



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften
Studiengang Lebensmitteltechnologie
Sommersemester 2014

**Möglichkeiten zur Optimierung des Mischprozesses bei der
Herstellung von Lebensmittelschäumen auf Fettbasis am Beispiel von
„Mousse au Chocolat“ mit Vergleich von mechanischen
und sensorischen Analysen.**

Masterthesis

Zur Erlangung des akademischen Grades
„Master of Science“ (M. Sc.)

Christian Beske

Neubrandenburg, den 07.07.2014

Betreuer: Prof. Dr. Siegfried Bolenz
Prof. Dr. Jörg Meier

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis2014-0110-7

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. S. Bolenz und Herrn Prof. Dr. J. Meier für die Bereitstellung dieses interessanten Themas, sowie für die vielen Anregungen und die Hilfestellungen zur Gestaltung dieser Masterthesis.

Im Weiteren bedanke ich mich bei Herrn R. Kretzschmar für die große Unterstützung bei der Versuchsdurchführung im Technikum und bei Frau C. Sauermilch für die große Hilfe bei der Vorbereitung der sensorischen Analysen. Weiterhin möchte ich mich bei Frau A. Winkler für die Hilfe im Bereich der Mikrobiologie bedanken.

Ein großer Dank gilt ebenfalls den zehn Mitgliedern des Sensorikpanels für viele Zeit die sie für diese Arbeit aufgebracht haben und ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mich während des gesamten Studiums im großen Maße unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	6
Abkürzungsverzeichnis.....	7
1. Einleitung.....	8
2. Stand der Wissenschaft und Technik.....	10
2.1. Herstellung Mousse au Chocolat.....	10
2.2. Überblick Schäume.....	12
2.2.1. Lebensmittelschäume.....	12
2.2.2. Grundlagen zur Makro- und Mikrostruktur von Schäumen.....	13
2.2.3. Aufbau von Lebensmittelschäumen.....	15
2.3. Einflussfaktoren auf die Stabilität von Schäumen.....	17
2.3.1. Proteine.....	17
2.3.2. Fette.....	17
2.3.3. Hydrokolloide.....	18
2.3.4. Emulgatoren.....	19
2.3.5. Physikalische Parameter.....	19
2.4. Technische Umsetzung.....	21
2.4.1. Mondomix.....	22
2.4.2. Schabe-Wärme-Überträger.....	23
2.4.3. Satz-Druck-Maschine.....	24
3. Material und Methoden.....	25
3.1. Rohstoffe und Rezeptur.....	25
3.2. Anwendungssoftware.....	27
3.2.1. ECHIP (Version 7.0) zur Versuchsplanung und Auswertung.....	27
3.2.2. FIZZ (Version 2.47) zur sensorischen Analyse.....	29
3.3. Analytische Methoden.....	31
3.3.1. Messung der Volumenzunahme (Overrun).....	31
3.3.2. Messung der Festigkeit.....	32
3.4. Vorversuche.....	34
3.4.1. Versuchsrezepturen.....	35
3.4.2. Versuchsplanung.....	36
3.4.3. Herstellung im Labormaßstab.....	37
3.4.4. Herstellung mittels Schabe-Wärme-Überträger.....	39

3.4.5. Herstellung mittels Satz-Druck-Maschine.....	41
3.5. Hauptversuche.....	44
3.5.1. Versuchsrezeptur.....	44
3.5.2. Versuchsplanung.....	44
3.5.3. Versuchsdurchführung.....	46
3.6. Mikrobiologische Untersuchungen.....	48
3.7. Konventionelle sensorische Profilprüfung.....	50
3.7.1. Auswahl des Panels.....	51
3.7.2. Schulung des Panels (inkl. Festlegung der Prüfungsattribute).....	51
3.7.3. Durchführung der Prüfung.....	53
4. Ergebnisse.....	55
4.1. Vorversuche.....	55
4.1.1. Versuche im Labormaßstab.....	55
4.1.2. Versuche Schabe-Wärme-Überträger.....	64
4.1.3. Versuche Satz-Druck-Maschine.....	66
4.2. Hauptversuche.....	68
4.2.1. Hauptversuch 1 (mit Wiederholung).....	69
4.2.2. Hauptversuch 2 (mit Wiederholung).....	70
4.2.3. Hauptversuch 3.....	71
4.2.4. Hauptversuch 4 (mit Wiederholung).....	72
4.2.5. Hauptversuch 5.....	74
4.2.6. Hauptversuch 6 (mit Wiederholung).....	75
4.2.7. Hauptversuch 7.....	76
4.2.8. Hauptversuch 8.....	76
4.2.9. Hauptversuch 9 (mit Wiederholung).....	77
4.2.10. Varianzanalyse der Hauptversuche.....	79
4.2.11. Bilanzierung der Hauptversuche.....	81
4.2.12. Auswertung ECHIP für Hauptversuche.....	85
4.3. Konventionelle sensorische Profilprüfung.....	90
4.3.1. FIZZ.....	90
4.3.2. Auswertung ECHIP.....	95
4.4. Vergleich mechanische mit sensorischen Analysen.....	101
4.5. Mikrobiologische Ergebnisse	104
4.6. Lagertest.....	107

5. Diskussion.....	108
6. Zusammenfassung.....	110
7. Verzeichnisse.....	112
7.1. Abbildungsverzeichnis.....	112
7.2. Tabellenverzeichnis.....	114
7.3. Literaturverzeichnis.....	116
8. Anhang.....	118
Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit.....	145

Abstract

This work deals about the whipping process of Mousse au Chocolat. One aim of this thesis was to replace the skim milk powder against whole milk powder. The first trials was done to find out the role of the fat content and the whipping temperature. To evaluate the trials, the overrun and the firmness were measured. An analysis of this results with a statistical softwareprogramm was done. It shows that, by using whole milk powder, a higher fat content of the milk/cream-mix and a higher whipping temperature brings the best results. In the main trials was tried to find out the optimal technological process parameters, by using a batch pressure machine, to get a high firmness and overrun. These attributes were measured by instrumental analysis. To get more information about the quality of the Mousse au Chocolat a sensory profile test was done. The results shows a high accordance to the instrumental analysis. To make sure that there is no risk for the profiler an microbiological analysis was made. The mousse was tested of its content by total plate count, by yeasts and molds and by the content of coliform germs. A shelf life test shows, that the produced mousse is round about 2 weeks storable. The results of this work have shown that the overrun depends on the process pressure and also on the engine speeds. To get a good firmness the engine speed from the mixing chamber of the batch pressure machine should be between 40-60%. In the turbulence chamber should the speed be between 50-70%. Higher speeds mostly destroy the complexes of the fat cristals and the protein emulgent compounds. The results have shown that there were many possibilities to optimize the whipping process and that a higher fat content and a high whipping temperature are usefull to produce a good quality Mousse au Chocolat.

Abkürzungsverzeichnis

Smybol	phys. Größe	Einheit
m	Masse	g, kg
V	Volumen	ml, l
t	Zeit	sec, min, h, d
T	Temperatur	°C, K
ρ	Dichte	g/ml
N	Kraft	kg*m/s ²
P	Druck	bar
c	spez. Wärmekapazität	kJ/kg*K
Q	Wärmemenge	kJ, MJ
	Luftdosierung (Normliter)	Nl/min
	Overrun	%
	Schaumfestigkeit	N
	Drehzahl	rpm, %

Abkürzungen

TPA	Texturprofilanalyse
TA	Texture Analyser
SWÜ	Schabe-Wärme-Überträger
SDM	Satz-Druck-Maschine
KbE	Keimbildende Einheiten
GKZ	Gesamtkeimzahl
H/S	Hefen/Schimmel
E.	Enterobakterien
NaCl	Natriumchlorid
n.a.	nicht auszählbar
CCP	Critical Control Point
LFGB	Lebensmittel- ,Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch
VV	Vorversuch
HV	Hauptversuch
MP	Magermilchpulver
VP	Vollmilchpulver
(W)	Wiederholungsversuch (Beispiel: 1(W))
(A)	Aussehen (Beispiel: Formstabilität(A))
(M)	Mundgefühl (Bespiel: Festigkeit(M))
SD	Standardabweichung (englisch = standard deviation)
VK	Variationskoeffizient
Tab.	Tabelle
Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

Die Optimierung der Produktion von Lebensmitteln ist ein kontinuierlicher und unabdingbarer Prozess in allen Bereichen der modernen Industrie. Der heutige Lebensmittelmarkt ist stark umkämpft, da jedes Unternehmen auf den höchstmöglichen Absatz abzielt. Um diesen zu erreichen, d.h. die Verbraucher zum Kauf des Produktes zu bewegen, sind vor allem 2 Eigenschaften der Produkte von großer Bedeutung.

Das Gesundheitsbewusstsein und die qualitativen Ansprüche an die Lebensmittel der heutigen Konsumenten sind in den letzten Jahren stark gestiegen. Dies betrifft unter anderem die Zusammensetzung, die Haltbarkeit und die sensorischen Eigenschaften. Daher ist es für jedes Unternehmen essentiell, Prozesse zu entwickeln und diese auch zu optimieren, damit z.B. die Verwendung von Zusatzstoffen verringert oder der Einsatz gar unnötig wird und trotzdem eine lange Haltbarkeit erreicht und gute sensorische Eigenschaften erzielt werden.

Auf der anderen Seite spielt der Preis eine ausschlaggebende Rolle für die Verbraucher, da jeder, wenn auch unbewusst, nach dem ökonomischen Minimalprinzip handelt. Das bedeutet, es soll mit einem möglichst geringen Einsatz von Mitteln (Geld) ein höchstmöglicher Nutzen (Menge/Qualität der Lebensmittel) erzielt werden.

Somit versucht jedes Unternehmen die Preise am Markt bzw. die Kosten der Produktion, bei hoher Qualität seiner Produkte, zu senken, um so den Absatz und den damit verbundenen Gewinn zu erhöhen. Großes Potential zur Kostenminimierung bietet dabei vor allem die Optimierung der Herstellungsprozesse von Lebensmitteln.

In der Lebensmittelindustrie sind Schäume von großer Wichtigkeit. Es gibt verschiedene Möglichkeiten diese zu unterscheiden. Zum einen gibt es Protein- (z.B. Marshmallows) und Fettbasierte (z.B. Schlagsahne) Lebensmittelschäume. Sie finden sowohl Anwendung bei Schokoladen, Eiscrème und Desserts. Des Weiteren sind sie ein ausschlaggebendes Qualitätskriterium bei verschiedenen Getränken, wie z.B. Schaumwein, Bier und Limonaden.

In dieser Arbeit sollten für die Herstellung von Lebensmittelschäumen auf Fettbasis, am Beispiel von Mousse au Chocolat, mögliche Optimierungen ermittelt werden. Dafür wurde zunächst auf den Erkenntnissen einer früheren Studienarbeit (Hänel, 2008) aufgebaut. Mit den vorhandenen Ergebnissen konnte in Vorversuchen im Labormaßstab der optimale Fettgehalt für die Herstellung ermittelt werden. Da noch größere Mengen Vollmilchpulver im Lager der Hochschule zur Verfügung standen, wurde aus ökonomischen Gründen versucht, das Magermilchpulver durch Vollmilchpulver zu ersetzen und somit Geldmittel einzusparen.

Ein weiterer Aspekt war der Vergleich verschiedener Maschinen zur Herstellung der Mousse au Chocolat, wobei ebenfalls auf Ergebnisse der Studienarbeit zurückgegriffen werden konnte. Ausschlaggebend zur Beurteilung der Qualität der hergestellten Mousse in den Vorversuchen waren zunächst die Volumenzunahme (Overrun) und die Festigkeit. Mit den erhaltenen Daten sollte die optimale Rezeptur für die Hauptversuche ermittelt werden. Dabei wurden dann verschiedene Parameter während der Herstellung variiert, um optimale Ergebnisse in Bezug auf die Festigkeit, Stabilität und Volumenzunahme zu erhalten. Bei der Beurteilung der Festigkeit und der Volumenzunahme wurden dann aber nicht nur mechanische Analysen zur Hilfe genommen. Um einen besseren Vergleich ziehen und eindeutiger Aussagen treffen zu können, wurde ein Sensorik-Panel zur Hilfe genommen. Um die Eigenschaften sensorisch zu beurteilen, wurde eine konventionelle Profilprüfung durchgeführt. Dadurch war eine noch genauere Auswertung der Hauptversuche möglich. Des Weiteren erlaubt dieses Vorgehen einen Vergleich zwischen den mechanischen und sensorischen Analysen zu ziehen und zu prüfen, ob diese Ergebnisse miteinander korrelieren. Da aber auch die Kosten der Herstellung ein wichtiger Aspekt der Optimierung sind, wurde bei allen Versuchen der Strom- und Wasserverbrauch gemessen sowie eine Mengenzu- und abflussbilanz aufgestellt. Mit Hilfe dieser Ergebnisse sollen Aussagen darüber getroffen werden können, bei welchen Versuchen die beste Qualität (Volumenzunahme, Schaumfestigkeit) erzielt wurde und die geringsten Kosten entstanden. Mit den gewonnenen Daten können Aussagen über ein optimales Verhältnis von Kosten zur Qualität getroffen werden.

2. Stand der Wissenschaft und Technik

2.1. Herstellung Mousse au Chocolat

Mousse ist eine süße, cremige Nachspeise und stammt ursprünglich aus Frankreich. Nach den „Leitsätzen für Pudding, andere süße Desserts und verwandte Erzeugnisse“ vom 02.12.1998 ist eine Mousse ein „aufgeschlagenes, schaumiges, süßes Dessert“. Weiterhin gibt es für Mousse au Chocolat besondere Beurteilungsmerkmale. So müssen in 500 g Mousse au Chocolat mindestens 30 g verschiedene Kakaoerzeugnisse enthalten sein (z.B. Milkschokolade, Kuvertüre). Bei ausschließlicher Verwendung von Kakaopulver (stark o. schwach entölt) beträgt die Mindestmenge 20 g in 500 g Mousse. Mittlerweile gibt es dieses Dessert in zahlreichen verschiedenen Geschmacksrichtungen. Am bekanntesten ist jedoch die Mousse au Chocolat. Übersetzt bedeutet dies soviel wie „Schokoladenmus“ oder „Schokoladenschaum“. Mousse au Chocolat gehört zu den fetthaltigen Schlagschaumprodukten und ist physikalisch betrachtet ein Mehrphasensystem, bestehend aus einer Gasphase, einer festen und einer flüssigen Phase (Schuster, 1985). Es ist eine Emulsion, eine Suspension und auch ein Schaum. Mousse au Chocolat wird sowohl handwerklich in privaten Küchen, als auch industriell hergestellt. Bei der handwerklichen Herstellung werden vornehmlich rohe Eier verwendet, um einen stabilen Schaum zu erzeugen. Des Weiteren beinhaltet die Rezeptur dunkle Schokolade, pflanzliche Öle und Zucker. Der große Nachteil hierbei ist jedoch die Verwendung der Eier. Die produzierte Mousse kann nur kurz gelagert werden und stellt eine große Gefahr in Bezug auf Salmonellen für den Konsumenten dar. Bei der industriellen Produktion wird auf rohe Eier verzichtet. Stattdessen werden Emulgatoren und Verdickungsmittel eingesetzt. Die im Handel erhältlichen Mousse-Arten können, je nach Herstellungsgrad, in 4 Typen unterteilt werden.

Tabelle 1: Einteilung Mousse im Handel (Baumann, 2006)

Mousse-Typ	Beschreibung
Instant-Mousse-Pulver	Pulver + kalte Milch/Wasser mischen; Aufschlag mit Handrührgerät
Flüssig-Mousse-Mix	Aufschlag mit Handrührgerät
Hitzebehandelte Mousse	Lagerung im Kühlregal bei 5°C, verzehrfertig
Gefrorene Mousse	Lagerung bei Tiefkühltemp., vor Verzehr auftauen

In dieser Masterthesis wurde die hitzebehandelte Mousse untersucht, daher wird im weiteren Verlauf auf diese Herstellung eingegangen. Die grundlegende Produktion einer verzehrfertigen und lagerstabilen Mousse au Chocolat lässt sich in 8 Schritte aufteilen (Baumann, 2006). Im 1. Schritt wird die gesamte Milch auf 40°C erwärmt. Dann werden alle pulverförmigen Zutaten dazu gegeben und vollständig aufgelöst. In einem weiteren Schritt wird der Mousse-Mix homogenisiert, wodurch die Fettkügelchen zerkleinert werden. Durch die Oberflächenvergrößerung der Fettkugelmembran können sich vermehrt Proteine und Emulgatoren anlagern, wodurch die Aufschlagfähigkeit und die Schaumstabilität erhöht werden (Schuster, 1985). Im 4. Schritt folgt die Pasteurisation des Gemisches bei 85°C für 20 Sekunden. Im Anschluss wird der Mix unter langsamem Rühren auf 15°C abgekühlt und es erfolgt die Reifung. Diese dauert in der Regel 30 Minuten und geschieht in einem sterilen Tank. Während der Reifung bindet die zugegebene Gelatine Wasser und bildet ein stabiles Gerüst aus, welches den Aufschlagprozess begünstigt. Des Weiteren bewirken die Emulgatoren eine erhöhte Proteindesorption an der Oberfläche der Fettkügelchen. Das so entstandene „destabilisierte Fett“ (Rohenkohl, 2002) spielt im nächsten Schritt eine wichtige Rolle. Nach der Reifung erfolgt der Aufschlagprozess durch ein geeignetes Aufschlaggerät (z.B. Mondomixer). Während des Aufschlagprozesses wird das eingetragene Gas feinblasig im Produkt verteilt. Die Zugabe des Gases erfolgt dabei über ein Luftdosiersystem. In früheren Zeiten wurde dabei hauptsächlich Luft verwendet, wodurch jedoch vor allem die Haltbarkeit beeinträchtigt wurde. Als gängiges Gas wird heutzutage Stickstoff verwendet, dadurch können unerwünschte Mikroorganismen gehemmt und das Produkt vor Oxidationsprozessen geschützt werden. Zum Abschluss wird die aufgeschlagene Mousse aseptisch in sterile Verpackungen abgefüllt und bei 5°C gelagert.

2.2. Überblick Schäume

2.2.1. Lebensmittelschäume

Das Einbringen von Luft bzw. Gasen in Lebensmittel spielt schon seit langer Zeit eine große Rolle in der Lebensmittelindustrie. Es gibt eine Vielzahl an Produkten, aus den unterschiedlichsten Gruppen, bei denen die Dispersion von Luft einen entscheidenden Einfluss auf die sensorischen Eigenschaften hat. Zu den bekanntesten Produkten zählen einige alkoholische Getränke wie z.B. Bier und Schaumweine oder auch Kaffeespezialitäten wie z.B. Cappuccino. Aber auch im Bereich der Backwaren, wozu Baisers und Croissants zählen oder bei den Süßwaren, wie z.B. Marshmallows, finden Schäume ihre Anwendung. Weitere bekannte Beispiele sind die Sprühsahne, Milchshakes, Eiscreme, Soufflès, Butter und Popcorn (Campbell; Mougeot, 1999). Ernährungsphysiologisch betrachtet hat der Gaseintrag in die Lebensmittel nur einen geringen Nutzen für den Verbraucher. So wird z.B. bei der Brotherstellung durch die Hefe der enthaltene Zucker abgebaut und zu CO₂ umgewandelt, wodurch die kalorische Aufnahme gesenkt wird. Der hauptsächliche Gewinn dabei liegt eher in den sensorischen Eigenschaften wie der Textur und dem Mundgefühl. Lebensmittel wie z.B. Schlagsahne oder Mousse wirken dadurch luftig und weich, andere Lebensmittel wirken knuspriger, wie z.B. Frühstückssnacks. Eiscreme und Mousse erhalten dadurch die beliebte Gleichmäßigkeit. Bei Softdrinks, wie z.B. Limonaden, erzeugen die Gasbläschen ein prickelndes Mundgefühl. Auch die optischen Eindrücke bei Lebensmitteln, wie z.B. Brot, Luftschokolade oder Bier, wirken dadurch positiver. Oftmals können die Gasbläschen dann sogar als Qualitätskriterium bei der Beurteilung dienen, vor allem bei Bieren oder Schaumweinen spielt das eine große Rolle für den Konsumenten. Aber nicht nur für den Verbraucher bietet die Dispersion von Gasen in Lebensmitteln einen Vorteil. Einen großen Nutzen ziehen die Unternehmen für sich selbst. So können geschäumte Lebensmittel die Kosten und den Aufwand bei der Produktion senken, denn Luft ist kein teurer Rohstoff bei der Herstellung und es wird viel Aufwand betrieben, um luftige Produkte als luxuriös darzustellen (Campbell; Mougeot, 1999). Der Gewinn kann vor allem dann gesteigert werden, wenn die Lebensmittel in Verpackungen nach Volumen verkauft werden (z.B. Speiseeis). Den höheren Luxus der Schaumprodukte zeigte z.B. eine große Marketingkampagne eines bekannten Margarineherstellers. Die neue luftige Margarine unterscheidet sich in Bezug auf die Rohstoffe eher gering und hauptsächlich durch den Gaseintrag (Stickstoff) vom Standardprodukt und auch der Kaloriengehalt ist identisch.

Beim Preis wird dann aber der Unterschied von immerhin ca. 56% sehr deutlich (www.Lätta.de, 2014). Auch die Verpackung soll durch Aussehen und Farbe die Leichtigkeit und einen gewissen Luxus hervorheben (www.Testlokal.de, 2012).

Somit lässt sich sagen, dass die hohe Beliebtheit der geschäumten Lebensmittel auf die sensorischen Eigenschaften zurück zu führen ist. Dies trifft vor allem dann zu, wenn die Lebensmittel im ungeschäumten Zustand eher wenig attraktiv oder nicht zum Verzehr geeignet sind. Als weniger attraktiv gilt z.B. ungeschäumte Schlagsahne, welche erst durch das Schäumen zum Verzehr geeignet ist. Ein weiteres Beispiel wären Baisers, das ungeschäumte Lebensmittel ist hierbei Hühnereiweiß und dies ist eher ungeeignet zum Verzehr (Klupsch, 1992).

2.2.2. Grundlagen zur Makro- und Mikrostruktur von Schäumen

Lebensmittelschäume zählen wie Suspensionen und Emulsionen zu den dispersen Mehrphasensystemen. In Schäumen sind Gasblasen (disperse Phase) in einem flüssigen Dispersionsmittel (kontinuierliche Phase) verteilt. Die geometrische Struktur der Gasblasen im Schaum ist dabei zum einem abhängig vom Gas- bzw. Flüssigkeitsanteil im Schaum. Des Weiteren spielt die Verteilung und die Anordnung der Gasblasen eine große Rolle (Dickinson, 1999). Je nach Volumenanteil des Gases können verschiedene Schäume entstehen. In der Abbildung 1 sind die 2 Idealformen zu sehen, dazwischen gibt es aber auch verschiedene Mischformen.

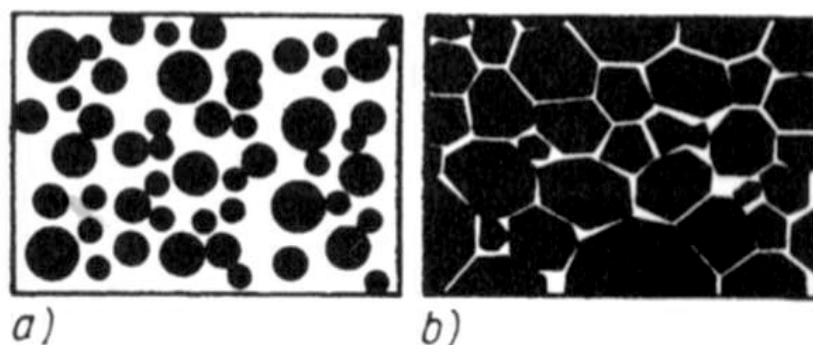


Abbildung 1: a) Kugelschaum; b) Polyederschaum (Tscheuschner, 2004)

Kugelschäume entstehen bei einem Gasanteil von unter 75%. Die dabei enthaltenen Gasbläschen liegen zum größten Teil einzeln vor. Diese sind durch dicke Lamellen getrennt und es treten nur wenig bis keine Wechselwirkungen zwischen ihnen auf, wodurch sie ihre runde Form beibehalten. Bei Polyederschäumen liegt der Gasanteil im Schaum über 75%. Durch den höheren Anteil an Gasbläschen kommt es vermehrt zu Wechselwirkungen zwischen ihnen. Da sie dichter gepackt sind, verformen sie sich stärker und es kommt zur typischen Ausbildung der Honigwabenstruktur (z.B. steifer Eischnee). Bei niedrigviskosen, nichtstabilisierten Schäumen kommt es jedoch vermehrt zur Koaleszenz, vor allem bei Kugelschäumen. Das heißt, die Lamellen zwischen den Gasblasen zerreißen, wenn sie nicht ausreichend stabilisiert werden. Dadurch fließen die aufeinandertreffenden Gasbläschen zusammen, wodurch die Oberfläche der gebildeten Bläschen ständig sinkt und diese schneller aufsteigen. Um der Koaleszenz entgegen zu wirken und somit die Bildung von stabilen Polyederschäumen zu fördern, sind Makromoleküle und grenzflächenaktive Stoffe von großer Wichtigkeit (Tscheuschner, 2004). Es gibt verschiedene Verfahren zur Herstellung von Schäumen, wobei das Verfahren einen entscheidenden Einfluss auf die Schaumstruktur und dessen Kapazität hat (Borcherding, 2004). Charakteristisch können diese Verfahren in Kondensations- und Dispersionsverfahren unterschieden werden. Kondensationsverfahren finden vor allem bei Getränken Anwendung. Zum Aufschäumen wird dazu der Druckunterschied genutzt. Die unter Druck stehende Flüssigkeit wird mit komprimiertem Gas gesättigt. Kommt es zu einem Druckabfall, wird das gelöste Gas in Form von Gasblasen freigesetzt. Beispiele dafür sind Bier und Schaumweine (Tscheuschner, 2004). Bei Dispersionsverfahren erfolgt der Eintrag der Gasblasen in die Flüssigkeit durch mechanische Energie. Dafür werden Rührer, Mixer oder ähnliche Maschinen genutzt. Aufgrund des eingebrachten Gases in die Flüssigkeit diffundieren die grenzflächenaktiven Substanzen aus der kontinuierlichen Phase an die disperse Phase und es kommt zur Ausbildung der Mikrostruktur (Borcherding, 2004). Die grenzflächenaktiven Substanzen besitzen sowohl einen hydrophilen, als auch einen hydrophoben Teil. Daher können sie sich an den Grenzflächen zwischen den Gasblasen und der Flüssigkeit ausrichten, wodurch die Grenzflächenspannung gesenkt, der Schaum stabilisiert und der Koaleszenz entgegen gewirkt wird. Zu den grenzflächenaktiven Substanzen in der Lebensmittelindustrie zählen niedermolekulare Emulgatoren (z.B. Phospholipide oder Mono- und Diglyceride) und makromolekulare Emulgatoren wie z.B. Proteine.

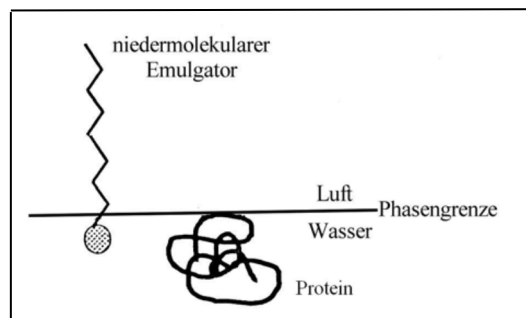


Abbildung 2: Grenzflächenverhalten von Emulgatoren
verschiedener Stoffklassen (Damodaran, 1997)

Die Art und Menge der eingesetzten Emulgatoren hat einen entscheidenden Einfluss auf die Aufschlagfähigkeit, die Stabilität und die sensorischen Eigenschaften des Schaumes. Des Weiteren spielen die Interaktionen zwischen ihnen und anderen grenzflächenaktiven Substanzen, wie z.B. Fetten, eine große Rolle (Schuster, 1985). Durch die Senkung der Grenzflächenspannung wird auch die Verteilung des Gases in der Flüssigkeit vereinfacht, was sich auf die Blasengröße im Schaum auswirkt. Weitere Faktoren für die Verteilung und Größe der Gasblasen sind die Viskosität und die Dichte der kontinuierlichen Phase.

