 2000).

Sensorische Prüfungen:

Eine weitere Möglichkeit die Textur zu bestimmen, ist die sensorische Beurteilung. Hierzu bieten sich zum Einen die Profilprüfungen nach DIN 10967 an. Bei dieser Prüfung kann die Intensität jeder einzelnen Eigenschaft ermittelt werden, beispielsweise sowohl die Festigkeit als auch die Adhäsivität. Zum Anderen kann auch die Rangordnungsprüfung genutzt werden. Hierbei werden die Produkte in eine Reihenfolge gebracht, etwa nach der Festigkeit oder auch nach der Beliebtheit (Norm DIN 10963, 1997).

Der Vorteil sensorischer Prüfungen liegt darin, dass das Prüfgut in einem Protokoll neben der Textur auch auf die weiteren sensorischen Qualitätskriterien, Farbe, Form, Geruch und Geschmack, untersucht werden kann.

Foegeding u. a. (2007) verglichen die Ergebnisse eines mechanischen fundamentalen Tests mit einer sensorischen Profilprüfung. Es bestand eine hohe Korrelation zwischen den Ergebnissen bei der Messung der Festigkeit der Käse. Für diesen Parameter zerdrückten die Prüfer die Käseprobe mit den Fingern. Im Gegensatz dazu war die Korrelation bei Eigenschaften, die das Kauen betrafen, wie die Adhäsion, nur gering. Dies liegt daran, dass die Proben der Prüfer während der Untersuchung mit Speichel vermischt wurden. Durch den steigenden Wassergehalt der Probe änderten sich die Eigenschaften.

Neben solchen möglichen Veränderungen haben die sensorischen Prüfungen den Nachteil, dass sie zeitaufwendiger sind. Die Prüfer müssen ausreichend geschult werden, um vergleichbare, genaue und wiederholbare Ergebnisse zu erhalten.

Unabhängig von der Methodenwahl muss bei der Prüfung der Festigkeit immer darauf geachtet werden, dass die Testbedingungen konstant gehalten werden. Dazu gehört auch die Untersuchungstemperatur, da die Textur der Käse durch die Temperatur beeinflusst wird. Die Proben sind bei höheren Temperaturen weicher (Foegeding u. a., 2007).

Zudem ist Käse am Rand fester als in der Mitte, da hier ein höherer Salzgehalt vorliegt (Kammerlehner, 2003). Dies wurde auch in eigenen Untersuchungen bestätigt. Während einer Reifezeit von 40 Tagen wurde von insgesamt 160 Käseblöcken an jeweils vier Messstellen die Festigkeit gemessen. Die Proben waren immer am Rand am festesten, das Innere des Käseblocks war oft über 50 % weicher (Bernett, 2009). Es ist daher sehr wichtig, dass die Probennahme stets gleich erfolgt.

3 Material und Methoden

3.1 Rezepturvarianten

Die Käse werden bei der Nordmilch AG am Standort Edeweicht hergestellt. Für die Versuche wird Edamer mit 40 % Fett in der Trockenmasse im Euroblockformat verwendet. Es handelt sich hierbei um foliengereifte Blöcke zu 15 kg. Außer in Bezug auf die Calciumchloridzugabe und der Gerinnungszeit verläuft die Herstellung identisch mit der kommerziellen Produktion. Der Käsereimilch wird während der Herstellung neben Kultur, Calciumchlorid und Lab auch β -Carotin als Farbstoff und Magermilchkonzentrat zugegeben. Letzteres erhöht den Proteingehalt, wodurch eine höhere Ausbeute erreicht werden kann. Für jede Variante wird ein Fertiger genutzt, diese fassen jeweils 23.800 l Milch. Alle Varianten werden direkt nacheinander, in einer Schicht, produziert.

Die Rezepturvarianten wurden analog zu vorangegangenen Versuchen gewählt, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Die Varianten sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2: Rezepturvarianten

Nummer	CaCl ₂ -Zugabe [%]	Absolute CaCl ₂ - Zugabe [g]	Gerinnungszeit [min]
1	0,020	4.760	32
2	0,030	7.140	29
3	0,044	10.400	25
4	0,060	14.280	23
5	0,080	19.040	19

Es werden fünf Varianten produziert, die anhand der Calciumchloridzugabe abgewandelt werden. Da der Calciumgehalt der Käsereimilch die Dicklegungszeit beeinflusst, wie in Kapitel 2.1.2 beschrieben, wird auch diese angepasst. Die Gerinnungszeit beträgt zwischen 32 und 19 Minuten. Dadurch können vergleichbare Protein- und Fettübergänge in die Molke erreicht werden, so dass die Zusammensetzung nahezu identisch ist (Bernett, 2009).

3.2 Chemische Untersuchungen

Alle fünf Käsevarianten werden nach Reifezeiten von 0, 13, 20, 24 und 29 Tagen auf ihren Gesamtcalciumgehalt untersucht. Eine Prüfung nach 35 Tagen, analog zu den Festigkeitsmessungen, war aus zeitlichen Gründen nicht mehr möglich. Allerdings sollte sich der Gehalt im Laufe der Reifung nicht verändern.

Die Untersuchungen werden mittels Atom-Absorptionsspektroskopie in dem akkreditierten Labor LUFA Nord-West in Oldenburg durchgeführt. Dabei wird die Probe durch schnelles Erhitzen atomisiert, also in einzelne Atome überführt. Eine Hohlkathodenlampe mit Calcium als Kathode dient als Lichtquelle, der die Probe ausgesetzt wird. Ein Teil des Lichts wird von den Atomen absorbiert. Über eine Kalibrierkurve wird aus der Schwächung des Lichtstrahls die Calciumkonzentration im Käse ermittelt (Baltes, 2004).

Zudem wird nach einer Reifezeit von 29 Tagen das Verhältnis zwischen dem wasserlöslichen und dem gebundenen Calcium bestimmt. Dazu werden Proben der fünf Varianten in das milch-wirtschaftliche Labor Wangen im Allgäu geschickt. Zur Bestimmung des freien Calciums werden die Käse ausgepresst. Jede Probe wird mit Seesand vermischt und homogenisiert. Dieses Gemisch wird unter hohem Druck so gepresst, dass flüssiges Fett und Käsesaft aufgefangen werden können. Die Flüssigkeiten werden gekühlt, damit die Fettanteile fest werden. In die Fettschicht kann dann ein Loch geschnitten werden, so dass der Käsesaft entfernt werden kann. Anschließend wird dieser über eine Atom-Absorptionsspektroskopie auf den Calciumgehalt untersucht (Hassan u. a., 2004).

Der prozentuale Anteil des gebundenen Calciums am Gesamtcalcium wird mit Hilfe der Formel 1 berechnet.

$$\text{Anteil gebundenes Calcium} = \frac{(\text{Gesamtcalcium [\%]} - \text{freies Calcium [\%]}) * 100 \%}{\text{Gesamtcalcium [\%]}}$$

Formel 1: Gebundener Calciumanteil

Die Rohkäse werden direkt nach Verlassen des Salzbadts auch auf ihren Fettgehalt, Salzgehalt, die Trockenmasse und den pH-Wert untersucht. So kann kontrolliert werden, ob die Rezepturvarianten die gleiche Zusammensetzung haben. Die chemischen Analysen zur Bestimmung der Käsezusammensetzung werden im molkereeigenen Labor durchgeführt und gehören zur allgemeinen Kontrolle von Schnittkäse. Für die Bestimmung des Fett-, Salz- und Wassergehaltes wird für Käse bis zu einem Alter von zwei Wochen die Nahinfrarot-Spektroskopie genutzt. Mit dem sogenannten FoodScan können alle Untersuchungen zusammen durchgeführt werden. Während der Untersuchung werden die Moleküle in der Probe mit Strahlung im nahen Infrarotbereich an-

geregt. Je nach Konzentration der Inhaltsstoffe werden Differenzen zur Grundschwingung detektiert. Auch hier wird die Konzentration in den untersuchten Proben über Kalibrierkurven ermittelt (Baltes, 2004).

Der Fettgehalt in der Trockenmasse wird nach der Formel 2 berechnet.

$$\text{F. i. Tr. [\%]} = \frac{\text{Fettgehalt [\%]}}{\text{Trockenmasse [\%]}} * 100 \%$$

Formel 2: Fettgehalt in der Trockenmasse

Der pH-Wert wird elektrometrisch gemessen. Dazu wird eine geeichte Glaselektrode mit einer Genauigkeit von $\pm 0,03$ Messeinheiten verwendet.

3.3 Penetrometrische Festigkeitsmessung

3.3.1 Das Penetrometer

Die Messung der Festigkeit wird mit einem Penetrometer der Firma Zwick Roell durchgeführt (Abbildung 7).

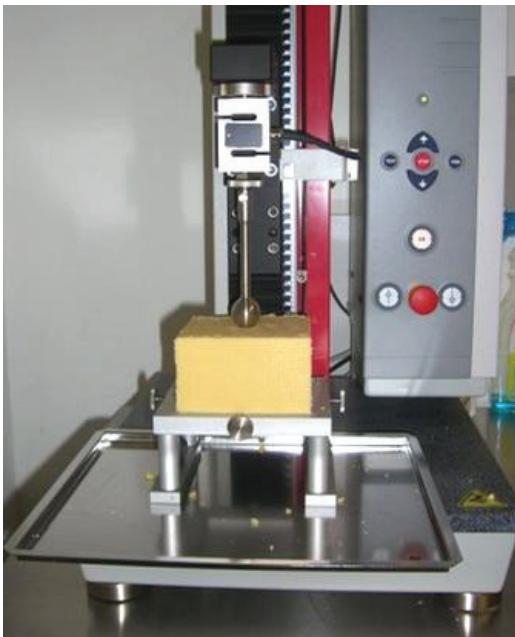


Abb. 7: Penetrometrische Festigkeitsmessung

Es handelt sich hierbei um einen empirischen Test zur Texturanalyse. Zur Messung wird das Probenstück mittig auf eine Stahlplatte gelegt. Ein Stempel wird auf die Oberfläche der Käse herunter gefahren und weiter mit konstanter Geschwindigkeit fünf Millimeter tief in die Probe gedrückt. Als Eindringstempel dient für diese Untersuchungen eine Stahlkugel mit einem Durchmesser von 20 mm.

Die Festigkeit der Käse wird durch das Maximum der benötigten Kraft, um den Weg zurückzulegen, definiert. Die Einheit der gemessenen Kraft ist Newton (N). Die Ergebnisse werden mit der Software testXpert dokumentiert, diese ist direkt mit dem Penetrometer verbunden.

3.3.2 Probenvorbereitung und Messung

Die Proben werden jeweils fünf Mal auf ihre Festigkeit geprüft. Die Untersuchungen finden nach 13, 20, 24, 29 und 35 Tagen Reifung statt. So kann der Einfluss der Reifezeit auf die Festigkeit der Käse überprüft werden. Abbildung 8 zeigt schematisch die Probennahme für die penetrometrischen Messungen.

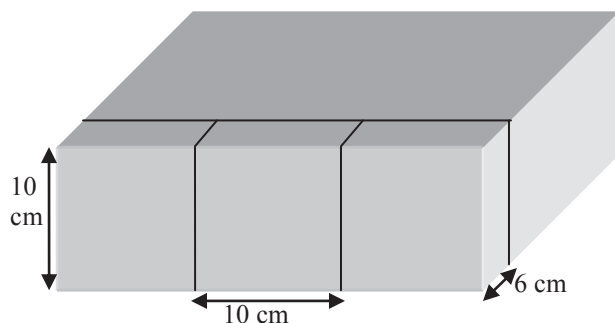


Abb. 8: Messstelle im halbierten Käseblock

Für die Untersuchung wird der Block mit einem Schneidedraht halbiert. Von beiden Schnittflächen wird eine sechs cm dicke Scheibe abgeschnitten. Diese werden gedrittelt, nur die beiden Mittelstücke werden für die Messungen genutzt. Die Stücke sind mit einer Größe von 6x10x10 cm etwas kleiner als die Auflageplatte am Penetrometer.

So kann sichergestellt werden, dass bei jeder Messung die gleiche Probenstelle genutzt wird. Das Probenstück entspricht der Messstelle „Kern 1“ in vorherigen Untersuchungen zur Festigkeit. Hier war in den gereiften Käse die weichste Stelle (Bernett, 2009).

Da immer die gleiche Messstelle genommen wird und das Probenstück nur auf der zur Mitte hin liegenden Seite untersucht wird, kann ein Einfluss der Lage der Proben im Käseblock ausge-

geschlossen werden. Es werden jeweils vier Käseblöcke auf ihre Festigkeit untersucht. Somit können nach jeder Reifezeit acht Festigkeitsmessungen pro Rezepturvariante durchgeführt werden. Zudem wird mit einem elektronischen Temperaturfühler die Käsetemperatur erfasst und dokumentiert. Die Messung der Temperatur erfolgt in der Mitte des Käseblockes. Die Festigkeitsmessung muss stets unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden, da die Textur von Käse durch schwankende Temperaturen beeinflusst wird.

3.4 Sensorische Beurteilung

Alle fünf Käsevarianten werden nach 35 Tagen Reifung mit Hilfe einer Rangordnungsprüfung sensorisch beurteilt (DIN 10963, 1997). Die Untersuchungen werden als Einzelprüfungen durchgeführt, wobei die Proben von jeder Prüfperson in der gleichen Reihenfolge verkostet werden. Rückkosten ist erlaubt.

Die Proben werden mit dreistelligen Ziffern codiert, um zu verhindern, dass die Prüfpersonen die Rezepturvarianten erkennen können. Die Codierungen sind in der Tabelle 3 dargestellt. Mit diesen werden die jeweiligen Probenbehältnisse beschriftet.

Tab. 3: Codierung zur sensorischen Beurteilung

Rezepturvariante [% CaCl ₂]	Codierung
0,020	731
0,030	546
0,044	374
0,060	818
0,080	249

Die fünf Varianten werden für die Qualitätskriterien Aussehen, Geruch und Geschmack von den Prüfpersonen nach Beliebtheit in eine Rangfolge gebracht. Dadurch kann ein möglicher Einfluss der Calciumchloridzugaben auf das Aroma betrachtet werden. Zudem werden die Käse nach ihrer Festigkeit in eine Reihenfolge sortiert.

Das Einzelprotokoll ist in Tabelle 4 dargestellt. Hier wird die Rangfolge von den Prüfpersonen durch Eintragen der Rangplätze angegeben.

Tab. 4: Einzelprotokoll für Rangordnungsprüfung

Kriterien	Proben				
	731	374	249	546	818
<u>Aussehen</u> Rang 1: Am beliebtesten Rang 5: Am unbeliebtesten					
<u>Geruch</u> Rang 1: Am beliebtesten Rang 5: Am unbeliebtesten					
<u>Geschmack</u> Rang 1: Am beliebtesten Rang 5: Am unbeliebtesten					
<u>Textur</u> Rang 1: Am festesten Rang 5: Am weichsten					

Können keine Unterschiede festgestellt werden, werden sogenannte Verbundränge vergeben. Dies erfolgt, indem der Mittelwert der betreffenden Ränge ermittelt und eingetragen wird, z. B. bei den Rängen 1 und 2 der Verbundrang 1,5. Kann zwischen keinen der fünf Proben ein Unterschied festgestellt werden, wird allen der Verbundrang 3 gegeben, da $\frac{1+2+3+4+5}{5} = 3$. So wird der gleiche Rangplatz mehrfach vergeben.

Vor der Verkostung werden die Proben in 6x1x1 cm große Stücke geschnitten. Jeder Prüfperson stehen von allen Varianten jeweils drei solcher Stücke zur Verfügung. Zur Neutralisation der Geruchs- und Geschmackseindrücke ist Mineralwasser vorhanden. Die Temperatur der Prüfproben muss während der Verkostung übereinstimmen.

Ein Labor, das für sensorische Prüfungen entsprechend der DIN 10962 eingerichtet ist, ist in der Molkerei nicht vorhanden. Die Verkostung findet stattdessen an einem einzelnen Tisch statt. An diesem ist ausreichend Platz, sodass die Prüfpersonen die Bewertungen unabhängig voneinander durchführen können.