2.2.3. Aufbau von Lebensmittelschäumen

Lebensmittelschäume gehören zu den Mehrkomponentensystemen. Ihre physikalischen und sensorischen Eigenschaften werden nicht nur von den Prozessparametern beeinflusst, sondern auch maßgeblich vom Mischungsverhältnis der Ausgangsstoffe. Zwischen den sensorischen Eigenschaften und der Schaumstruktur besteht ein großer Zusammenhang (Rohenkohl, 2002). Lebensmittelschäume können je nach ihren Ausgangsrohstoffen in proteinstabilisierte und fettstabilisierte Schäume unterschieden werden. Zu den proteinstabilisierten Schäumen zählen z.B. Schaumzuckerwaren wie Marshmallows oder auch verschiedene Desserts. Stabilisiert werden diese Schäume zunächst durch die Adsorption der Proteine an die Grenzfläche (Gas/Flüssigkeit). Aufgrund der Umgebungseigenschaften (Temperatur, pH-Wert) kommt es zu einer strukturellen Veränderung der Proteine (z.B. Auffaltung oder Polymerisation), wodurch die Gasbläschen stabilisiert werden. Um im Anschluss z.B. die Lagerfähigkeit zu verbessern, kann eine Erhöhung der Viskosität der kontinuierlichen Phase vorgenommen werden (Rohenkohl, 2002). Der Aufbau von fettstabilisierten Schäumen wie Mousse au Chocolat, Eiscreme und Schlagsahne ist wesentlich komplexer (Borcherding, 2004).

Die Emulsion wird zunächst durch Proteine und niedermolekulare Emulgatoren stabilisiert (Rohenkohl, 2002). Nach Schuster (1984) müssen für die Ausbildung eines stabilen Schaums vier Voraussetzungen erfüllt sein. Die erste ist die Einhaltung der Reifezeit bei niedrigen Temperaturen, da dies eine ausreichende Fettkristallisation erlaubt. Des Weiteren spielt der Fettgehalt eine wichtige Rolle, da dadurch der Schaum stabil und fest wird. Der dritte Punkt ist die Aufschlagtemperatur. Diese sollte so niedrig wie möglich gewählt werden, damit der Gehalt an kristallinem Fett, welches für die Schaumfestigkeit nötig ist, nicht nachteilig verändert wird. Um die gewünschten Eigenschaften zu erzielen, spielt die Auswahl der Fette eine wichtige Rolle. Gesättigte Fette fördern den Aufschlag und einen gleichmäßigen, feinporigen Schaum. Fette mit niedrigem Schmelzpunkt werden im Geschmack als angenehmer empfunden, da sie ein geringeres fettiges Mundgefühl erzeugen. Als letztes muss ein natürlicher Emulgatorkomplex vorhanden sein, resultierend aus den Wechselwirkungen zwischen Proteinen, Fetten, Phospholipiden. In der Emulsion liegen die Fettkügelchen zunächst in Tropfenform mit einer Größe von 1 – 3,5 µm vor. Während das Gas in der kontinuierlichen Phase dispergiert wird, adsorbieren die Proteine an der Grenzschicht (Gas/Flüssigkeit). Gleichzeitig wird die Membran der Fettkugeln durch die einwirkenden mechanischen Kräfte teilweise freigelegt und es werden Fettpartikel zerschlagen. Dies ermöglicht es, dass das kristalline Fett austreten kann. Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen Fetten und Proteinen entsteht eine hydrophile Grenzschicht. Da die Fetteilchen in dieser eingeschlossen sind, wird der Eiweißschaum stabilisiert. Die Fettpartikel, die nicht mit Proteinen besetzt sind, werden als „destabilisiertes“ Fett bezeichnet. Die destabilisierten Fettpartikel werden zunehmend hydrophob und haben eine starke Neigung zur Agglomeration. Die entstandenen Agglomerate orientieren sich dann zur Gasphase und stabilisieren diese. Der Ablauf dieser Vorgänge ist vor allem von der Fetttropfengrößenverteilung, dem Wirkungsgrad der Proteine und dem Anteil der kristallinen Fette abhängig. So können sich bei zu geringem Fettanteil nicht ausreichend Agglomerate bilden, wodurch kein ausreichend stabiles Gerüst gebildet werden kann. Bei einem zu hohem Fettanteil kann sich ein kompletter Film um die Gasblasen bilden. Dies kann zur Zerstörung der Gasblasenstruktur führen (Rohenkohl, 2002).

2.3. Einflussfaktoren auf die Stabilität von Schäumen

Die Stabilität der Lebensmittelschäume wird durch viele Faktoren bestimmt. Auf der einen Seite spielen die Inhaltsstoffe und deren Anteil im Mix eine wichtige Rolle. Zum anderen können die Schäume durch die physikalischen Parameter stark beeinflusst werden.

2.3.1. Proteine

Bei der Herstellung von Lebensmittelschäumen haben die eingesetzten Eiweiße und deren eingesetzte Menge einen entscheidenden Einfluss auf die Art des gebildeten Schaums. Des Weiteren sind pflanzliche Proteine wegen geringerer Aufschlagfähigkeit und einer weicheren Schaumkonsistenz weniger geeignet (Schuster, 1984). Durch die Proteine werden die Schaumlamellen gebildet, welche einen starken Einfluss auf die Aufschlagfähigkeit, die Stabilität und so letztendlich auch auf die sensorischen Eigenschaften haben. Dazu kann durch Proteine die Viskosität der kontinuierlichen Phase erhöht werden. Dies wiederum wirkt dem Abfließen von freier Flüssigkeit aus der kontinuierlichen Phase entgegen, was den Schaum stabiler macht (Borcherding, 2004). Aufgrund der Wechselwirkungen mit Fetten und Emulgatoren wird eine hydrophile Grenzschicht gebildet. Diese umschließt die Fetteilchen (aus Milch und Sahne), wodurch eine Zerstörung des Schaums verhindert und der Koaleszenz der Gasblasen entgegen gewirkt wird. Die Fette, die nicht mit Proteinen besetzt sind, werden als „destabilisiertes“ Fett bezeichnet und bilden hydrophobe Agglomerate, welche sich an der Gasphase orientieren und diese stabilisieren.

2.3.2. Fette

Nach Klupsch (1992) zählen Öle und Fette zu den schaumzerstörenden Stoffen. Dies gilt vor allem dann, wenn sie über den Schmelzpunkt erwärmt wurden oder zu viel freies Fett in der Emulsion vorliegt. Ein zu hoher Gehalt an flüssigem Fett führt dazu, dass sich ein dünner Fettfilm um die Gasblase bildet und diese zerstört (Rohenkohl, 2002). Somit wird der Schaum instabil und fällt in sich zusammen. Trotzdem spielen Fette beim Aufschlag von Lebensmittelschäumen eine wichtige Rolle. Je nach Art und Menge wirken sie sich z.B. auf die Konsistenz und die sensorischen Eigenschaften aus.

Am besten geeignet sind Fette mit hohem Härungsgrad. Ungesättigte Fettsäuren können einen schlechten Aufschlag und sehr grobporigen Schaum erzeugen. Ebenso wird durch das Schmelzverhalten die Viskosität und das Mundgefühl beeinflusst. Das heißt, dass sich bei einem niedrigen Schmelzpunkt ein angenehmerer Geschmack entwickelt und die Mousse nicht zu fettig im Mundgefühl wirkt (Schuster, 1984). Auch ein zu geringer Fettanteil wirkt nachteilig auf die Schaumstabilität und den Aufschlag. Ist ein zu geringer Anteil an freiem Fett vorhanden, können sich nicht ausreichend Agglomerate an den Grenzflächen (Gas/Flüssigkeit) bilden und das Fettgerüst ist nicht stabil genug.

In der Milch bzw. Sahne liegt das Fett emulgiert in Kugelform mit einer Membran vor. Die Membran der Fettkugeln aus homogenisierter Milch setzt sich aus Caseinmizellen, Molkeproteinen und Überresten der nativen Membran zusammen. Borcharding (2004) beschreibt, dass die „sekundäre“ Membran der Fettkügelchen an der Grenzfläche zur Gasphase nicht aufbricht. Dabei ändert sich jedoch die Struktur der Caseine in der Membran und es werden calciumreaktive Bereiche freigelegt. In Anwesenheit von Calcium finden sich die reaktiven Fettkugeln an der Gasphase zu Agglomeraten zusammen. Durch die Einwirkung der mechanischen Energie beim Aufschlagprozess wird die natürliche Membran der Fettkugeln teilweise losgelöst und das flüssige Fett tritt aus. Aufgrund der niedrigen Aufschlagtemperatur kommt es zur Kristallisation der Fette. Durch die erhöhte Hydrophobizität finden sich die kristallinen Fettkugeln zu Agglomeraten zusammen und lagern sich an die Grenzfläche (Gas/Flüssigkeit) an und es bilden sich Brücken zwischen den Luftblasen.

2.3.3. Hydrokolloide

Hydrokolloide können in geringen Mengen die Schaumlamellen der Proteine stabilisieren. Zum einen führen sie zu einer Viskositätserhöhung der kontinuierlichen Phase und tragen maßgeblich zur Aufschlagfähigkeit und Textur des Schaumes bei. Dies spielt vor allem bei Lebensmittelschäumen mit einem geringeren Fettgehalt eine große Rolle. Sie besitzen außerdem ein hohes Wasserbindevermögen, wodurch der Schaum stabiler gegen Synärese wird. Das bedeutet, dass kaum Flüssigkeit aus den Schaumlamellen abfließt und die Struktur des Schaumes länger erhalten bleibt. Der Zusatz von Hydrokolloiden liegt meistens zwischen 0,1 – 0,25 % und bevorzugt werden Carrageen, Alginat oder Johannisbrotkernmehl eingesetzt.

Bei einer zu hohen Konzentration in der Rezeptur können Hydrokolloide jedoch das Gegenteil bewirken. Dabei wirken sie störend auf das Zusammenwirken des Protein-Emulgator-Fettkomplexes, wodurch die Aufschlagfähigkeit des Schaumes sinkt (Schuster, 1984).

2.3.4. Emulgatoren

Lebensmittelschäume besitzen viele Qualitätskriterien mit deren Hilfe sie beurteilt werden können. Nach Schuster (1985) sind vor allem 5 Eigenschaften von großer Bedeutung. Das sind die Aufschlagfähigkeit, die Schaumkonsistenz, die Standfestigkeit, die Schaumstabilität und die sensorischen Eigenschaften. Durch die Zugabe von Emulgatoren ist es dem Hersteller möglich, alle diese Eigenschaften zu beeinflussen. Durch die eingesetzten Emulgatoren verbessert sich die Fetttropfenverteilung in dem flüssigen Produkt. Dadurch wird die Aufschlagzeit verkürzt und der erhaltene Schaum weist eine höhere Stabilität und eine feinporigere Struktur auf. Die verkürzte Aufschlagzeit ist ein Ergebnis der Adsorption der Emulgatoren an der Fetteilchenoberfläche. Dadurch werden die Fetteilchen relativ hydrophil, wodurch die antagonistische Wirkung des Fettes auf die Proteine aufgehoben wird. Auch kann durch Emulgatoren die Emulsion teilweise destabilisiert werden, wodurch die Fettagglomeration gefördert wird. Bei steigender Emulgatorkonzentration ist auch ein Anstieg der Viskosität zu erkennen. Dies beugt unter anderem der Drainage, also dem Abfließen der Flüssigkeit aus den Schaumlamellen vor und somit auch der Koaleszenz der Gasblasen.

2.3.5. Physikalische Parameter

Neben den verwendeten Rohstoffen und deren eingesetzter Menge haben auch die physikalischen Parameter einen großen Einfluss auf die Beschaffenheit der Mousse au Chocolat. Die Temperatur spielt an mehreren Punkten der Herstellung eine wichtige Rolle. Nachdem alle Zutaten außer der Gelatine zunächst vermischt wurden, erfolgt eine Pasteurisation bei 85°C für 20s. Durch die steigenden Temperaturen sinkt zunächst die Viskosität. Dies ermöglicht es, dass die Moleküle schneller an die Grenzflächen diffundieren können und die Grenzflächenspannung herabgesetzt wird. Des Weiteren denaturieren einige Proteine bei diesen Temperaturen.

Durch diese räumliche Veränderung (Auffaltung) werden die reaktiven Gruppen freigelegt, welche in den weiteren Herstellungsprozessen für die Wechselwirkungen mit den Emulgatoren und Fetten wichtig sind (Borcherding, 2004). Die freien Fettteilchen werden durch die Proteine gebunden, wodurch eine hydrophile Grenzschicht entsteht. Dadurch wird der Zerstörung des Eiweißschaumes entgegen gewirkt, da eine Drainage aus den Schaumlamellen verhindert wird (Schuster, 1984). Aber nicht nur die Pasteurisation spielt eine große Rolle, also die Temperaturerhöhung, sondern auch die niedrigen Temperaturen. Diese erhöhen zum einen die Viskosität, wodurch die Schaumstabilität erhöht wird. Des Weiteren ist eine niedrige Temperatur vor allem beim Aufschlag nötig. Grundlegend werden dafür Temperaturen zwischen 10°C bis 18°C genutzt (Baumann, 2006). Durch diese niedrigen Temperaturen kristallisieren flüssige Fette in der Emulsion und haben nun einen starke Neigung zur Agglomeration. Die so entstandenen Agglomerate bilden ein Gerüst um die Gasblasen und stabilisieren diese. Doch gerade für diesen Prozess ist nicht nur eine niedrige Temperatur notwendig. Da das Milchfett in der Emulsion zunächst in Tropfenform mit Membran vorliegt, sind auch die mechanischen Kräfte sehr wichtig. Durch diese Kräfte werden die Tropfen zerschlagen und das amorph erstarrte Fett kann austreten. Diese Fettpartikel, welche nicht mit Proteinen besetzt sind, werden als „destabilisiertes“ Fett bezeichnet (Rohenkohl, 2002). Das bedeutet, dass ausreichend starke Scherkräfte benötigt werden, um das „destabilisierte“ Fett zu zerschlagen. Sind die Scherkräfte zu gering, kann nicht genügend kristallisiertes Fett austreten und sich zu Agglomeraten zusammen finden. Dadurch bildet sich kein stabiles Gerüst und der Schaum ist weniger stabil. Sind aber die Scherkräfte zu stark, wird das genaue Gegenteil bewirkt. Es wird zwar ausreichend kristallines Fett freigesetzt und kann sich zu Agglomeraten zusammen finden. Bedingt durch die hohen Scherkräfte werden die gebildeten Agglomerate jedoch wieder zerschlagen, was sich auch negativ auf die Stabilität des Schaumes auswirkt, d.h. die Gasblasen neigen zur Koaleszenz. Um die gewünschten Effekte zu erzielen, spielt aber auch die Zeit eine Rolle. So muss der Mousse-Mix z.B. ausreichend Reifungszeit haben, da dabei die Proteindesorption von den Fettkugeloberflächen stattfindet. Ist diese Zeit zu kurz und es findet keine ausreichende Desorption statt, gibt es zu wenig freies Fett, welches für die Kristallisation beim Aufschlag benötigt wird. Auch beim Aufschlagprozess ist die Beschaffenheit der Mousse ein Zusammenspiel aus Zeit und Kraft. So können durch eine längere Aufschlagzeit geringere Scherkräfte kompensiert werden. Andersrum verhält es sich genauso, das bedeutet, dass mit steigenden Scherkräften (Drehzahlen der Mischer) die Aufschlagzeit verkürzt wird.

Wird dieses Verhältnis nicht optimal gewählt, kann es leicht passieren, dass der Mix entweder zu wenig aufgeschlagen wird, also sich kein Fettgerüst und stabiler Eiweißschaum bildet. Sind die Drehzahlen der Mischer ausreichend hoch gewählt und die Zeit nicht dementsprechend verkürzt, kann es zu einer Zerstörung der gebildeten Gerüste kommen und der Schaum verliert seine Stabilität. Um die Qualität der hergestellten Mousse au Chocolat optimal und über eine bestimmte Lagerdauer zu erhalten, sind dann im weiteren Lagertemperaturen von ca. 5°C erforderlich (Baumann, 2006). Dies soll zum einen die Schaumstabilität gewährleisten, bzw. die Schaumstruktur erhalten. Aufgrund der höheren Viskosität bei diesen Temperaturen wird der Drainage vorgebeugt und auch die mikrobiologische Stabilität kann über einen bestimmten Zeitraum sichergestellt werden.

2.4. Technische Umsetzung

Es gibt verschiedene Maschinen, welche für die Herstellung einer hitzebehandelten, lagerstabilen Mousse au Chocolat genutzt werden können. Dafür können diese in kontinuierliche und diskontinuierliche unterschieden werden. Der Vorteil liegt dabei aber bei der kontinuierlichen Produktion, da dadurch sowohl Zeit, Arbeit und somit Geld eingespart werden kann.

2.4.1. Mondomix

Aufgrund des kontinuierlichen Produktionsablaufes den der Mondomix ermöglicht, wird dieser derzeit am häufigsten in der Industrie verwendet. Zu den Anwendungsbereichen gehören unter anderem die Produktion von Schlagsahne, Joghurt- und Quarkdesserts, sowie die Produktion von Mousse au Chocolat.

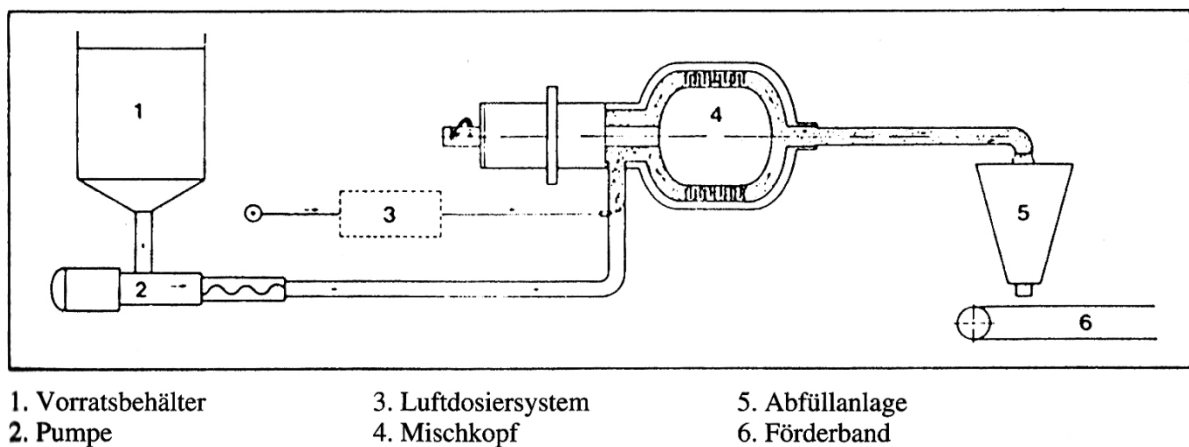


Abbildung 3: Aufbau Mondomix (Klupsch, 1992)

Abbildung 3 zeigt das Funktionsprinzip eines Mondomixers. Der Aufbau der Anlage ermöglicht eine kontinuierliche Produktion. Der fertige Mousse-Mix wird zunächst in einem Vorratsbehälter (Nr. 1) gesammelt und dort durch eine Pumpe (Nr. 2) weiter geleitet. Im Gegensatz zu anderen Verfahren wird das Gas hierbei schon vor dem eigentlichen Aufschlagprozess in den Mousse-Mix geleitet (Nr. 3). Im Mischkopf findet der Aufschlagprozess statt. Der Misch-Kopf besteht aus einem Rotor und einem Stator. Diese sind mit quadratischen Stiften besetzt, welche bei der Rotordrehung ineinander greifen. Aufgrund der hohen Drehzahlen findet eine hohe Anzahl an Schervorgängen statt. Dadurch wird eine optimale Verteilung des Gases im Mix sicher -gestellt (Klupsch, 1992). Nach Hänel(2008) sollte der Produktdruck dabei 7,6 bar betragen und der Gegendruck am Mischkopf 3,8 bar. Für den Gasdruck des LDS konnten in der Literatur keine genauen Angaben gefunden werden. Nach dem Aufschlag wird die Mousse au Chocolat bei einer Lagertemperatur von 5-8°C in einen aseptischen Zwischenbehälter gelagert (Nr. 5), aus dem es anschließend in die sterilen Verpackungen gepumpt und sicher verschlossen wird.

2.4.2. Schabe-Wärme-Überträger

Der Schabe-Wärme-Überträger (SWÜ) kann je nach Anlagenaufbau sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich betrieben werden. Dies ist jedoch zum einen vom Produkt abhängig und zum anderen von den eingestellten Parametern. Vor allem wird der SWÜ zum Erhitzen und Kühlen von klebrigen und hochviskosen Produkten genutzt.



Abbildung 4: Aufbau Schabe-Wärme-Überträger

Auch hierbei wird der Mousse-Mix zunächst aus einem Vorratsbehälter mit Hilfe einer Excenterschneckenpumpe weiter geleitet. Je nach Beschaffenheit der Mousse au Chocolat (Overrun und Stabilität) kann diese nach einem Durchlauf abgefüllt oder zurückgeführt werden, um den Kreislauf nochmals zu durchlaufen. Im SWÜ wird das Gas vor dem Aufschlagprozess über ein Ventil in den Mousse-Mix geleitet. Der Volumenstrom des LDS kann in diesem Fall bis auf max. 10 NI/min eingestellt werden. Bei dem Aufschlag spielt die Drehzahl der Schaber im SWÜ eine wichtige Rolle. Wie im Mondomix wird dadurch eine Vielzahl an Schervorgängen durchgeführt. Die Schaber durchmischen das Produkt und verteilen dadurch das Gas im Mix. Sie sorgen dafür, dass das Produkt durchgehend von der Zylinderwand abgetragen wird, an der die Wärmeübertragung stattfindet, und fördern den Mix durch die Anlage. Des Weiteren kann die Qualität der Mousse au Chocolat durch die Pumpenleistung (Durchsatz) und den anliegenden Druck (bis zu 5 bar) beeinflusst werden. Je geringer der Durchsatz ist, desto länger wirken die Scherkräfte auf die Mousse au Chocolat. Die Kühlung erfolgt über den Hohlmantel des SWÜ durch einen separaten Kreislauf.

2.4.3. Satz-Druck-Maschine

Die Satz-Druck-Maschine eignet sich zur Herstellung verschiedenster Produkte. Neben Mousse au Choclate können damit unter anderem z.B. Marshmallows oder Schokolade produziert werden.



Abbildung 5: Aufbau Satz-Druck-Maschine



Abbildung 6: Wirbelkammer (Quelle: <http://www.lippmischtechnik.de/de/wirkprinzipien/wirbelkammer/>)

Im Gegensatz zum SWÜ und dem Mondomix ist die Produktion mit dieser Maschine nur im diskontinuierlichen Verfahren möglich. Das Produkt wird hierbei durch den oberen Eingang direkt in die Mischkammer gegeben. Dort befinden sich 2 Rührelemente und eine separate Wirbelkammer. Die Rührelemente sind vor allem für den Mischprozess wichtig, damit der Mix optimal durchmischt und das Gas verteilt wird. Die Wirbelkammer (siehe Abb.6) dient vor allem dem Aufschlag des Produktes. Die Rotordrehungen erzeugen auf kleinstem Raum starke Scherkräfte. Das Produkt wird dabei axial in der Kammermitte angesaugt. Nachdem der Rotor-Stator-Bereich passiert wurde, wird das Produkt zurück in die Mischkammer geschleudert. Das Mischelement der Mischkammer fördert ständig neues Produkt in die Wirbelkammer. Durch die hohen Scherkräfte werden die destabilisierten Fettpartikel zerschlagen, sodass amorph erstarrtes Fett austritt und sich zu Agglomeraten zusammen findet. Auch die Zugabe des Gases erfolgt über ein Ventil in der Wirbelkammer.

Dadurch wird das Gas optimal in den Mix eingebracht. Da für den Aufschlag ein Überdruck erzeugt wird, muss die Mischkammer zunächst luftdicht verschlossen werden. Dabei ist es wichtig, dass an der Gleitringdichtung des Antriebs (Rührelement in der Mischkammer) ein höherer Druck vorliegt. Ist dies nicht der Fall, kann es passieren, dass das Produkt durch die Dichtung gepresst wird. Um dies zu vermeiden sollte der Druck der Gleitringdichtung um ca. 2 bar höher sein. Die Kühlung des Produktes bei der Herstellung verläuft über den Hohlmantel der Mischkammer mittels eines angeschlossenen Kühlaggregats. Der Auslass befindet sich an der Unterseite der Mischkammer. Nachdem der Herstellungsprozess beendet ist, kann durch ein weiteres Ventil an der Hinterseite zunächst der Überdruck abgelassen werden. Die Steuerung der Rührelemente erfolgt über eine angeschlossene Konsole. Dort können sowohl die Drehzahlen der Mischkammerelemente und der Wirbelkammer in % eingestellt werden. Des Weiteren können verschiedene Daten wie z.B. Energieverbrauch abgelesen werden.

3. Material und Methoden

3.1. Rohstoffe und Rezeptur

In den Tabellen 2 und 3 sind zunächst die Materialien und Rohstoffe aufgeführt, welche in dieser Masterthesis verwendet wurden.

Tabelle 2: Rohstoffe

Rohstoff	Beschreibung
Vollmilch	Firma: Sachsenmilch, Wachau (Deutschland), Marke: Milchwolke, Fettgehalt 3.5%, UHT, homogenisiert, Packung: 1kg,
Sahne	Firma: Frischli Milchwerke GmbH, Rehburg-Loccum (Deutschland), Fettgehalt 30%, UHT, Packung: 1kg
Vollmilchpulver	Firma: Prolactal, Hartberg (Österreich), Fettgehalt 26%, Packung 25kg
Magermilchpulver	Firma Prolactal, Hartberg (Österreich), Fettgehalt 1%, Packung 25kg
Kakaopulver	Firma: W. Reuss GmbH und Co KG, Berlin (Deutschland), schwach entölt, Fettgehalt 20/22%, Packung 1kg
Zucker	Firma: Nordzucker Braunschweig (Deutschland)
Gelatine (Bloom 280)	Firma: Gelita AG Eberbach (Deutschland)
Emulgator (Mono- Diglyceride)	Firma: Tate & Lyle, Lübeck (Deutschland)
Carrageen	Firma: C.E. Roeper GmbH, Hamburg (Deutschland)

Tabelle 3: Materialien (Hauptversuche)

Materialien	Beschreibung
Satz-Druck-Maschine	Firma: Lipp Mischtechnik GmbH, Mannheim (Deutschland) Typ IMR-E30
Massendurchflussmesser	Firma: Kobold Messring GmbH, Hofheim (Deutschland) Typ DMW
Thermostat	Firma: Huber Kältemaschinenbau GmbH, Offenburg (Deutschland)
Waage	Firma: OHAUS Europe GmbH, Nänikon (Schweiz) (max. 60kg)
	Firma: Sartorius AG, Göttingen (Deutschland) (max. 3,1kg)

Die Anfangsrezeptur wurde zu Beginn aus einer 2. Studienarbeit übernommen (Hänel, 2008). Da im weiteren Verlauf das Magermilchpulver durch Vollmilchpulver ersetzt wurde, wurden für die Vorversuche verschiedene Rezepturen erstellt. Dafür änderte sich zum einen die zugesetzte Wassermenge, welches zum auflösen der Gelatine nötig war. Zum anderen wurde der Fettgehalt in 2 Stufen unterteilt.

Tabelle 4: Grundrezeptur Mousse au Chocolat (Magermilchpulver)

Rezeptur	Menge in [%]	Fettgehalt in [%]
Vollmilch+Sahne - Mix	74.80	19.00
Vollmilch	12.98	3.50
Sahne	61.82	30.00
Magermilchpulver	4.00	1.00
Zucker	13.00	0.00
Kakaopulver (schwach entölt)	5.00	20.50
Gelatine (Bloom 260)	0.80	0.00
Mono-/Diglyceride	0.70	70.00
Carrageen	0.10	0.00
Gesamt	100.00	20.55

Laut den Leitsätzen für Pudding, süße Desserts und verwandte Erzeugnisse (02.12.1998) müssen in einer Mousse au Chocolat bei ausschließlicher Verwendung von Kakaopulver mindestens 20g bezogen auf 500g Mousse enthalten sein. Diese Anforderung ist mit den Rezepturen erfüllt.

Tabelle 5: Grundrezeptur Mousse au Chocolat (Vollmilchpulver)

Rezeptur	Menge in [%]	Fettgehalt in [%]
Vollmilch+Sahne - Mix	75.07	17.65
Vollmilch	18.37	3.50
Sahne	56.70	30.00
Vollmilchpulver	5.33	26.00
Zucker	13.00	0.00
Kakaopulver (schwach entölt)	5.00	20.50
Gelatine (Bloom 260)	0.80	0.00
Mono-/Diglyceride	0.70	70.00
Carrageen	0.10	0.00
Gesamt	100.00	20.55

Mit Hilfe dieser beiden Grundrezepturen wurden im Anschluss die Vorversuche geplant und durchgeführt.