3.5 Auswertung und statistische Ergebnisbetrachtung

Durch die Auswertung soll ermittelt werden, inwieweit die Festigkeit von Edamer mit 40 % Fett in der Trockenmasse von der Calciumchloridzugabe beeinflusst wird. Außerdem wird der Einfluss der Calciumverteilung überprüft, also welche Auswirkungen das Verhältnis zwischen freiem und gebundenem Calcium hat. Da die Käse während der Reifung fünf Mal geprüft werden, kann auch ein Einfluss der Reifezeit auf die Festigkeit untersucht werden.

Dazu werden zum Einen grundlegende statistische Verfahren genutzt, wie die Berechnung des Mittelwertes und des Variationskoeffizienten. Zum Anderen werden Korrelationsanalysen und Varianzanalysen (ANOVA) durchgeführt.

Mittelwert:

Der arithmetische Mittelwert \bar{x} wird nach Formel 3 berechnet.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Formel 3: Arithmetischer Mittelwert (Schlittgen, 2003)

n: Anzahl der Werte

x_i : Einzelne Messwerte

Variationskoeffizient:

Der Variationskoeffizient v gibt an, inwieweit Werte um den Mittelwert streuen. Im Gegensatz zur Varianz oder zur Standardabweichung wird der Variationskoeffizient nicht von der Größe der Werte beeinflusst. Die Abweichungen werden relativ gemessen, so dass Streuungen verschiedener Variablen besser verglichen werden können. Zur Berechnung wird die Standardabweichung durch den Mittelwert dividiert.

$$v = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}}{\bar{x}} * 100 \%$$

Formel 4: Variationskoeffizient (Schlittgen, 2003)

Varianzanalyse (ANOVA):

Mit Hilfe einer einfaktoriellen Varianzanalyse wird überprüft, ob ein Faktor auf eine Variable, die Messwerte enthält, Einfluss hat. So kann in Bezug auf die gegenwärtigen Versuche untersucht werden, ob es signifikante Unterschiede bezüglich der Käsefestigkeit gibt. Eine ANOVA wird durch die Berechnung des F-Wertes durchgeführt, dieser wird über die Varianzen s^2 der betreffenden Parameter berechnet.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Formel 5: Varianz (Schlittgen, 2003)

$$F = \frac{n_1 * n_2 * (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{n_1 * s_1^2 + n_2 * s_2^2}$$

Formel 6: F-Wert für ANOVA (Schlittgen, 2003)

Dabei ist, laut Zöfel (2000), das Ergebnis bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit p unter 0,05 signifikant (*), unter 0,01 hoch signifikant (**) und unter 0,001 höchst signifikant (***)

Die Varianzanalyse wird mit dem Rechen-Software Minitab durchgeführt.

Korrelationsanalyse:

Sind laut einer ANOVA signifikante Unterschiede vorhanden, werden Korrelationsanalysen durchgeführt, um Zusammenhänge zwischen den Parametern festzustellen. Im Rahmen der aktuellen Betrachtungen werden lineare Zusammenhänge zwischen der Festigkeit der Käse und der Calciumchloridzugabe, bzw. dem Calciumgehalt, überprüft. Dazu wird der Korrelationskoeffizient $r_{x,y}$ nach Bravais-Pearson mit Hilfe der Formel 7 berechnet.

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Formel 7: Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson (Schlittgen, 2003)

x_i, y_i : Einzelne Messwerte

Der Koeffizient kann zwischen 1 und -1 liegen. Ergebnisse über 0,8 und unter -0,8 gelten als stark korrelierend, sprich voneinander beeinflusst. Bei 0 besteht kein linearer Zusammenhang,

bei 1 und -1 liegen alle Werte auf einer Geraden. Bei einem positiven Resultat sind die betrachteten Parameter direkt proportional zueinander, das heißt, erhöht man zum Beispiel die Calciumchloridzugabe resultiert daraus eine höhere Festigkeit. Bei einem negativen Ergebnis verhalten sich die Werte umgekehrt proportional (Schlittgen, 2003).

Nicht-lineare Zusammenhänge können über Trendlinien, welche zu den grafisch dargestellten Ergebnissen eingetragen werden, betrachtet werden. So werden beispielsweise quadratische Zusammenhänge über ein Polynom zweiter Ordnung, also einer Parabel, beschrieben.

Ausreißertest:

Durch die Mehrfachbestimmung der Festigkeit in jeder Käsevariante können die Ergebnisse Ausreißer enthalten. Diese können über einen Ausreißertest über das Box Plot nach Lehn u. a. (2000) identifiziert werden. Der Test wird durchgeführt, wenn, aufgrund von stärker abweichenden Werten, ein Verdacht auf Ausreißer besteht.

Dazu werden die Werte der Größe nach sortiert. Die mittleren 50 % der Werte liegen im sogenannten Box Plot. Anschließend wird dessen Spannweite berechnet. Alle Ergebnisse, die weiter als die dreifache Spannweite von den Grenzen des Box Plots entfernt liegen, werden als Ausreißer definiert. Dies ist in der Abbildung 9 dargestellt.

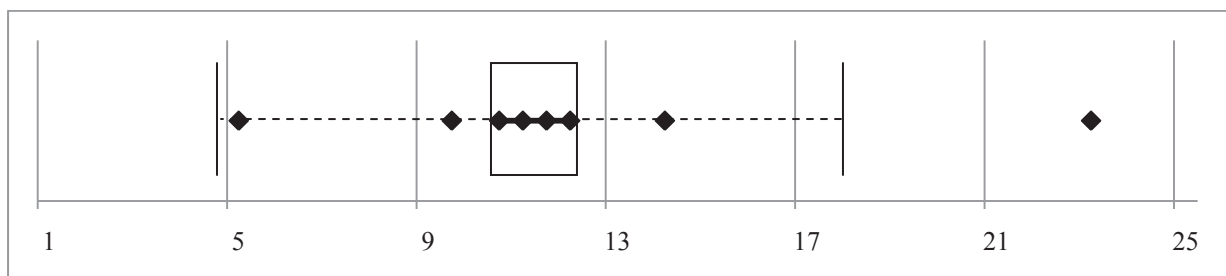


Abb. 9: Box Plot zum Ausreißertest

Das Box Plot wird durch ein Rechteck symbolisiert. Die Linien entsprechen dessen dreifacher Spannweite. Nur der äußerste Wert auf der rechten Seite ist als Ausreißer anzuerkennen.

Die erkannten Ausreißer werden aus allen Rechnungen ausgenommen.

Sensorische Beurteilung:

Die Auswertung der Rangordnungsprüfung erfolgt nach Friedman. Der Test wird für jedes Qualitätskriterium getrennt durchgeführt. Dazu wird der F-Wert nach Friedman berechnet und mit dem kritischen Wert, welcher der Anzahl der Prüfpersonen und der Prüfproben entspricht, verglichen. Der F-Wert wird nach Formel 8 berechnet.

$$F = \frac{12}{n \cdot k \cdot (k+1)} \cdot (R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_k^2) - 3 \cdot n \cdot (k+1)$$

Formel 8: F-Wert des Friedman-Tests (DIN 10963, 1997)

n: Anzahl der Prüfpersonen

k: Anzahl der Prüfproben

R: Rangsumme der Prüfprobe von n Prüfpersonen

Die kritischen Werte werden der Tabelle 3 „Approximierte kritische Werte des Friedman-Tests“ der DIN 10963 (1997) entnommen. Er beträgt für fünf Proben bei sechs oder mehr Prüfpersonen 9,49, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05. Ist der errechnete F-Wert größer als der entnommene kritische Wert, bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Proben.

Treten Verbundränge in der Bewertung auf, muss der F-Wert vor einem Vergleich korrigiert werden:

$$F' = \frac{F}{1 - \frac{E}{n \cdot k \cdot (k^2 - 1)}}$$

Formel 9: Korrektur des F-Wertes (DIN 10963, 1997)

E: Korrekturfaktor

Der Korrekturfaktor E lässt sich wie folgt berechnen:

$$E = (t_1^3 - t_1) + (t_2^3 - t_2) + \dots + (t_n^3 - t_n)$$

Formel 10: Korrekturfaktor für F' (DIN 10963, 1997)

t: Anzahl der Verbundränge jeder Prüfperson

Der F'-Wert wird anschließend mit den kritischen Werten der DIN 10963 verglichen.

Neben den allgemeinen Unterschieden zwischen den Prüfproben können auch paarweise Unterschiede, anhand von Formel 11, identifiziert werden.

$$|R_A - R_B| \geq 1,960 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot k \cdot (k+1)}{6}}$$

Formel 11: Paarweiser Vergleich von Prüfproben (DIN 10963, 1997)

Ist die absolute Rangsummendifferenz größer oder gleich dem errechneten Vergleichswert bestehen signifikante Unterschiede zwischen den zwei Proben. Die Irrtumswahrscheinlichkeit hierbei beträgt 0,05 (DIN 10963, 1997).

Sowohl die Berechnungen, außer der ANOVA, als auch die grafische Darstellung erfolgt mit Microsoft Excel, 2007.

4 Ergebnisse

4.1 Der Käsungsprozess

Die Käseproduktion am Standort Edeweicht ist nahezu vollständig automatisiert. Die Milch aller fünf Varianten stammte aus einem Tank. Somit war die Zusammensetzung des Ausgangsstoffes für jede Rezeptur gleich. Magermilchkonzentrat, Farbstoff und Kultur wurden der Milch schon vor dem Einlaufen in die Käsefertiger zu dosiert, so dass die Milch bereits während des Befüllens vorreift. Parallel zum Einlaufen in den Fertiger wurde das Calciumchlorid manuell zugegeben. Nach 25 Minuten war der Fertiger vollständig gefüllt und der pH-Wert der Milch lag zwischen 6,51 und 6,53.

Die Gerinnungszeit begann mit der manuellen Labzugabe. Die Enzyme wurden zuerst in die Käsereimilch eingerührt. Die folgende Dicklegungszeit beträgt für die standardisierte Rezeptur mit 0,044 % Calciumchlorid 25 Minuten, während dieser Zeit wird die Milch nicht gerührt. Für die unterschiedlichen CaCl_2 -Zugaben wurde die Dauer angepasst (Tabelle 2 in Kapitel 3.1).

Danach wurde die Gallerte mit einem kombinierten Schneid- und Rührgerät für 20 Minuten geschnitten und gerührt. Anschließend wurde Molke abgezogen und durch Waschwasser ersetzt. Mittels der Temperatur des Waschwassers wurde das Bruch-Molke-Gemisch nachgewärmt.

Vom Käsefertiger wurde das Gemisch in einen Bruchpuffertank gepumpt. Hier wurde jeweils eine Charge, die Menge aus einem Fertiger, nochmals kurz gerührt und dann in die Casomaticsäulen gefördert. Dort wurde weitere Molke entfernt, der Bruch vorgepresst und in Formen gefüllt. Im Anschluss wurde der Käse für zwei Stunden mechanisch gepresst.

Nach der Pressung wurden die Käseblöcke für 64 Stunden in ein Hordensalzbad eingebracht. Anschließend wurden sie in Reifungsfolien verpackt. Die Blöcke für die Untersuchungen wurden in gesonderte Reifungskisten gepackt, um Verwechslungen zwischen den Versuchen und der regulären Produktion auszuschließen. Die Kisten wurden in festgelegten Regalen im Reifelager zur Folienreifung gelagert.

Von der genutzten Milch und der abgetrennten Molke wurde von jeweils einer Probe der Fett- und Proteingehalt bestimmt (Tabelle 5).

Tab. 5: Fett- und Proteingehalt von Milch und Molke

CaCl₂-Zugabe [%]	Milch		Molke		
	Fett [%]	Protein [%]	Fett [%]	Protein [%]	TM Molke [%]
0,020	2,69	3,73	0,25	1,03	7,21
0,030	2,69	3,74	0,21	0,95	7,11
0,044	2,69	3,74	0,22	0,99	7,17
0,060	2,69	3,74	0,21	0,97	7,07
0,080	2,68	3,74	0,22	0,99	7,16
\bar{x}	2,688	3,738	0,222	0,986	7,144
v [%]	0,166	0,120	7,402	3,009	0,764

Da die gesamte Milch aus einem Tank stammte, war die Zusammensetzung des Rohstoffs für alle fünf Varianten identisch. Es fällt auf, dass die Molke aus dem Bruch mit der geringsten Calciumchloridzugabe höhere Fett- und Proteingehalte hatte. Dementsprechend war auch die Trockenmasse der Molke höher.

Direkt nach Verlassen des Salzbad wurden Proben für die Labore genommen, um die Zusammensetzung der ungeriebenen Käse untersuchen zu lassen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tab. 6: Zusammensetzung der ungeriebenen Käse

CaCl₂-Zugabe [%]	pH-Wert	Salzgehalt [%]	TM [%]	Fettgehalt [%]	F. i. Tr. [%]
0,020	5,18	2,20	55,61	23,94	43,04
0,030	5,18	2,30	55,73	23,96	42,99
0,044	5,19	2,47	57,14	24,33	42,58
0,060	5,19	1,98	56,12	23,92	42,62
0,080	5,20	2,01	55,91	23,81	42,58
\bar{x}	5,188	2,192	56,102	23,992	42,762
v [%]	0,161	9,324	1,090	0,824	0,543

Insgesamt waren die fünf Rezepturvarianten sehr ähnlich zusammengesetzt, was durch die angepassten Gerinnungszeiten erreicht wurde. Am stärksten schwankte der Salzgehalt, bei einem Variationskoeffizienten von über neun Prozent. Auffällig ist, dass die Standardrezeptur mit 0,044 %

Calciumchlorid die höchsten Gehalte an Salz, Fett und Trockenmasse enthielt. Im Gegensatz dazu waren die Fettgehalte in der Trockenmasse sehr ähnlich.

4.2 Gehalt an Calcium

Gesamtcalcium:

Die Ergebnisse aller Untersuchungen zum Gesamtcalciumgehalt der Käse sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tab. 7: Gesamtcalciumgehalt der Käse

Reifezeit [Tage]	Calciumgehalt [%]				
	0,020 % CaCl ₂	0,030 % CaCl ₂	0,044 % CaCl ₂	0,060 % CaCl ₂	0,080 % CaCl ₂
0	0,811	0,811	0,798	0,824	0,861
13	0,885	0,874	0,885	0,890	0,919
20	0,866	0,869	0,863	0,880	0,909
24	0,877	0,886	0,914	0,908	0,928
29	0,857	0,861	0,861	0,808	0,892
\bar{x}	0,859	0,860	0,864	0,862	0,902
v [%]	3,372	3,367	4,946	5,051	2,931

Erste Messungen wurden mit den ungereiften Käse gemacht, der Gehalt lag im Durchschnitt bei 0,821 %. Den niedrigsten Calciumgehalt hatte der Käse, der mit der Standardrezeptur hergestellt wurde. Der höchste Zusatz von CaCl₂ führte auch zum höchsten Calciumgehalt im Käse.

Der Gehalt stieg innerhalb von 13 Tagen Reifung im Mittel um neun Prozent. Mit Ausnahme der Zusatzmenge von 0,020 % CaCl₂ stieg der Calciumgehalt mit steigender Calciumchloriddosierung.

Nach 20 Tagen Reifung lag der Calciumgehalt der Edamer im Mittel bei 0,878 %. Die Standardrezeptur hatte den geringsten Gehalt an Calcium. Bei Betrachtung der weiteren Dosierungen stieg die Calciummenge im Käse proportional mit der Calciumchloridzugabe.

In den 24 Tage gereiften Käse erreichte der Calciumgehalt im Durchschnitt Werte über 0,9 %. Mit Ausnahme der Variante mit 0,060 % Calciumchloridzusatz stieg der Gehalt wieder proportional mit der Zugabemenge.

Nach einer Reifezeit von 29 Tagen hatten die untersuchten Proben einen wesentlich geringeren Calciumgehalt. Er lag im Mittel bei 0,856 %. Der Käse mit 0,060 % Calciumchlorid enthielt mit Abstand am wenigsten Calcium.

Über die gesamte Reifezeit betrachtet, stieg der Calciumgehalt mit steigender Calciumchloridzugabe. Nur die Variante mit 0,060 % CaCl_2 hatte einen etwas geringeren Gehalt. Dies liegt an dem niedrigen Ergebnis nach 29 Tagen Reifung. Daher ist auch der Variationskoeffizient dieser Variante am höchsten.