3.2 .Anwendungssoftware

3.2.1. ECHIP (Version 7.0) zur Versuchsplanung und Auswertung

Das Programm ECHIP ist eine computergestützte Planungs- und Auswertungssoftware, welche die Möglichkeit bietet, sehr komplexe Modelle zu erstellen. Auf diese Weise lassen sich vielschichtige Experimente und Verfahren mit einer erheblichen Zeit- und Kostenersparnis analysieren. Eine genaue Beschreibung des Programms ist im zugehörigen Bedienungshandbuch aufgeführt (Wheeler; Betsch, 2003). Zum Erstellen eines Versuchsplans müssen zunächst die Variablen im Hauptmenü und „Design Variables“ festgelegt werden.

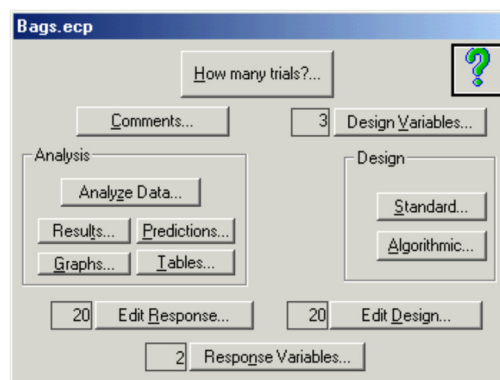


Abbildung 7: Startmenü ECHIP

Da die Variablen theoretisch jeden Wert annehmen können, muss bei jedem Parameter eine Unter- und Obergrenze eingestellt werden. Dabei sollte beachtet werden, dass die gewählten Grenzen technologisch und experimentell sinnvoll sind. Im Anschluss wird das Versuchsdesign ausgewählt. Die Zeit- und Kostenersparnis beruht vor allem darauf, dass ECHIP einen teilfaktoriellen Versuchsplan aufstellt. Dabei werden statistisch weniger relevante Versuche im Voraus ausgeschlossen. Zur Erhöhung der statistischen Sicherheit bietet ECHIP die Möglichkeit Wiederholungen durchführen zu lassen. Durch die Wiederholung aller oder einzelner Versuche kann ein Einblick in die Streuung der Beobachtungen gewährt werden, um Versuchsfehler abzuschätzen und die Wiederholbarkeit zu gewährleisten (Plättner, 2005). Unter „Design“ kann nun zwischen „Standard“ und „Aglorythmic“ gewählt. Des Weiteren können sowohl lineare als auch quadratische Versuchspläne erstellt werden. Im Vorfeld kann nicht davon ausgegangen werden, dass zwischen den einzelnen Parametern und den Zielgrößen lineare Zusammenhänge bestehen, sondern ein Maximum existiert. Ist dies der Fall, stößt das lineare Design an seine Grenzen, daher ist das quadratische Versuchsdesign besser geeignet. In einem weiteren Schritt werden unter „Response Variables“ die zu ermittelnden Variablen eingetragen. Beim Eintragen der Ergebnisse unter „Edit Response“ muss genau darauf geachtet werden, dass die jeweiligen Ergebnisse den richtigen Versuchen zugeordnet werden. Weiterhin sollten alle Einzelwerte und keine Mittelwerte eingetragen werden, da sonst mitunter andere Ergebnisse bei der Auswertung zustande kommen können. Dadurch wird gewährleistet, dass die Unterschiedlichkeit der Versuche sowie die der gemessenen Ergebnisse berücksichtigt werden. Unter „Analyze Data“ werden die Response-Werte ausgewertet. Bei der Analyse der Daten ermittelt ECHIP selbst die Mittelwerte, Standardabweichungen und Varianzen. Für die Bewertung der Signifikanz einer Variablen bzw. deren Effekt auf eine Zielgröße wird der p-Wert genutzt. Er wird bestimmt, wenn der Effekt einer Variablen auf mehr als 2 Stufen signifikant ist. Variablen ohne einen signifikanten Einfluss können für die Analyse eliminiert werden, wodurch die Signifikanz anderer Terme und ihre Wirkung deutlicher sichtbar wird. Die mathematische Komponente der statistischen Versuchsplanung besteht im Wesentlichen aus einer Varianzanalyse (ANOVA). Dabei wird die Streuung (Varianz) der Stichprobenmittelwerte mit der Streuung der Stichprobeneinzelwerte verglichen. Das Ergebnis ist die Information, ob sich die Stichprobenmittelwerte untereinander signifikant unterscheiden. Ist die Varianz der Stichprobeneinzelwerte einer Stichprobe zu hoch, zeigt ECHIP den Fehler „Lack of Fit“ an.

Das bedeutet, dass die Streuung (Varianz) der Stichprobeneinzelwerte einer Stichprobe für das Programm zu hoch ist und die errechneten Ergebnisse in der Praxis mitunter andere Werte annehmen können. Es können aber trotzdem Aussagen über die Entwicklung der Zielgröße getroffen werden. Des Weiteren gibt ECHIP die Möglichkeit die Ergebnisse in 2D- und 3D-Plots anzuzeigen. Für die Planung der Vorversuche wurde ECHIP nicht verwendet. Hierbei wurden nur 2 Variablen mit einem Minimal- und einem Maximalwert variiert. Diese wurden aus einer 2. Studienarbeit übernommen (Hänel, 2008), wodurch sich je 8 Versuche ergaben. Der Versuchsplan wurde unter „Edit Design“ eingetragen und die Ergebnisse unter „Edit Response“. Die Auswertung erfolgte dann mit Hilfe von ECHIP.

Für die Planung der Hauptversuche die Variablen festgelegt und ein quadratisches Versuchsdesign mit einem Wendepunkt gewählt. Die Anzahl der Wiederholungen wurde auf 5 festgelegt. Auch die Auswertung erfolgte mit ECHIP. Dazu wurden alle gemessenen Werte unter „Edit Response“ bei dem jeweiligen Versuch eingetragen und anschließend analysiert.

3.2.2. FIZZ (Version 2.47) zur sensorischen Analyse

Das Programm FIZZ ist eine computergestützte Software zur sensorischen Analyse und für Verbrauchertests. Mit dessen Hilfe lassen sich vor allem umfangreichere sensorische Prüfungen durchführen. Zunächst wird im Programm in mehreren Schritten eine „Session“ gebaut. Dafür werden verschiedene „Pages“ erstellt in denen z.B. die Anzahl der Sitzungen (Wiederholungen) bestimmt oder das Design der Seiten festgelegt wird. Dies beinhaltet unter anderem das Aussehen der Startseite mit Begrüßungstext und eventuellen Anweisungen, wie die Prüfung durchzuführen ist. Dazu zählt z.B. die Einhaltung der vorgegebenen Probenreihenfolge. Da während der gesamten Prüfungsdauer mit den gleichen Proben gearbeitet wird, muss die Anzahl der Produkte und der jeweilige Name festgelegt werden. Nachdem die Produktanzahl feststeht, kann FIZZ eine Tabelle mit Zufallscodes anlegen. Diese beinhaltet für jede einzelne Probe eine 3-stellige Zufallsziffer, die sich bei jeder Sitzung ändert. Diese Zufallsziffern dienen den Prüfern bei der jeweiligen Sitzung zur Identifikation der vom Programm vorgegebenen Probe. Dann werden die Anzahl und der Name der Attribute eingetragen, die bewertet werden sollen.

Als weitere Hilfestellung für die Prüfer werden die Ankerpunkte(0- und 100- Punkt) genau definiert, die bei Bedarf eingesehen werden können. Dazu kann festgelegt werden, welche und wie viele Attribute auf einer Seite zu sehen sind. Auch die Anzahl der Prüfer wird im Voraus eingestellt, diese können mit Namen oder einem Code eingetragen werden.

Im Verlauf der Sitzungen sind die Prüfer an den jeweiligen Namen bzw. Code gebunden und verwenden immer den gleichen bei der Anmeldung zur Prüfung. Das ist vor allem dann wichtig, wenn die Entwicklung eines einzelnen Prüfers über die Anzahl der Sitzungen beobachtet werden soll. Dadurch lassen sich z.B. Ausreißer feststellen. Eine weitere wichtige Funktion ist die Randomisierung der Probenreihenfolge durch das Programm. Das bedeutet, dass die Proben bei jedem Prüfer in unterschiedlicher Folge vorgegeben sind, um so eine gegenseitige Beeinflussung der Proben bei immer gleicher Reihenfolge zu vermeiden. Dies ermöglicht eine statistisch sicherere Auswertung. Die Bewertung der Attribute erfolgt über eine Skale (von 0-100), auf der die Intensität durch anklicken festgehalten wird. Das Aussehen der Skalen kann ebenfalls festgelegt werden. Dafür können verschiedene Punkte für die Skaleneinteilung, bei z.B. 33%, 50% oder 66%, sichtbar gemacht werden. Da viele Prüfer sich bei der Bewertung von Mustern jedoch an solchen Punkten orientieren, wird darauf meistens verzichtet und es gibt nur den 0-Punkt und den 100-Punkt. Nachdem diese Grundeinstellungen vorgenommen sind, kann die „Session“ gestartet werden. Die Prüfer bewerten die codierten Proben in der vom Programm vorgegebenen Reihenfolge auf den Intensitätsskalen. Die Bewertungen werden von FIZZ für jede Sitzung von jedem Prüfer gespeichert, um diese anschließend auszuwerten. Dazu bietet die Software einige Möglichkeiten. Zum einen werden alle Rohdaten mittels deskriptiver Statistik ausgewertet. Dabei werden von jedem Prüfer bei jeder Sitzung die Bewertungen für jedes Attribut analysiert. Dadurch lässt sich z.B. sehen, wie ein Prüfer ein bestimmtes Attribut einer Probe bei jeder Sitzung bewertet hat und ob dabei Schwankungen vorliegen. Diese Auswertung zeigt auf, wie die Attribute der jeweiligen Probe im Gesamten bewertet wurden. Mit Hilfe der ANOVA und dem Tukey-Test können gute Aussagen darüber getroffen werden, inwieweit sich die verschiedenen Proben ähneln oder ob es zwischen ihnen signifikante Unterschiede bei den Bewertungen gibt. Dadurch ist eine Einteilung der Proben in Gruppen möglich. Dieser Vergleich lässt sich für jedes Attribut aufstellen. Dies gestattet z.B. die Aussage, ob die Veränderung eines Faktors (z.B. Drehzahl der Mischelemente) einen Einfluss auf die Bewertung der Attribute hat. Durch die PCA (Hauptkomponentenanalyse) lassen sich Aussagen treffen, ob die verschiedenen Attribute miteinander korrelieren oder unabhängig voneinander sind. In dieser Masterthesis wurden mit Hilfe von FIZZ 18 Produkte bewertet.

Aufgrund der hohen Anzahl wurde die Profilprüfung in 2 „Sessions“ aufgeteilt. Dabei wurden je 7 Hauptversuche und 2 identische Referenzproben (Handelsprodukt) bewertet. Jede „Session“ bestand aus 3 Sitzungen, bei denen für jede Probe 10 Attribute benotet wurden. Die Prüferzahl lag bei beiden „Sessions“ bei 10 Personen (identische Prüfer).

Für jede Probe wurden entsprechend der Sitzungsanzahl 3-stellige Zufallscodes generiert. Damit wurden die Probengefäße beschriftet und den Prüfern gereicht. Die Probenreihenfolge während der Prüfung wurde vom Programm für jeden Prüfer vorgeschrieben und war randomisiert. Die 10 Attribute für jedes Muster wurden auf 2 Seiten aufgeteilt und entsprechend der angegebenen Reihenfolge bewertet. Beim Aufbau der Intensitätsskalen wurde auf eine weitere Einteilung, bei z.B. 50%, verzichtet. Nur die Ankerpunkte (0- und 100-Punkt) waren gegeben. Die jeweilige Definition der Ankerpunkte wurde im Vorfeld von den Prüfern festgelegt und konnten jederzeit eingesehen werden.

3.3. Analytische Methoden

3.3.1. Messung der Volumenzunahme (Overrun)

Der Overrun ist ein wichtiges Qualitätskriterium von Lebensmittelschäumen. Er ist ein Maß für die Gasaufnahme im Mousse-Mix während des Aufschlagprozesses. Die Berechnung des Overruns erfolgt mit Hilfe der Dichte der Mousse au Chocolat. Nach Tscheuschner (2004) ist die Dichte eines Stoffes als Verhältnis der Masse m zum Volumen V definiert. Die Dichtebestimmung von halbfesten Substanzen (stabile Schäume, Cremes) erfolgt mit Hilfe eines Zylinders, dessen Volumen definiert ist. Dafür wird der Schaum in den Zylinder gefüllt und anschließend die Masse bestimmt. Dabei muss vor allem darauf geachtet werden, dass die Struktur des Schaums beim Einfüllen erhalten bleibt, um Messfehler zu vermeiden. Mit den bekannten Daten kann mit folgender Gleichung die Dichte der Mousse au Chocolat berechnet werden.

Gleichung 1: Berechnung Rohdichte

$$\rho_{\text{Roh}}[\text{g/ml}] = \frac{m_{\text{S,Z}}[\text{g}] - m_{\text{Z,l}}[\text{g}]}{V_{\text{Z,i}}[\text{ml}]}$$

$\rho_{\text{Roh}}[\text{g/ml}]$ Rohdichte; $m_{\text{S,Z}}[\text{g}]$ Masse der Substanz im Zylinder; $m_{\text{Z,l}}[\text{g}]$ Masse des leeren Zylinders; $V_{\text{Z,i}}[\text{ml}]$ Innenvolumen des leeren Zylinders

Der Overrun ist die Fachbezeichnung für die Volumenzunahme eines Schaums und wird in % angegeben. Mit Hilfe der Dichte des flüssigen Schaums und der des aufgeschlagenen Schaums lässt sich nun der Overrun berechnen.

Gleichung 2: Berechnung Overrun

$$\text{Overrun}[\%] = \frac{\rho_{\text{Flüssigkeit}}[\frac{\text{g}}{\text{ml}}] - \rho_{\text{Schaum}}[\frac{\text{g}}{\text{ml}}]}{\rho_{\text{Schaum}}[\frac{\text{g}}{\text{ml}}]} \times 100$$

Overrun [%] Volumenzunahme des Schaums; $\rho_{\text{Flüssigkeit}}[\text{g/ml}]$ Dichte des flüssigen Schaums, $\rho_{\text{Schaum}}[\text{g/ml}]$ Dichte des aufgeschlagenen Schaums

Diese Gleichung verdeutlicht, dass mit sinkender Dichte des Schaums die Volumenzunahme ansteigt (Tscheuschner, 2004). Üblicherweise wird ein Overrun von ca. 100% angestrebt (Baumann, 2006). Dieser wird jedoch von einigen Faktoren beeinflusst. Zum einen spielt das Aufschlagsystem (Mischer) eine wichtige Rolle. Aber auch die Aufschlagtemperatur, die Viskosität und die Fähigkeit der Zutaten, die Gasblasen im Schaum zu stabilisieren. Zur Bestimmung des Overruns wurden Kunststoffgefäße ($V=65\text{ml}$) mit Mousse befüllt und anschließend gewogen.

3.3.2. Messung der Festigkeit

Die Bestimmung der Schaumfestigkeit ist eine Texturprofilanalyse (TPA) und gehört zu den rheologischen Untersuchungen (Tscheuschner, 2004). Die TPA der Mousse au Chocolat erfolgte in dieser Arbeit mit Hilfe eines „Texture Analyser“ (TA), Typ: TA-XT2i, der Firma „Stable Micro Systems“ (GU7 1YL Godalming, England).

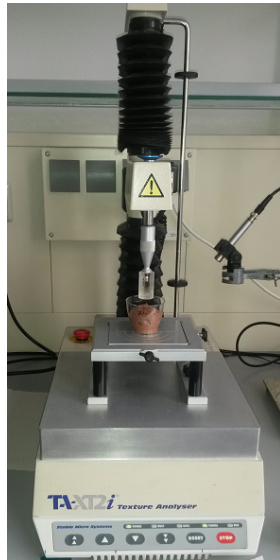


Abbildung 8: Festigkeitsmessung Texture Analyser

Wie in Abbildung 8 zu erkennen ist, wurde die Mousse au Chocolat für die Messung der Festigkeit in kleine Gefäße gefüllt. Der TA wird mit Hilfe einer Software über einen PC gesteuert. An der Messzelle ist ein definierter Prüfkörper befestigt, der mit einer definierten Geschwindigkeit in die Probe eindringt. Der Prüfkörper sollte so gewählt werden, dass er mit der sensorischen Beanspruchung möglichst identisch ist bzw. diese bestmöglich imitiert. Um eine Messung starten zu können müssen zunächst einige Messparameter (aus Studienarbeit Hänel, 2008) in der Software programmiert werden (siehe Tab. 6).

Tabelle 6: Messparameter Texture Analyser

Parameter	Einstellung
Vorgeschwindigkeit in [mm/s]	3.0
Testgeschwindigkeit in [mm/s]	2.0
Rückgeschwindigkeit in [mm/s]	10.0
Eindringtiefe in [mm]	15.0
Auslösekraft in [N]	0,019
Prüfkörper	20mm Stempel, Plexiglas

Die Vorgeschwindigkeit beschreibt die Geschwindigkeit, mit der die Messzelle bis zu der Probe vordringt. Trifft der Prüfkörper dann auf die Probe und die Auslösekraft wird erreicht, beginnt die eigentliche Messung. Dabei schaltet der TA auf die eingestellte Testgeschwindigkeit um und misst nun die maximale Kraft die nötig ist, um in die Probe einzudringen. Dies geschieht bis zu der eingestellten Eindringtiefe.

Die Eindringtiefe sollte so gewählt werden, dass davon ausgegangen werden kann, dass die maximal nötige Kraft bis zu diesem Punkt gemessen werden konnte.

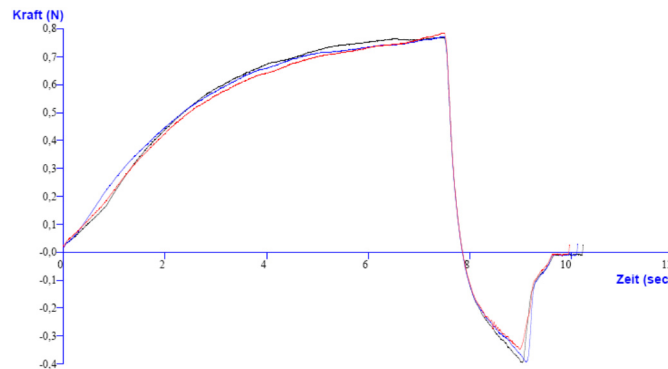


Abbildung 9: Festigkeitsmessung Mousse au Chocolat

Abbildung 9 zeigt beispielhaft den Messverlauf der Texturmessung von Mousse au Chocolat. Der Kurvenverlauf zeigt einen stetigen Anstieg der nötigen Kraft, um in die Probe einzudringen. Ist die eingestellte Eindringtiefe erreicht, wird die Messung gestoppt und die Messzelle fährt mit der Rückgeschwindigkeit aus der Probe in ihre Ausgangsstellung zurück. Wie in Abb. 9 zu sehen ist, wird dabei auch ein negativer Kraftwert aufgezeichnet (ab $t = \text{ca. } 8 \text{ sec}$). Dieser Wert steht dabei für die Klebrigkeit der Mousse au Chocolat, also die nötige Kraft, um den Stempel aus der Probe zu ziehen. Nach anschließender Reinigung des Prüfkörpers kann eine neue Probe getestet werden. Die hier gemessene Schaumfestigkeit ist definiert als die maximale Kraft, die nötig ist, um mit der vorgegebenen Geschwindigkeit die definierte Eindringtiefe zu erreichen. Die Maßeinheit (max. Kraft) der Schaumfestigkeit wird in Newton [N] angegeben.

3.4. Vorversuche

Die Grundrezeptur der Mousse au Chocolat wurde aus einer Studienarbeit (Hänel, 2008) übernommen. Da im Lager der Hochschule eine große Menge Vollmilchpulver vorhanden war, wurde versucht, dass Magermilchpulver durch Vollmilchpulver zu ersetzen. Ein anderer Aspekt war die Gelatine (Granulat). Diese wurde im Vorfeld in Wasser gelöst und es wurde getestet, ob ein Verhältnis von 2:1 (Wasser:Gelatine) ausreichend ist. Dies erfolgte im kleinen Maßstab im ernährungswissenschaftlichen Labor (EW-Labor). Die Rezeptur mit den optimalsten Ergebnissen wurde für die Vorversuche im Technikumsmaßstab übernommen.

3.4.1. Versuchsrezepturen

Die Rezeptur mit dem Magermilchpulver war bereits bekannt und konnte übernommen werden. Aufgrund der Ergebnisse und den Empfehlungen der 2. Studienarbeit (Hänel, 2008) wurden zunächst 2 Rezepturen aufgestellt. Diese unterschieden sich im Fettgehalt des Milch/Sahne-Mixes. Dafür wurde einer auf 19% eingestellt und der andere auf 16%. Da die Gelatine als Granulat vorlag, musste diese zuvor in Wasser gelöst werden, um eine Klumpen- bzw. Kugelbildung zu vermeiden. Das dafür genutzte Wasser wurde vom Mengenanteil des Milch/Sahne-Mixes abgezogen. Daher wurde versucht, so wenig Wasser wie nötig zu verwenden. Bei einem Verhältnis von 1:1 wurde gleich ersichtlich, dass es nicht ausreichend ist und auch nach 2h bei 50°C Ruhezeit löste sich die Gelatine nicht. Aus diesem Grund musste das Verhältnis erhöht werden. Da nicht genau bekannt war, ob bei 2:1 (Wasser:Gelatine) die Gelatine optimal quillt, wurden des Weiteren Versuche mit einem Verhältnis von 3:1 durchgeführt. Aufgrund dessen ergaben sich 4 Rezepturen mit Magermilchpulver. In folgender Tabelle ist ein Beispiel zu sehen, die anderen Rezepturen befinden sich im Anhang (siehe Tab.53, 54, 55, S.118, 119).

Tabelle 7: Rezeptur Magermilchpulver (Fettgehalt erhöht, Wasserzusatz erhöht)

Rezeptur	Menge in [%]	Fettgehalt in [%]
Vollmilch+Sahne - Mix	74.00	19.00
Vollmilch	12.08	3.50
Sahne	61.92	30.00
Magermilchpulver	4.00	1.00
Zucker	13.00	0.00
Kakaopulver	5.00	20.50
Wasser (für Gelatine)	2.40	0.00
Gelatine (Bloom 260)	0.80	0.00
Mono-/Diglyceride	0.70	70.00
Carageen	0.10	0.00
Gesamt	100.00	20.55

Durch Erhöhung des Sahneanteils im Mix konnte trotz des Wasserzusatzes ein Fettgehalt von 19% eingehalten werden und der Gesamtfettgehalt war ebenfalls identisch. Da das Vollmilchpulver eine andere Zusammensetzung in Bezug auf die „nicht Fett in Trockenmasse“ hat als das Magermilchpulver, konnte der Mengenanteil von 4% nicht direkt übernommen werden. Dieser musste dafür umgerechnet werden und der Mengenanteil des Vollmilchpulvers wurde angepasst. Auch dabei ergaben sich 4 Rezepturen.

Die folgende Tabelle zeigt ein Beispiel dafür, die weiteren Rezepturen befinden sich im Anhang (siehe Tab.56, 57, 58, S. 119, 120).

Tabelle 8: Rezeptur Vollmilchpulver (Fettgehalt erhöht, Wasserzusatz erhöht)

Rezeptur	Menge in [%]	Fettgehalt in [%]
Vollmilch+Sahne - Mix	72.67	17.65
Vollmilch	15.66	3.50
Sahne	57.01	30.00
Vollmilchpulver	5.33	26.00
Zucker	13.00	0.00
Kakaopulver	5.00	20.50
Wasser (für Gelatine)	2.40	0.00
Gelatine (bloom 260)	0.80	0.00
Mono-/Diglyceride	0.70	70.00
Carageen	0.10	0.00
Gesamt	100.00	20.55

Wie zu sehen ist, liegt der Fettanteil des Milch/Sahne-Mixes in dieser Rezeptur nicht bei 19%. Da das Vollmilchpulver einen höheren Fettgehalt hat als das Magermilchpulver, musste das über den Fettgehalt des Milch/Sahne-Mixes ausgeglichen werden. Der Gesamtfettgehalt ist jedoch identisch mit dem der Rezeptur mit Magermilchpulver. Mit den 8 erstellten Rezepturen konnten die Versuche geplant werden.

3.4.2. Versuchsplanung

Die Planung der Vorversuche im Labormaßstab erfolgte ohne ECHIP. Um die Ergebnisse der 2. Studienarbeit (Hänel, 2008) zu überprüfen bzw. zu bestätigen, wurde nicht nur der übernommene Fettgehalt in 2 Stufen variiert. Der andere Parameter der verändert wurde, war die Aufschlagtemperatur. Diese wurde auch übernommen und in 2 Stufen eingeteilt. Die niedrige Aufschlagtemperatur lag bei 5°C und die hohe bei 10°C.

Der letzte Parameter war der Wasserzusatz zum Quellen der Gelatine. Das niedrige Verhältnis lag bei 2:1 (Wasser:Gelatine) und das erhöhte bei 3:1. Da aus der Literatur ein Zusammenhang zwischen Fettgehalt und Aufschlagtemperatur erwartet wird, wurde für die Vorversuche im Labormaßstab ein vollfaktorieller Versuchsplan erstellt. Die Berechnung zur Planung der Versuchsanzahl lautet „n^k“ (n= Anzahl der Niveaus; k= Anzahl der Parameter), in diesem Fall $2^3 = 8$ Versuche.

Tabelle 9: Versuchsplanung Vorversuche

Versuch	Fettgehalt (Milch/Sahne-Mix)	Wasserzusatz in [%]	Aufschlagtemp. in [°C]
1	erhöht	1.6	5
2	erhöht	1.6	10
3	gesenkt	1.6	5
4	gesenkt	1.6	10
5	erhöht	2.4	5
6	erhöht	2.4	10
7	gesenkt	2.4	5
8	gesenkt	2.4	10

Tabelle 9 zeigt den Versuchsplan der Vorversuche. Dieser gilt sowohl für die Rezepturen mit Magermilchpulver als auch für die mit Vollmilchpulver. Somit lag die gesamte Anzahl der Vorversuche bei 16. Der erhöhte Fettgehalt in den Magermilchpulverrezepturen lag bei 19% und der gesenkte bei 16% (bezogen auf Milch/Sahne-Mix). Der erhöhte Fettgehalt in den Vollmilchpulverrezepturen lag bei 17,65% und der gesenkte bei 14,66% (bezogen auf Milch/Sahne-Mix). Die Aufschlagzeit wurde aus der 2. Studienarbeit (Hänel, 2008) übernommen und lag bei allen Versuchen bei 6min. Dort wurde bereits bewiesen, dass die Aufschlagzeit einen höchst signifikanten Einfluss auf den Overrun hat, weswegen diese nicht weiter variiert wurde. Dadurch sollte gewährleistet werden, dass bei jedem Versuch die gleichen Scherkräfte auf das Produkt wirken. Der Versuchsplan (Tab. 9) wurde anschließend unter „Edit Design“ in ECHIP eingetragen, um die Vorversuche mit dem Programm auswerten zu können. Das wurde jeweils für die Rezepturen mit Magermilchpulver und für die mit Vollmilchpulver getan. Dadurch sollte die optimale Rezeptur ermittelt werden, um diese für die Vorversuche im Technikumsmaßstab und die Hauptversuche zu übernehmen. Grund dafür war der hohe Rohstoffbedarf im Technikum.

3.4.3. Herstellung im Labormaßstab

Die Herstellung der Mousse au Chocolat erfolgte im EW-Labor im kleinen Maßstab (500 g). Mit folgenden Ausnahmen sind die verwendeten Rohstoffe in Tab. 2 (Seite 24) zu sehen. Die Vollmilch („H-Vollmilch“, Packung: 1l) der Marke K-Classic hatte einen Fettgehalt von 3,5% und war bereits homogenisiert und ultrahocherhitzt.

Die Sahne („Süße Schlagsahne“, Packung: 200g), Marke K-Classic, hatte einen Fettgehalt von 30% und war ebenfalls ultrahocherhitzt. Das Kakaopulver („Cacao“, Packung: 250g), ebenfalls Marke K-Classic (Firma: Kaufland Warenhandel GmbH & Co. KG, Neckarsulm, Deutschland (gilt für alle 3 Produkte)), war schwach entölt und hatte einen durchschnittlichen Fettgehalt von 20,5%.

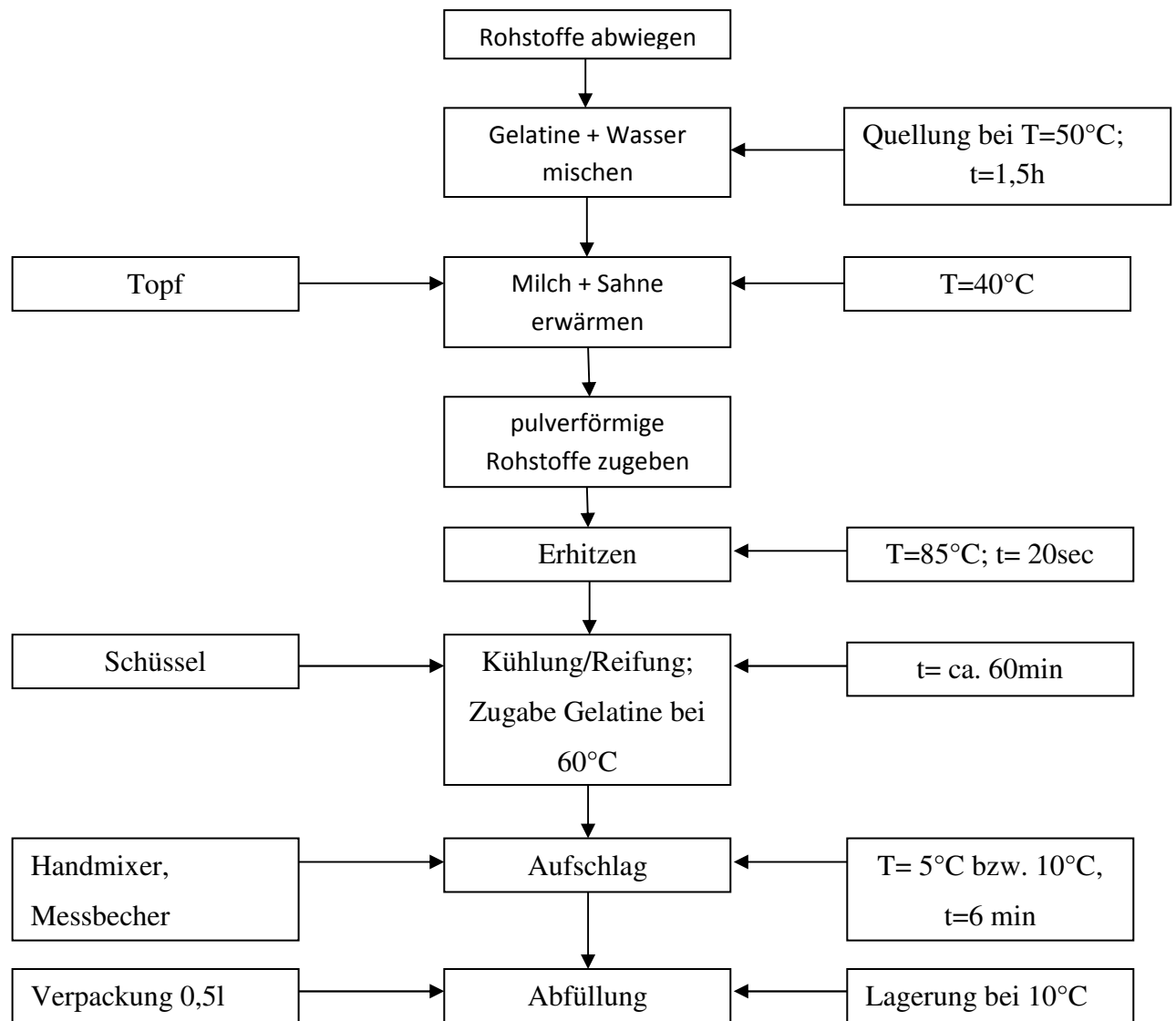


Abbildung 10: Fließschema Probenherstellung Labormaßstab

In der Abbildung 10 ist ein Fließschema der Versuchsdurchführung im Labormaßstab zu sehen. Das Wasser zum lösen der Gelatine hatte eine Temperatur von ca. 40°C. Die anschließende Quellung für mindestens 1,5 h erfolgte in einem Backofen, der auf 50°C temperiert wurde. Das Erwärmen des Milch-Sahne-Gemisches erfolgte auf einem E-Herd.

Die Zugabe der pulverförmigen Rohstoffe erfolgte bei $T = 40^{\circ}\text{C}$, um diese schnell im Gemisch aufzulösen. Nach der Pasteurisation bei 85°C für 20 sec wurde der Mousse-Mix in gereinigte Metallschüsseln umgefüllt und zum Abkühlen bzw. Reifen in einen Gefrierschrank gestellt. Nach ca. 8 min hatte der Mix eine Temperatur von 60°C und die Gelatine wurde untergemischt, anschließend wurde der Mix auf die Aufschlagtemperatur abgekühlt (ca. 60 min). Während der Kühlung bzw. Reifung im Gefrierschrank wurde in regelmäßigen Abständen die Temperatur gemessen und der Mix umgerührt, um ein Gefrieren am Schüsselrand zu vermeiden. Für den Aufschlagprozess wurde der Mousse-Mix in Messbecher umgefüllt ($V = 1\text{l}$) und mittels Handmixer (Typ: 3-Mix 7000, Firma: Krups GmbH, Offenbach, Deutschland) aufgeschlagen. Um die nötige Aufschlagtemperatur halten zu können, wurden vor dem Aufschlagprozess Schüsseln mit Eiswasser vorbereitet und die Messbecher darin abgestellt. Nach dem Aufschlagprozess wurde der Overrun in Kunststoffgefäßen ($V = 65\text{ ml}$), wie im Punkt 3.3.1 (s.S.31). beschrieben, ermittelt. Die Messung der Schaumfestigkeit mittels TA erfolgte nach einer Lagerdauer von 24 h.

3.4.4. Herstellung mittels Schabe-Wärme-Überträger

Die Vorversuche am SWÜ wurden zur Einarbeitung und Überprüfung der Ergebnisse der 2. Studienarbeit (Hänel, 2008) durchgeführt. Daher wurden annähernd die gleichen Parameter verwendet. Die genutzte Rezeptur für die Vorversuche im Technikumsmaßstab wurde im Vorfeld im Labormaßstab ermittelt. Dafür wurde die Rezeptur auf 15kg berechnet. Insgesamt wurden 2 Vorversuche an dem SWÜ durchgeführt.

Tabelle 10: Rezeptur Versuche Technikumsmaßstab

Rezeptur	Menge in [%]	Fettgehalt in [%]
Milch/Rahm	73.47	17.65
Vollmilch	16.57	3.50
Sahne	56.90	30.00
Vollmilchpulver	5.33	26.00
Zucker	13.00	0.00
Kakaopulver	5.00	20.50
Wasser (für Gelatine)	1.60	0.00
Gelatine (Bloom 260)	0.80	0.00
Mono-/Diglyceride	0.70	70.00
Carageen	0.10	0.00
Gesamt	100.00	20.55

Die hier verwendeten Rohstoffe waren identisch mit denen der Versuche im Labormaßstab (s.S.25, Tab.2). Auch hierbei wurde zu Beginn die Gelatine mit warmen Wasser gemischt und für mindestens 1,5h zum Vorquellen in einem Wärmerraum bei 50°C gelagert. Der Milch/Sahne-Mix wurde auf einer separaten Heizplatte auf 40°C erwärmt und dann die pulverförmigen Rohstoffe dazu gegeben. Anschließend wurde der Mix auf 85°C erhitzt und für 20sec auf dieser Temperatur gehalten. Zum schnellen Abkühlen wurde die Masse in einem Gefrierraum bei -18°C gelagert bis eine Temperatur von 60°C erreicht wurde. Dann wurde die gequollene Gelatine unter gemischt. Die Kühlung bis zu der Aufschlagtemperatur (10°C) erfolgte direkt im SWÜ durch ein angeschlossenes Thermostat.

Tabelle 11: Prozessparameter Vorversuche Schabe-Wärme-Überträger

Parameter	Einstellung		
	Versuch 1	Versuch 2	Bemerkung
Thermostat [°C]	10	10	-
Durchsatz [l/h]	138	60	-
Luftdosierung [NI/min]	3	5	nach t=35[min] Erhöhung auf 10 [NI/min]
Frequenz SWÜ [Hz]	50	50	nach t=13[min] Erhöhung auf 100 [Hz]; nach t=55[min] Erhöhung auf 130 [Hz]
Leistung Pumpe [%]	20	20	
Druck [bar]	0	2	-

Tabelle 11 zeigt die Einstellungen am SWÜ beim Aufschlagprozess. Als Aufschlagtemperatur wurde für beide Versuche 10°C gewählt. Die Luftinjektion erfolgte vor dem Eintritt in den SWÜ. Durch die Schaber sollte die Luft dann optimal verteilt werden. Wie zu erkennen ist, wurden während Versuch 2 einige Parameter aus produktionstechnischen Gründen geändert. Dies war nötig, da die Mousse au Chocolat nicht die erforderlichen Eigenschaften aufwies.

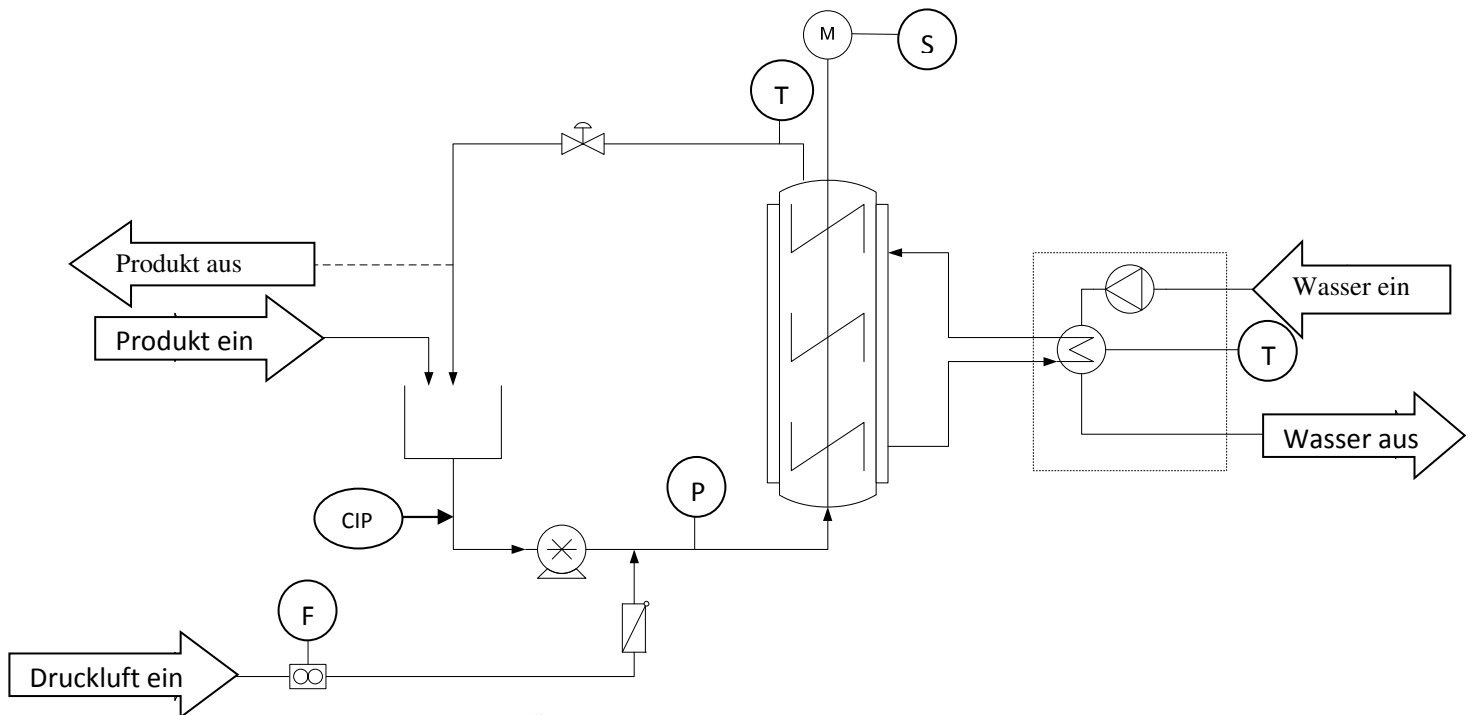


Abbildung 11: Verfahrensfließbild SWÜ mit vorgeschaltetem Luftdosiersystem (LDS) und separaten Kühlkreislauf

Abbildung 11 zeigt den Anlagenaufbau des SWÜ für die 2 Vorversuche. Zur Messung des Overruns wurden in regelmäßigen Abständen Proben gezogen. Nachdem der Prozess beendet war, wurde die Mousse au Chocolat bei ca. 8°C eingelagert. Um einen Einblick in die mikrobiologische Stabilität zu bekommen, wurde die Mousse auf ihre Gesamtkeimzahl (GKZ), auf Hefen und Schimmel sowie auf Enterobakterien untersucht.

3.4.5. Herstellung mittels Satz-Druck-Maschine

Um einen ersten Einblick in die Produktion mit Hilfe der Satz-Druck-Maschine (SDM) zu bekommen, wurden ebenfalls 2 Vorversuche durchgeführt. Diese waren unter anderem für die spätere Planung der Hauptversuche wichtig. Die Rezeptur war identisch mit der aus den Versuchen am SWÜ (siehe Tab. 10, s.S.39).

Aus den Versuchen und deren Ergebnissen des Kurses Prozessentwicklung (WS 2013/14) war bereits bekannt, dass die Menge der Luftinjektion keinen signifikanten Einfluss auf die Festigkeit des Schaumes hat. Dabei wurde nach Erreichen des gewünschten Drucks der Prozess beendet und das Produkt entnommen. Dadurch unterschieden sich alle Versuche in ihrer Prozesszeit, da es mit 3 NI/min länger dauert als mit 10 NI/min, um 4 bar zu erreichen. Wichtig ist der angestrebte Enddruck in der SDM.

Daher wurde die Luftdosierung auf 10 NI/min (Maximum) und die Prozesszeit auf 20 min festgesetzt. Dadurch sollte die Vergleichbarkeit der Versuche erhöht werden, da bei allen Versuchen die Dauer der Krafteinwirkung gleich war.

Tabelle 12: Prozessparameter Vorversuche Satz-Druck-Maschine

Parameter	Einstellung	
	Versuch 1	Versuch 2
Thermostat Kühlung [°C]	0	0
Thermostat Aufschlag [°C]	5	5
Aufschlagtemperatur [°C]	10	10
Drehzahl Mischkammer [%]	70	70
Drehzahl Wirbelkammer [%]	90	90
Luftdosierung [NI/min]	10	10
Druck [bar]	4	1

Tabelle 12 zeigt die Versuchsparemeter für die Vorversuche an der SDM. Die Mousse au Chocolat wurde zunächst wie im Punkt 3.4.4 beschrieben hergestellt. Der einzige Unterschied bestand darin, dass der Mix direkt nach dem Erhitzen auf 85°C in die SDM gefüllt und dort abgekühlt wurde. Die Pasteurisation musste separat durchgeführt werden, da es mit dem genutzten Kühlaggregat nicht möglich war eine Temperatur von 85°C in der SDM zu erreichen. Die maximale Temperatur des Kühlaggregats lag bei 40°C. Um ein rasches Abkühlen zu gewährleisten, wurde die Kühltemperatur am Thermostat auf 0°C eingestellt. Die Drehzahlen der Mischelemente lagen beim Abkühlprozess bei 20%. Nach dem Erreichen der Aufschlagtemperatur (10°C) wurden die angegebenen Drehzahlen eingestellt und die Luftinjektion gestartet, bis der gewünschte Druck anlag.

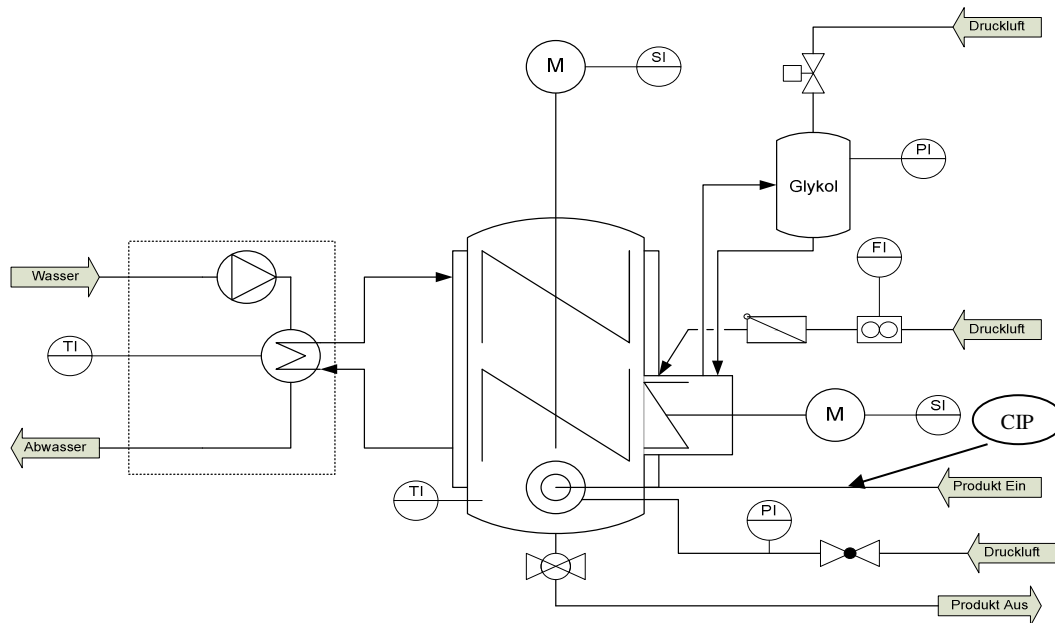


Abbildung 12: Verfahrensfließbild Satz-Druck-Maschine mit Luftdosiersystem und separatem Kühlkreislauf

Abbildung 12 zeigt den Anlagenaufbau der Satz-Druck-Maschine. Durch die hohen Drehzahlen während des Aufschlags erwärmte sich die Mousse au Chocolat um ca. 3°C-4°C, daher musste das Thermostat auf 5°C eingestellt werden, um die Aufschlagtemperatur halten zu können. Die Luftinjektion erfolgte in die Wirbelkammer. Dadurch sollte die Luft optimal im Produkt verteilt werden. Während des Aufschlagprozesses waren alle Ventile der SDM verschlossen, um den gewünschten Druck zu erreichen. Nach dem der Enddruck erreicht war, wurde das Ventil der Luftdosierung geschlossen und es wurde keine weitere Luft injiziert. Die Aufschlagzeit wurde im Vorfeld auf 20 min festgesetzt. Die Zeit musste so gewählt werden, dass der gewünschte Enddruck bis dahin erreicht werden konnte. Nach Ablauf der 20 min wurde der Prozess beendet. Die Drehzahlen der Mischelemente wurden wieder auf 20% eingestellt und die Mousse au Chocolat wurde durch den unteren Auslass direkt abgefüllt. Im 1. Versuch wurde der Innendruck beim Abfüllen nicht ausgeglichen, beim Abfüllen der Mousse im 2. Versuch wurde zuerst der Innendruck auf Umgebungsdruck ausgeglichen. Im Anschluss wurde der Overrun bestimmt und das Produkt bei ca. 8°C gelagert. Die Messung der Festigkeit am Texture Analyser erfolgte nach 24h Lagerung. Des Weiteren wurde die Mousse au Chocolat auf die Gesamtkeimzahl, Hefen und Schimmel, sowie Enterobakterien untersucht.

3.5. Hauptversuche

Aufgrund der Erkenntnisse aus den Vorversuchen, wurden die Hauptversuche nur an der Satz-Druck-Maschine im Technikumsmaßstab durchgeführt.

3.5.1. Versuchsrezeptur

In den Vorversuchen im Labormaßstab wurden zu Beginn 8 verschiedene Rezepturen getestet. Für die Hauptversuche wurde eine Rezeptur ausgewählt und bei allen genutzt. Die verwendete Rezeptur der Hauptversuche ist in Tab.10 (s.S.39) zu sehen. Diese enthielt Vollmilchpulver und der Fettgehalt des Milch/Sahne-Mixes war erhöht. Des Weiteren war die Wassermenge zum Lösen und Quellen der Gelatine gesenkt. Für jeden Versuch wurde die Rezeptur auf eine Menge von 15kg berechnet. Die verwendeten Rohstoffe sind in Tab. 2 (s.S.25) aufgeführt.

3.5.2. Versuchsplanung

Die Planung der Hauptversuche erfolgte mit Hilfe von ECHIP. Dafür wurden zunächst die Variablen und ihr Niveau festgelegt.

Tabelle13 : Variablenplanung Hauptversuche

Variable	Art	Minimum	Maximum
Drehzahl Mischkammer [%]	kontinuierlich	40	70
Drehzahl Wirbelkammer [%]	kontinuierlich	50	90
Druck [bar]	kontinuierlich	1	3

Da für die Hauptversuche hohe Mengen an Rohstoffen (15kg je Versuch) nötig waren, wurden nur 3 Parameter zum Variieren ausgewählt. Bei den in Tab. 13 aufgeführten Parametern wird ein hoher Einfluss auf die Beschaffenheit der Mousse au Chocolat vermutet. Aus den Erkenntnissen des Kurses „Prozessentwicklung“ (WS 13/14) war bereits bekannt, dass die Drehzahlen der Mischkammer im mittleren Bereich ausreichend sind. Hierbei wurden diese zwischen 40% und 70% variiert. Dadurch sollte eine gute Durchmischung der Masse gewährleistet werden.

Des Weiteren sollte vermieden werden, dass die Struktur der Mousse au Chocolat zerschlagen wird. Durch die Wirbelkammer wird ein großer Einfluss vermutet. Die Injektion der sterilen Luft erfolgte direkt in die Wirbelkammer, somit war diese für die Luftverteilung im Mix verantwortlich. Des Weiteren sollten darin durch die Scherkräfte vor allem die freien Fettpartikel zerschlagen werden, damit sich die gewünschte Struktur ausbildet. Um dies zu erreichen, wurde der zu variierende Bereich höher gewählt und lag zwischen 810 rpm und 1458 rpm. Der letzte Parameter war der Enndruck. Dabei wird vermutet, dass durch die stärkere Druckentlastung im Anschluss an den Aufschlagprozess ein höherer Overrun erzielt werden kann. Dieser wurde zwischen 1 bar und 3 bar variiert. Die angegebenen Daten (Tab. 13, S.44) wurden in ECHIP unter „Design Variables“ ein gepflegt.

Tabelle 14: Planung Hauptversuche ECHIP

Versuch	Drehzahl- Mischerwelle		Drehzahl- Wirbelkammer		Druck [bar]
	[%]	[rpm]	[%]	[rpm]	
7	40	60	50	810	3
3	70	105	50	810	1
9	55	82.5	70	1134	2
1	70	105	90	1458	3
6	70	105	50	810	3
5	40	60	90	1458	1
2	40	60	50	810	1
9	55	82.5	70	1134	2
8	70	105	90	1458	1
4	40	60	90	1458	3
2	40	60	50	810	1
4	40	60	90	1458	3
6	70	105	50	810	3
1	70	105	90	1458	3

In Tabelle 14 ist die Versuchsplanung, die mit Hilfe von ECHIP erstellt wurde, zu sehen. Dafür wurden ein teilfaktorielles Versuchsdesign mit einem Wendepunkt gewählt und 5 Wiederholungsversuche eingestellt. Mit dieser Planung erfolgte die Versuchsdurchführung der 14 Hauptversuche. Die Aufschlagtemperatur lag bei allen Versuchen bei 10°C.

3.5.3. Versuchsdurchführung

Die Durchführung der Versuche war bei allen Versuchen grundlegend gleich. Ein Verfahrensfliessbild ist in Abb.12 (S.43) zu sehen. Als erstes wurde die Gelatine mit warmem Wasser gemischt und bei 50°C für 1,5h zum Quellen gelagert. Die anderen Rohstoffe wurden in den nötigen Mengen abgewogen. Der Milch/Sahne-Mix wurde in einem Topf auf einer separaten Heizplatte zunächst auf 40°C erwärmt (ca. 8min). Dann wurden die restlichen Rohstoffe (außer Gelatine) dazu gegeben und vermischt. Der Mix wurde auf 85°C erhitzt (ca. 26min) und für 20sec auf dieser Temperatur gehalten. Nach der Haltezeit wurde der Mix direkt in die SDM umgefüllt, der Deckel verschlossen und dort abgekühlt. Dadurch sollte ein erneuter Eintrag von Mikroorganismen nach der Pasteurisation vermieden werden. Um den Mousse-Mix schnellst möglich abzukühlen, wurde das Kühlaggregat auf 0°C eingestellt. Die Drehzahlen der Misch- und Wirbelkammer lagen dabei bei 20%. Nachdem der Mix auf 60°C abgekühlt war (ca. 3 min), wurde die vorgequollene Gelatine dazu gegeben. Anschließend wurde der Mix auf die Aufschlagtemperatur von 10°C abgekühlt (ca. 33 min) und der Aufschlagprozess wurde gestartet. Die Einstellungen der Parameter sind in Tab. 15 zu sehen.

Tabelle 15: Einstellung Satz-Druck-Maschine für Hauptversuche

Prozessschritt	Parameter	Einstellung
Kühlen	Temp. Kühlaggregat	0°C
	Drehzahl Mischkammer	30 rpm
	Drehzahl Wirbelkammer	324 rpm
Aufschlag	Temp. Kühlaggregat	variabel
	Drehzahl Mischkammer	siehe Tab. 14
	Drehzahl Wirbelkammer	siehe Tab. 14
	Aufschlagtemp.	10°C
	Aufschlagzeit	20min
	Luftdosierung	10 NI/min

Nachdem der Mix auf 10°C abgekühlt war, wurden alle Ventile und der Deckel verschlossen. Anschließend wurde das Ventil für die Luftinjektion geöffnet und die Drehzahlen eingestellt. Die Luftzugabe lag bei 10 NI/min und wurde bis zum Erreichen des gewünschten Enddrucks durchgeführt. Die Dauer lag je nach Druck zwischen 1min und 8min. Anschließend wurde das Ventil wieder verschlossen, um den Druck konstant zu halten. Die Kühltemperatur des Kühlaggregats musste während dem Aufschlagprozess teilweise verändert werden. Aufgrund hoher Drehzahlen erwärmte sich Mousse au Chocolat auf mehr als 10°C.

Dadurch mussten die Kühltemperaturen angepasst werden, um die Aufschlagtemperatur halten zu können. Die eingestellten Kühltemperaturen sind im Anhang (Tab.61, S.121) zu sehen. Nach Ablauf der Aufschlagzeit (20min) wurden die Drehzahlen wieder auf 20% reduziert. Wie in den Vorversuchen an der SDM ermittelt wurde, musste dann zunächst der Innendruck auf Umgebungsdruck ausgeglichen werden. Dabei fand die deutlich sichtbare Volumenzunahme der Mousse au Chocolat statt. Der Ausgleich erfolgte über ein Ventil an der Hinterseite der SDM. Dieses wurde manuell um ca. 1/3 geöffnet, wobei sich der Druck konstant ausgleichen konnte. Nach ca. 30 sec war der Innendruck auf Umgebungsdruck ausgeglichen. Eine zu schnelle Entlastung kann dazu führen, dass die Mousse durch das geöffnete Ventil austritt. Um zu gewährleisten, dass während des Aufschlagprozesses der gewünschte Druck erreicht wird, wurde eine Aufschlagzeit von 20 min festgelegt. Dadurch sollte auch die Vergleichbarkeit der Versuche sichergestellt werden, da bei jedem Versuch die Dauer der Kraftereinwirkung gleich war. Nachdem der Druck ausgeglichen war, wurde das Produkt über den Auslass direkt in die Verpackungen (V=1l) abgefüllt und verschlossen. Beim Auslassen der Mousse wurden die Drehzahlen der Mischelemente auf 20% reduziert, um das Produkt langsam aus der SDM zu treiben. Anschließend konnte der Overrun bestimmt und die Mousse au Chocolat bei ca. 8°C eingelagert werden. Die Messung der Festigkeit am Texture Analyser erfolgte nach 24h Lagerung. Des Weiteren wurden Proben gezogen, um die Mousse au Chocolat auf die Gesamtkeimzahl, Hefen/Schimmel und Enterobakterien zu untersuchen. Pro Versuchstag konnten so je 3 Versuche durchgeführt werden. Während den Versuchen wurden der Energie- und Wasserbrauch der genutzten Geräte aufgezeichnet. Des Weiteren wurde eine Wärme- und Mengenbilanz erstellt. Der Energieverbrauch wurde mittels Stromzähler erfasst. Für den Wasserverbrauch wurde zum einen das verbrauchte Kühlwasser des Thermostats über eine bestimmte Zeit (10 sec) in einem Messbecher aufgefangen und für die Dauer des Versuchs hochgerechnet. Das Reinigungswasser wurde mit Hilfe von Eimern (V= 10l) dosiert. Für die Wärmebilanz wurde die theoretisch abzuführende Wärmemenge der Mousse au Chocolat mit Hilfe der spez. Wärmekapazität (siehe Tab.63, S.122) ermittelt und die praktisch abgeführte Wärmemenge des Kühlwassers berechnet. Für die Mengenbilanz wurde die Mousse au Chocolat die aus der SDM gedrückt wurde gewogen.