Calciumverhältnis:

Nach einer Reifezeit von 29 Tagen wurden die Varianten auf das Verhältnis zwischen freiem und gebundenem Calcium untersucht. Die Ergebnisse dazu sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tab. 8: Calciumverhältnis nach 29 Tagen Reifung

CaCl₂-Zugabe [%]	Anteil freies Calcium [%]	Anteil gebundenes Calcium [%]
0,020	55,98	44,02
0,030	61,37	38,63
0,044	61,66	38,34
0,060	55,56	44,44
0,080	56,92	43,08
\bar{x}	58,30	41,70
v [%]	5,11	7,14

In allen fünf Käseproben war der Anteil des wasserlöslichen Calciums etwas höher als der gebundene Anteil. Das Verhältnis lag im Mittel bei etwa 58 zu 42 %, wobei die Varianten mit Zugabe von 0,030 und 0,044 % CaCl_2 einen höheren Anteil an freiem Calcium enthielten. Die Anteile schwankten zwar zwischen den unterschiedlichen Calciumchloridzugaben, es ist aber nicht zu erkennen, dass das Verhältnis von der CaCl_2 -Dosierung beeinflusst wurde.

4.3 Penetrometrische Festigkeitsmessung

Die Messungen mit dem Penetrometer wurden nach 13, 20, 24, 29 und 35 Tagen Reifezeit durchgeführt.

13 Tage Reifung:

Jede Rezepturvariante wurde acht Mal auf ihre Festigkeit untersucht. Die einzelnen Ergebnisse zur Untersuchung der Festigkeit sind in der Tabelle 9 im Anhang dargestellt. Bei den Proben mit 0,020 % Calciumchloridzugabe war ein Wert stark vom Mittelwert abweichend, daher wurde ein Ausreißertest durchgeführt. Das entsprechende Box Plot ist in der Abbildung 10 dargestellt.

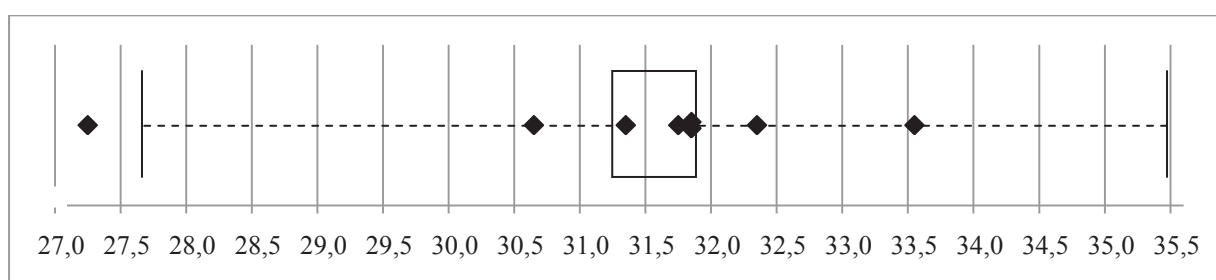


Abb. 10: Box Plot zur Festigkeit von Käse mit 0,020 % CaCl_2 nach 13 Tagen Reifung

50 % der gemessenen Werte lagen zwischen 30,95 und 32,05 N, die Spannweite des Box Plots betrug somit 1,1 N. Wird die dreifache Spannweite betrachtet, lagen alle Werte von 30,6 bis 33,5 N innerhalb dieses Bereichs. Das Ergebnis einer Festigkeit von 27,2 N wird folglich als Ausreißer angesehen und bei den folgenden Berechnungen nicht mehr berücksichtigt.

Die Abbildung 11 zeigt die mittleren Festigkeiten der Calciumchloridzugaben und als Fehlerindikatoren die Variationskoeffizienten.

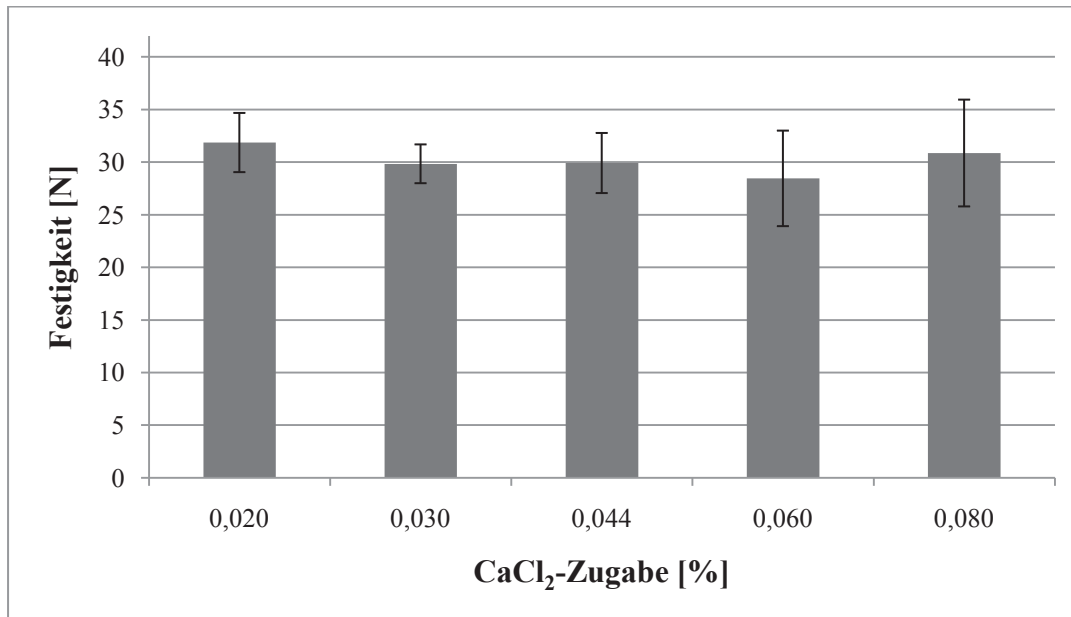


Abb. 11: Festigkeit der Käse nach 13 Tagen Reifung

Die Temperatur der Käse lag zwischen 4,7 und 5,1 °C, sie war also nahezu konstant. Die untersuchten Käse hatten im Durchschnitt eine Festigkeit von 30 N. Die Unterschiede in der Festigkeit zwischen den verschiedenen Zugaben von Calciumchlorid betragen im Mittel zwölf Prozent. Mit dem geringsten Calciumchloridzusatz wurde die höchste Festigkeit erreicht. Die Käse mit 0,080 % CaCl₂ waren nur wenig weicher. Die geringste Festigkeit hatten die Edamer mit Zugabe von 0,060 % Calciumchlorid.

20 Tage Reifung:

Die Ergebnisse der Untersuchungen nach 20 Tagen Reifezeit sind in Tabelle 10 im Anhang und in der Abbildung 12 dargestellt.

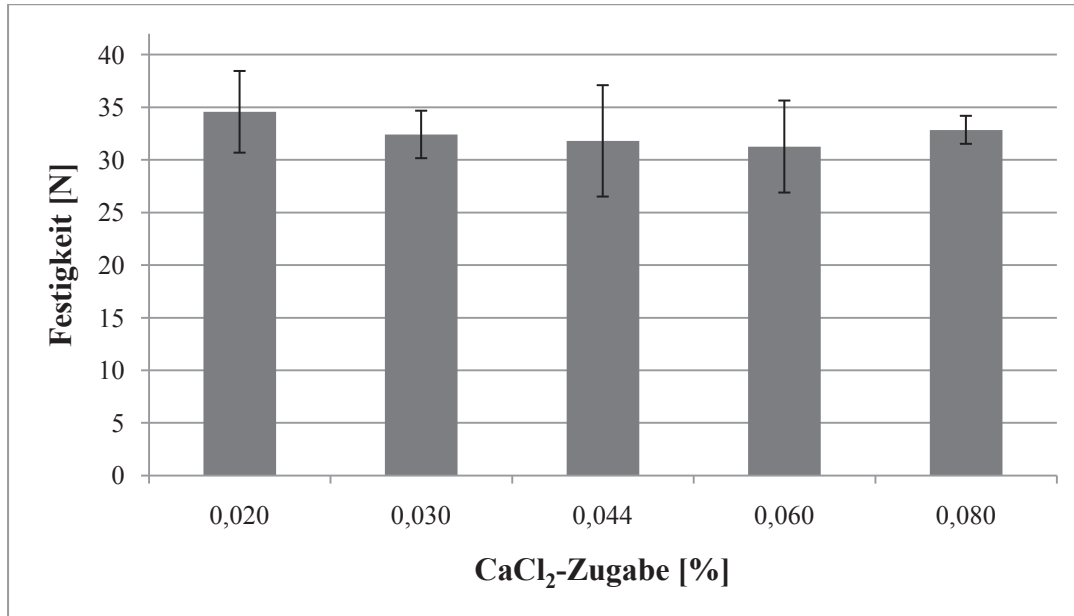


Abb. 12: Festigkeit der Käse nach 20 Tagen Reifung

Die Temperatur lag, bis auf eine Ausnahme, konstant bei 5,0 °C. Die Festigkeit der Käse stieg im Mittel auf 32,6 N. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Calciumchloridzugaben betragen etwa elf Prozent. Die Variante mit nur 0,020 % Calciumchlorid hatte weiterhin die höchste Festigkeit. Die Käse mit 0,060 % CaCl₂ waren am weichsten.

24 Tage Reifung:

Während der Messung der Festigkeit nach 24 Tagen Reifung lag die Temperatur der Käse zwischen 5,0 und 5,2 °C (Tabelle 11 im Anhang). Die Blöcke wurden insgesamt fester, im Mittel lag die Festigkeit bei 34,3 N (Abbildung 13).

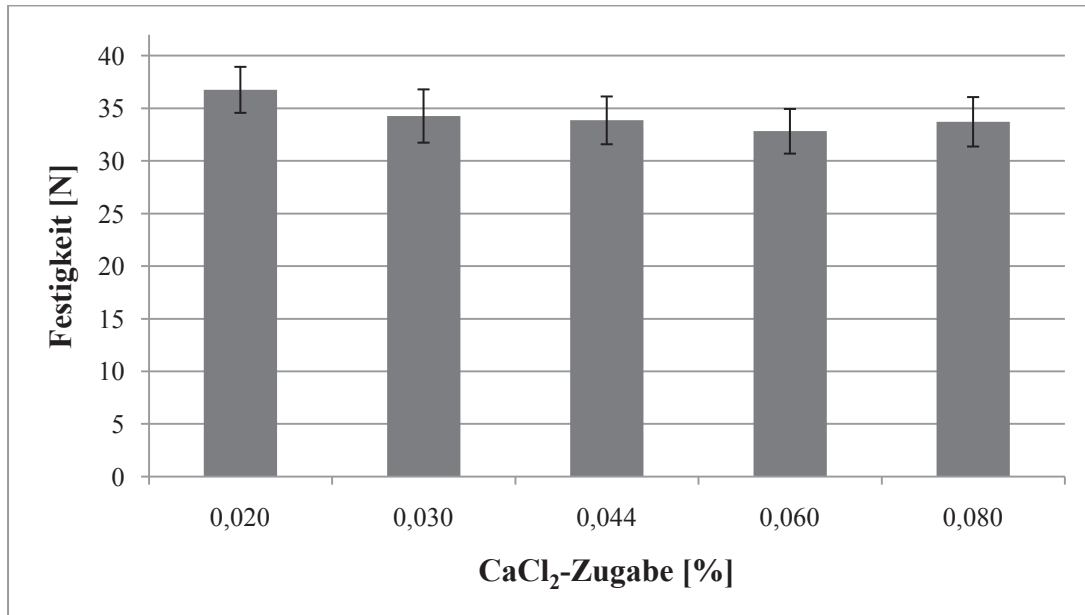


Abb. 13: Festigkeit der Käse nach 24 Tagen Reifung

Die Blöcke der Käse mit Zugabe von 0,020 % Calciumchlorid waren weiterhin am festesten. Bis zu einem Zusatz von 0,060 % CaCl₂ sank die Festigkeit der Käse mit steigender Calciumchloridmenge. Im Mittel waren die Käse mit 0,060 % CaCl₂ vier N weicher als die Variante mit der geringsten Dosierung. Die Rezepturvarianten unterschieden sich somit um circa zwölf Prozent. Die Blöcke mit 0,080 % Calciumchlorid waren leicht fester.

29 Tage Reifung:

Die Ergebnisse der penetrometrischen Messungen der 29 Tage alten Käse sind in Tabelle 12 im Anhang und der Abbildung 14 dargestellt.

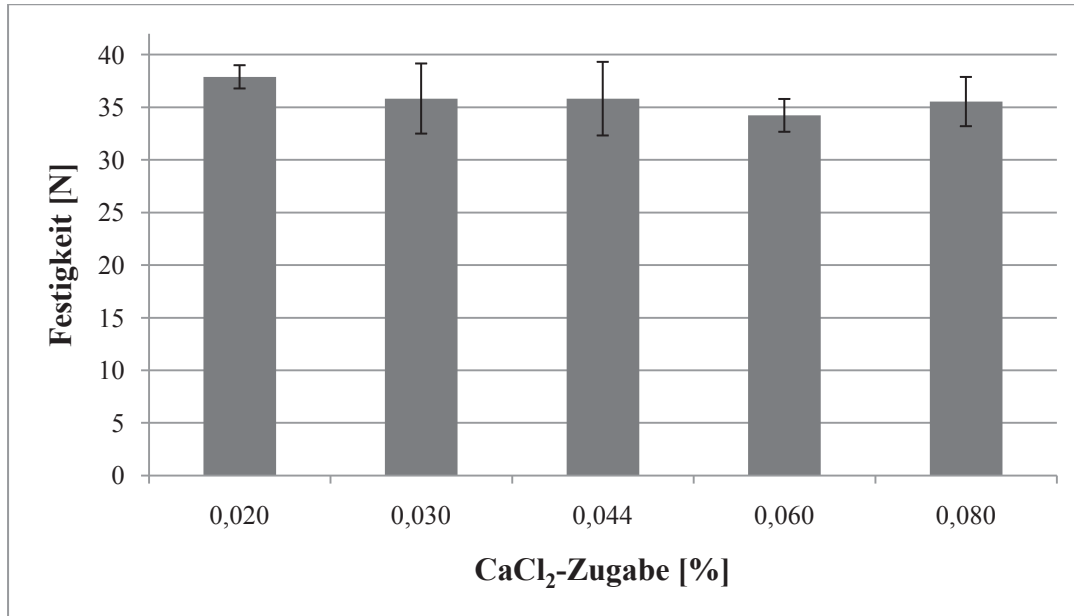


Abb. 14: Festigkeit der Käse nach 29 Tagen Reifung

Die Temperatur der Proben war mit 4,4 bis 4,7 °C etwas niedriger als in den früheren Untersuchungen. Die Festigkeit stieg im Mittel auf 35,9 N. Die Unterschiede zwischen den Rezepturvarianten betragen etwa elf Prozent. Wie schon bei den jüngeren Käse war die Variante mit nur 0,020 % Calciumchlorid am festesten. Die Varianten mit 0,030, 0,044 und 0,080 % CaCl₂ hatten eine sehr ähnliche Festigkeit, wobei die Käse mit dem höchsten Calciumchloridzusatz leicht weicher waren. Die geringste Festigkeit hatten weiterhin die Käse mit 0,060 % Calciumchlorid.

35 Tage Reifung:

Die letzten Untersuchungen zur Festigkeit der Käse erfolgten nach einer Reifezeit von 35 Tagen (Tabelle 13 im Anhang und Abbildung 15).

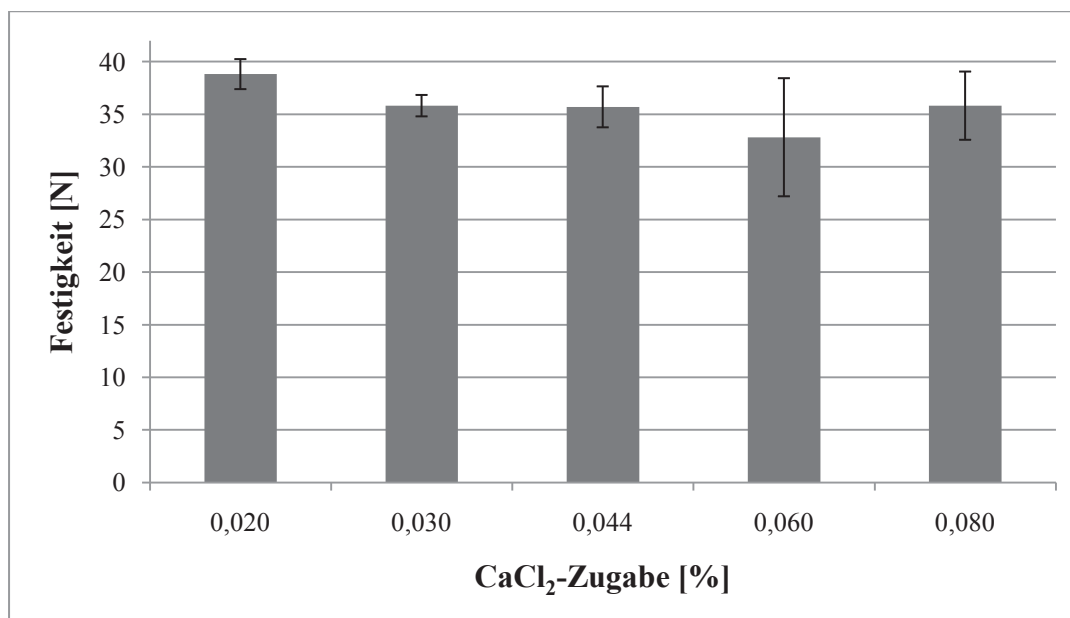


Abb. 15: Festigkeit der Käse nach 35 Tagen Reifung

Die Temperatur der Proben lag zwischen 4,9 und 5,3 °C. Insgesamt verringerte sich die Festigkeit im Vergleich zur letzten Messung, auf 35,8 N. Die Unterschiede zwischen den Varianten betragen über 18 %. Nur die Käse mit Zugabe von 0,020 % Calciumchlorid wurden auch weiterhin fester. Die Proben mit 0,030, 0,044 und 0,080 % CaCl₂ waren mit ihren Festigkeiten fast identisch, aber um einiges weicher als die Variante mit 0,020 % Calciumchloridzusatz. Ihre Textur veränderte sich nur minimal. Wie schon in allen vorherigen Untersuchungen hatten die Käse mit Zugabe von 0,060 % Calciumchlorid die geringste Festigkeit.

4.4 Sensorische Beurteilung

Die sensorische Beurteilung der fünf Rezepturvarianten fand nach einer Reifezeit von 35 Tagen statt. Es nahmen insgesamt elf Prüfpersonen an der Verkostung teil.

Die Proben wurden etwa einer Stunde vor Beginn der Prüfungen zugeschnitten. Durch die folgende Akklimatisierung der Stücke im Verkostungsraum wurden übereinstimmende Temperaturen eingehalten. Die Probenmenge war für die Bewertung der vier Qualitätskriterien ausreichend. Die Einzelurteile aller Prüfpersonen sind in den Tabellen 14 bis 17 im Anhang dargestellt. Die Abbildung 16 zeigt die Rangsummen der bewerteten Kriterien.

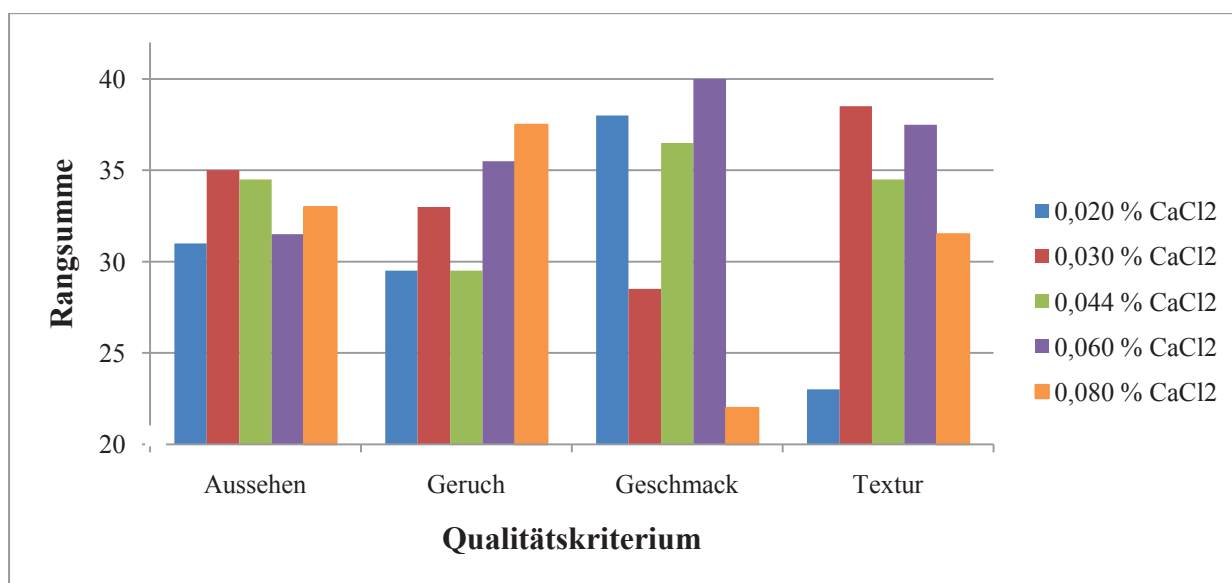


Abb. 16: Rangsummen aller Qualitätskriterien

Aussehen:

In Bezug auf das Aussehen konnten nur minimale Unterschiede festgestellt werden (Tabelle 14 im Anhang). Lediglich drei Prüfpersonen haben unterschiedliche Rangplätze vergeben, ansonsten wurde allen fünf Varianten der Verbundrang 3 gegeben. Dementsprechend lagen die Rangsummen sehr dicht zusammen (Abbildung 16).

Geruch:

Die Einzelurteile zum Qualitätskriterium Geruch sind in Tabelle 15 im Anhang dargestellt. Auch hier waren nur geringe wahrnehmbare Unterschiede vorhanden. Fünf Prüfpersonen konnten keine Unterschiede zwischen den Proben feststellen. Die Rangsummen der Varianten mit 0,020 und 0,044 % Calciumchlorid waren identisch, auch zu den anderen Varianten betragen die Unterschiede maximal acht Punkte (Abbildung 16).

Geschmack:

Die Tabelle 16 im Anhang zeigt die Ergebnisse der Rangordnungsprüfung in Bezug auf den Geschmack der Proben. Bis auf zwei Ausnahmen hat die Variante mit 0,080 % Calciumchlorid immer einen Rang zwischen 1 und 2 bekommen, sie wurde als am besten bewertet. Die Käse mit 0,020, 0,044 und 0,060 % CaCl_2 wurden um einiges schlechter bewertet, hatten aber untereinander nur geringe Unterschiede im Geschmack (Abbildung 16).

Textur:

In Bezug auf die Festigkeit der Käse unterschieden sich die Rangsummen über 15 Punkte voneinander (Tabelle 17 im Anhang und Abbildung 16). Die Variante mit der geringsten Calciumchloridzugabe wurde deutlich als am festesten bewertet. Die höchsten Rangsummen hatten die Käse mit 0,030 und 0,060 % CaCl_2 .

4.5 Statistische Ergebnisbetrachtung**4.5.1 ANOVA**

Es wurden einfaktorielle Varianzanalysen in Bezug auf die Festigkeit der Käse durchgeführt. Im Vergleich zu den fünf verschiedenen Calciumchloriddosierungen war die Festigkeit der Edamer bei jeder Messung höchst signifikant unterschiedlich (Tabelle 18). Besonders hoch war der F-Wert bei der letzten Untersuchung, nach 35 Tagen Reifung.

Tab. 18: Varianzanalyse zur Festigkeit im Vergleich zum Calciumchloridzusatz

Reifezeit [Tage]	F-Wert	p	Signifikanz
13	11,59	0,000	***
20	7,86	0,001	***
24	17,43	0,000	***
29	9,27	0,001	***
35	58,89	0,000	***

Der Calciumchloridzusatz hatte also einen großen Einfluss auf die Festigkeit der Käse. In welche Richtung sich dieser verhält, also ob eine positive oder negative Korrelation besteht, kann aus den Ergebnissen der ANOVA nicht festgestellt werden.

Auch in Hinblick auf den Calciumgehalt bestanden bei allen Untersuchungen hoch oder höchst signifikante Unterschiede zwischen der Festigkeit der Käse (Tabelle 19). Die Irrtumswahrscheinlichkeit sank während der Reifung von 0,006 auf 0,000.

Tab. 19: Varianzanalyse zur Festigkeit im Vergleich zum Calciumgehalt

Reifezeit [Tage]	F-Wert	p	Signifikanz
13	5,97	0,006	**
20	7,86	0,001	***
24	17,43	0,000	***
29	13,18	0,000	***

Der Calciumgehalt im Käse hatte dementsprechend ebenso große Auswirkungen auf die Festigkeit.

Während der Reifung der Käse wurde diese fünf Mal auf ihre Festigkeit untersucht. So kann mit einer weiteren Varianzanalyse überprüft werden, ob es signifikante Unterschiede im Verlauf der Reifezeit gab. Es wurde dabei zwischen den einzelnen Varianten unterschieden. Die Ergebnisse dazu zeigt die Tabelle 20.

Tab. 20: Varianzanalyse zur Festigkeit im Vergleich zur Reifezeit

CaCl₂-Zugabe [%]	F-Wert	p	Signifikanz
0,020	75,50	0,000	***
0,030	52,70	0,000	***
0,044	27,23	0,000	***
0,060	33,02	0,000	***
0,080	33,45	0,000	***

Bei allen Varianten veränderte sich die Festigkeit höchst signifikant. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag jeweils bei 0,000. Die Textur der Käse hat sich während der Reifung also bei allen Calciumchloriddosierungen verändert.

Da nach jeder Reifezeit von jeder Rezepturvariante nur eine Probe auf den Calciumgehalt untersucht wurde, konnte für diese Varianzanalyse nicht zwischen den Reifungszeitpunkten unterschieden werden. Über den kompletten Versuchszeitraum betrachtet, betrug der F-Wert 1,35 und die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei 0,285. Somit bestanden keine signifikanten Unterschiede im Calciumgehalt bei den verschiedenen Calciumchloridzugaben.

4.5.2 Korrelationsanalysen

Da aus den Varianzanalysen ersichtlich wurde, dass die Calciumchloridzugaben und der Calciumgehalt Einfluss auf die Festigkeit der Käse hatten, wurden Korrelationsanalysen durchgeführt.

13 Tage Reifung:

Zu den Untersuchungen nach 13 Tagen Reifung sind die Korrelationskoeffizienten nach Pearson-Bravais in Tabelle 21 dargestellt. Starke Korrelationen sind hervorgehoben.

Tab. 21: Korrelationsanalyse nach 13 Tagen Reifung

	Zugabe	Temperatur	Calcium	Festigkeit
Zugabe	1			
Temperatur	<i>0,77</i>	1		
Calcium	<i>0,85</i>	<i>0,89</i>	1	
Festigkeit	-0,32	0,17	0,21	1

So korrelierte der Calciumgehalt im Käse stark mit der Calciumchloridzugabe. Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Temperatur und dem Calciumgehalt bzw. der Calciumchloridzugabe lagen ebenfalls über 0,8.

Die Korrelationsanalyse erweckt den Eindruck, dass die Festigkeit von keinem der untersuchten Parameter, Calciumchloridzugabe, Calciumgehalt der Proben und Temperatur während der Messung, beeinflusst wurde.

Statt der linearen Korrelationsanalyse ist es auch möglich, eine Trendlinie zu erstellen. So ist zu erkennen, dass die Entwicklung der Festigkeit, abhängig von der CaCl_2 -Zugabe, polynomisch verläuft, da das Minimum mit Zusatz von 0,060 % Calciumchlorid erreicht wurde. Dazu wurde in die Abbildung 17 ein Polynom zweiter Ordnung eingefügt.

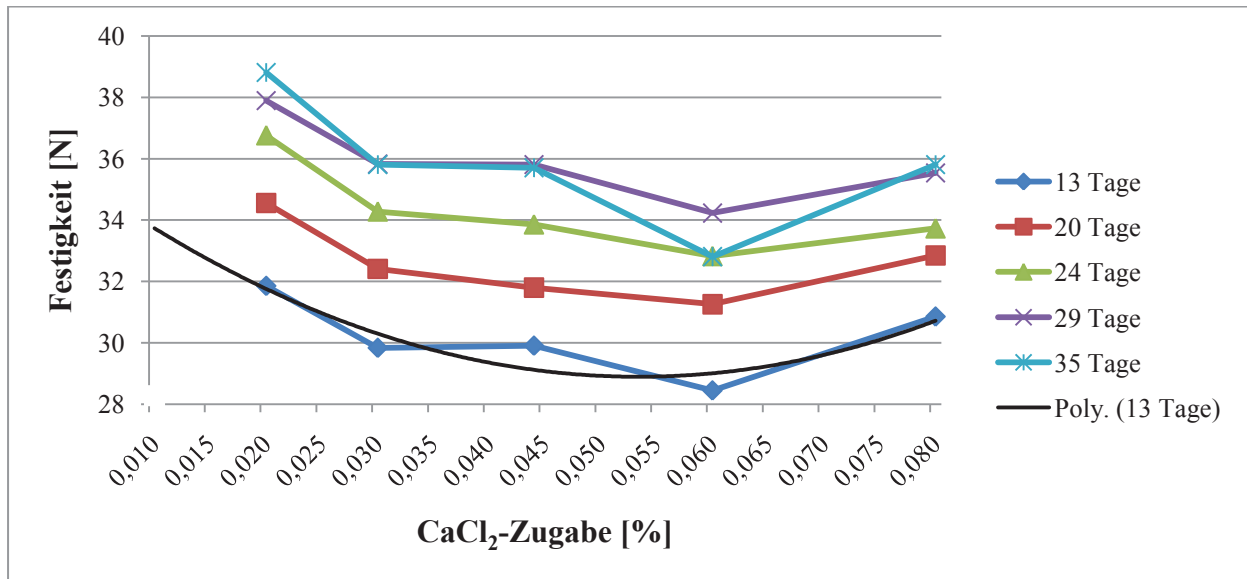


Abb. 17: Trendlinie zur Festigkeit nach 13 Tagen Reifung

20 Tage Reifung:

Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalysen nach 20 Tagen Reifung.

Tab. 22: Korrelationsanalyse nach 20 Tagen Reifung

	Zugabe	Temperatur	Calcium	Festigkeit
Zugabe	1			
Temperatur	0,31	1		
Calcium	0,87	0,08	1	
Festigkeit	-0,47	-0,58	-0,05	1

Es existierte nur zwischen der Calciumchloridzugabe und dem Calciumgehalt ein hoher Korrelationskoeffizient.

Analog zu den Ergebnissen nach 13 Tagen Reifung gab es keine starken linearen Korrelationen in Bezug auf die Festigkeit der Käse. Aber auch nach dieser Reifezeit ist der polynomische Verlauf der Festigkeit zu erkennen (Abbildung 17).

24 Tage Reifung:

Die Ergebnisse zur Korrelationsanalyse nach einer Reifezeit von 24 Tagen sind in Tabelle 23 dargestellt.

Tab. 23: Korrelationsanalyse nach 24 Tagen Reifung

	Zugabe	Temperatur	Calcium	Festigkeit
Zugabe	1			
Temperatur	0,89	1		
Calcium	0,93	0,82	1	
Festigkeit	-0,73	-0,52	-0,73	1

Es bestand weiterhin eine hohe Korrelation zwischen der Calciumchloridzugabe und dem Calciumgehalt der Proben.

Die Korrelationskoeffizienten in Bezug auf die Festigkeit und der CaCl₂-Dosierung bzw. dem Calciumgehalt lagen beide bei -0,73. Sie sind damit recht hoch, von einer starken linearen Korrelation spricht man allerdings erst ab Werten von -0,8. Es bestand weiterhin ein polynomischer Verlauf der Festigkeit (Abbildung 17).

29 Tage Reifung:

Nach einer 29 tägigen Reifung existierten keine starken linearen Korrelationen zwischen den untersuchten Parametern (Tabelle 24).