3.6. Mikrobiologische Untersuchungen

Mousse au Chocolat und andere Desserts zählen, aufgrund ihrer Zusammensetzung zu den leicht verderblichen Lebensmitteln. Trotz der Pasteurisation bei 85°C kann es möglich sein, dass einige Keime im Mix überleben. Des Weiteren können in folgenden Prozessschritten erneut Keime in das Produkt gelangen. Daher ist die durchgehende Kühlung bei ca. 8°C unerlässlich. Dadurch wird das Keimwachstum zwar nicht verhindert, aber um ein Vielfaches gehemmt. Zum einen war es das Ziel, eine lagerfähige, stabile Mousse au Chocolat zu produzieren. Dafür sind nicht nur der Overrun und die Festigkeit ein Qualitätskriterium, sondern auch der Keimgehalt. Da im Verlauf der Arbeit die Produkte der Hauptversuche im Rahmen einer konventionellen Profilprüfung bewertet wurden, mussten die Verzehrfähigkeit und die mikrobiologische bzw. gesundheitliche Unbedenklichkeit der Mousse au Chocolat nachgewiesen werden. Um die hergestellte Mousse au Chocolat mikrobiologisch beurteilen zu können, wurden zum einen die Gesamtkeimzahl, Hefen und Schimmel, zum anderen die Keimzahl der Enterobakterien bestimmt. Die aerobe, mesophile Gesamtkeimzahl (GKZ) gibt zunächst allgemeine Hinweise auf den mikrobiologischen Zustand des Produktes. Hefen und Schimmel gelangen meist über die Umgebungsluft in das Produkt. Steht das Produkt z.B. in einem offenen Kreislauf oder wird über längere Zeit in offenen Behältern gelagert, können viele Sporen in das Produkt gelangen. Um ein gesundheitliches Risiko für die Prüfer des Panels auszuschließen und die Verzehrfähigkeit zu gewährleisten, wurde die Mousse au Chocolat ebenfalls auf Enterobakterien untersucht. Diese sind vor allem ein Hinweis auf mangelnde Personal- und Arbeitshygiene. Für Enterobakterien gibt es strenge, gesetzlich vorgeschriebene Richt- und Grenzwerte. Damit die hergestellte Mousse au Chocolat der gesetzlichen Anforderung entspricht, wurden mehrere Hürden zur Hemmung bzw. Inaktivierung der Keime „aufgebaut“. Dieses Hürdenkonzept beinhaltet zum einen eine gründliche Personalhygiene, die Verwendung von sterilen Produkten (z.B. UHT Milch), sowie eine Pasteurisation des Mousse-Mixes. Des Weiteren wurde der Mix schnellstmöglich abgekühlt, um das Wachstumsoptimum (Temperatur) der Keime schnell zu durchlaufen und durch die Lagerung bei ca. 8°C sollte das Wachstum gehemmt werden. Um so wenig Keime wie möglich in das Produkt einzubringen, wurden die Maschinen zu Beginn jedes Versuchstags gründlich gereinigt. Zunächst wurde die Anlage 15min mit einem Wasser-Natronlauge-Gemisch (2%) gespült, danach 15min mit einem Wasser-Salpetersäure-Gemisch (1%) und anschließend 15min mit klarem heißem Wasser. Mit Hilfe dieser Hürden wurde versucht, die Mousse au Chocolat möglichst keimfrei zu halten.

Um zunächst einen Einblick in die Mikrobiologie der Mousse au Chocolat zu bekommen, wurden von allen 4 Vorversuchen im Technikum jeweils 5 Proben gezogen und ausgewertet. Die Untersuchungen erfolgten nach den in §64 des LFBG Abs. 1 der Methodensammlung festgelegten Bestimmungen. Dafür wurden von jeder Probe Mousse au Chocolat 10g entnommen, mit 90ml sterilisierter NaCl-Lösung vermischt und durch Verrühren homogenisiert. Diese Stammlösung hatte dann eine Verdünnungsstufe von 10^1 . Aus der Stammlösung wurden in weiteren Schritten Verdünnungsstufen von 10^2 bis 10^5 hergestellt.

Tabelle 16: Agarsorten Keimbestimmung

Keimart	Agar	Bebrütungstemp. in [°C]
Gesamtkeimzahl	Caso-Agar; Carl Roth GmbH & Co. KG; Art.-Nr.: X937.3	30
Hefen/Schimmel	Sabouraud 2% Glucose Agar; Carl Roth GmbH & Co. KG; Art.-Nr.: AE22.1	30
Enterobakterien	Endo-Agar; SIFIN; Art.-Nr.: TN1131	37

Tabelle 16 zeigt die genutzten Agarsorten zum Nachweis der verschiedenen Mikroorganismen. Diese wurden nach Herstellerangaben mit destilliertem Wasser gemischt und anschließend autoklaviert. Nachdem der Agar auf ca. 40°C abgekühlt war, wurde er in leere Petrischalen gegossen (ca. 20ml) und sofort abgedeckt. Nach Erhärten des Agars in den Platten wurden diese umgedreht, damit kein Kondenswasser auf die Oberfläche tropft, wodurch es Verfälschungen beim Auswerten der Platten geben könnte. Die Platten, die nicht direkt benötigt wurden, wurden bei ca. 15°C gelagert. Die Bestimmung der Lebendkeimzahl erfolgte im Oberflächenausstrichverfahren. Dafür wurden von der jeweiligen Verdünnungsstufe 0,1ml auf die Agar-Platte gegeben und mit einem abgeflammt „Drigalski-Spatel“ ausgestrichen. Anschließend wurden die Platten mit dem Deckel nach unten für 48h im Inkubator bebrütet. Die Temperaturen des Inkubators für die GKZ und die Hefen/Schimmel lag bei 30°C. Die Enterobakterien wurden für 2 Tage bei 37°C bebrütet. Nach Ablauf der Zeit wurden alle Platten manuell ausgezählt und die Lebendkeimzahl in KbE/ml bestimmt.

3.7. Konventionelle sensorische Profilprüfung

Die Sensorik spielt in vielen Bereichen der Lebensmittelindustrie eine große Rolle. Die Sicherung und Bewertung der Qualität von Lebensmitteln kann nicht allein durch instrumentelle Messmethoden bestimmt werden. Um die Akzeptanz oder die Beliebtheit beim Verbraucher zu ermitteln, gibt es eine Vielzahl an sensorischen Analysen. Allgemein ist die Sensorik die „Wissenschaft vom Einsatz menschlicher Sinnesorgane zu Prüf- und Messzwecken“ (DIN 10950-1, 1999). Sie findet ihren Einsatz z.B. in der Produktentwicklung zur Herstellung komplett neuartiger Produkte oder bei der Entwicklung von Nachahmungsprodukten („Me too“). Geschulte Personen sind in der Lage, kleinste Geschmacksveränderungen in Lebensmitteln wahrzunehmen. Dadurch können Rezepturen anderer Produkte fast identisch nachgestellt werden. Auch in der Qualitätssicherung spielt sie eine wichtige Rolle, dazu zählt unter anderem die Überprüfung der Rohstoffe (z.B. Geruch). Des Weiteren kann damit eine mögliche Veränderung der Eigenschaften der Produkte bei einer Änderung produktionstechnischer Parameter überprüft werden. Aufgrund dessen war die sensorische Analyse in dieser Masterthesis ein weiterer Schwerpunkt. Bei der Produktion der Mousse au Chocolat wurden verschiedene Produktionsparameter verändert, um die optimalsten Ergebnisse in Bezug auf Overrun und Festigkeit zu erhalten. Um diese beiden Eigenschaften sensorisch zu bewerten, wurde eine konventionelle Profilprüfung durchgeführt. Die konventionelle Profilprüfung ist ein Verfahren, bei dem eine Prüfergruppe die gleichen produktrelevanten Merkmalseigenschaften bewertet. Der Vorteil dieser Prüfung ist, dass eine enge Zusammenarbeit mit dem Panel vorliegt. Die zu bewertenden Attribute werden von den teilnehmenden Prüfpersonen in den ersten Sitzungen erarbeitet. Dabei kann jede Prüfperson eine Liste mit beschreibenden Begriffen erstellen. Anschließend wurden ähnliche Begriffe zu einem zusammen gefügt und hedonische Bewertungen eliminiert. Im Folgenden wurden mehrfach genannte Merkmalseigenschaften zusammengefasst und auf eine geeignete Anzahl reduziert. Abschließend erfolgte eine Bewertung der Intensität der Merkmalseigenschaften in einer Einzelprüfung. Die Durchführung der konventionellen Profilprüfung erfolgte nach den Vorgaben der DIN 10967-1 („Sensorische Prüfverfahren, Profilprüfung, Teil1: Konventionelles Profil“, 1999).

3.7.1. Auswahl des Panels

Da in dieser Arbeit spezifische Merkmalausprägungen der Mousse au Chocolat durch Änderung der Prozessparameter bewertet werden sollten, musste eine gewisse sensorische Ausbildung der Teilnehmer vorausgesetzt werden. Dafür wurden Studenten der Hochschule Neubrandenburg des Studiengangs „Lebensmitteltechnologie“ (mindestens 3 Semester) ausgewählt. Dieses besaßen aufgrund des Moduls „Lebensmittelsensorik“ die nötige Qualifikation und waren bereits nach DIN 10950-2 („Sensorische Prüfung; Teil 2: Allgemeine Grundlagen“, 2000) und DIN 10961 („Schulung von Prüfpersonen für sensorische Prüfungen“, 1996) ausgebildet worden. Dies war wichtig, da für die Bewertung der Mousse au Chocolat schwerpunktmäßig auf das Aussehen und die Textur eingegangen werden sollte. Ein weiteres wichtiges Kriterium bei der Auswahl war, dass die Prüfer keine starke Abneigung oder Vorliebe für das Produkt haben, um eine starke subjektive Bewertung zu vermeiden. Die Prüfer mussten in der Lage sein, die erforderlichen Merkmalseigenschaften präzise und verständlich beschreiben zu können. Des Weiteren war es wichtig, dass sie die definierten Merkmalseigenschaften wiedererkennen und sich auch auf die verschiedenen Attribute konzentrieren können, um so die Ausprägungen der Merkmalseigenschaften auf einer vorgegebenen Intensitätsskala zu bewerten. Mit Hilfe dieser Kriterien konnte ein Panel, bestehend aus 10 Prüfern, zusammengestellt werden. Dies entsprach auch der Anforderung nach der Prüferanzahl nach DIN 10967-1 (mind. 6 Prüfer).

3.7.2. Schulung des Panels (inkl. Festlegung der Prüfungsattribute)

Nachdem die Prüfer ausgewählt wurden, war es wichtig, diese produktspezifisch zu schulen. Es wurden 3 Sitzungen durchgeführt, wobei zum einen die Prüfungsattribute ausgewählt wurden. Zum anderen diente das dem Training der Prüfer. Dadurch sollte es möglich sein, auswertbare und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Die Durchführung erfolgte nach DIN 10967-1 (Pkt. 9). Zu Beginn wurden verschiedene Prüfmuster ausgewählt, mit denen die wichtigen qualitativen Unterschiede zum Erstellen des Profils deutlich gemacht werden konnten. Da für die Produktion der Hauptversuche eine identische Rezeptur verwendet wurde, lag das Hauptaugenmerk auf dem Aussehen und der Textur der Muster.

Tabelle 17: Prüfmuster für Panelschulung

Bezeichnung	Beschreibung
Mousse VP, Fett erhöht	Rezeptur Vollmilchpulver, Fettgehalt Milch/Sahne-Mix erhöht, Aufschlagtemp. 10°C
Mousse VP, Fett gesenkt	Rezeptur Vollmilchpulver, Fettgehalt Milch/Sahne-Mix gesenkt, Aufschlagtemp. 10°C
Komet	"Komet", Mousse in Pulverform, Gerolf Pöhle & Co. GmbH, Packung: 73g
Dr. Oetker	"Mousse au Chocolat", Pulverform, Dr. August Oetker Nahrungsmittel KG, Packung: 86g

Tabelle 17 zeigt die Prüfmuster, die für die Schulung der Prüfer verwendet wurden. Alle Proben wurden ca. 6h vor dem jeweiligen Termin zubereitet und bei 8°C im Kühlschrank gelagert. Die Handelsprodukte wurden nach den Herstellerangaben produziert. Die Mousse au Chocolat nach der Vollmilchpulverrezeptur (siehe Tab.10, S.39, Tab. 57 S. 120) wurde wie im Punkt 3.4.3 beschrieben, hergestellt. Zu Beginn der Schulungsphase bekamen die Prüfer eine genaue Einweisung in den Zweck dieser Arbeit, zu dem Produkt Mousse au Chocolat und welches die dabei wichtigsten Merkmalseigenschaften (Aussehen/Textur) sind. Im Anschluss wurden jedem Prüfer die codierten (3-stellige Zufallsziffer) Muster zur ersten Bewertung gereicht. Diese erfolgte in einer Einzelprüfung, wobei jeder Prüfer aufgefordert war, möglichst viele beschreibende Eigenschaften zu nennen, welche durch die Prüfmuster hervorgerufen wurden. Die Einzelprüfung sollte eine gegenseitige Beeinflussung der Prüfer vermeiden. Nach der Einzelprüfung wurden alle beschreibenden Begriffe der Prüfer zusammengetragen. Dann wurden in einer Gruppendiskussion alle ähnlichen Attribute zusammengefasst. Im nächsten Schritt folgte die erste Reduzierung der Merkmalseigenschaften. Dabei wurden z.B. hedonische Begriffe eliminiert und Begriffe, die zur Unterscheidung der Prüfmuster ungeeignet sind, aussortiert. In der 2. Prüfung der Muster wurden die Merkmalseigenschaften auf einer 6-Punkt hedonischen Skala bewertet. Dies sollte die Attribute aufzeigen, die nur geringe bzw. keine Unterschiede zwischen den Mustern hervorbrachten. Dadurch konnte eine 2. Reduzierung der Attribute vorgenommen werden und die Attributliste wurde auf 10 Begriffe festgesetzt (siehe Tab. 18, S.53).

Tabelle 18: Attributliste Profilprüfung mit Ankerpunkten

Merkmal	Attribut	Ankerpunkt 0	Ankerpunkt 100
Aussehen	Farbe	Schokolade (weiß)	Schokolade (zartbitter)
	Glanz	Schreibpapier	Alu-Folie
	Luftblasengröße	Pudding	Schwamm
	Verteilung (Luftblasen)	Brötchen	Haushaltssieb
	Formstabilität	Wasser	Wackelpudding
Textur/Mundgefühl	Festigkeit	Joghurt	Wackelpudding
	Luftigkeit	Joghurt	Schlagsahne
	cremig/sahnig	Wasser	Buttercreme
	Schmelzfähigkeit	Wasser	Schokolade
	Klebrigkeit	Wasser	"Storck Riesen" (Kaubonbon)

Tabelle 18 zeigt die Attribute, die von den Prüfern für die letztendliche Prüfung der Hauptversuche ausgewählt wurden. Des Weiteren sind die Ankerpunkte der Intensitätsskala zu sehen. Diese wurden ebenfalls von den Prüfern ausgewählt und definiert (siehe Tab.62 S.122). Während der späteren Profilprüfung konnten die Ankerpunkte jederzeit von den Prüfern eingesehen werden.

3.7.3. Durchführung der Prüfung

Die Profilprüfung der Mousse au Chocolat aus den Hauptversuchen wurde im sensorischen Labor der Hochschule Neubrandenburg durchgeführt. Das Labor entspricht den Anforderungen der Din 10967-1(1999) und ist nach der DIN EN ISO 8589:2010 („Sensorische Analyse - Allgemeiner Leitfaden für die Gestaltung von Prüfräumen“) ausgestattet. Dadurch waren für alle Prüfer die gleichen Prüfbedingungen gewährleistet. In Rahmen dieser Masterthesis sollten 14 Versuchsmuster in einer konventionellen Profilprüfung bewertet werden. Um die Sicherheit der Prüfung zu erhöhen und um einen Eindruck über die Prüfer und ihr Prüfverhalten zu bekommen, wurden zusätzlich Referenzproben in die Prüfung aufgenommen. Dabei handelte es sich um ein Handelsprodukt („Komet“, Gerolf Pöhle & Co. GmbH), welches der Mousse au Chocolat der Hauptversuche relativ ähnlich war. Aufgrund der hohen Probenanzahl und der jeweils 10 zu bewertenden Merkmalseigenschaften, wurde die Prüfung in 2 „Sessions“ aufgeteilt. Jede „Session“ bestand aus 3 Sitzungen und es wurden je 9 Muster bewertet. Eine „Session“ wurde innerhalb von ca.1,5 Wochen durchgeführt und zwischen den „Sessions“ lagen ca. 2 Wochen. Von den 9 Mustern waren je 2 Produkte die Referenzproben aus dem Handel und 7 Proben aus den Hauptversuchen.

Die Referenzproben wurden ca. 6h vor der jeweiligen Sitzung nach den Herstellerangaben hergestellt und bei 8°C gelagert. Für die Prüfung wurden für alle Proben durch das Programm FIZZ 3-stellige Zufallsziffern generiert. Diese waren auch bei jeder Sitzung unterschiedlich (siehe Tab. 16 S.53). Die Aufstellung des Probenplans erfolgte nach der Versuchsplanung von ECHIP. Die Muster wurden vor jeder Prüfung in durchsichtige Kunststoffbecher (V=65ml) gefüllt, welche mit dem jeweiligen Code beschriftet waren. In jeden Becher wurden ca. 25g Mousse au Chocolat gegeben. Mit dieser Menge sollte eine vollständige Beurteilung der Merkmalseigenschaften gewährleistet werden und eine eventuelle Rückprüfung möglich sein. Die Bewertung der Muster wurde als Einzelprüfung durchgeführt. Jedem Prüfer stand eine Prüfkabine mit einem PC zur Verfügung, an dem sie sich bei jeder Sitzung unter dem gleichen Namen registrierten. Die Teilnehmer wurden angewiesen, alle Attribute in der vorgegeben Reihenfolge zu bewerten. Die Reihenfolge der zu bewertenden Proben wurde von FIZZ vorgegeben und war randomisiert. Das bedeutet, dass bei jedem Prüfer die Muster in verschiedener Reihenfolge bewertet wurden, um eine gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden. Zu den Proben erhielten die Prüfer Wasser (200 ml) zum neutralisieren. Um die sensorischen Analysen mit den mechanischen optimal vergleichen zu können, wurden nach jeder Sitzung der Overrun und die Festigkeit gemessen.

Tabelle 19: Probenplan Profilprüfung Hauptversuche

1. Session			
Probe/Versuch	Codierung		
	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung
Versuch 7	099	673	378
Versuch 3	935	214	755
Versuch 9	394	968	296
Versuch 1	181	050	919
Versuch 6	558	804	083
Versuch 5	476	509	706
Versuch 2	640	132	460
Komet 1	722	345	870
Komet 2	263	427	542
2. Session			
Versuch 9(W*)	067	395	641
Versuch 8	526	231	887
Versuch 4	362	477	346
Versuch 2(W)	313	149	182
Versuch 4(W)	198	559	723
Versuch 6(W)	985	854	264
Versuch 1(W)	821	936	297
Komet 3	280	772	428
Komet 4	739	608	018

(* W= Wiederholungsversuch)

4. Ergebnisse

4.1. Vorversuche

Die Vorversuche dienten zunächst dem Zweck der Ermittlung der optimalen Rezeptur für die Hauptversuche und der Überprüfung von früheren Ergebnissen. Der dabei erwähnte Fettgehalt in der Auswertung und den Ergebnissen bezieht sich immer auf den Fettgehalt vom Milch/Sahne-Mix.

4.1.1. Versuche im Labormaßstab

Für die Versuche im Labormaßstab wurde die Rezeptur einer 2. Studienarbeit (Hänel, 2008) übernommen. Da auch geprüft werden sollte, ob das Magermilchpulver durch Vollmilchpulver ersetzt werden kann, wurden die Rezepturen dem angepasst. Des Weiteren wurde die Aufschlagtemperatur variiert und die Menge an Wasser ermittelt, die ausreicht um die Gelatine zu lösen. Damit wurden 8 Rezepturen in 16 Versuchen getestet. Um die gewonnen Ergebnisse dieser Versuche besser interpretieren zu können, wurden einige Referenzproben aus dem Handel zum Vergleich untersucht.

Tabelle 20: Referenzproben Handelsprodukte

Bezeichnung	Beschreibung
Mondamin	"Mondamin-Mousse au Chocolat", Pulverform, Unilever Deutschland, Hamburg, Deutschland, Packung: 122g
Komet	"Komet-Mousse au Chocolat", Pulverform, Gerolf Pöhle & Co. GmbH, Großpostwitz, Deutschland, Packung: 73g
Dr. Oetker (fertig)	"Mousse au Chocolat", Verzehrfertig im Kunststoffbecher, gekühlt, Dr. August Oetker Nahrungsmittel KG, Bielefeld, Deutschland, Packung: 100g
Dr. Oetker	"Mousse au Chocolat", Pulverform, Dr. August Oetker Nahrungsmittel KG, Bielefeld, Deutschland, Packung: 86g

Die Referenzproben wurden nach den Herstellerangaben zubereitet. Der Overrun wurde jeweils während der Produktion gemessen und die Festigkeit nach einer Lagerzeit von 24h bestimmt. Für die Ermittlung des Overruns und der Festigkeit wurden von jedem Versuch 4 Proben untersucht.

Tabelle 21: Ergebnisse Vorversuche Labormaßstab

Versuch	Festigkeit [N] (Mittelwert)	Gruppe (Festigkeit)	Overrun [%]	Fettgehalt (Milch/Rahm-Mix) [%]	Wasser- zusatz [%]	Aufschlag- temp. [°C]
VP6	0.889	A	91,15	erhöht	2,4	10
VP2	0.846	A,B	91,38	erhöht	1,6	10
Mondamin	0.787	B,C	92,25	-	-	-
VP5	0.753	B,C	84,56	erhöht	2,4	5
Komet	0.695	C,D	90,13	-	-	-
MP1	0.634	D,E	96,91	erhöht	1,6	5
MP6	0.631	D,E	80,32	erhöht	2,4	10
VP8	0.570	E,F	99,57	gesenkt	2,4	10
MP7	0.560	E,F,G	93,42	erhöht	2,4	5
Dr. Oetker	0.556	E,F,G,H	73,11	-	-	-
VP4	0.486	F,G,H,J	106,09	gesenkt	1,6	10
MP3	0.466	G,H,J	82,19	gesenkt	1,6	5
Dr. Oetker (Fertigprodukt)	0.450	J	-	-	-	-
VP1	0.442	J,K	85,63	erhöht	1,6	5
MP5	0.403	J,K,L	81,08	erhöht	2,4	5
VP7	0.399	J,K,L	91,58	gesenkt	2,4	5
MP8	0.348	K,L	77,52	gesenkt	2,4	10
VP3	0.342	L	88,02	gesenkt	1,6	5
MP2	0.179	M	79,83	erhöht	1,6	10
MP4	0.130	M	80,62	gesenkt	1,6	10

Die Tab. 21 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Vorversuche (inkl. Referenzproben). Zum Vergleich sind ebenfalls die Versuchsparameter aufgeführt. Die einzelnen Messwerte der Schaumfestigkeit und des Overruns sind im Anhang in den Tab.68, 69 (s.S.130, 133) zu sehen. Um sichere Aussagen über die Ergebnisse treffen zu können, wurde ebenfalls eine Varianzanalyse durchgeführt. Diese zeigte, dass es mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% einen signifikanten Unterschied bei der Schaumfestigkeit zwischen den Versuchen gibt. Um zu ermitteln welche Versuche sich signifikant unterscheiden, wurde ein Tuckey-Test durchgeführt (Sicherheitswahrscheinlichkeit 99%). Dadurch konnten die Versuche in Gruppen eingeteilt werden (siehe Tab.21). Für den Overrun wurde ebenfalls eine Varianzanalyse durchgeführt. Der kritische F-Wert (aus der Tabelle der F-Verteilung, Irrtumswahrscheinlichkeit 1%) liegt bei 2,29 und die Prüfgröße f bei 2,11. Da die Prüfgröße f kleiner als der kritische F-Wert ist, kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% gesagt werden, dass es keine signifikanten Unterschiede beim Overrun gibt.

Tabelle 22: Tafel der Varianzanalyse Overrun (Vorversuche)

Variationsursache	SQ	FG	MQ	Testgröße
zwischen Varianten	SQz 4940.6	k-1 18	MQz 274.477	f=MQz/MQi
innerhalb Varianten	SQi 7407.9	n-k 57	MQi 129.963	2.112
insgesamt	SQt 12348.5	n-1 75		

Bei den Vorversuchen mit Magermilchpulver lassen sich die Ergebnisse der 2. Studienarbeit bestätigen. Wie Hänel (2008) feststellte, wirken sich ein Fettgehalt von 19% (Milch/Sahne-Mix) und eine Aufschlagtemperatur von 5°C am positivsten auf die Festigkeit und den Overrun aus. Das sind in diesem Fall die Versuche 1, 3, 5, und 7 mit Magermilchpulver. In den Hauptversuchen 2 und 3 (Hänel, 2008) wurden dabei ein Overrun von 91,1% und 117,3% erzielt, bei einem mit ECHIP ermitteltem Wert von 68,32%. Für die Festigkeit ermittelte Hänel 0,46N (2. Hauptversuch) und 0,84N (Hauptversuch) bei einem mit ECHIP ermittelten Wert von 0,574N. Um jedoch eine sichere Aussage treffen zu können, wurden die gewonnenen Daten mit ECHIP ausgewertet. Im Folgenden ist zunächst die Auswertung der Vorversuche mit Magermilchpulver zu sehen. Dafür wurden die Einzelwerte der Untersuchungen unter „Edit Response“ eingetragen und analysiert. Aufgrund der linearen Versuchsplanung war hierbei keine quadratische Auswertung des Overruns mit ECHIP möglich. Nachdem die lineare Auswertung der Ergebnisse des Overruns erfolgte, konnte zunächst eine Zusammenfassung der Ergebnisse eingesehen werden. Daraus lässt sich die Signifikanz der einzelnen Variablen ablesen. Dabei entsprechen 3 Sterne einem Einfluss von mindestens 99,9%, 2 Sterne von 99%, 1 Stern von 95%. Ist lediglich ein Punkt zu sehen, besteht kein signifikanter Einfluss. Nach Hänel (2008) sollten die Aufschlagtemperatur und der Fettgehalt einen höchst signifikanten Einfluss auf den Overrun haben. Dieser konnte hierbei jedoch nur für die Aufschlagtemperatur nachgewiesen werden. Dafür hat der Fettgehalt in Verbindung mit dem Wasserzusatz einen hoch signifikanten Einfluss. Im Anschluss konnten die Koeffizienten der Variablen (Terme) eingesehen werden. Bei der Aufführung der Koeffizienten wurden ebenfalls die Fehlerwahrscheinlichkeiten (p-Wert) der Terme angezeigt. Dadurch war es möglich, die Terme mit einem hohen p-Wert zu eliminieren, da sie mit großer Wahrscheinlichkeit nicht signifikant sind und keinen Einfluss auf den Overrun haben.

«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'Overrun'		
Centered continuous variables		
COEFFICIENTS	P	TERM
83.9853		0 CONSTANT
-1.76538	0	1 Aufschlagtemp. [°C]
0.366458	0.5176-	2 Fettgehalt [%]
-4.88906	0.0016	6 Fettgehalt [%]*Wasserzusatz [%]
N trials	= 32	
N terms	= 5	

Abbildung 13: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Overrun (VV Magermilchpulver)

Abbildung 13 zeigt die Terme mit ihren Koeffizienten und p-Werten. Wie zu sehen ist, wurde der Wasserzusatz trotz negativem p-Wert nicht eliminiert. Mit Hilfe der Koeffizienten und den Termen lässt sich für jede Wirkung (Änderung einer Variablen) eine mathematische Gleichung aufstellen.

Gleichung Overrun (VV Magermilchpulver)

$$\text{Overrun} = -1,76538 * a - 2,25391 * c - 4,88906 * b * c + 83,9853$$

(a=Aufschlagtemp.(°C); b=Fettgehalt(%); c=Wasserzusatz(%))

Nachdem in der Analyse der Daten die Terme mit hohen p-Werten eliminiert wurden, können mit Hilfe von ECHIP 3D- und 2D-Grafiken erstellt werden. Dabei werden die Einflüsse der Variablen verdeutlicht. Bei der Auswertung des Overruns mit Hilfe von ECHIP wurde jedoch der Fehler „Lack of Fit“ angezeigt. Dies liegt mit großer Wahrscheinlichkeit an der Streuungsbreite der Stichprobeneinzelwerte einer Stichprobe. Da es sich aber um die real gemessenen Werte handelt, die in ECHIP eingetragen wurden, konnte dieser Fehler nicht einzeln behoben werden.