Tab. 24: Korrelationsanalyse nach 29 Tagen Reifung

	Zugabe	Temperatur	Calcium	Festigkeit
Zugabe	1			
Temperatur	-0,11	1		
Calcium	0,15	-0,36	1	
Festigkeit	-0,68	0,15	0,43	1

Im Vergleich zu den vorherigen Untersuchungen näherten sich die Korrelationskoeffizienten 0 an.

In der Abbildung 17 ist auch nach einer Reifezeit von 29 Tagen die polynomische Entwicklung der Festigkeit in Abhängigkeit von der Calciumchloridzugabe zu erkennen.

35 Tage Reifung:

Da der Calciumgehalt der Proben nach einer Reifezeit von 35 Tagen nicht mehr untersucht werden konnte, konnten zu diesem Parameter auch keine Korrelationskoeffizienten berechnet werden. Die Ergebnisse der weiteren Koeffizienten zeigt die Tabelle 25.

Tab. 25: Korrelationsanalyse nach 35 Tagen Reifung

	Zugabe	Temperatur	Festigkeit
Zugabe	1		
Temperatur	-0,35	1	
Festigkeit	-0,59	-0,13	1

Zwischen den untersuchten Parametern waren keine starken linearen Korrelationen vorhanden. In der Abbildung 17 ist ein polynomischer Verlauf der Festigkeit auch nach 35 Tagen Reifung festzustellen. Allerdings ist die Steigung steiler als in den vorherigen Untersuchungen.

4.5.3 Sensorik

Nach einer Reifezeit von 35 Tagen wurde zur sensorischen Beurteilung der Proben eine Rangordnungsprüfung durchgeführt. Die Ergebnisse wurden im Kapitel 4.4 beschrieben.

Da bei der Bewertung aller Qualitätskriterien Verbundränge auftraten, sind für die Überprüfung auf Signifikanzen die korrigierten F' -Werte entscheidend. Diese wurden nach der Formel 9 berechnet (Kapitel 3.5). Die Ergebnisse dazu sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tab. 26: F' -Werte

Qualitätskriterium	F'-Wert
Aussehen	2,50
Geruch	4,29
Geschmack	11,45
Textur	7,29

Der kritische Wert für allgemeine signifikante Unterschiede zwischen den Proben beträgt bei fünf Prüfgütern und 11 Prüfpersonen 9,49. Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt bei 0,05 (DIN 10963, 1997). Nur der F' -Wert in Bezug auf den Geschmack lag über dem kritischen Wert.

Hier bestanden also signifikante Unterschiede zwischen den fünf verschiedenen Calciumchlorid-zugaben.

Desweiteren wurden alle Varianten paarweise verglichen. Dazu wurden die absoluten Rangsummendifferenzen mit einem errechneten Vergleichswert verglichen (Formel 11). Mit fünf geprüften Proben und elf Prüfpersonen liegt dieser Wert bei 14,5. In den Abbildungen 18 bis 21 werden die errechneten Rangsummendifferenzen mit dem Vergleichswert verglichen. Bei Probenpaaren, deren Balken höher als die eingezeichnete Linie liegen, bestanden signifikante Unterschiede.

Die Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse für das Qualitätskriterium Aussehen.

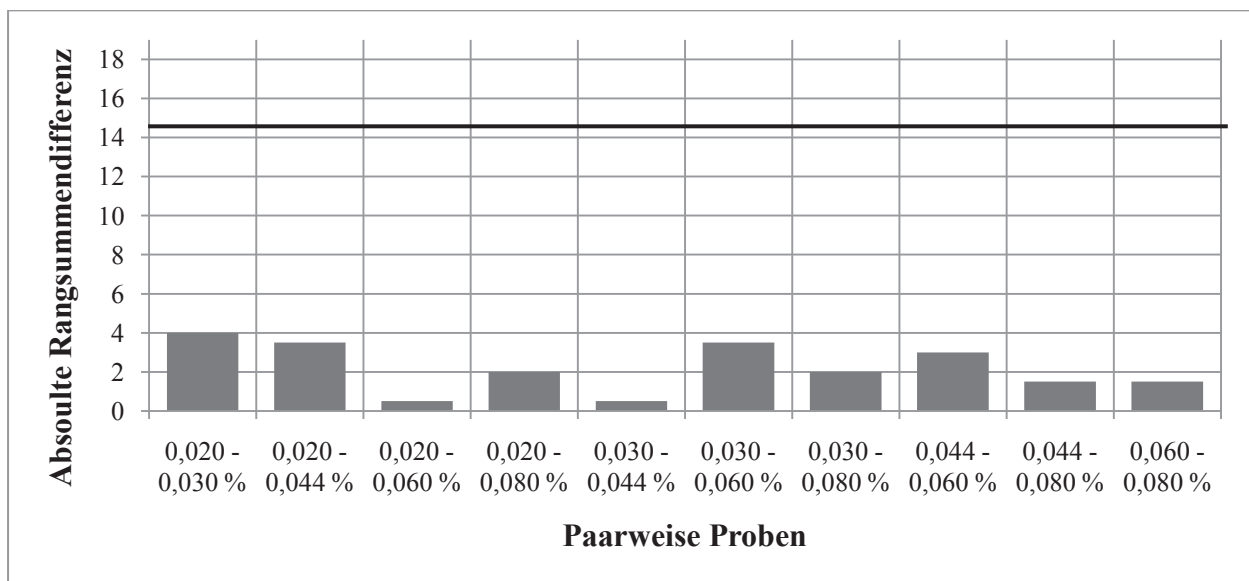


Abb. 18: Paarweise Vergleiche zum Aussehen

Alle Rangsummendifferenzen waren wesentlich kleiner als der Vergleichswert, es bestanden also keine signifikanten Unterschiede.

Auch beim Kriterium Geruch gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Prüfproben (Abbildung 19).

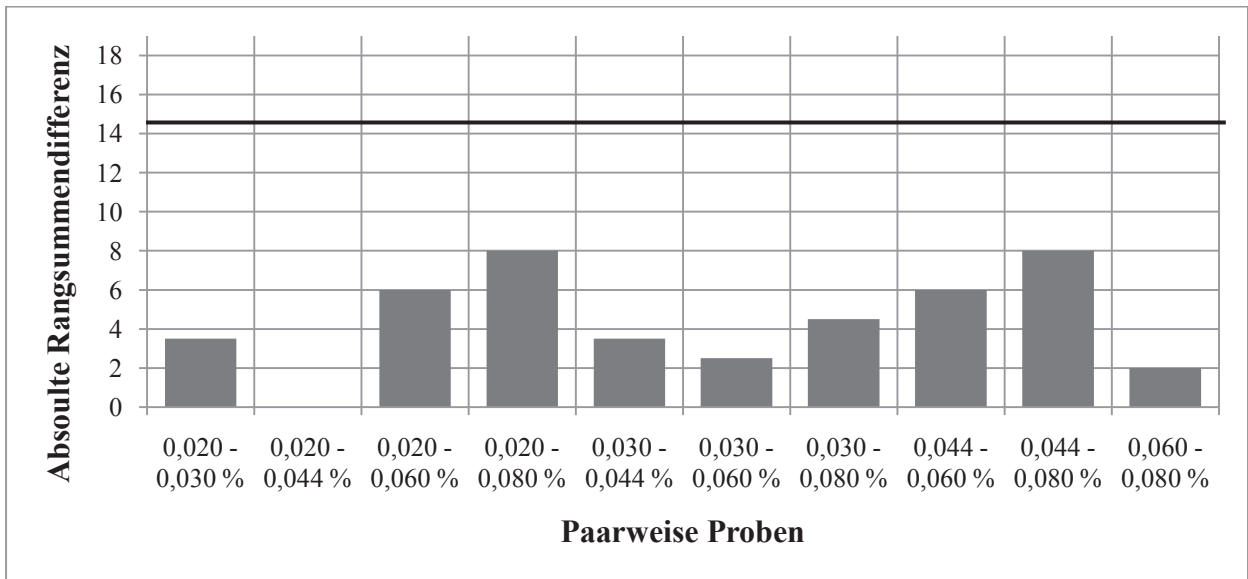


Abb. 19: Paarweise Vergleiche zum Geruch

Die Varianten mit 0,020 und 0,044 % Calciumchlorid wurden identisch bewertet, daher beträgt die Rangsummendifferenz 0.

Die Abbildung 20 zeigt die Ergebnisse in Bezug auf den Geschmack.

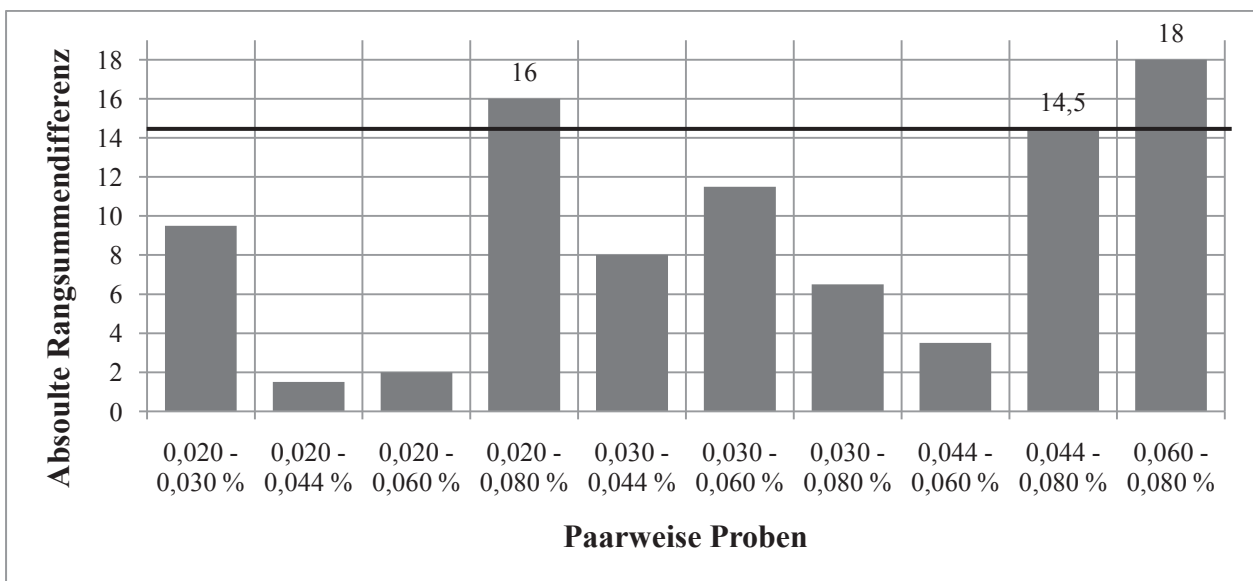


Abb. 20: Paarweise Vergleiche zum Geschmack

Bei diesem Kriterium waren drei Rangsummendifferenzen gleich groß oder größer als der Vergleichswert von 14,5. Der Käse mit 0,080 % CaCl_2 wurde als signifikant besser als die Varianten mit 0,020, 0,044 und 0,060 % CaCl_2 bewertet. Die höchste Zugabemenge erzeugte den beliebtesten Käse, die drei weiteren Sorten wurden als wesentlich schlechter bewertet.

Abbildung 21 zeigt die Ergebnisse zur Textur, also zwischen welchen Probenpaaren es signifikante Unterschiede in Bezug auf die Festigkeit gab.

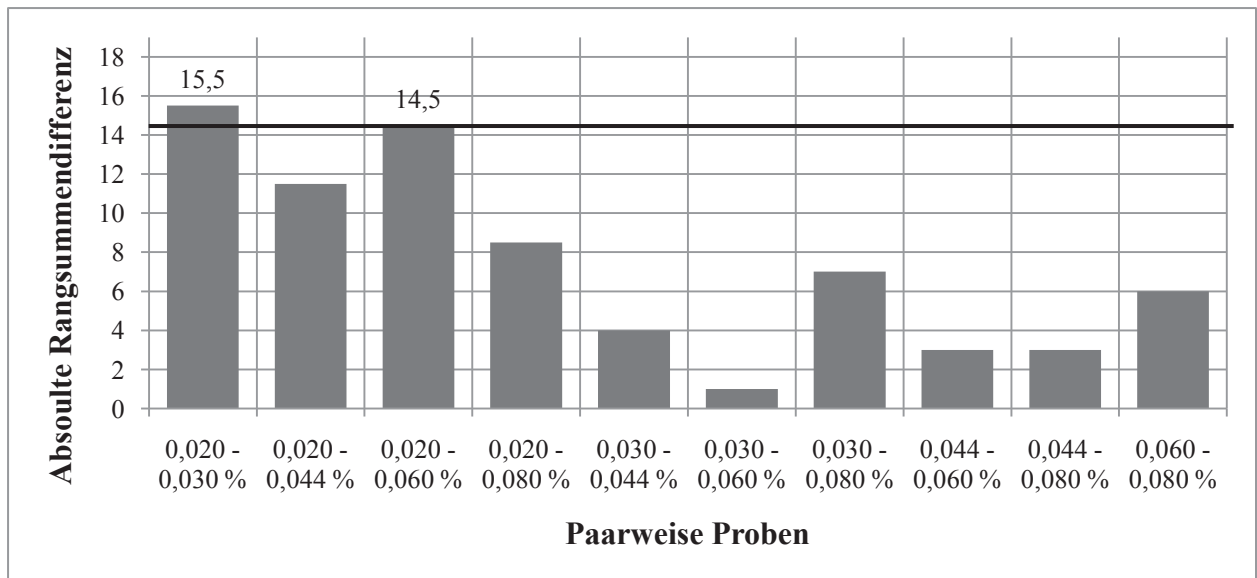


Abb. 21: Paarweise Vergleiche zur Textur

Es sind Signifikanzen zwischen den Käse mit Zugabe von 0,020 und 0,030 % bzw. 0,020 und 0,060 % CaCl_2 vorhanden. Edamer mit der geringsten Calciumchloriddosierung wurden bei der sensorischen Beurteilung als am festesten bewertet, mit 0,030 und 0,060 % Calciumchlorid als am weichsten.

5 Diskussion

5.1 Zusammensetzung der Käse

Während der Herstellung der Käse wurden der Fett- und der Proteingehalt der Molke bestimmt (Tabelle 5 in Kapitel 4.1). Es fiel auf, dass bei Zugabe von nur 0,020 % CaCl_2 der Gehalt um acht bzw. 19 % höher war als mit höheren Calciumchloriddosierungen. Dadurch stieg auch die Trockenmasse der Molke. Dies bedeutet, dass die Ausbeute der Käsemenge kleiner ausgefallen sein muss, da die Übergänge in den Käse geringer wurden. Die hergestellte Menge der einzelnen Varianten kann nicht ermittelt werden, da die Produktion automatisch und ohne Pause zwischen den Fertigmengen abläuft. Allerdings bedeutet eine geringere Ausbeute auch einen wirtschaftlichen Verlust, da weniger Menge an Käse verkauft werden kann.

Das Resultat ist vergleichbar mit Untersuchungen von Ustunol u. a. (1990). Sie kamen zu dem Ergebnis, dass sich die Ausbeute mit steigender Calciumchloridzugabe erhöht. Auch in vorherigen Untersuchungen zum gleichen Thema stiegen Fett- und Proteingehalte der Molke bei Zugaben von nur 0,020 und 0,030 % CaCl_2 (Bernett, 2009).

Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, wird das Proteinnetzwerk durch einen höheren Calciumgehalt fester, so kann auch mehr Fett eingebunden werden und es gehen weniger Inhaltsstoffe in die Molke über (Ustunol u. a., 1990).

Allerdings sind die größeren Verluste in die Molke nicht in der Zusammensetzung der ungerEIFten Käse zu erkennen (Tabelle 6 in Kapitel 4.1). Die Ergebnisse zum Fettgehalt und der Trockenmasse schwankten zwar zwischen den Calciumchloridzugaben, eine Tendenz zu geringeren Gehalten bei einer geringeren CaCl_2 -Dosierung ist aber nicht zu erkennen. Für genauere und aussagekräftigere Ergebnisse hätte mehr als eine Probe pro Variante untersucht werden müssen. So könnten zufällige und messtechnisch bedingte Schwankungen relativiert werden.

Es fällt auch auf, dass die Käse insgesamt einen relativ hohen Salzgehalt hatten. In der Regel enthalten Edamer mit 40 % F. i. Tr. etwa 1,8 % Salz. Der höhere Gehalt hat seinen Grund darin, dass die Verweilzeit im Salzbad aus logistischen Gründen auf 64 Stunden verlängert werden musste. Üblicherweise wird in der Molkerei eine Verweilzeit von 60 Stunden eingehalten. Da während der Salzung Molke in die Lake verloren geht, erhöht sich die Trockenmasse der Käse ebenfalls. Somit hatten die Versuchskäse auch eine höhere Trockenmasse, im Vergleich zur Standardproduktion mit Werten zwischen 54 und 55 %.

Durch den höheren Salzgehalt waren die Käsevarianten im Durchschnitt über 20 % fester als in vorherigen Untersuchungen an der gleichen Messstelle. Bei Bernett (2009) stieg die Festigkeit an der Probenstelle Kern 1, also in der Mitte des Käseblocks von 24 auf 30 N. Im gleichen Zeitraum stieg die Festigkeit der Käse der aktuellen Untersuchungen von 30 auf fast 36 N. Wie in Kapitel

2.2.1 beschrieben, bewirken die Diffusionsvorgänge im Salzbad durch den Austausch von Molke und Salz einen Anstieg der Festigkeit (Lucey u. a., 2003).

Zur statistischen Ergebnisbetrachtung wurden unter anderem Korrelationsanalysen durchgeführt (Kapitel 4.5.2). Dabei müssen die Ergebnisse allerdings kritisch betrachtet werden. Beispielsweise lag der Korrelationskoeffizient zwischen der Temperatur während der Festigkeitsmessung und dem Calciumgehalt der Käse nach 13 Tagen Reifung über 0,8 (Tabelle 21). Die Werte korrelierten also stark miteinander. Es ist allerdings fraglich, ob wirklich ein kausaler Zusammenhang besteht. Ein zufälliger mathematischer Zusammenhang ist wahrscheinlicher.

Der Calciumgehalt schwankte während der Reifung zwischen 0,8 und 0,93 % (Tabelle 7 in Kapitel 4.2). Dabei betragen auch die Unterschiede der Durchschnittswerte aller Calciumchloridzugaben bis zu acht Prozent. Für alle Untersuchungen wurden Proben an der gleichen Stelle in den jeweiligen Käseblöcken genommen. Ein Einfluss der Messstelle kann also ausgeschlossen werden, die Unterschiede sollten zufällig sein. Entweder sind die Schwankungen messtechnisch bedingt oder das Calciumchlorid wurde während der Herstellung in der Milch schlecht verteilt. So könnten einzelne Blöcke mehr Calcium enthalten als andere.

Trotz der Differenzen ist zu erkennen, dass der Calciumgehalt im Käse mit der Calciumchloridzugabe anstieg. So lagen die Korrelationskoeffizienten, außer nach einer Reifezeit von 29 Tagen, immer über 0,8 (Tabellen 21 bis 24, Kapitel 4.5.2). Es bestanden also starke lineare Korrelationen. Diese sind auch in der Abbildung 22 festzustellen.

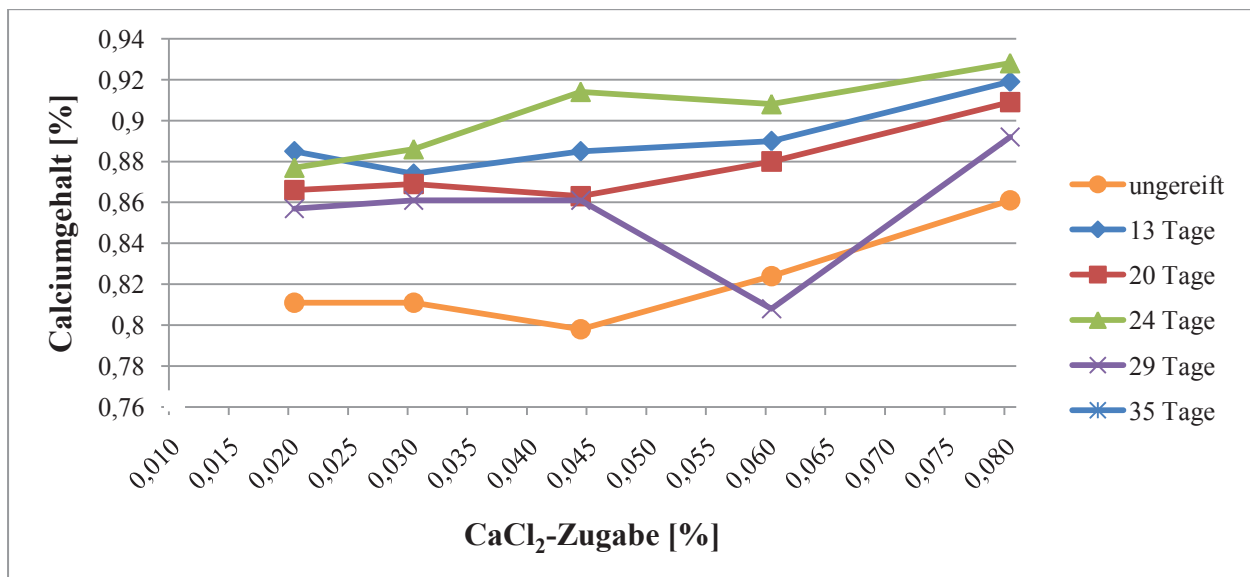


Abb. 22: Calciumgehalt in Abhängigkeit von der CaCl₂-Zugabe

Es gab zwar bei jeder Messung einen Wert, der nicht der proportionalen Steigung entsprach, aber diese Abweichungen werden ihren Grund in den allgemeinen Schwankungen haben.

Nur nach einer Reifezeit von 29 Tagen lag der Korrelationskoeffizient mit 0,15 sehr nahe an 0. Der Grund wird der sehr niedrige Calciumgehalt einer Probe sein (Tabelle 7). Auch hier werden wahrscheinlich Messungenauigkeiten oder eine schlechte CaCl_2 -Verteilung einen Einfluss gehabt haben.

Desweiteren wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede im Calciumgehalt im Vergleich zur Calciumchloridzugabe (Kapitel 4.5.1). Die Unterschiede im Vergleich zu den Zusatzmengen betragen zwar bis zu zehn Prozent, aber durch die großen Schwankungen im Verlauf der Reifung konnten keine Signifikanzen festgestellt werden. Die Anteile von freiem und gebundenem Calcium betragen nach 29 Tagen Reifung im Mittel 58 zu 42 % (Tabelle 8 in Kapitel 4.2). Damit ist das Verhältnis weiter in Richtung des wasserlöslichen Calciums verschoben, als laut Literatur üblich ist. Nach Johnson u. a. (2006) beträgt der Anteil des gebundenen Calciums nach 30 Tagen Reifezeit noch 60 %. Auch innerhalb von vier Monaten sank der Anteil nicht unter 58 %, da die größten Änderungen im Calciumverhältnis innerhalb der ersten vier Wochen der Reifung ablaufen (Hassan u. a., 2004).

Während der Reifung löst sich das an den Caseinen gebundene Calcium, da die Proteine aufgrund der Proteolyse abgebaut werden. Daher verändert sich das Verhältnis zu Gunsten des freien Calciums. Da in den vorliegenden Untersuchungen über die Hälfte des Calciums wasserlöslich war, sollte dies bedeuten, dass die Proteolyse nach einer Reifezeit von 29 Tagen schon weit vorangeschritten war. Der Verlauf des Proteinabbaus wurde allerdings nicht kontrolliert, so kann dies nicht mit Gewissheit bestätigt werden.

Die fünf Käsevarianten enthielten zwischen 38 und 44 % gebundenes Calcium, ein Einfluss der Calciumchloriddosierung war nicht zu erkennen. Vermutlich sind die Unterschiede durch zufällige, messtechnisch bedingte, Schwankungen entstanden. Laut O'Mahony u. a. (2006) steigt der Gehalt des gebundenen Calciums proportional mit dem Gesamtcalcium, das Verhältnis wird also nicht beeinflusst. Dies ist zu bestätigen.

5.2 Festigkeit in Abhängigkeit variierender Calciumchloridzugaben und –verhältnissen

Insgesamt wurde die Festigkeit nach jeder Reifezeit 40 Mal untersucht. Dabei kam es bei den Ergebnissen nach 13 Tagen Reifung zu einem Ausreißer, dieser wurde aus den Berechnungen herausgenommen (Abbildung 10). Die Abweichung könnte durch eine unzureichende Probenvorbereitung entstanden sein, wenn das Probenstück beispielsweise schief zugeschnitten wurde. Eventuell war im Käseteig auch direkt unter der Auflagefläche des Penetrometerstempels eine verdeckte Lochung vorhanden. So müsste wesentlich weniger Kraft aufgewendet werden, um den Stempel in den Käseteig zu drücken.

Während der gesamten Reifung hatten die Käse mit der geringsten Calciumchloridzugabe, 0,020 %, die höchste Festigkeit (Kapitel 4.3). Mit 0,060 % CaCl_2 -Zugabe wurden immer die weichsten Käse erzeugt. Edamer mit der höchsten Dosierung, 0,080 % Calciumchlorid, hatten zwar eine etwas höhere Festigkeit dennoch ist kein positiver Einfluss vom CaCl_2 -Zusatz auf die Festigkeit zu erkennen.

Der Calciumgehalt der Käse stieg proportional mit der Zugabe von Calciumchlorid (Abbildung 22). Dementsprechend hatte auch dieser Parameter keine positiven Effekte auf die Festigkeit.

Auch bei vorherigen Untersuchungen unter den gleichen Bedingungen sank die Festigkeit bei steigender Calciumchloriddosierung. Die Beeinflussung war allerdings erst nach einer Reifezeit von 32 bzw. 40 Tagen eindeutig zu erkennen. Es gab starke lineare Korrelationen zwischen der Festigkeit und der Calciumchloridzugabe und zwischen der Festigkeit und dem Calciumgehalt im Käse (Bernett, 2009).

Im Gegensatz dazu wird in zahlreichen Publikationen von einer Steigerung der Festigkeit durch einen höheren Calciumgehalt ausgegangen. Da Calcium die Caseinmicellen miteinander verbindet und so die Proteinmatrix im Käseteig bildet, sollte dieser fester werden bei einem höheren Gehalt (Kapitel 2.2.1, Hassan u. a., 2004; Johnson u. a., 2006; Kammerlehner, 2003; McMahon u. a., 2005; O'Mahony u. a., 2006). Nur Lucey u. a. (1993) stellten ebenfalls fest, dass zu hohe Calciumzugaben die Festigkeit reduziert, vermutlich da ein zu hoher Calciumgehalt die Löslichkeit der Hydrathülle des κ -Caseins herabsetzt. Allerdings wurde keine Begründung für diesen Vorgang genannt.

In keiner der zitierten Literaturstellen wurde die angewendete Reifungsart beschrieben. Bei den aktuellen Versuchen reiften die Käse in Folien, wodurch sich die Zusammensetzung im Verlauf der Reifung nicht veränderte. Bei einer Naturreifung laufen andere Vorgänge ab, wie der Verlust von Wasser und Diffusion von Inhaltsstoffen in den Rindenbereich. Daher haben die Reifungsbedingungen auch Auswirkungen auf die Verteilung des Calciums (Kapitel 2.1.3). Sollten in den zitierten Publikationen die Proben eine Naturreifung durchlaufen haben, kann dies der Grund für

die unterschiedlichen Einflüsse von Calciumchloridzusatz und Calciumgehalt sein. Um dies zu bestätigen müssten allerdings weitergehende Untersuchungen gemacht werden.

Es konnten keine linearen Korrelationen zwischen der Festigkeit und der Calciumchloridzugabe bzw. dem Calciumgehalt festgestellt werden (Kapitel 4.5.2). Dies hat seinen Grund darin, dass die Festigkeit bei Zugabe von 0,060 % CaCl_2 ein Minimum hatte. Die Käse mit 0,080 % CaCl_2 waren etwas fester. Die Festigkeit entwickelte sich also, abhängig vom Calciumchloridzusatz, polynomisch (Abbildung 17). Dies würde bedeuten, mathematisch gesehen, dass die Festigkeit bei noch höheren CaCl_2 -Zugaben weiter steigen müsste. Allerdings würde dies Lucey u. a. (1993) zuwiderlaufen. Zudem entwickelte sich die Festigkeit in vorherigen Untersuchungen nach einer Reifung von mindestens 32 Tagen umgekehrt proportional zur CaCl_2 -Zugabe. Die Käse mit der höchsten Calciumchloriddosierung hatten die geringste Festigkeit, die Unterschiede waren signifikant (Bernett, 2009).

Die Differenzen in der Festigkeit betragen zwischen den verschiedenen Calciumchloridzugaben zehn bis zwölf Prozent. Eine ANOVA brachte das Ergebnis, dass immer höchst signifikante Unterschiede zwischen den Varianten bestanden. Die Festigkeit unterschied sich auch im Vergleich zum Calciumgehalt hoch oder höchst signifikant. Es war also eindeutig ein Einfluss des Calciums auf die Textur der Käse festzustellen, wie es auch die vorherrschende wissenschaftliche Meinung ist (z. B. Johnson u. a., 2006; Kammerlehner, 2003).

Das Verhältnis zwischen freiem und gebundenem Calcium wurde nicht durch die Calciumchloridzugaben beeinflusst. Den höchsten Anteil an wasserlöslichem Calcium enthielten die Varianten mit 0,030 und 0,044 % Calciumchlorid. Diese lagen bei der Festigkeit im mittleren Bereich. Die festesten und die weichsten Käse, also mit Zugabe von 0,020 und 0,060 % CaCl_2 , hatten ein identisches Verhältnis in der Calciumverteilung. Es ist also nicht davon auszugehen, dass jenes Verhältnis einen Einfluss auf die Festigkeit der Käse hatte.

Anders wurde es von Johnson u. a. (2006) publiziert: Käse mit einem höheren Anteil von wasserlöslichem Calcium sind weicher. Auch Hassan u. a. (2004) bestätigten dieses Ergebnis. Liegt mehr freies Calcium im Käse vor, ist der Anteil des gebundenen Calciums folglich kleiner. Aber nur dieser unlösliche Teil ist entscheidend für die Textur, da dieser an den Proteinen gebunden ist und so die Micellen im Caseingerüst bildet (Kapitel 2.2.1, Hassan u. a., 2004; Lucey u. a., 2003).

5.3 Veränderung der Festigkeit im Laufe der Reifung

Während der 35 tägigen Reifezeit wurden die Käse fünf Mal auf ihre Festigkeit untersucht (Kapitel 4.3). Insgesamt stieg die Festigkeit in dieser Zeit von 30 auf fast 36 N. Die höchsten Werte wurden schon in den 29 Tage alten Käse gemessen. Danach sank die Festigkeit im Mittel leicht (Abbildung 23).

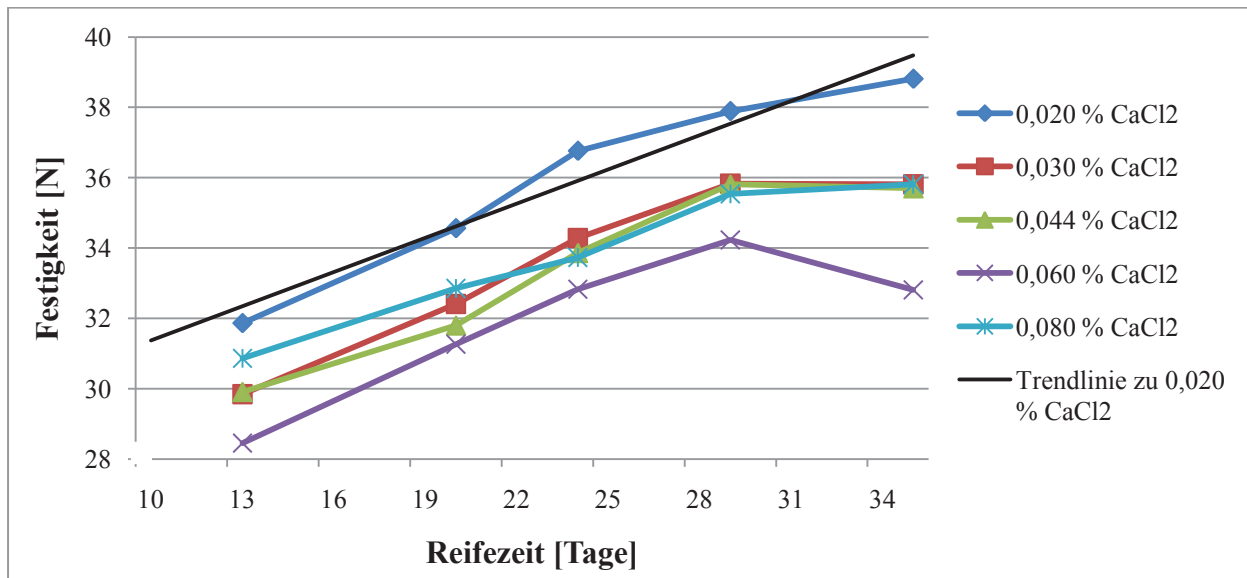


Abb. 23: Änderung der Festigkeit während der Reifung

Nur bei den Käse mit Zugabe von 0,020 % Calciumchlorid stieg sie auch in der letzten Woche der Reifung. Die Proben mit 0,060 % Calciumchloridzugabe, welche bei allen Untersuchungen die geringste Festigkeit hatten, wurden über vier Prozent weicher.