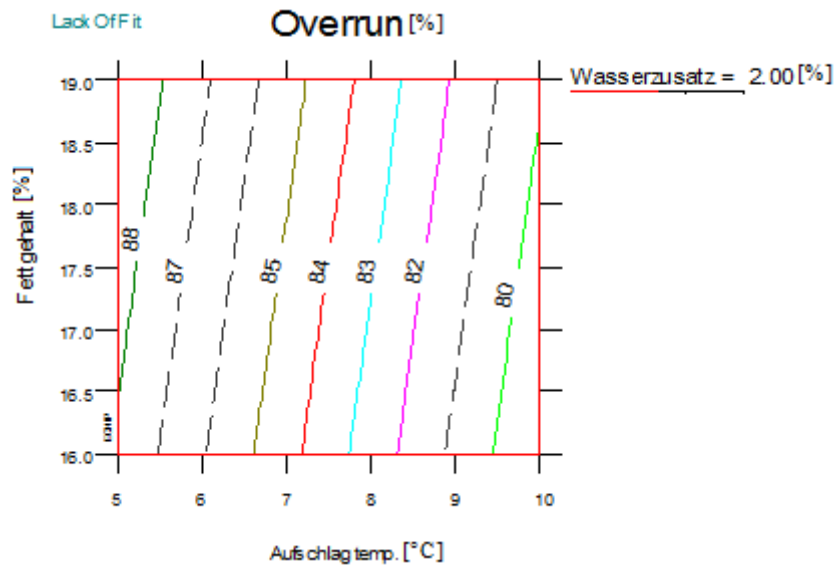


Abbildung 14: 2D-Darstellung Overrun (VV Magermilchpulver)

In der Abbildung 14 ist der gemessene Overrun in einer 2D-Grafik zu sehen.

Da von den Proben auch die Festigkeit mittels Texture Analyser gemessen wurde, wurden diese Ergebnisse auch mit ECHIP ausgewertet. Die Analyse der Festigkeit wurde wie die Analyse des Overruns durchgeführt. Zunächst wurde eine Zusammenfassung über die Wirkung der Variablen auf die Festigkeit erstellt. Dadurch konnten Terme ohne signifikanten Einfluss und mit einem negativen p-Wert eliminiert werden. Wie in Abb.15 zu sehen ist, haben die Aufschlagtemperatur, der Wasserzusatz und die Aufschlagtemperatur in Verbindung mit dem Wasserzusatz einen „höchst signifikanten“ Einfluss auf die Festigkeit der Mousse au Chocolat. Die anderen Terme werden jeweils als „hoch signifikant“ eingestuft

«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'Festigkeit'		
Centered continuous variables		
COEFFICIENTS	P	TERM
0.418594		0 CONSTANT
-0.0387875	0	1 Aufschlagtemp. [°C]
0.0285625	0.0057	2 Fettgehalt [%]
0.166797	0.0001	3 Wasserzusatz [%]
0.010675	0.0092	4 Aufschlagtemp. [°C]*Fettgehalt [%]
0.100781	0	5 Aufschlagtemp. [°C]*Wasserzusatz [%]
N trials	= 32	
N terms	= 6	

Abbildung 15: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Festigkeit (VV Magermilchpulver)

Mit Hilfe der Koeffizienten und den Termen aus Abb. 15 (s.S.59) lässt sich eine Gleichung für die Wirkung der Variablen auf die Festigkeit aufstellen. Dies erfolgt nach dem gleichen Muster wie für den Overrun. Auch für diese Analysen können mit ECHIP verschiedene Grafiken erstellt werden.

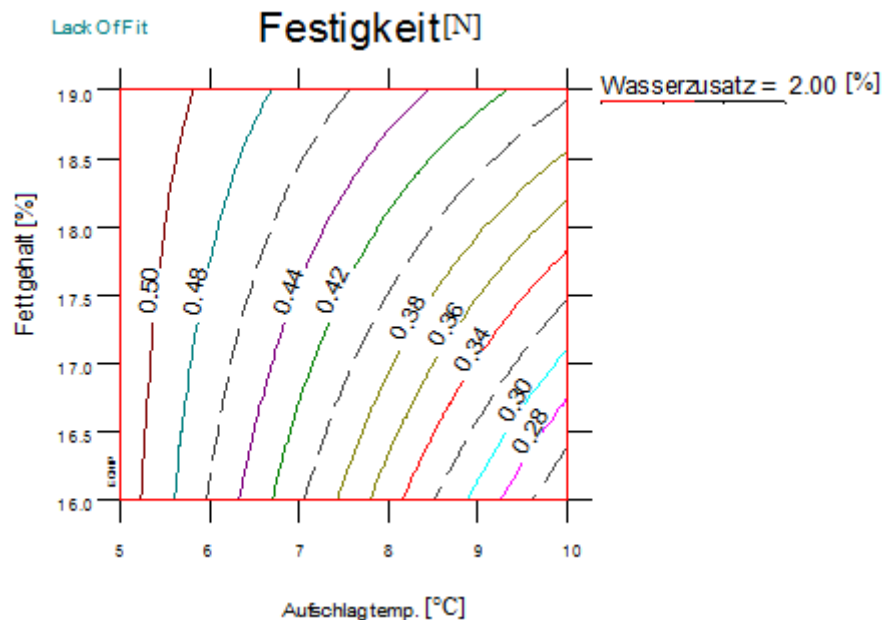


Abbildung 16: 2D-Darstellung Festigkeit (VV Magermilchpulver)

In der Grafik aus Abb. 16 werden trotz Fehler („Lack of Fit“) die Ergebnisse verdeutlicht, dass die Festigkeit bei einem höheren Fettgehalt und einer niedrigeren Aufschlagtemperatur zunimmt. Nachdem die Vorversuche mit Magermilchpulver in ECHIP ausgewertet wurden, erfolgte die lineare Auswertung der Vorversuche mit Vollmilchpulver in ECHIP, um im Anschluss mit einer dieser Rezepturen die Hauptversuche durchzuführen. Dafür wurden zunächst die Daten des Overruns analysiert. Diese wurden unter „Edit Response“ in ECHIP eingetragen. In der Zusammenfassung wurden die Signifikanzen der Terme für den Overrun aufgezeigt, nachdem die Variablen mit einem negativen p-Wert eliminiert wurden.

In Abb. 17 (s.S.61) ist zu sehen, dass die Aufschlagtemperatur, der Fettgehalt und die Aufschlagtemperatur in Verbindung mit dem Fettgehalt einen „höchst signifikanten“ Einfluss auf den Overrun haben. Der Wasserzusatz in Verbindung mit der Aufschlagtemperatur hat einen „signifikanten“ Einfluss. Wie bei den Analysen der Vorversuche mit Magermilchpulver können auch hierbei die Koeffizienten der Terme mit ihren Fehlerwahrscheinlichkeiten eingesehen werden.

«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'Overrun'

Centered continuous variables

COEFFICIENTS	P	TERM
92.2484		0 CONSTANT
1.91987	0.0000	1 Aufschlagtemp. [°C]
-2.72136	0.0000	2 Fettgehalt [%]
-0.45811	0.0006	4 Aufschlagtemp. [°C]*Fettgehalt [%]
-1.15719	0.0146	5 Aufschlagtemp. [°C]*Wasserzusatz [%]

N trials = 32

N terms = 5

Abbildung 17: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Overrun (VV Vollmilchpulver)

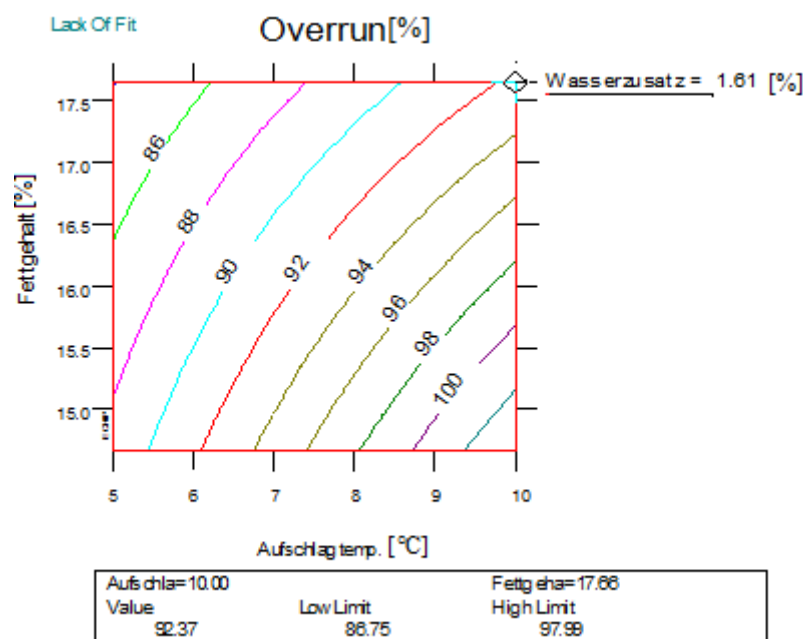


Abbildung 18: 2D-Darstellung Overrun (VV Vollmilchpulver)

Bei der 2D-Grafik in ECHIP ist es möglich, mit einem Fadenkreuz über die Grafik zu fahren und die gewünschten Parameter einzustellen. Dadurch zeigt einem die Grafik das zu erwartende Ergebnis, in diesem Fall den Overrun, an. Das Fadenkreuz wurde nach den Parametern des 2. Vorversuches mit Vollmilchpulver gesetzt. Der Fettgehalt lag bei 17,65%, die Aufschlagtemperatur bei 10°C und der Wasserzusatz bei 1,6%. Nach ECHIP ist mit diesen Einstellungen ein Overrun von 92,37% zu erwarten.

Nach den Literaturangaben (Baumann, 2006) sollte der Overrun ca. 100% erreichen und gilt als ausreichend. Ein höherer Overrun könnte dazu führen, dass die Festigkeit aufgrund des höheren Gasanteils in der Mousse abnimmt. Da der Literaturwert eine ungefähre Angabe ist, wird als maximales Ziel ein Overrun von 110% gewählt. Bei den Referenzproben (Mondamin und Komet) wurde ein Overrun von ca. 90% erreicht. Diese Ergebnisse wurden zur Orientierung als Minimum für den Overrun gewählt. Im 2. Versuch wurde ein Overrun von 91,38% erreicht, dieser ist damit über dem gewählten Minimum von 90%. In dem 4. Versuch wurde ein Overrun von 106,09% gemessen, welcher über der Literaturempfehlung liegt. Für die Analyse der Festigkeit wurden die gemessenen Ergebnisse ebenfalls in ECHIP eingetragen und ausgewertet. Dabei gab es keine Terme mit hohen p-Werten, wodurch keiner eliminiert wurde. Die Abb. 19 zeigt, dass die Aufschlagtemperatur, der Fettgehalt und der Wasserzusatz einen „höchst signifikanten“ Einfluss auf die Festigkeit haben. Die anderen Terme haben einen „hoch signifikanten“ Einfluss.

«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'Festigkeit'		
Centered continuous variables		
COEFFICIENTS	P	TERM
0.590688		0 CONSTANT
0.04275	0.0000	1 Aufschlagtemp. [°C]
0.0947324	0.0000	2 Fettgehalt [%]
0.154531	0.0000	3 Wasserzusatz [%]
0.00750836	0.0053	4 Aufschlagtemp. [°C]*Fettgehalt [%]
-0.03	0.0032	5 Aufschlagtemp.[°C]*Wasserzusatz [%]
0.0441054	0.0082	6 Fettgehalt [%]*Wasserzusatz [%]
N trials	= 32	
N terms	= 7	

Abbildung 19: Koeffizienten der Terme für Festigkeit (VV Vollmilchpulver)

Mit den Koeffizienten und den Termen kann die Wirkung der Variablen in einer Gleichung dargestellt werden.

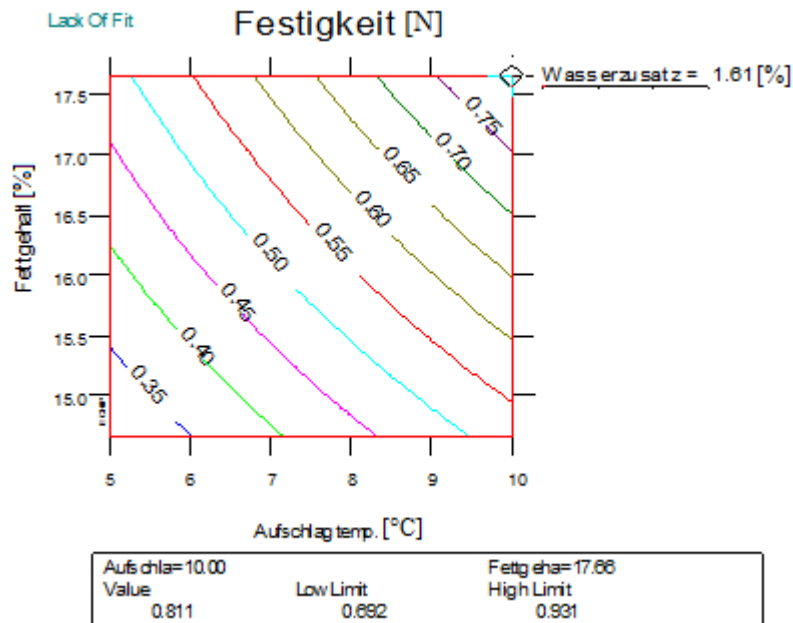


Abbildung 20: 2D-Darstellung Festigkeit (VV Vollmilchpulver)

Mit Hilfe dieser Ergebnisse wurde eine Rezeptur für die Vorversuche im Technikumsmaßstab und die späteren Hauptversuche ausgewählt. Als minimaler Overrun wurden 90% ausgewählt und als maximaler 110%. Damit sollte eine möglichst hohe Schaumfestigkeit gewährleistet werden. In diesem Bereich lagen die Versuche 2, 6, 7 und 8 (siehe Tab.21, s.S. 55). Da in den Versuchen 2 und 6 die signifikant höchste Schaumfestigkeit erzielt wurde, wählten die Versuche 7 und 8 aus der Auswahl. Der Unterschied zwischen Versuch 2 und 6 in der Rezeptur liegt im Wasserzusatz. Bei Versuch 2 lag dieser bei 1,6% und in Versuch 6 bei 2,4%. Um den Gesamtfettgehalt von 20,55% der Mousse au Chocolat halten zu können, musste im Versuch 6, durch den höheren Wasserzusatz, der Sahneanteil erhöht werden. Da die Sahne mit der teuerste Rohstoff in der Rezeptur ist, wurden die Einstellungen des 2. Vorversuches mit Vollmilchpulver ausgewählt und für die Großversuche übernommen. Der Overrun des 2. Vorversuches betrug 91,38% und lag damit zwischen den gewählten Grenzen. Die gemessene Schaumfestigkeit von 0,846N war neben der des 6. Versuches signifikant am höchsten. Das bedeutet, dass in der Rezeptur der Fettgehalt im Milch/Sahne-Mix erhöht (17,65%) war und der Wasserzusatz gesenkt (1,6%). Die Aufschlagtemperatur wurde auf 10°C festgesetzt.

4.1.2. Versuche Schabe-Wärme-Überträger

Am SWÜ im Technikum wurden 2 Vorversuche durchgeführt. Diese sollten zunächst die Ergebnisse der Hauptversuche von Hänel (2008) nachvollziehbar machen. Der Unterschied lag hierbei in der Rezeptur, da statt Magermilchpulver Vollmilchpulver verwendet wurde. Für den 1. Versuch wurden die Einstellungen aus der Studienarbeit des 1. Hauptversuches übernommen (siehe Tab.11, S.40). Der einzige Unterschied bestand darin, dass der Fettgehalt vom Milch/Sahne-Mix in der Rezeptur bereits erhöht war. Während des Versuches wurde in regelmäßigen Abständen die Volumenzunahme gemessen (siehe Anhang, Tab.59, S.121).

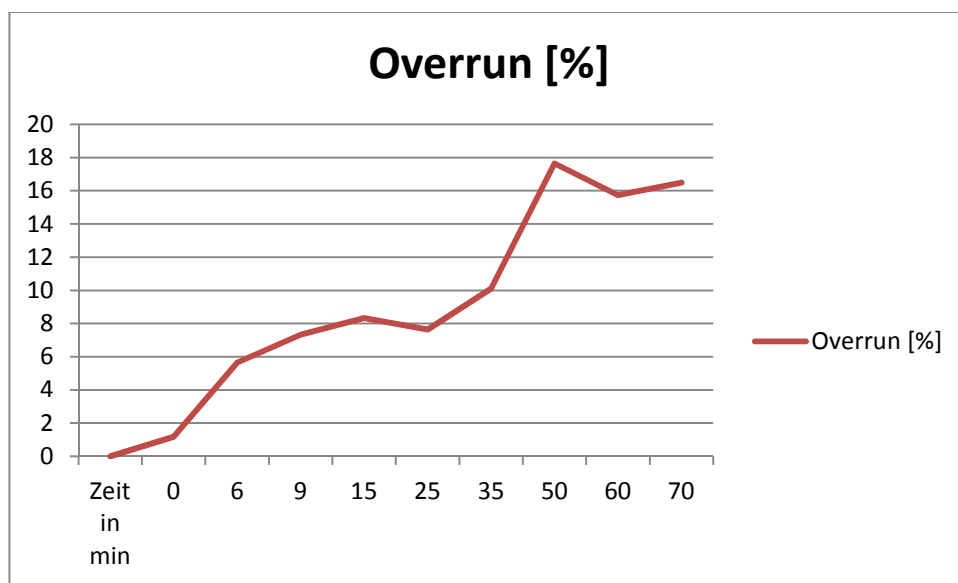


Abbildung 21 : Verlauf Volumenzunahme über Zeit (VV1 SWÜ)

Nach Hänel (2008) wurde unter diesen Einstellungen nach 18min ein Overrun von 66,10% erzielt. Zu diesem Zeitpunkt hatte die Mousse au Chocolat den SWÜ 4 mal durchlaufen (Hänel, 2008). Mit den gleichen Einstellungen konnte in diesem Versuch nach 80 min nur ein Overrun von 16,48% erzielt werden. Bei einem Durchsatz von 138 l/h und einer Produktmenge von 15,6 l ergeben sich 8,8 Durchläufe pro Stunde. Somit hat die Mousse den SWÜ in 80 min ca. 12 mal durchlaufen. Nach Ablauf der 80 min wurde der Versuch abgebrochen und der Mousse-Mix verworfen. Im 2. Versuch wurden die Einstellungen der Studienarbeit des 2. Hauptversuches übernommen (siehe Tab. 11). Der Unterschied war auch hierbei die Verwendung von Vollmilchpulver und eine Aufschlagtemperatur von 10°C statt 5°C. Auch hierbei wurde im Laufe des Versuchs die Volumenzunahme gemessen (siehe Anhang, Tab. 60, S.121).

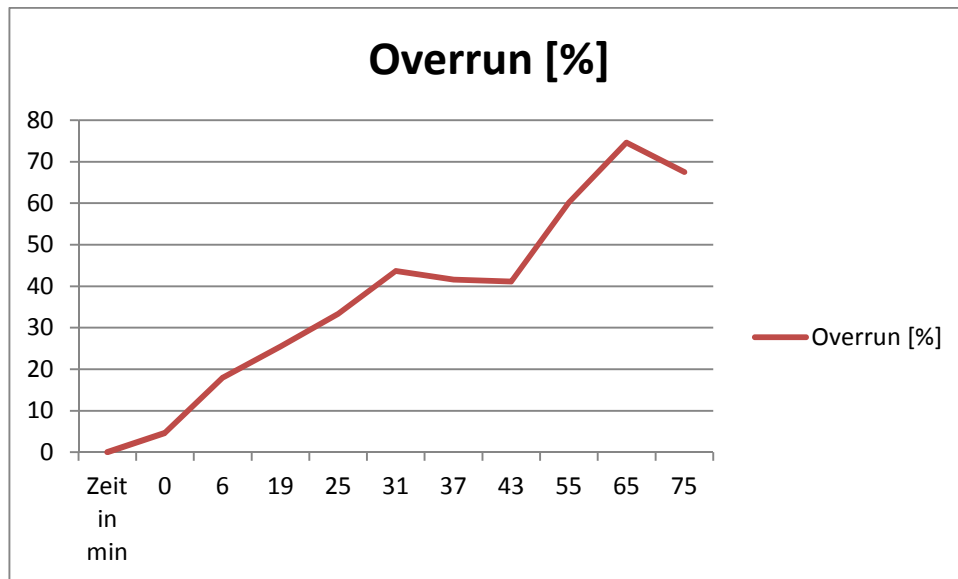


Abbildung 22: Verlauf Volumenzunahme über Zeit (VV2 SWÜ)

Wie Abb. 22 zeigt, war auch in diesem Versuch zunächst keine starke Volumenzunahme zu erkennen. Deswegen wurde nach 13 min die Frequenz des SWÜ auf 100Hz erhöht. Als nach 55min keine weitere Volumenzunahme erkennbar war, wurde die Frequenz des SWÜ erneut erhöht (auf 130Hz). Die 2. Erhöhung war jedoch ein Fehler in der Bedienung und hätte nicht vorgenommen werden dürfen, da es bei diesen Drehzahlen zum Verschleiß am SWÜ kommt. Bei Hänel (2008) wurde nach 21min ein Overrun von 91,10% erzielt und die Mousse au Chocolat durchlief den SWÜ 2 mal (Hänel, 2008). Durch die Frequenzerhöhung konnte hierbei nach 85 min ein Overrun von 67,48% erzielt werden. Bei einem Durchsatz von 60 l/h und einer Produktmenge von 15,6 l durchlief der Mousse-Mix den SWÜ ca. 6 mal. Anschließend wurde die Mousse au Chocolat abgefüllt und bei ca. 8°C eingelagert.

Tabelle 23: Messung Schaumfestigkeit VV2 SWÜ

Probe	Festigkeit [N]
1	0.010
2	0.012
3	0.009
4	0.012
Mittelwert	0.011
SD*	0.002
VK**	13.636

(* = Standardabweichung, ** = Variationskoeffizient)

Die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung des 2. Versuchs sind im Punkt 4.5 zu sehen (s.S.104).

4.1.3. Versuche Satz-Druck-Maschine

An der SDM wurden ebenfalls 2 Vorversuche durchgeführt. Diese dienten zum einen der Einarbeitung an der Maschine. Zum anderen sollten dadurch Erkenntnisse gesammelt werden, um die Hauptversuche optimal zu planen. Die Versuchsrezeptur ist in Tab. 10 (s.S. 39) aufgeführt. Im ersten Vorversuch an der SDM wurde die Drehzahl der Mischerwelle auf 105 rpm und die Drehzahl der Wirbelkammer auf 1458 rpm eingestellt. Um den gewünschten Druck von 4bar rasch zu erreichen, wurde die Luftdosierung auf 10Nl/min eingestellt, dies dauerte 17,35min. Nachdem der Druck erreicht wurde, wurde das Ventil der Luftinjektion geschlossen und der Druck blieb konstant. Die Aufschlagtemperatur lag bei 10°C (siehe Tab.12). Nach Ablauf der Aufschlagzeit von 20min, wurden die Drehzahlen auf 20% reduziert und die Mousse au Chocolat durch den Auslass direkt abgefüllt. Anschließend wurde der Overrun bestimmt.

Tabelle 24: Messung Overrun VV1 SDM

Versuch	Masse [g]	Dichte [g/ml]	Overrun [%]
VV1 SDM	26.4	0.406	155.02
	25.0	0.385	169.3
	24.6	0.378	173.68
	24.7	0.380	172.57
Mittelwert	25.18	0.387	167.64
SD	0.83	0.01	8.62
VK	3.31	3.32	5.14

Die Ermittlung des Overruns erfolgte mit Hilfe der Rohdichte des unaufgeschlagenen Mousse-Mixes. Das Mittelwert der Rohdichte betrug 1,04g/ml. Wie in Tab. 24 zu sehen ist, wurde bei diesem Versuch ein Overrun von 167,64% erreicht. Da in der Literatur (Baumann, 2006) Richtwerte von 100% angegeben werden, kann dieses Ergebnis als gut bewertet werden. Es jedoch zu erkennen, dass die Mousse keine gute Luftblasenstruktur aufwies. Zwar wurde viel Luft in das Produkt eingeschlagen, aber es waren nur viele vereinzelte große Luftblasen zu erkennen. Nach einer Lagerdauer von 24h (bei ca. 8°C) wurde die Festigkeit gemessen. Des Weiteren wurde die Mousse auf ihre Gesamtkeimzahl, Hefen/Schimmel und Enterobakterien untersucht. Diese Ergebnisse sind im Punkt 4.5 zu sehen (s.S.104).

Tabelle 25: Messung Festigkeit VV1 SDM

Probe	Festigkeit [N]
1	0.012
2	0.011
3	0.008
4	0.009
Mittelwert	0.010
SD	0.002
VK	18.26

In Tabelle 25 sind die gemessenen Festigkeiten der 4 Proben sowie deren Mittelwert zu sehen. Die Festigkeit von 0,010N ist jedoch sehr gering. Das Produkt war eher flüssig und hatte die Konsistenz von Pudding. Ein möglicher Grund dafür kann die Entnahme der Mousse au Chocolat aus der SDM sein. Der Innendruck von 4bar wurde nach dem Aufschlagprozess nicht ausgeglichen. Die Mousse spritzte dadurch sehr stark aus dem Auslass heraus und es bildete sich keine stabile Struktur aus. Im 2. Vorversuch an der SDM wurden grundlegend die gleichen Parametereinstellungen verwendet. Die Aufschlagtemperatur lag auch bei 10°C und die Drehzahlen waren identisch. Der einzige Unterschied war der Innendruck von 1bar. Dieser wurde nach 2,22min erreicht und das Ventil wurde verschlossen. Nach Ablauf der Aufschlagzeit von 20 min wurden die Drehzahlen beider Mischelemente auf 20% reduziert. Um das starke Spritzen bei der Entnahme des Produktes zu verhindern, wurde diesmal zunächst der Innendruck auf Umgebungsdruck ausgeglichen. Dafür wurde das Ventil an der hinteren Seite um ca. 1/3 manuell geöffnet. Während des Druckausgleiches war eine deutliche Volumenzunahme der Masse in der SDM zu beobachten. Dieser Schritt wurde für die Hauptversuche als wichtiger Prozessschritt hinzugefügt. Nachdem der Druck ausgeglichen war (ca. 30 sec), wurde die Masse durch die Mischelemente aus der SDM gedrückt, in Schalen (V=1l) abgefüllt und bei ca. 8°C eingelagert. Des Weiteren wurden Proben für die Messung des Overruns gezogen.

Tabelle 26: Messung Overrun VV2 SDM

Versuch	Masse [g]	Dichte [g/ml]	Overrun [%]
VV1 SDM	35.3	0.543	90.72
	33.8	0.52	99.19
	34.1	0.525	97.43
	34.6	0.532	94.58
Mittelwert	34.45	0.53	95.48
SD	0.66	0.01	3.70
VK	1.90	1.88	3.87

Der Mittelwert der Rohdichte zur Ermittlung des Overruns lag bei 1,05g/ml. In Tab. 26 (S.67) ist die Volumenzunahme der Mousse au Chocolat zu sehen. Diese liegt bei 95,48% und ist damit höher als die der Referenzproben von Komet, dem Pulver von Dr. Oetker sowie dem Fertigprodukt. Nach 24h Lagerung wurde ebenfalls die Festigkeit der Mousse bestimmt.

Tabelle 27: Messung Festigkeit VV2 SDM

Probe	Festigkeit [N]
1	0.421
2	0.415
3	0.399
4	0.401
Mittelwert	0.403
SD	0.011
VK	2.66

In Tabelle 27 sind die Ergebnisse der Festigkeitsmessung und deren Mittelwert zu sehen. Schon beim Auslassen der Mousse aus der SDM war zu sehen, dass sie eine deutlich bessere Struktur und Stabilität aufwies. Der Grund für diese Verbesserung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der Druckausgleich nach dem Aufschlagprozess. Durch die plötzliche Druckentlastung konnte die Mousse eine gute Stabilität ausbilden. Dies lässt sich mit dem Prinzip der Sprühschlagsahne vergleichen. Es wurde eine höhere Festigkeit erreicht und diese liegt deutlich über der vom Vorversuch 1 an der SDM. Das Fertigprodukt von Dr. Oetker, eine hitzebehandelte, lagerstabile Mousse au Chocolat, wies eine Festigkeit von 0,450N auf. Somit wurde fast die Festigkeit eines Handelsproduktes erreicht. Um einen Einblick in den mikrobiologischen Status zu bekommen, wurden Proben gezogen und ausgewertet. Die Ergebnisse sind im Punkt 4.5 (s.S.104) aufgeführt.