Auch in vorherigen Untersuchungen zu diesem Thema stieg die Festigkeit innerhalb der ersten 32 Tage der Reifung. Bei der letzten Untersuchung, nach 40 Tagen Reifung, waren die Käse wieder etwas weicher (Bernett, 2009).

Da die Käse alle in Reifungsfolien gelagert wurden, wurde der Anstieg der Festigkeit nicht durch Verluste im Wassergehalt verursacht. Laut Lawrence u. a. (1987) werden Schnittkäse innerhalb der ersten Monate der Reifung fester, da neue Ionengruppen gebildet werden, die Wasser binden (Siehe auch Kapitel 2.1.3). Im weiteren Verlauf sinkt die Festigkeit aufgrund der fortschreitenden Proteolyse. Durch den Abbau der Proteine wird das Caseinnetz dünner und damit weicher. Nachzuweisen ist dieser Vorgang durch einen steigenden Anteil von freiem Calcium.

Es wurde eine Varianzanalyse durchgeführt, ob sich die Festigkeit im Vergleich zu der Reifezeit signifikant veränderte (Tabelle 20 in Kapitel 4.5.1). Bei allen Varianten waren die Unterschiede höchst signifikant. Somit kann auch statistisch bewiesen werden, dass die Festigkeit im Verlauf der Reifung stieg und es sich nicht um zufällige Schwankungen handelt.

Es ist auffällig, dass im letzten Abschnitt der Reifung die festesten Käse noch fester und die weichsten Käse weicher wurden. Die Abstände zwischen den Varianten vergrößerten sich also, obwohl auch schon an jedem untersuchten Reifezeitpunkt höchst signifikante Unterschiede zwischen den Festigkeiten, bei unterschiedlichen Calciumchloridzugaben, bestanden (Tabelle 18).

Eventuell hat der Calciumgehalt oder die Calciumchloridzugabe Einfluss auf das Maß der Proteolyse. Sollte der Proteinabbau bei einem geringeren Calciumgehalt langsamer ablaufen, steigt die Festigkeit in einem längeren Reifungszeitraum an, wie bei den Käse mit nur 0,020 % CaCl_2 -Zugabe. Allerdings müsste die Variante mit dem höchsten CaCl_2 -Zusatz im Rahmen dieser Hypothese nach 35 Tagen Reifung ebenfalls deutlich weicher geworden sein. Dies ist nicht der Fall, die Festigkeit stieg sogar leicht an.

Der Anstieg der Festigkeit in den ersten 29 Tagen der Reifezeit verlief fast linear. Mit Zugabe von nur 0,020 % Calciumchlorid war die Steigung sogar die gesamte Reifung über etwa linear. Dies verdeutlicht die Trendlinie in der Abbildung 23.

5.4 Einfluss der variierenden Calciumchloridzugaben auf die Sensorik

Nach einer Reifezeit von 35 Tagen wurden die fünf Varianten sensorisch beurteilt (Kapitel 4.4). Allgemeine signifikante Unterschiede zwischen den Käse traten nur in Bezug auf den Geschmack auf (Kapitel 4.5.3). Mit der höchsten Zugabemenge war dieser am besten. Er wurde als signifikant besser als bei den Varianten mit 0,020, 0,044 und 0,060 % Calciumchlorid bewertet (Abbildung 20).

Damit kann nicht bestätigt werden, dass sich hohe Calciumchloridzugaben negativ auf den Geschmack auswirken. Laut Kammerlehner (2003) tritt bei zu hohen Dosierungen ein Bittergeschmack im Käse auf.

Bei der Bewertung der Festigkeit der Edamer traten zwar keine signifikanten Unterschiede zwischen alle Proben auf, es konnten aber paarweise Unterschiede bestätigt werden (Abbildung 21). Als am festesten wurde der Käse mit nur 0,020 % Calciumchlorid beurteilt. Dies entspricht den Ergebnissen der penetrometrischen Messungen. Bei allen Reifezeitpunkten hatten die Käse mit dem geringsten Calciumchloridzusatz die höchste Festigkeit. Die Proben mit Zugabe von 0,030 und 0,060 % CaCl_2 wurden in der Rangordnungsprüfung als signifikant weicher beurteilt. Auch bei allen penetrometrischen Festigkeitsmessungen zeigten sich die Käse mit 0,060 % Calciumchlorid als am weichsten.

Es wurde eine Korrelationsanalyse nach Pearson-Bravais zwischen der sensorischen Beurteilung der Festigkeit und der penetrometrischen Messung, ebenfalls nach 35 Tagen, durchgeführt. Die statistische Betrachtung führte zu einem Korrelationskoeffizienten von 0,83, es bestand also eine hohe Korrelation.

Zu diesem Ergebnis kamen auch Foegeding u. a. (2007). Da die Festigkeit bei der sensorischen Beurteilung durch Betasten und Durchbrechen untersucht wurde, kam es zu keinen Veränderungen der Proben während der Untersuchung. Die Prüfungen dauerten nicht so lange, dass sich die Stücke durch die Körperwärme hätten erwärmen können, was zu einer geringeren Festigkeit geführt hätte. So fand die sensorische Bewertung unter den gleichen Bedingungen wie die penetrometrischen Untersuchungen statt.

Beim Qualitätskriterium Aussehen wurden die Varianten fast identisch bewertet, es konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden (Abbildung 18). Das Calciumchlorid hatte also keine Auswirkungen auf das Aussehen des Käseteiges. Dieses wird vor allem durch die zugegebenen Farbstoffe beeinflusst. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass das Calciumchlorid nicht in Wechselwirkungen mit dem zugegebenen Farbstoff β -Carotin getreten ist.

Da Edamer im Allgemeinen nur einen schwach ausgeprägten Geruch hat, ist das Qualitätskriterium bei dieser Käsesorte sehr schwer zu bewerten. Wahrscheinlich konnten daher von den ungeschulten Prüfpersonen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Abbildung 19).

Einfacher zu beurteilen war der Geschmack der Käse. Dies ist auch an der besseren Vergleichbarkeit der Einzelurteile zu erkennen (Tabelle 16). Die Differenzen der Bewertungen innerhalb einer Variante sind geringer. Es ist daher davon auszugehen, dass im Geschmack größere Unterschiede zwischen den Käsevarianten vorhanden waren. Im Gegensatz dazu ist die Vergleichbarkeit beim Qualitätskriterium Textur schlechter (Tabelle 17). Vermutlich konnten daher keine allgemeinen signifikanten Unterschiede, anhand des F' -Wertes, festgestellt werden.

Es wurde also die höchste Festigkeit mit dem geringsten Calciumchloridzusatz, aber der beste Geschmack mit der größten Zugabemenge erreicht.

5.5 Nächste Schritte und Umsetzung der Ergebnisse

Das Ziel der Versuche war es, die Festigkeit von Edamer zu erhöhen. Die festesten Käse wurden mit Zugabe von nur 0,020 % Calciumchlorid erreicht. Es wurden bei jeder Varianzanalyse hoch oder höchst signifikante Unterschiede bei den Festigkeiten, sowohl im Vergleich zum CaCl_2 -Zusatz als auch zum Calciumgehalt, ermittelt. Die Parameter hatten also eindeutig einen Einfluss auf die Festigkeit der Käse.

Allerdings sank diese, im Gegensatz zu der vorherrschenden Meinung in der Wissenschaft, mit höheren Calciumchloriddosierungen. Daher sollte untersucht werden, ob die Reifungsart die Auswirkungen vom Calcium beeinflusst. Bei den aktuellen Untersuchungen wurde die Folienreifung genutzt, in den zitierten Publikationen wurde die Reifungsart nicht benannt.

Durch Verringerung der Calciumchloridzugabe konnte die Festigkeit der Käse zwar erhöht werden, es kann aber trotzdem sinnvoll sein, auch weitere Einflüsse auf die Textur zu untersuchen. So sollten auch Käse mit einem höheren Proteingehalt fester werden, da dann das Caseinnetz im Käseteig dichter wird (Kapitel 2.2.1).

Während der Herstellung der Käse wurde die Gerinnungszeit, je nach Calciumchloriddosierung, angepasst, da ein geringerer Calciumgehalt die Dicklegungszeit verlängert. Deshalb wäre ein weiterer Ansatz, die Gerinnungszeit für alle Varianten konstant zu halten und stattdessen die Labmenge anzupassen.

Bei Zugabe von nur 0,020 % Calciumchlorid stiegen der Fett- und Proteingehalt der Molke. Dies führte vermutlich dazu, dass die Käseausbeute geringer wurde (Kapitel 5.1). Allerdings konnten genaue Mengen der einzelnen Varianten nicht ermittelt werden. Aus diesem Grund sind weitere Untersuchungen zum Einfluss der Calciumchloridzugabe auf die Ausbeute sinnvoll. Durch Versuche im Technikumsmaßstab kann die genaue Käseausbeute ermittelt werden.

Sollte sich bestätigen, dass bei Zugabe von nur 0,020 % CaCl_2 mehr Inhaltsstoffe in die Molke übergehen, sollte die Dosierung höchstens auf 0,030 % Calciumchlorid reduziert werden. Auch bei dieser Dosierung wurden festere Käse als mit der Standardrezeptur erreicht. Eine geringere Ausbeute hätte negative betriebswirtschaftliche Konsequenzen, da durch den Verkauf von Käse ein höherer Gewinn erreicht wird als mit der Aufarbeitung und dem Verkauf von Molke.

Da die Käse von Industriekunden zur Weiterverarbeitung geraspelt werden, bedingt eine höhere Festigkeit auch bessere funktionelle Eigenschaften. Die idealen Eigenschaften des Produktes können durch Anwendungsversuche ermittelt werden, wenn die Käse beispielsweise nicht nur auf ihre Festigkeit untersucht werden, sondern auch auf ihr Verhalten beim Raspeln.

Desweiteren wäre eine sensorische Beurteilung im verarbeiteten Zustand sinnvoll, also eine Bewertung verarbeitet in den Convenience-Produkten.

Eine Alternative zur Abwandlung der Gerinnungszeit ist die Anpassung der Labmenge. Vor einer Änderung der Rezeptur sollte allerdings berechnet werden, inwieweit der höhere Labverbrauch oder die längere Verweilzeit im Fertiger mit höheren Kosten verbunden ist.

Im Laufe der Reifung stieg die Festigkeit der Proben innerhalb der ersten 29 Tage, danach sank sie im Mittel wieder leicht ab. Aus diesem Grund sollten die Käse etwa vier Wochen reifen, so kann beim Verkauf eine maximale Festigkeit der Edamer erreicht werden. Aber auch hier sollten die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen mit betrachtet werden, da eine längere Reifung zu höheren Kosten für die Lagerhaltung führen kann.

Die festesten Käse wurden mit dem geringsten Calciumchloridzusatz erreicht, der beste Geschmack allerdings mit der höchsten Zugabemenge. Es sollte daher, nach weiteren Untersuchungen, mit den Kunden, welche die Käse kaufen, entschieden werden, wie die Rezepturen am optimalsten angepasst werden können.

6 Zusammenfassung

Während der 35 tägigen Reifezeit wurden alle fünf Käsevarianten fünf Mal mit einem Penetrometer auf ihre Festigkeit untersucht. Die Proben mit der geringsten Calciumchloridzugabe, 0,020 %, hatten immer die höchste Festigkeit. Käse mit 0,060 % CaCl_2 waren am weichsten. Die Unterschiede waren bei jeder Messung höchst signifikant.

Die Festigkeit sank also mit steigender Calciumchloriddosierung. Im Gegensatz dazu ist die vorherrschende wissenschaftliche Meinung, dass die Festigkeit durch einen höheren Calciumgehalt gesteigert werden kann.

Der Calciumgehalt der untersuchten Proben stieg proportional mit der Calciumchloridzugabe.

Während der Reifung wurden die Käse aller Varianten fester. Die höchsten Werte wurden schon nach einer Reifezeit von 29 Tagen erreicht, danach sank die Festigkeit im Mittel leicht. Nur bei den Käse mit 0,020 % CaCl_2 , also die festeste Variante, stieg sie bis zur letzten Messung.

Das Verhältnis zwischen freiem und gebundenem Calcium lag im Mittel bei 58 zu 42 %. Ein Einfluss der Calciumchloriddosierungen war nicht zu erkennen. Daher kann nicht, anders als in zahlreichen Publikationen, davon ausgegangen werden, dass das Verhältnis einen Einfluss auf die Festigkeit der Käse hatte.

Nach Beendigung der Reifung wurden die Varianten mit Hilfe einer Rangordnungsprüfung sensorisch bewertet. Signifikante Unterschiede traten nur in Bezug auf den Geschmack und die Textur auf. Mit der höchsten Zugabemenge, 0,080 % Calciumchlorid, wurde der Geschmack als am besten bewertet. Als am festesten wurde der Käse mit nur 0,020 % CaCl_2 beurteilt. Dies entspricht den Ergebnissen der penetrometrischen Messungen. Die Proben mit 0,030 und 0,060 % Calciumchlorid wurden als signifikant weicher bewertet. Bei den Qualitätskriterien Aussehen und Geruch konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Es wurden also die festesten Käse mit dem geringsten Calciumchloridzusatz und die Käse mit dem besten Geschmack mit der höchsten Zugabemenge erreicht. Daher ist eine Empfehlung für die optimale Dosierung schwer zu geben. Es sollte gemeinsam mit den Kunden, welche diese Käse kaufen, entschieden werden, wie die Rezeptur am besten angepasst werden kann.

7 Literaturverzeichnis

- 1) Baltes, W.: Schnellmethoden zur Beurteilung von Lebensmitteln und ihren Rohstoffen. 3. Aufl. Hamburg: Behr's, 2004.
- 2) Bernett, L.: Abhängigkeit der Festigkeit von Edamer vom Calciumgehalt: Belegarbeit zum Praxissemester bei der Nordmilch AG. Edewecht: Nordmilch AG, 2009.
- 3) Foegeding, E. A.; Drake, M. A.: Invited Review: Sensory and Mechanical Properties of Cheese Texture. *Journal of Dairy Science* 90 (2007), Nr. 4, S. 1611 – 1623.
- 4) <http://www.gesetze-im-internet.de>: Käseverordnung (idF v. 13.12.2007).
- 5) Hassan, A.; Johnson, M. E.; Lucey, J. A.: Changes in the Proportions of Soluble and Insoluble Calcium During the Ripening of Cheddar Cheese. *Journal of Dairy Science* 87 (2004), Nr. 4, S. 854 – 861.
- 6) Jakob, E.; Eugster, E.; Fröhlich-Wyder, M.-T.: Gärungsvorgänge im Käse. 3. Aufl. Bern: Agroscope Liebefeld-Posieux, 2005.
- 7) Johnson, M. E.; Lucey, J. A.: Calcium: a key factor in controlling cheese functionality. *The Australian Journal of Dairy Technology* 61 (2006), Nr. 2, S. 147 – 153.
- 8) Kammerlehner, J.: Käsetechnologie. 1. Aufl. Freising: Verlag Freisinger Künstlerpresse, 2003.
- 9) Kubis, I.; Krivanek, I.; Gajdusek, S.: The Relationships between the Chemical, Dielectric and Sensory Properties of Edam Cheese during Ripening. *Czech Journal of Food Science* 19 (2001), Nr. 3, S. 85 – 89.
- 10) Lawrence, R. C.; Creamer, L. K.; Gilles, J.: Symposium: Cheese ripening technology: Texture Development During Cheese Ripening. *Journal of Dairy Science* 70 (1987), Nr. 8, S. 1748 – 1759.
- 11) Lehn, J.; Müller-Gronbach, T.; Rettig, S.: Einführung in die deskriptive Statistik. 1. Aufl. Stuttgart: B. G. Teubner, 2000.
- 12) Lucey, J. A.; Fox, P. F.: Our Industry today: Importance of Calcium and Phosphate in Cheese Manufacture: A Review. *Journal of Dairy Science* 76 (1993), Nr. 6, S. 1714 – 1724.
- 13) Lucey, J. A.; Johnson, M. E.; Horne, D. S.: Invited Review: Perspectives on the Basis of the Rheology and Texture Properties of Cheese. *Journal of Dairy Science* 86 (2003), Nr. 9, S. 2725 – 2741.
- 14) McMahon, D. J.; Brown, R. J.: Composition, Structure, and Integrity of Casein Micelles: A Review. *Journal of Dairy Science* 67 (1984), Nr. 3, S. 499 – 509.