4.2. Hauptversuche

Insgesamt wurden 14 Hauptversuche durchgeführt, darin waren 5 Wiederholungsversuche enthalten. Die Ergebnisse der Wiederholungsversuche sind mit dem jeweiligen Erstversuch unter einem Punkt aufgeführt. Aufgrund der Erkenntnisse aus den Vorversuchen wurden alle Hauptversuche an der Satz-Druck-Maschine durchgeführt. Die Luftdosierung wurde auf 10Nl/min eingestellt, die Aufschlagzeit auf 20min festgesetzt und die Rezepturen auf 15kg berechnet.

Da alle Hauptversuche im Rahmen einer sensorischen Profilprüfung verkostet und bewertet wurden, mussten die Verzehrfähigkeit und die gesundheitliche Unbedenklichkeit gewährleistet sein. Dafür wurden von allen Versuchen Proben gezogen und mikrobiologisch untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind im Punkt 4.5 (s.S.104) dargestellt.

4.2.1. Hauptversuch 1 (mit Wiederholung)

Durch die Planung mit ECHIP gehörte der 1. Hauptversuch (HV) zu denen, die wiederholt wurden. Dies sollte die statistische Sicherheit der Ergebnisse erhöhen. Im 1. HV wurden folgende Prozessparameter eingestellt. Die Drehzahl der Mischerwelle wurde auf 105 rpm eingestellt und die Drehzahl der Wirbelkammer auf 1458 rpm. Der zu erreichende Innendruck durch die Luftinjektion in der SDM lag bei 3bar.

Tabelle 28: Ergebnisse HV 1 (Erstversuch)

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
1	66.0	33.0	0.508	101.39	0.243
	66.5	33.2	0.511	100.18	0.226
	66.7	34.3	0.528	93.76	0.232
	66.3	34.1	0.525	94.9	0.237
	66.8	34.2	0.526	94.33	0.23
Mittelwert	66.46	33.76	0.519	96.91	0.234
SD	0.32	0.61	0.009	3.58	0.007
VK	0.48	1.81	1.80	3.70	2.81

Tab. 28 zeigt die Ergebnisse des 1 HV nach der Produktion. Für die Berechnung des Overruns wurde zunächst die Dichte des unaufgeschlagenen Mousse-Mixes berechnet. Dafür wurde von 5 Proben die Masse ermittelt und aus dem Mittelwert die Rohdichte bestimmt. Die Rechnung ist im Punkt 3.3.1 (s.S.31, Gleichung 1) zu sehen. Die Rohdichte des 1 HV betrug 1,022g/ml. Daraus ergab sich der in Tab. 28 aufgeführte Overrun.

Im Wiederholungsversuch, HV1(W), wurden die Daten nach demselben Muster ermittelt.

Tabelle 29: Ergebnisse HV 1 (W)

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
1(W)	66.9	34.3	0.52	94.63	0.167
	67.1	33.7	0.51	98.1	0.151
	66.7	33.9	0.52	96.93	0.217
	66.5	33.7	0.51	98.1	0.22
	66.6	33.5	0.51	99.28	0.162
Mittelwert	66.76	33.82	0.52	97.41	0.183
SD	0.24	0.30	0.01	1.76	0.033
VK	0.36	0.90	1.05	1.81	17.80

Die Berechnung der Rohdichte erfolgte wie für den HV1 und lag bei 1,027g/ml. Dadurch ergaben sich die Werte des Overruns aus Tab. 29. Der Erstversuch hatte einen Overrun von 96,91%. Somit liegt der Unterschied zwischen Versuchen bei 0,52%.

Die gemessene Festigkeit von 0,183N ist sehr niedrig. Der Unterschied zum Vorversuch ist 21,79% und damit sehr hoch.

4.2.2. Hauptversuch 2 (mit Wiederholung)

Auch für den 2. Hauptversuch wurde durch ECHIP ein Wiederholungsversuch eingeplant. In diesen Versuchen wurde die Drehzahl der Mischerwelle auf 60rpm, die Drehzahl der Wirbelkammer auf 810 rpm und der Druck auf 1bar eingestellt.

Tabelle 30: Ergebnisse HV2 (Erstversuch)

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
2	66.7	32.2	0.49	106,89	0.273
	66.6	32.5	0.50	104,99	0.284
	66.6	31.9	0.49	108,84	0.292
	66.3	32.1	0.49	107,54	0.261
	66.9	32.6	0.50	104,36	0.259
Mittelwert	66.62	32.26	0.49	106.52	0.274
SD	0.22	0.29	0.01	1.84	0.014
VK	0.33	0.89	1.12	1.73	5.22

In Tab. 30 ist die Zusammenfassung der Ergebnisse des 2. Hauptversuches zu sehen. Die Rohdichte zur Berechnung des Overruns lag bei 1,025g/ml. Die gemessene Festigkeit von ist sehr niedrig. Die Mousse au Chocolat aus diesem Versuch hatte eine eher flüssige Konsistenz und war weniger stabil. Des Weiteren enthielt sie viele größere Luftblasen, die nicht gut in dem Mix verteilt waren.

Für die Wiederholung des 2. Hauptversuches wurden folgende Ergebnisse ermittelt.

Tabelle 31: Ergebnisse HV2(W)

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
2(W)	67.3	33.1	0.51	102.36	0.278
	67.1	32.9	0.51	103.59	0.278
	66.5	32.4	0.50	106.73	0.264
	66.9	32.8	0.50	104.21	0.251
	67.1	32.6	0.50	105.46	0.268
Mittelwert	66.98	32.76	0.50	104.47	0.268
SD	0.303	0.270	0.01	1.69	0.011
VK	0.45	0.82	1.10	1.61	4.19

Die Tab. 31 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse des HV2(W). Die ermittelte Rohdichte vom Mousse-Mix lag bei 1,03g/ml. Daraus konnte der Overrun berechnet werden. Im Erstversuch wurde ein Overrun von 106,52% erzielt, somit liegt der Unterschied zwischen diesen Versuchen bei 1,82%. Der Mittelwert der Festigkeit betrug 0,268N.

Wie im Erstversuch wurde auch hierbei eine schlechte Festigkeit erzielt. Der Unterschied zwischen dem Erst- und dem Wiederholungsversuch in Bezug auf die Festigkeit liegt bei 2,19%.

4.2.3. Hauptversuch 3

Die von ECHIP geplanten Drehzahlen der Misch- und Wirbelkammer lagen im 3. Hauptversuch bei 105 rpm und 810 rpm. Der zu erreichende Innendruck wurde auf 1bar festgesetzt. Nachdem die Mousse hergestellt war, wurden der Overrun und die Schaumfestigkeit ermittelt.

Tabelle 32: Ergebnisse HV3

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
3	66.9	34.4	0.53	94.01	0.474
	67.2	33.7	0.52	98.04	0.451
	66.3	33.3	0.51	100.42	0.475
	66.1	33.6	0.52	98.63	0.463
	67.2	34.4	0.53	94.01	0.439
Mittelwert	66.74	33.88	0.52	97.02	0.46
SD	0.513	0.497	0.008	2.89	0.015
VK	0.77	1.47	1.61	2.97	3.35

In Tab. 32 ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse vom HV3 zu sehen. Die Rohdichte vom Mousse-Mix betrug 1,027g/ml, womit der Overrun errechnet wurde. In diesem Versuch wurde eine gute Festigkeit von 0,460N erzielt. Die Mousse au Chocolat hatte eine gute Konsistenz und wirkte beim Abfüllen sehr stabil. Auch die Verteilung der Luft im Mix war gleichmäßig bei gleichgroßer Luftblasengröße.

4.2.4. Hauptversuch 4 (mit Wiederholung)

Für den 4. Hauptversuch wurde durch ECHIP ebenfalls ein Wiederholungsversuch eingeplant. Die Drehzahl der Mischerwelle lag bei 60 rpm und die der Wirbelkammer bei 1458 rpm. Durch die Luftinjektion sollte in diesem Versuch ein Innendruck von 3bar erreicht werden.

Tabelle 33: Ergebnisse HV4 (Erstversuch)

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
4	66.5	30.4	0.47	118.95	0.159
	66.3	31.5	0.48	111.3	0.145
	66.9	32.7	0.50	103.55	0.152
	66.7	32.1	0.49	107.35	0.146
	66.4	32.3	0.5	106.07	0.147
Mittelwert	66.6	31.8	0.49	109.44	0.150
SD	0.241	0.894	0.013	6.01	0.006
VK	0.36	2.81	2.66	5.49	3.87

In Tab. 33 (s.S.72) ist die Zusammenfassung der Ergebnisse des HV4 zu sehen. Die ermittelte Rohdichte zur Berechnung des OVERRUNS war 1,024g/ml. In diesem Versuch konnte ein hoher OVERRUN erzielt werden. Die Schaumfestigkeit war in diesem Versuch sehr niedrig und damit sehr schlecht. Die Mousse au Chocolat hatte eine sehr weiche Konsistenz, ähnlich wie Pudding und besaß keine stabile Struktur. Es waren vermehrt große Luftblasen erkennbar und die Verteilung der Luft im Mix war nicht optimal.

Bei den Messungen des OVERRUNS und der Schaumfestigkeit von dem Wiederholungsversuch wurden folgende Werte ermittelt.

Tabelle 34: Ergebnisse HV4 (W)

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	OVERRUN in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
4(W)	67.0	30.1	0.46	122.26	0.156
	66.9	30.0	0.46	123.00	0.150
	66.5	31.3	0.48	113.74	0.146
	67.3	30.0	0.46	123.00	0.133
	66.8	30.8	0.47	117.21	0.146
Mittelwert	66.9	30.4	0.47	119.84	0.146
SD	0.292	0.586	0.01	4.18	0.008
VK	0.44	1.92	1.90	3.49	5.78

Die Rohdichte der unaufgeschlagenen Mousse au Chocolat war 1,029g/ml. Damit konnte der OVERRUN berechnet werden. Der gemessene OVERRUN unterscheidet sich um 8,68% vom Erstversuch (HV4). In diesem Versuch wurde eine sehr geringe Schaumfestigkeit erzielt. Wie schon in dem ersten Versuch deutlich wurde, war auch diese Mousse au Chocolat sehr weich und nicht stabil. Auch die Verteilung der Luftblasen im Mix war nicht optimal.

4.2.5. Hauptversuch 5

Die einzustellenden Prozessparameter für den 5. Hauptversuch waren eine Mischerwellendrehzahl von 60 rpm und eine Wirbelkammerdrehzahl von 1458 rpm. Durch die Luftinjektion sollte ein Innendruck von 1bar erreicht werden.

Tabelle 35: Ergebnisse HV5

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
5	67.1	39.2	0.60	71.33	0.177
	67.6	38.2	0.59	75.81	0.166
	67.3	39.3	0.60	70.89	0.164
	66.8	39.9	0.61	68.32	0.160
	67.0	37.6	0.58	78.62	0.162
Mittelwert	67.16	38.84	0.60	72.99	0.166
SD	0.305	0.924	0.011	4.14	0.007
VK	0.45	2.38	1.90	5.67	4.01

In Tab.35 sind die zusammengefassten Ergebnisse vom HV5 zu sehen. Der Overrun wurde mit Hilfe der Rohdichte von 1,003g/ml berechnet. Die Mousse au Chocolat hatte hierbei aber nur eine sehr geringe Volumenzunahme. Auch die Schaumfestigkeit dieses Versuches war sehr gering. Beim Abfüllen der Mousse au Chocolat war bereits zu sehen, dass die Konsistenz sehr weich war und keine stabile Struktur vorhanden war. Die Luftblasenverteilung im Mix war nicht optimal und es waren viele große Luftblasen erkennbar.

4.2.6. Hauptversuch 6 (mit Wiederholung)

Der 6. Hauptversuch gehörte zu denen, die wiederholt wurden. Dabei wurde die Drehzahl der Mischerwelle auf 105 rpm und die Drehzahl der Wirbelkammer auf 810 rpm eingestellt. Der zu erreichende Innendruck war in diesem Fall 3bar.

Tabelle 36: Ergebnisse HV6 (Erstversuch)

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
6	66.9	29.5	0.45	126.78	0.296
	67.3	29.4	0.45	127.55	0.271
	66.8	29.8	0.46	124.50	0.288
	66.4	29.7	0.46	125.25	0.289
	67.1	29.7	0.46	125.25	0.298
Mittelwert	66.9	29.6	0.46	125.87	0.288
SD	0.339	0.164	0.005	1.25	0.011
VK	0.51	0.55	1.19	1.00	3.70

Die Berechnung des Overruns erfolgte mit Hilfe der Rohdichte von 1,029g/ml.

Für den Wiederholungsversuch HV6(W) wurden folgende Werte gemessen.

Tabelle 37: Ergebnisse HV6 (W)

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
6(W)	66.3	30.3	0.47	119.08	0.226
	66.4	29.5	0.45	125.02	0.219
	66.1	29.3	0.45	126.55	0.227
	66.9	30.6	0.47	116.93	0.188
	66.2	29.9	0.46	122.01	0.190
Mittelwert	66.4	29.9	0.46	121.92	0.210
SD	0.311	0.540	0.010	4.00	0.019
VK	0.47	1.81	2.17	3.28	9.25

Die Rohdichte hatte einen Wert von 1,021g/ml, womit der Overrun errechnet wurde. In diesem Versuch war wieder eine hohe Volumenzunahme zu sehen und sie liegt nur 3,15% unter dem des Erstversuches. Die Schaumfestigkeit war in beiden Versuchen gering. Der Unterschied der Schaumfestigkeit ist mit 17,09% hoch.

4.2.7. Hauptversuch 7

Für den 7. Hauptversuch wurde die Drehzahl der Mischerwelle auf 60 rpm eingestellt und die der Wirbelkammer auf 810 rpm. Der zu erreichende Innendruck lag bei 3bar.

Tabelle 38: Ergebnisse HV7

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
7	66.8	26.5	0.41	152.00	0.413
	67.1	26.5	0.41	152.00	0.409
	66.5	26.5	0.41	152.00	0.337
	66.5	26.3	0.40	153.92	0.262
	67.0	27.4	0.42	143.72	0.263
Mittelwert	66.8	26.6	0.41	150.73	0.337
SD	0.277	0.434	0.007	4.00	0.074
VK	0.42	1.63	1.72	2.66	22.04

Um den Overrun zu ermitteln, wurde mit einer Rohdichte von 1,027g/ml gerechnet. In diesem Versuch wurde ein sehr hoher Overrun erreicht. Bei der Schaumfestigkeit wurde ein gutes Ergebnis erreicht. Dabei ist jedoch zu sehen, dass der Variationskoeffizient sehr hoch ist.

4.2.8. Hauptversuch 8

Im 8. Hauptversuch lagen die Drehzahlen der Misch- und Wirbelkammer bei 105 rpm und 1458 rpm. Durch die Luftinjektion sollte ein Prozessdruck von 1bar erreicht werden.

Tabelle 39: Ergebnisse HV8

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
8	67.1	38.7	0.60	72.56	0.163
	66.9	40.2	0.62	66.12	0.158
	66.6	39.4	0.61	69.49	0.162
	66.4	39.5	0.61	69.06	0.158
	66.9	39.6	0.61	68.64	0.168
Mittelwert	66.8	39.5	0.61	69.15	0.162
SD	0.277	0.536	0.01	2.30	0.004
VK	0.42	1.36	1.16	3.33	2.56

Die Rohdichte zur Berechnung des Overruns lag bei 1,027g/ml. In diesem Versuch wurde ein sehr schlechter Overrun von nur erzielt. Eine mögliche Ursache dafür können die hohen Drehzahlen sein. Es war zwar möglich, dass genug kristallines Fett freigelegt wurde, durch die Drehzahlen wurden die gebildeten Agglomerate und Strukturen jedoch zerschlagen. Somit war kein stabiles Gerüst vorhanden um die Gasblasen im Mix zu halten. Dies zeigte sich auch in der sehr niedrigen Schaumfestigkeit.

4.2.9. Hauptversuch 9

Der letzte Hauptversuch wurde ebenfalls wiederholt. Die Drehzahlen der Misch- und Wirbelkammer lagen bei 82,5 rpm und 1134 rpm. Der Prozessdruck sollte dabei auf 2bar gebracht werden.

Tabelle 40: Ergebnisse HV9 (Erstversuch)

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
9	66.5	27.8	0.43	140.36	0.413
	66.3	27.5	0.42	142.98	0.401
	67.4	28.1	0.43	137.79	0.388
	66.9	28.3	0.44	136.11	0.367
	67.0	27.6	0.42	142.10	0.370
Mittelwert	66.8	27.9	0.43	139.84	0.388
SD	0.432	0.336	0.008	2.89	0.020
VK	0.65	1.21	1.95	2.06	5.09

Der Wert der Rohdichte zur Berechnung des Overruns lag bei 1,028g/ml. Mit den angegebenen Prozessparametern konnte ein hoher Overrun erreicht werden. Es wurde eine gute Schaumfestigkeit erzielt. Beim Abfüllen der Mousse zeigte sie eine feste Konsistenz und eine gute Stabilität.

Bei der Analyse des Wiederholungsversuches wurden folgende Werte gemessen.

Tabelle 41: Ergebnisse HV9 (W)

Versuch	Masse in [g]		Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
	t=0[min]	t=20[min]			
9(W)	67.2	29.8	0.46	124.9	0.247
	67	31.2	0.48	114.81	0.245
	66.9	31	0.48	116.19	0.254
	67.3	31.9	0.49	110.09	0.242
	66.7	30.8	0.47	117.6	0.245
Mittelwert	67.02	30.94	0.48	116.61	0.247
SD	0.239	0.760	0.011	5.38	0.005
VK	0.36	2.46	2.38	4.61	1.82

Für die Berechnung des Overruns wurde mit einer Rohdichte von 1,031g/ml gerechnet. In diesem Versuch konnte zwar ein hoher Overrun erzielt werden, der Unterschied zum Erstversuch liegt jedoch bei 18,63%. Da alle Parameter genau eingehalten wurden, liegt der Grund dafür wahrscheinlich in dem manuellen Druckausgleich. Es wurde zwar immer versucht das Ventil um ca. 1/3 zu öffnen, da dies aber durch die optische Einschätzung geschah, können an dem Punkt sehr leicht Abweichungen/Fehler entstehen.

Hierbei wurde ein Wert von 0,247N ermittelt. Auch hierbei ist der Unterschied zum Erstversuch mit 36,34% sehr hoch. Wie bereits erwähnt, ist die wahrscheinlichste Fehlerquelle der manuelle Druckausgleich. Dieser war vermutlich zu stark, also das Ventil wurde zu weit geöffnet, wodurch sich das Gas zu stark ausdehnte und die gebildete Struktur der Fettkristalle zerstörte.

4.2.10. Varianzanalyse der Hauptversuche

Durch eine Varianzanalyse der Daten sollte ermittelt werden, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Versuchen gibt. Dadurch kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% gesagt werden, dass es bei mindestens einem der Mittelwert-Paare der Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. Da durch die ANOVA nicht genau ausgesagt wird, welche Paare sich unterscheiden, wurde ein Tukey-Test durchgeführt.

Tabelle 42: Ergebnisse (Overrun) Tukey-Test Hauptversuche (Irrtumswahrscheinlichkeit 1%)

Versuch	Overrun (Mittelwert) [%]	Gruppe
7	150.73	A
9	139.87	B
6	125.87	C
6(W)	121.92	C;D
4(W)	119.84	C;D
9(W)	116.72	D;E
4	109.44	E;F
2	106.52	F;G
2(W)	104.47	F;G;H
1(W)	97.41	G;H;I
3	97.02	H;I;J
1	96.91	H;I;J
5	72.99	K
8	69.17	K

In der Tab.42 sind die Ergebnisse des Tukey-Tests vom Overrun zusammengefasst. Dabei wurde ermittelt, welche der Versuche sich signifikant voneinander unterscheiden (Irrtumswahrscheinlichkeit 1%). Damit erfolgte eine Einteilung der Versuche in Gruppen, Versuche die sich nicht unterscheiden sind mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnet. Der angestrebte Overrun lag zwischen 90% und 110%. Wie zu sehen ist haben 6 Versuche den maximal angestrebten Overrun von 110% überschritten. Am deutlichsten ist dies bei Versuch 7 zu sehen, aber auch die Versuche 6 und 9 liegen weit darüber. Eine mögliche Ursache dafür ist der höhere Enddruck in Verbindung mit den geringeren Drehzahlen. Die angestrebte Volumenzunahme (90%-110%) konnte in 6 Versuchen erzielt werden. In den Versuchen 5 und 8 wurde ein sehr niedriger Overrun erzielt. Dieser lag bei Versuch 5 um 17,01% und bei Versuch 8 um 20,83% unter dem angestrebten Bereich. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Einteilung der Versuche, die wiederholt wurden. Dabei sollten theoretisch keine signifikanten Unterschiede nachweisbar sein. Auf die Versuche 1, 2 und 6 trifft dies beim Overrun zu.

Beim 4. Und 9. Versuch konnten in Bezug auf den Overrun signifikante Unterschiede festgestellt werden. Die Wiederholbarkeit konnte in 2 Versuchen also nicht gewährleistet werden.

Für die Schaumfestigkeit ergaben sich beim Tuckey-Test folgende Ergebnisse.

Tabelle 43: Ergebnisse (Schaumfestigkeit) Tukey-Test Hauptversuche (Irrtumswahrscheinlichkeit 1%)

Versuch	Festigkeit (Mittelwert) [N]	Gruppe
3	0.460	A
9	0.388	B
7	0.337	B;C
6	0.288	C;D
2	0.274	D;E
2(W)	0.268	D;E;F
9(W)	0.246	D;E;F;G
1	0.234	D;E;F;G;H
6(W)	0.210	E;F;G;H;I
1(W)	0.183	H;I;J
5	0.166	I;J;K
8	0.162	I;J;K;L
4	0.150	J;K;L;M
4(W)	0.146	J;K;L;M

In der Literatur wurden keine genauen Angaben zur Schaumfestigkeit gefunden. Daher wurde die gemessene Festigkeit der hitzebehandelten, lagerstabilen Mousse au Chocolat von Dr. Oetker (Fertigprodukt, siehe Tab.21, S.56) als Referenzwert (0,450 N) genutzt und ein angestrebter Bereich zwischen 0,350 N und 0,550 N gewählt. Wie in dem angestrebten Bereich des Overruns (Referenzwert: 100%) liegen auch diese Grenzen ca. 10 % um den Referenzwert. der Im 3. Versuch konnte die signifikant höchste Schaumfestigkeit erzielt werden, welcher damit auch in dem angestrebten Bereich liegt. Im 9. Versuch konnte eine Schaumfestigkeit knapp unter dem Grenzwert erreicht werden. In den anderen Versuchen weicht die Festig stark von dem gewählten Bereich ab.

4.2.11. Bilanzierung der Hauptversuche

Während den Versuchsdurchläufen wurde von den verwendeten Maschinen der Energieverbrauch mittels Stromzähler gemessen, um heraus zu finden wie viel Energie die Herstellung von 1kg Mousse au Chocolat verbraucht. Des Weiteren wurde der Wasserverbrauch des Kühlaggregats aufgezeichnet und eine Wärmebilanz erstellt. Eine Mengenbilanz sollte die Verluste nach der Produktion aufzeigen. Durch die Bilanzierung konnte die Prozessqualität der einzelnen Versuche verglichen und bewertet werden.

Tabelle 44: Ergebnisse Energie- und Mengenbilanz der Hauptversuche

Versuch	Energieverbrauch [kWh]	Gruppe (Energieverbrauch [kWh])	Energieverbrauch in [kWh/kg] fertiges Produkt	Verlustmenge Produkt [%]
7	3.63	A	0.33	26.1
1(W)	3.61	A	0.25	5.64
1	3.30	B	0.24	6.95
8	3.29	B	0.27	19.75
6(W)	3.26	B	0.23	7.34
4	3.25	B	0.23	6.06
9	3.19	B,C	0.24	11.43
3	3.13	C	0.23	7.91
5	3.10	C,D	0.22	5.65
9(W)	3.10	C,D	0.22	7.60
2	3.08	C,D	0.22	6.06
4(W)	3.08	C,D	0.22	7.11
6	3.01	D	0.22	7.70
2(W)	3.00	D	0.21	5.05
Mittelwert	3.22	-	0.24	9.31
SD	0.20	-	0.03	6.10
VK	6.12	-	12.78	65.49

In Tab. 44 ist eine Zusammenfassung der Energie- und Mengenbilanz der Hauptversuche zu sehen. Die einzelnen Messwerte des Energieverbrauchs sind im Anhang in Tab.65 (S.124) und die der Mengenbilanz in Tab.64 (S.123) aufgeführt. Um den Energieverbrauch des Herstellungsprozesses der verschiedenen Versuche besser vergleichen zu können wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Diese zeigte, dass es zwischen den Versuchen signifikante Unterschiede gibt, weswegen ein Tuckey-Test durchgeführt wurde. Damit konnten die Versuche in Gruppen eingeteilt werden. Wie zu sehen ist, wurde in den Versuchen 1(W) und 7 die signifikant meiste Energie verbraucht. Eine mögliche Ursache im Versuch 1(W) könnte die hohe Drehzahl der Wirbelkammer (1458 rpm) sein.

Im 7. Versuch waren die Drehzahlen beider Mischelemente an den unteren Grenzen, daher kann der hohe Verbrauch dadurch nicht erklären. Eine andere Möglichkeit ist, der Versuch Nr.7 war nach der Planung von ECHIP der erste durchzuführende Versuch. Da noch nicht so viel Erfahrung für den Herstellungsprozess vorhanden war, dauerte in diesem Versuch z.B. der Kühlprozess (auf 10°C) länger als bei den anderen Versuchen (siehe Anhang Tab. 65, S.124). In den folgenden Versuchen der Rangordnung lässt sich der Energieverbrauch auch auf die Drehzahlen zurückführen. Im 8. Versuch wurden beide Drehzahlen auf die obere Grenze eingestellt. Um im weiteren den Energieverbrauch für die fertig hergestellte Mousse zu ermitteln wurde eine Mengenbilanz erstellt. Die Verlustmenge bezieht sich bei allen Versuchen auf die Einwaage von 15 kg Mousse-Mix. Der um 27,92% höhere Energieverbrauch im HV7 lässt sich durch den hohen Mengenverlust von 26,10% erklären. Beim Abfüllen der Mousse aus diesem Versuch blieb ein großer Teil der Masse in der SDM an den Rändern kleben. Auch in den Versuchen 8 und 9 waren die Mengenverluste sehr hoch. Eine Auswertung mit ECHIP sollte die Abhängigkeit des Energieverbrauchs von den Prozessparametern aufzeigen.

«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'EnergieverbrauchHP'		
Centered continuous variables		
COEFFICIENTS	P	TERM
3.20675		0 CONSTANT
0.115051	0.0279	3 Druck [bar]
0.000390196	0.0261	4 Mischkammerdrehzahl [%] * Wirbelkammerdrehzahl [%]
-0.0038201	0.2295-	5 Mischkammerdrehzahl [%]* Druck [bar]
N trials	= 28	
N terms	= 4	

Abbildung 23 : Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Energieverbrauch (Hauptversuche)

Die Abb. 23 zeigt die Koeffizienten der Terme mit ihren Fehlerwahrscheinlichkeiten. Die Terme mit hohen p-Werten wurden eliminiert. Wie zu sehen ist, haben der Druck und die Wirbelkammerdrehzahl in Verbindung mit der Mischerwellendrehzahl einen signifikanten Einfluss auf den Energieverbrauch.