- 15) McMahon, D. J.; Paulson, B.; Oberg, C. J.: Influence of Calcium, pH, and Moisture on Protein Matrix Structure and Functionality in Direct-Acidified Nonfat Mozzarella Cheese. *Journal of Dairy Science* 88 (2005), Nr. 11, S. 3754 – 3763.
- 16) Moreno-Rojas, R.; Pozo-Lora, R.; Zurera-Cosano, G.; Amaro-Lopez, M. A.: Calcium, magnesium, manganese, sodium and potassium variations in Manchego-type cheese during ripening. *Food chemistry* 50 (1994), Nr. 4, S. 373 – 378.
- 17) Nordmilch AG (Hrsg.): Geschäftsbericht 2008. Bremen, 2009.
- 18) Norm DIN 10963 November 1997. Rangordnungsprüfung.
- 19) O'Mahony, J. A.; McSweeney, P. L. H.; Lucey, J. A.: A Model System for Studying the Effects of Colloidal Calcium Phosphate Concentration on the Rheological Properties of Cheddar Cheese. *Journal of Dairy Science* 89 (2006), Nr. 3, S. 892 – 903.
- 20) Schlittgen: Einführung in die Statistik: Analyse und Modellierung von Daten. 10. Aufl. München, Oldenbourg, 2003.
- 21) Spreer, E.: Technologie der Milchverarbeitung. 7. Aufl. Hamburg: Behr's, 1995.
- 22) Ternes, W.; Täufel, A.; Tunger, L.; Zobel, M.: Lebensmittel-Lexikon. 4. Aufl. Hamburg: Behr's, 2005.
- 23) Tunick, M. H.: Symposium: Dairy products rheology: Rheology of Dairy Foods that Gel, Stretch, and Fracture. *Journal of Dairy Science* 83 (2000), Nr. 8, S. 1892 – 1898.
- 24) Ustunol, Z.; Hicks, C. L.: Effect of Calcium Addition on Yield of Cheese Manufactured with *Endothia parasitica* Protease. *Journal of Dairy Science* 73 (1990), Nr. 1, S. 17 – 25.
- 25) Zöfel, P.: Statistik verstehen: Ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung. München: Addison-Wesley, 2000.

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematische Darstellung der Milchvorbehandlung	8
Abb. 2: Schematischer Ablauf des Käsungsprozesses	10
Abb. 3: Schematische Darstellung der Caseingerinnung (Spreer, 1995)	11
Abb. 4: Schematische Darstellung der Reifung und nachfolgender Prozessschritte	14
Abb. 5: Homofermentative Milchsäuregärung (Jakob u. a., 2005)	16
Abb. 6: Proteolyse (Jakob u. a., 2005)	16
Abb. 7: Penetrometrische Festigkeitsmessung	28
Abb. 8: Messstelle im halbierten Käseblock	29
Abb. 9: Box Plot	34
Abb. 10: Box Plot zur Festigkeit von Käse mit 0,020 % CaCl_2 nach 13 Tagen Reifung	41
Abb. 11: Festigkeit der Käse nach 13 Tagen Reifung	42
Abb. 12: Festigkeit der Käse nach 20 Tagen Reifung	43
Abb. 13: Festigkeit der Käse nach 24 Tagen Reifung	44
Abb. 14: Festigkeit der Käse nach 29 Tagen Reifung	45
Abb. 15: Festigkeit der Käse nach 35 Tagen Reifung	46
Abb. 16: Rangsummen aller Qualitätskriterien	47
Abb. 17: Trendlinie zur Festigkeit nach 13 Tagen Reifung	51
Abb. 18: Paarweise Vergleiche zum Aussehen	54
Abb. 19: Paarweise Vergleiche zum Geruch	55
Abb. 20: Paarweise Vergleiche zum Geschmack	55
Abb. 21: Paarweise Vergleiche zur Textur	56
Abb. 22: Calciumgehalt in Abhängigkeit von der CaCl_2 -Zugabe	58
Abb. 23: Änderung der Festigkeit während der Reifung	62

9 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Gesetzliche Bestimmungen zur Zusammensetzung und Eigenschaften von Edamer	7
Tab. 2: Rezepturvarianten	26
Tab. 3: Codierung zur sensorischen Beurteilung	30
Tab. 4: Einzelprotokoll für Rangordnungsprüfung	31
Tab. 5: Fett- und Proteingehalt von Milch und Molke	38
Tab. 6: Zusammensetzung der ungereiften Käse	38
Tab. 7: Gesamtcalciumgehalt der Käse	39
Tab. 8: Calciumverhältnis nach 29 Tagen Reifung	40
Tab. 9: Festigkeit der Käse nach 13 Tagen Reifung	73
Tab. 10: Festigkeit der Käse nach 20 Tagen Reifung	74
Tab. 11: Festigkeit der Käse nach 24 Tagen Reifung	75
Tab. 12: Festigkeit der Käse nach 29 Tagen Reifung	76
Tab. 13: Festigkeit der Käse nach 35 Tagen Reifung	77
Tab. 14: Einzelurteile zum Aussehen	78
Tab. 15: Einzelurteile zum Geruch	78
Tab. 16: Einzelurteile zum Geschmack	79
Tab. 17: Einzelurteile zur Textur	79
Tab. 18: Varianzanalyse zur Festigkeit im Vergleich zum Calciumchloridzusatz	48
Tab. 19: Varianzanalyse zur Festigkeit im Vergleich zum Calciumgehalt	49
Tab. 20: Varianzanalyse zur Festigkeit im Vergleich zur Reifezeit	49
Tab. 21: Korrelationsanalyse nach 13 Tagen Reifung	50
Tab. 22: Korrelationsanalyse nach 20 Tagen Reifung	51
Tab. 23: Korrelationsanalyse nach 24 Tagen Reifung	52
Tab. 24: Korrelationsanalyse nach 29 Tagen Reifung	52
Tab. 25: Korrelationsanalyse nach 35 Tagen Reifung	53
Tab. 26: F'-Werte	53

10 Formelverzeichnis

Formel 1: Gebundener Calciumanteil.....	27
Formel 2: Fettgehalt in der Trockenmasse.....	28
Formel 3: Arithmetischer Mittelwert (Schlittgen, 2003).....	32
Formel 4: Variationskoeffizient (Schlittgen, 2003).....	32
Formel 5: Varianz (Schlittgen, 2003).....	33
Formel 6: F-Wert für ANOVA (Schlittgen, 2003).....	33
Formel 7: Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson (Schlittgen, 2003).....	33
Formel 8: F-Wert des Friedman-Tests (DIN 10963, 1997).....	35
Formel 9: Korrektur des F-Wertes (DIN 10963, 1997).....	35
Formel 10: Korrekturfaktor für F' (DIN 10963, 1997).....	35
Formel 11: Paarweiser Vergleich von Prüfproben (DIN 10963, 1997).....	35

11 Anhang

Tab. 9: Festigkeit der Käse nach 13 Tagen Reifung

CaCl ₂ -Zugabe [%]	Temperatur [°C]	Festigkeit [N]		\bar{x}	v [%]
		1. Messung	2. Messung		
0,020	4,8	33,5	31,7	31,86	2,81
	4,8	32,3	(27,2)		
	4,8	31,8	30,6		
	5	31,8	31,3		
0,030	4,9	29,9	29,5	29,84	1,84
	4,9	29,7	29		
	4,8	30,6	30,1		
	4,8	29,4	30,5		
0,044	4,8	30,4	28,5	29,91	2,86
	4,7	29,5	29,2		
	4,9	31,2	30,5		
	4,8	30,3	29,7		
0,060	4,8	30,4	26,3	28,45	4,54
	5	29,6	29,2		
	4,8	28,6	27,6		
	4,9	27,7	28,2		
0,080	5	30,9	30,1	30,86	5,08
	5,1	31,3	27,6		
	5	32,5	31,9		
	4,9	32,2	30,4		
\bar{x}	4,88	30,14			
v [%]	2,09	5,10			

Tab. 10: Festigkeit der Käse nach 20 Tagen Reifung

CaCl ₂ -Zugabe [%]	Temperatur [°C]	Festigkeit [N]		\bar{x}	v [%]
		1. Messung	2. Messung		
0,020	5	35,8	35,7	34,56	3,88
	5	34,5	33,7		
	5	35,8	34,1		
	5	35	31,9		
0,030	5	32,6	31,4	32,41	2,26
	5	31,8	32,6		
	5	33,5	31,9		
	5	33,3	32,2		
0,044	5	29,6	31,3	31,80	5,29
	5	33,2	30,5		
	5	34,4	33,1		
	5	32,1	30,2		
0,060	5,1	32,2	28,4	31,26	4,37
	5	31,1	30,3		
	5	32,4	31,6		
	5	31,6	32,5		
0,080	5	32,7	32,1	32,85	1,33
	5	33,4	32,8		
	5	32,5	33,3		
	5	32,8	33,2		
\bar{x}	5,01	32,58			
v [%]	0,45	4,95			

Tab. 11: Festigkeit der Käse nach 24 Tagen Reifung

CaCl ₂ -Zugabe [%]	Temperatur [°C]	Festigkeit [N]		\bar{x}	v [%]
		1. Messung	2. Messung		
0,020	5,1	37,2	36,7	36,76	2,19
	5,1	36,5	36,1		
	5,1	38,4	36,8		
	5,1	35,7	36,7		
0,030	5,1	34,3	35,2	34,28	2,53
	5,1	34,7	34,9		
	5	34,8	34,4		
	5	33,1	32,8		
0,044	5,1	33,9	33	33,86	2,27
	5,1	32,9	33,5		
	5,2	34,3	34,6		
	5,1	33,6	35,1		
0,060	5,1	31,3	32,5	32,83	2,12
	5,2	33,5	33,4		
	5,2	32,8	33,2		
	5,2	32,9	33		
0,080	5,2	34,2	32,9	33,73	2,35
	5,2	34,6	34,3		
	5,2	33,6	34,5		
	5,2	33,2	32,5		
\bar{x}	5,13	34,29			
v [%]	1,28	4,47			

Tab. 12: Festigkeit der Käse nach 29 Tagen Reifung

CaCl ₂ -Zugabe [%]	Temperatur [°C]	Festigkeit [N]		\bar{x}	v [%]
		1. Messung	2. Messung		
0,020	4,7	37,1	37,7	37,89	1,11
	4,7	38	37,8		
	4,7	38,3	38,5		
	4,7	37,9	37,8		
0,030	4,6	33,8	35,8	35,83	3,33
	4,6	36,1	35,5		
	4,6	37,7	37,1		
	4,6	35,3	35,3		
0,044	4,5	36,3	37,4	35,81	3,50
	4,4	35,4	36,2		
	4,4	34,1	33,9		
	4,4	36,8	36,4		
0,060	4,6	34	34,6	34,23	1,56
	4,7	33,8	34,9		
	4,7	33,7	33,5		
	4,7	34,7	34,6		
0,080	4,6	35,6	33,6	35,54	2,34
	4,6	35,8	36,1		
	4,6	36,3	35,7		
	4,6	35,4	35,8		
\bar{x}	4,60	35,86			
v [%]	2,23	4,10			

Tab. 13: Festigkeit der Ergebnisse nach 35 Tagen Reifung

CaCl ₂ -Zugabe [%]	Temperatur [°C]	Festigkeit [N]		\bar{x}	v [%]
		1. Messung	2. Messung		
0,020	5,1	39,4	38,4	38,81	1,43
	5,3	38,4	38,9		
	5,3	38,8	39,2		
	5,2	39,5	37,9		
0,030	5,2	35,8	36,5	35,81	1,02
	5,3	35,9	35,3		
	5,3	35,6	35,5		
	5,2	35,9	36		
0,044	5	37	35,8	35,70	1,95
	5	36	34,8		
	5	35,6	35,1		
	5	36,1	35,2		
0,060	5,3	31,9	31,1	32,81	5,61
	5,2	33,6	34		
	5,3	29,6	35,4		
	5,3	33,2	33,7		
0,080	4,9	35,7	36,3	35,81	3,24
	5,1	35,8	34,8		
	5,2	35,3	36,6		
	5,1	34,1	37,9		
\bar{x}	4,17	35,79			
v [%]	2,53	6,06			

Tab. 14: Einzelurteile zum Aussehen

Prüfperson	Rangplatz				
	0,020 % CaCl ₂	0,030 % CaCl ₂	0,044 % CaCl ₂	0,060 % CaCl ₂	0,080 % CaCl ₂
1	1	5	2	4	3
2	3	3	3	3	3
3	3,5	3,5	3,5	1	3,5
4	3	3	3	3	3
5	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3
7	3	3	3	3	3
8	3	3	3	3	3
9	3	3	3	3	3
10	2,5	2,5	5	2,5	2,5
11	3	3	3	3	3
Rangsumme	31	35	34,5	31,5	33

Tab. 15: Einzelurteile zum Geruch

Prüfperson	Rangplatz				
	0,020 % CaCl ₂	0,030 % CaCl ₂	0,044 % CaCl ₂	0,060 % CaCl ₂	0,080 % CaCl ₂
1	3	4	1	2	5
2	3	3	3	3	3
3	2	4	1	4	4
4	3	3	3	3	3
5	1	3,5	3,5	3,5	3,5
6	3,5	3,5	3,5	1	3,5
7	3	3	3	3	3
8	4	1	2	5	3
9	3	3	3	3	3
10	1	2	3,5	5	3,5
11	3	3	3	3	3
Rangsumme	29,5	33	29,5	35,5	37,5

Tab. 16: Einzelurteile zum Geschmack

Prüfperson	Rangplatz				
	0,020 % CaCl ₂	0,030 % CaCl ₂	0,044 % CaCl ₂	0,060 % CaCl ₂	0,080 % CaCl ₂
1	3	5	2	4	1
2	5	1	3,5	3,5	2
3	4	4	4	1	2
4	3,5	3,5	2	5	1
5	3,5	3,5	5	1,5	1,5
6	4	1	3	2	5
7	2	4	2	5	2
8	4	1	2	5	3
9	4	1,5	4	4	1,5
10	3	2	4,5	4,5	1
11	2	2	4,5	4,5	2
Rangsumme	38	28,5	36,5	40	22

Tab. 17: Einzelurteile zur Textur

Prüfperson	Rangplatz				
	0,020 % CaCl ₂	0,030 % CaCl ₂	0,044 % CaCl ₂	0,060 % CaCl ₂	0,080 % CaCl ₂
1	1	4	2	5	3
2	1	3,5	3,5	3,5	3,5
3	4	4	4	1	2
4	4	4	2	4	1
5	2,5	2,5	5	1	4
6	2	4	1	5	3
7	2	3	4,5	1	4,5
8	1	5	3	4	2
9	1,5	3,5	3,5	5	1,5
10	1	2	3	5	4
11	3	3	3	3	3
Rangsumme	23	38,5	34,5	37,5	31,5

Erklärung über die selbständige Anfertigung der Arbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Edewecht, 01. März 2010

Ort, Datum

Name