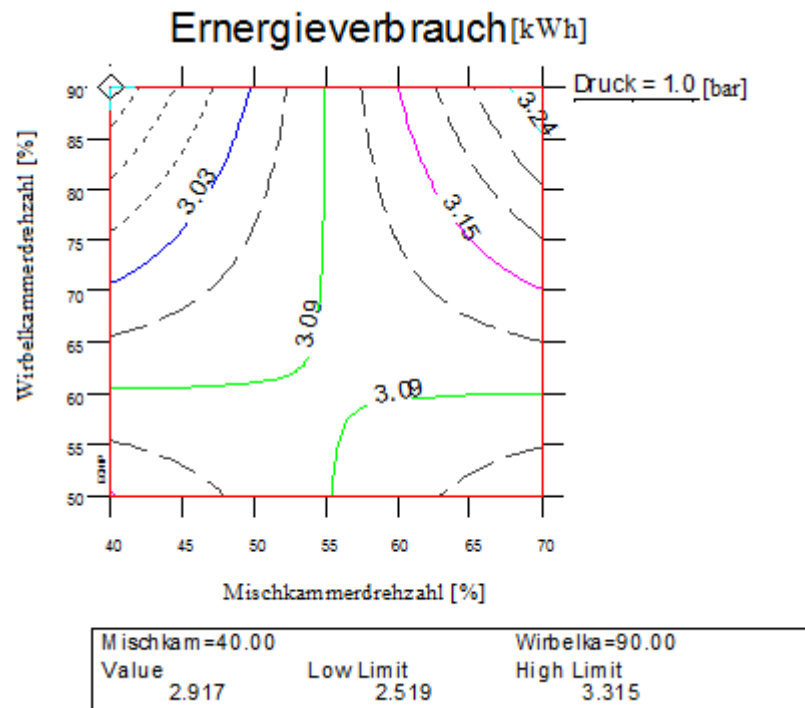


Abbildung 24 : 2D-Darstellung Energieverbrauch der Hauptversuche

Mit Hilfe der Funktion „Optimize“ sollte ECHIP die optimalen Parameter für den geringsten Energieverbrauch ermittelt. Diese sind hierbei identisch mit denen des 5. Versuches. Dort lag der Energieverbrauch mit 3,10 kWh etwas höher als der angegebene Wert. Dieser liegt jedoch noch unter dem „High Limit“, welches von ECHIP angegeben wurde.

Für den Wasserverbrauch und die Wärmebilanz wurden folgende Ergebnisse ermittelt.

Tabelle 45 : Ergebnisse Wasser- und Wärmebilanz der Hauptversuche

Versuch	Wasserverbrauch [l]	Gruppe (Wasserverbrauch [l])	abgeführte Wärmemenge in [MJ]	Wirkungsgrad in [%]
1(W)	395.54	A	26.45	14.32
8	372.79	B	24.93	15.20
1	360.73	B,C	24.13	15.71
6(W)	352.83	C,D	23.60	16.06
7	342.76	D,E	22.92	16.53
3	338.44	E,F	22.63	16.74
4	332.70	E,F	22.25	17.03
6	327.95	F,G	21.93	17.28
2(W)	324.99	F,G	21.73	17.43
2	324.44	F,G	21.70	17.46
5	316.55	G,H	21.17	17.90
4(W)	304.06	H	20.34	18.63
9	294.15	H	19.67	19.26
9(W)	289.96	H	19.39	19.54
Mittelwert	334.14	-	22.35	17.08
SD	29.61	-	1.98	1.49
VK	8.86	-	8.86	8.70

Die Tab. 45 (S.83) zeigt den Wasserverbrauch der Versuche (einzelne Messungen siehe Anhang Tab.67 S.129). Auch dafür wurden eine Varianzanalyse und ein Tuckey-Test durchgeführt. Wie zu sehen ist wurde im Versuch die signifikant höchste Menge an Wasser verbraucht. Auch Versuch 8 und 1(W) zeigen einen hohen Verbrauch. Dies könnte an der Kühltemperatur während dem Aufschlagprozess liegen. Diese wurde aufgrund der hohen Drehzahlen bei den drei Versuchen auf 0°C eingestellt, um die Aufschlagtemperatur halten zu können. In den folgenden Versuchen wurde die Kühltemperatur auf 5°C bzw. 10°C eingestellt (siehe Anhang Tab.61, S.121). Dadurch war auch der Wasserverbrauch des Kühlaggregats geringer. Vergleicht man diese Einstellungen mit dem Verbrauch, lässt sich erkennen, dass mit sinkender Kühltemperatur der Wasserverbrauch ansteigt. Im weiteren Schritt wurde die eine Wärmebilanz erstellt. Die abgeführte Wärmemenge ist in der Tab. 45 zu sehen. Die theoretisch abzuführende Wärmemenge lag in allen Versuchen bei 3,79MJ. Diese wurde mit Hilfe der spezifischen Wärmekapazität der Mousse au Chocolat berechnet (siehe Anhang Tab.63 , S.122). Die ungefähre spezifische Wärmekapazität wurde mit Hilfe von Werten aus der Literatur errechnet. Mit der errechneten praktischen abgeführten Wärmemenge durch das Kühlaggregat und der theoretisch abzuführenden Wärmemenge, um die Mousse au Chocolat von 85°C auf 10°C abzukühlen, konnte der Wirkungsgrad der Kühlung berechnet werden. Auch hierbei wurde mit Hilfe von ECHIP der Einfluss der Prozessparameter auf den Wasserverbrauch analysiert.

«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'Kühlwasserverbr.'		
Centered continuous variables		
COEFFICIENTS	P	TERM
333.332		0 CONSTANT
1.06412	0.0469	1 Mischkammerdrehzahl [%]
5.61931	0.4551-	3 Druck [bar]
0.044433	0.0877	4 Mischkammerdrehzahl [%]* Wirbelkammerdrehzahl [%]
N trials	= 28	
N terms	= 4	

Abbildung 25 : Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Wasserverbrauch (Hauptversuche)

Die Abb. 25 zeigt die Koeffizienten der Terme nach Eliminierung der Terme mit hohen p-Werten. Wie darin zu sehen ist hat die Drehzahl der Mischerwelle einen signifikanten Einfluss auf den Wasserverbrauch.

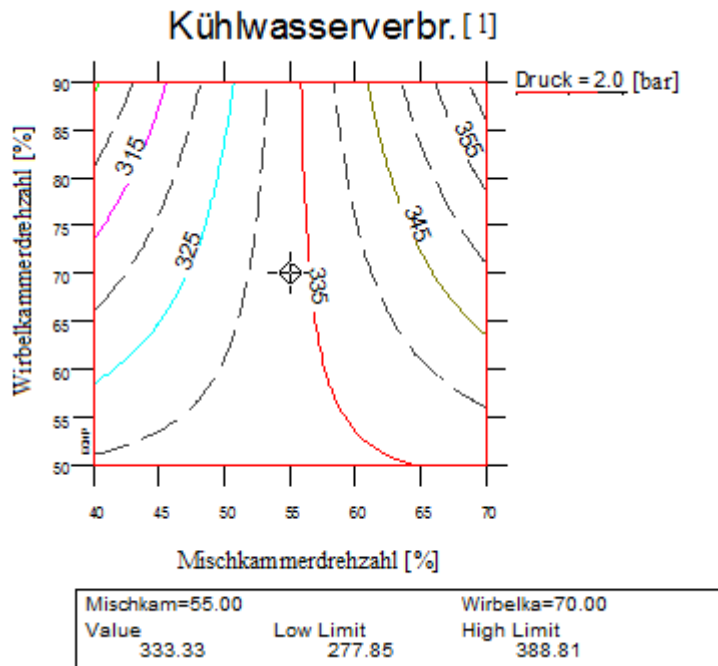


Abbildung 26: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Wasserverbrauch (Hauptversuche)

Das Fadenkreuz wurde auf die Parametereinstellungen des 9. Versuches positioniert. Dabei ist zu sehen, dass die gemessenen Werte der Versuche 9 und 9(W) (Tab.45, s.S.83) leicht über dem „Low Limit“ liegen. Des Weiteren ist zu sehen, dass der Wasserverbrauch bei steigender Mischerwellendrehzahl zunimmt.

4.2.12. Auswertung ECHIP für Hauptversuche

Um die Ergebnisse der Hauptversuche besser analysieren zu können, wurde eine Auswertung mit ECHIP vorgenommen. Dazu wurden alle Einzelwerte der Messungen des Overruns und der Festigkeit unter „Edit Response“ eingetragen und ausgewertet. Da die Schaumfestigkeit und der Overrun auch während der sensorischen Profilprüfung gemessen wurden, konnte ebenso die Auswirkungen der Lagerdauer mit erfasst werden. Mit Hilfe von ECHIP erfolgte eine quadratische Auswertung. Dies war nötig, da nicht mit 100%er Sicherheit davon ausgegangen werden kann, dass die Wirkung einer Variablen linear ist, diese kann auch ein Wendepunkt besitzen. Bei der Analyse des Overruns zeigte sich, dass kein Term eliminiert werden musste. Die Auflistung der Koeffizienten in Abb. 26 zeigt, dass die Terme 6 und 8 einen „hoch signifikanten“ Einfluss auf den Overrun haben. Der Einfluss der anderen Terme ist sogar als „höchst signifikant“ gekennzeichnet.

«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'Overrun'		
Centered continuous variables		
COEFFICIENTS	P	TERM
125.551		0 CONSTANT
-0.414709	0	1 Mischkammerdrehzahl[%]
-0.466886	0	2 Wirbelkammerdrehzahl[%]
14.5143	0	3 Druck[bar]
-1.50724	0	4 Lagerung[d]
-0.00749642	0	5 Mischkammerdrehzahl[%]*Wirbelkammerdrehzahl[%]
0.0903219	0.0041	6 Mischkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]
0.0327519	0.0009	7 Mischkammerdrehzahl[%]*Lagerung[d]
0.0672771	0.004	8 Wirbelkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]
0.0444053	0	9 Wirbelkammerdrehzahl[%]*Lagerung[d]
-0.608972	0.0001	10 Druck[bar]*Lagerung[d]
-0.127383	0	11 Mischkammerdrehzahl^2[%]
N trials	= 280	
N terms	= 12	

Abbildung 27: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Overrun (Hauptversuche)

Mit Hilfe der Koeffizienten und der Terme lässt sich Wirkung der Variablen in einer mathematischen Gleichung darstellen. Bei der Analyse des Overruns mit ECHIP wurde die Fehlermeldung „Lack of Fit“ angezeigt. In ECHIP wurde eine Standardabweichung von 6,76% errechnet. Des Weiteren bietet ECHIP die Möglichkeit, die gesammelten Daten in 3D-Grafiken darzustellen. Dadurch lässt sich die Wirkung der verschiedenen Variablen einfach und nachvollziehbar darstellen.

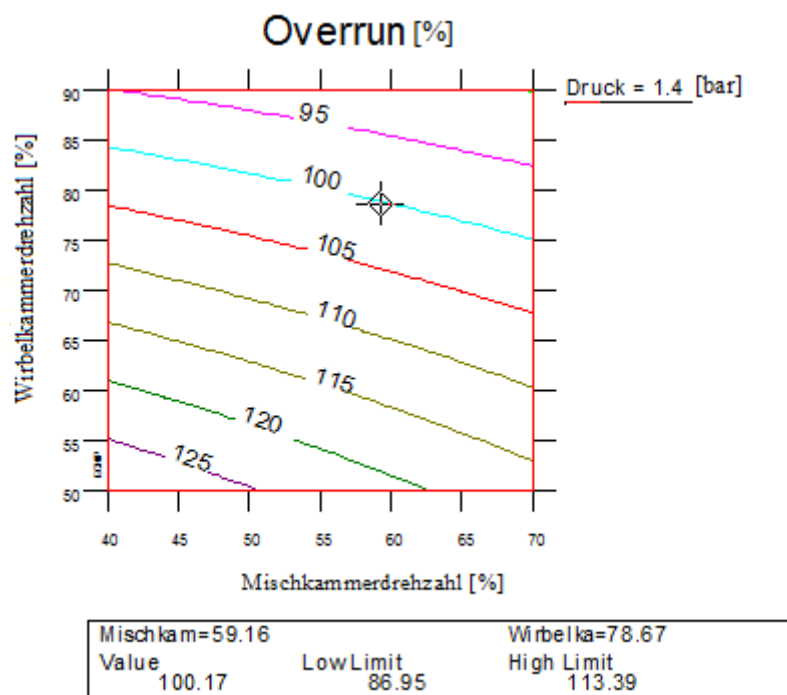


Abbildung 28: 2D-Darstellung Overrun (Hauptversuche)

Für die Positionierung des Fadenkreuzes in der Grafik (Abb.28 , S.86) wurde die Funktion „Optimize“ von ECHIP genutzt. Der angestrebte Overrun sollte zwischen 90% und 110% liegen. Dafür wurde der Zielwert auf 100% eingestellt, um eine geringe Abweichung nach oben bzw. unten auszugleichen. Damit hat ECHIP die optimalen Parameter gesucht, um den gewünschten Overrun zu erreichen.

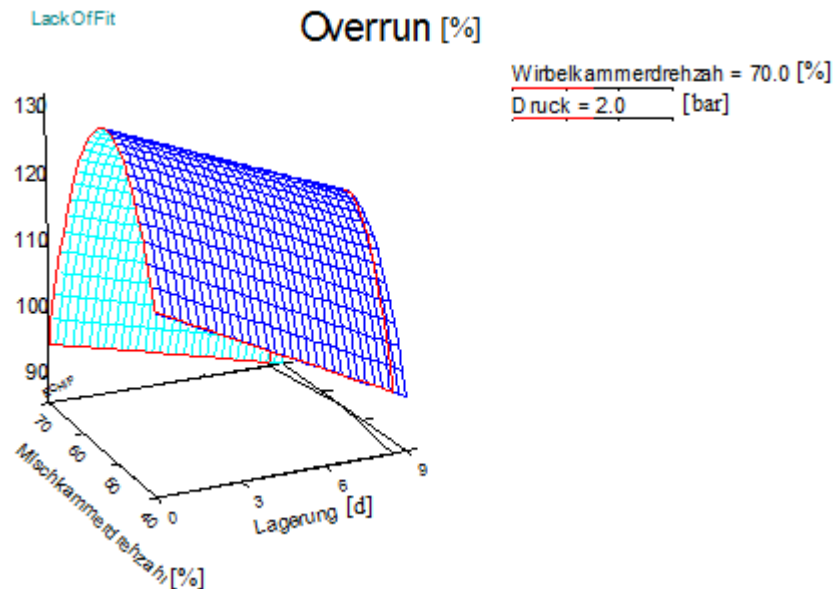


Abbildung 29: 3D-Darstellung Overrun (Hauptversuche)

Wie in der Abb. 29 deutlich zu erkennen ist, hat die Wirkung der Mischkammerdrehzahl auf den Overrun ein Wendepunkt im mittleren Bereich bei ca. 55%. Des Weiteren ist die Abnahme des Overruns über die Lagerdauer zu erkennen.

Für die Analyse der Festigkeit wurde nach dem gleichen Muster verfahren.

Die Abbildung 30 (s.S. 88) zeigt die Koeffizienten der Terme mit ihren Fehlerwahrscheinlichkeiten. Der Druck hat hierbei z.B. einen signifikanten Einfluss auf die Festigkeit. Wie zu sehen ist haben die Drehzahlen der Misch- und Wirbelkammer einen „höchst signifikanten“ Einfluss. Wie Rohenkohl (2002) beschrieb, ist eine ausreichende mechanische Krafteinwirkung nötig, um die Fettkugeln zu destabilisieren, damit sich ausreichend amorph erstarrtes Fett zur Agglomeratbildung im Mix befindet und diesen stabilisiert.

«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'Festigkeit'

Centered continuous variables

COEFFICIENTS P TERM

0.289375		0	CONSTANT
0.000948136	0.0001	1	Mischkammerdrehzahl[%]
-0.002949	0	2	Wirbelkammerdrehzahl[%]
-0.00717397	0.0437	3	Druck[bar]
-0.00610135	0	4	Lagerung[d]
5.16599E-05	0	5	Mischkammerdrehzahl[%]*Wirbelkammerdrehzahl[%]
-0.00222936	0	6	Mischkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]
-0.000176627	0.0172	7	Mischkammerdrehzahl[%]*Lagerung[d]
0.000486363	0.0059	8	Wirbelkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]
-0.000275884	0	11	Mischkammerdrehzahl^2[%]

N trials = 280

N terms = 10

Abbildung 30: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Festigkeit

(Hauptversuche)

Mit Dessen Hilfe kann die Wirkung der Variablen in einer mathematischen Gleichung dargestellt werden. Auch bei der Analyse der Festigkeit wurde die Fehlermeldung „Lack of Fit“ angezeigt. Die Streuung der Stichprobeneinzelwerte einer Stichprobe ist für ECHIP zu groß.

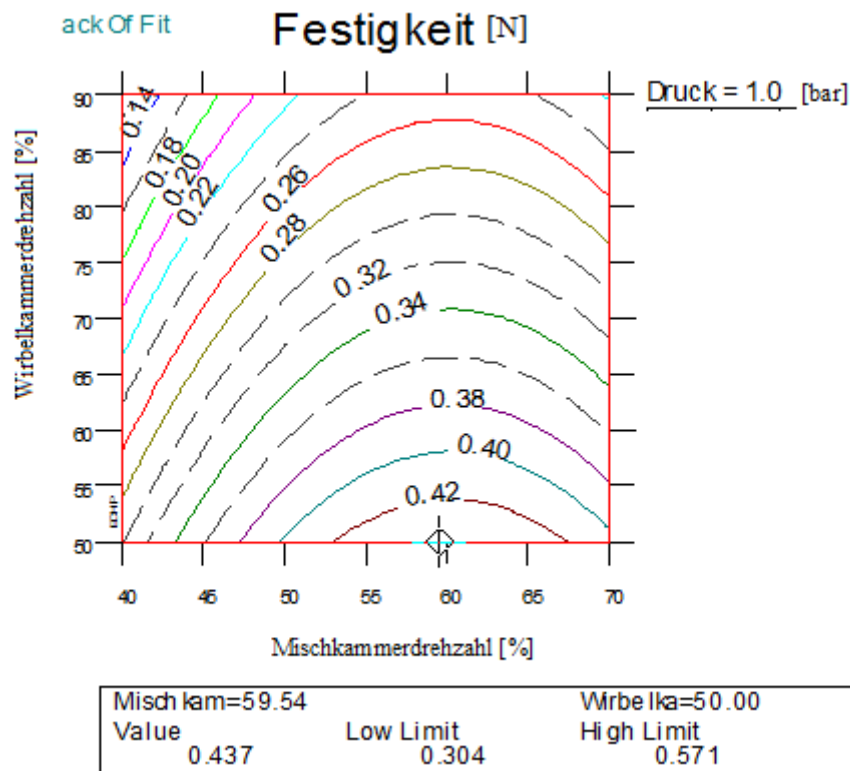


Abbildung 31: 2D-Darstellung Festigkeit (Hauptversuche)

Auch hierbei wurde das Fadenkreuz mittels der „Optimize“-Funktion eingestellt. Dafür sollte ECHIP die Parameter suchen, um die höchste Schaumfestigkeit zu erzielen. Diese liegt danach bei 0,437 N. Die Schaumfestigkeit des 3. Versuches lag etwas höher als der angegebene Wert. Die Parametereinstellungen waren fast identisch mit denen, die von ECHIP ermittelt wurden. Dabei lag der Enddruck bei 1 bar und die Wirbelkammerdrehzahl bei 50% (810 rpm). Nur die Mischerwellendrehzahl war im 3. Versuch etwas höher und lag bei 70% (105 rpm).

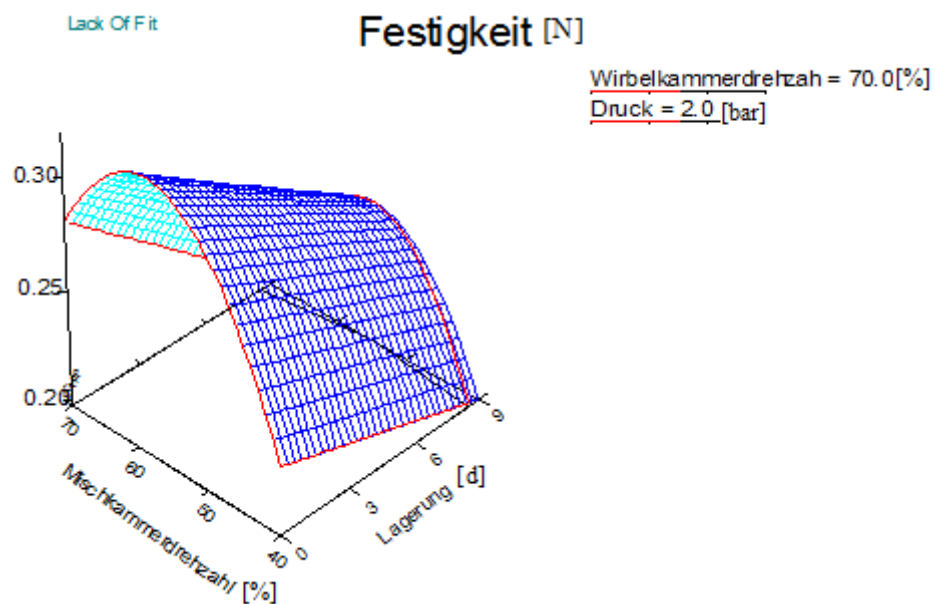


Abbildung 32: 3D-Darstellung Festigkeit (Hauptversuche)

Auch in dieser Grafik ist zu sehen, dass die Wirkung der Mischerwellendrehzahl ein Wendepunkt im mittleren Bereich bei ca. 75-90 rpm hat. Des Weiteren ist zu sehen, dass die Schaumfestigkeit über die Dauer der Lagerung abnimmt.

4.3. Konventionelle sensorische Profilprüfung

Die Profilprüfung der 14 Hauptversuche und der 4 Referenzmuster erfolgte in 2 „Sessions“.

Jede „Session“ bestand aus 3 Sitzungen und wurde innerhalb von ca. 1,5 Wochen

durchgeführt. Zwischen den „Sessions“ lagen ca. 2 Wochen.

4.3.1. FIZZ

Im Anschluss an die Profilprüfung wurden alle gewonnenen Daten der 10 zu bewertenden Attribute (siehe Tab.18, S.53) mit Hilfe von FIZZ statistisch ausgewertet. Da sich für den Vergleich der mechanischen mit der sensorischen Analyse die Attribute Luftblasenverteilung (Aussehen) und Luftigkeit (Mundgefühl) für den Overrun, sowie Formstabilität (Aussehen) und Festigkeit (Mundgefühl) für die Schaumfestigkeit am besten eignen, wird im weiteren Verlauf auf die Auswertung dieser Eigenschaften eingegangen.

Mit Hilfe der deskriptiven Statistik wurden zunächst die Bewertungen der Attribute von den Prüfern zusammengefasst und anschließend eine Varianzanalyse, sowie ein Tuckey-Test durchgeführt.

Tabelle 46: Ergebnisse Profilprüfung für Luftgehalt (Irrtumswahrscheinlichkeit: 5%)

Attribut/ Versuch	Luftblasengröße (A*)		Attribut/ Versuch	Luftigkeit(M**)	
	MW***	Gruppe		MW	Gruppe
9W	62.33	A	9	71.07	A
Komet4	58.20	A	7	70.17	A;B
4W	56.57	A;B	6W	68.20	A;B;C
9	54.10	A;B;C	Komet1	67.33	A;B;C;D
3	52.40	A;B;C	3	66.57	A;B;C;D
Komet1	51.73	A;B;C	Komet2	59.67	A;B;C;D;E
Komet3	50.87	A;B;C	2W	55.50	A;B;C;D;E
7	49.97	A;B;C	9W	54.17	B;C;D;E;F
Komet2	49.27	A;B;C;D	4W	54.07	B;C;D;E;F
2W	40.53	B;C;D	6	52.90	C;D;E;F
2	38.60	C;D	4	50.97	D;E;F
6W	38.27	C;D	Komet3	49.37	E;F
6	32.43	D	2	48.67	E;F
4	12.10	E	Komet4	47.93	E;F
1	12.00	E	1W	47.80	E;F
1W	11.40	E	1	43.23	E;F
8	2.60	E	8	38.67	F;G
5	1.97	E	5	23.10	G

(*A=Aussehen; **M=Mundgefühl; ***MW***= Mittelwert)

In Tab.46 (s.S.90) sind die Mittelwerte und die Gruppeneinteilung durch den Tuckey-Test (Irrtumswahrscheinlichkeit 5%) für die 2 Attribute zusehen, die für den gemessenen Overrun stehen sollen. Wichtig bei der Beurteilung der Bewertungen ist z.B. der demographische Hintergrund der Prüfer. So werden die gleichen Produkte je nach Region unterschiedlich bewertet. In Europa wird bei der Bewertung meistens der mittlere Bereich einer Skala genutzt. In z.B. Asien wird dagegen der obere Bereich einer Skala bevorzugt genutzt. Somit können die Versuche mit Bewertungen im mittleren Bereich als „gut“ angesehen werden. Wie zu sehen ist, wurden die Versuche 5 und 8 bei diesen 2 Attributen am schlechtesten bewertet. Die Bewertungen der Versuche 3, 7 und 9 liegen bei beiden Attributen im oberen Bereich. Der Versuch 6(W) hatte bei der Luftblasengröße(A) eine niedrige Bewertung. Das bedeutet, dass nicht viele Luftblasen im Mousse vorhanden waren und diese relativ groß waren. Bei der Bewertung der Luftigkeit(M) wurde erhielt der Versuch sehr hohe Werte. Dies wird auf höhere Anzahl von großen Luftblasen zurückzuführen sein. Um zu ermitteln, ob die Prüfer im Verlauf der Profilprüfung willkürliche Bewertungen abgeben, wurde in beiden Sessions mit Referenzproben gearbeitet. In jeder Session wurde die Referenzprobe als Doppelprobe gereicht (siehe Tab.19, S.54). Bei der Bewertung der Luftblasengröße(A) gab es zwischen den Referenzproben keine signifikanten Unterschiede. Bei der Luftigkeit(M) gab es zwischen Komet 1, 3 und 4 einen signifikanten Unterschied. Komet 1 war Referenzprobe aus der 1. Session und Komet 3 bzw. 4 die Referenzproben aus der 2. Session. Da diese beiden sich nicht signifikant unterscheiden können die Bewertungen der Prüfer als repräsentativ angesehen werden. Auch die Versuche die Wiederholt wurden wiesen kaum signifikante Unterschiede auf. Beim 4. Versuch gab es bei der Beurteilung der Luftblasengröße einen sehr großen Unterschied. Eine Ursache könnte das Umfüllen der Proben in die Probengefäße sein. Dabei ist es möglich, dass die Struktur zerstört wurde und die Mousse zusammen sackte oder sich die Luftblasen verbunden haben.

Auch für die Attribute Formstabilität(A) und Festigkeit(M) wurde diesen Analysen von Fizz durchgeführt.

Tabelle 47: Ergebnisse Profilprüfung für Schaumfestigkeit (Irrtumswahrscheinlichkeit: 5%)

Attribut/ Versuch	Formstabilität (A*)		Attribut/ Versuch	Festigkeit (M**)	
	MW***	Gruppe		MW	Gruppe
Komet2	78.67	A	Komet2	53.27	A
Komet4	75.30	A	Komet1	50.90	A
Komet1	73.93	A;B	3	42.97	A;B
Komet3	73.53	A;B	Komet4	42.77	A;B
9	67.83	A;B;C	9	37.93	B;C
7	62.93	B;C	Komet3	37.30	B;C
3	61.87	C	7	33.03	B;C;D
9W	48.23	D	4W	28.60	C;D;E
4W	45.80	D	9W	28.47	C;D;E
6W	40.63	D;E	2W	25.00	D;E;F
2	39.37	D;E;F	2	23.80	D;E;F
6	39.07	D;E;F	6W	21.77	D;E;F
2W	38.50	D;E;F	6	21.07	E;F
1	31.93	E;F;G	1W	20.47	E;F;G
1W	28.73	F;G;H	1	17.10	E;F;G;H
4	21.50	G;H;I	4	14.07	F;G;H
5	19.00	H;I	8	9.40	G;H
8	13.33	I	5	8.93	H

(*A=Aussehen; **M=Mundgefühl; ***MW***= Mittelwert)

In dieser Tabelle sind ebenfalls die Mittelwerte der Bewertungen, sowie die Einteilung in Gruppen durch den Tuckey-Test zu sehen. Wie schon bei der Bewertung des Luftgehaltes haben die Versuche 5 und 8 auch bei der Festigkeit die niedrigsten Benotungen erhalten. Des Weiteren ist zu sehen, dass die Versuche 3, 7 und 9 wieder im oberen Bereich bewertet wurden. Bei den Versuchen die wiederholt wurden gab es auch wieder teilweise signifikante Unterschiede. Das wären bei der Formstabilität(A) die Versuche 9 und 4, dieser sogar auch bei der Festigkeit(M). In den Prüfungen wurde darauf geachtet, dass die Proben möglichst die gleiche Temperatur haben und die Probenfolge randomisiert war, um eine gegenseitige Beeinflussung auszuschließen. Trotzdem könnte ein Temperaturunterschied möglich sein. Eine höhere Temperatur würde eine niedrigere Viskosität bedeuten, wodurch die Mousse leichter zerfließt. Auch in der Probenvorbereitung kann durch Fehler die Struktur zerstört worden sein. Ein anderer möglicher Grund für diese signifikanten Unterschiede können Fehler in der Herstellung der Versuche sein, z.B. bei der manuellen Druckentlastung der SDM.

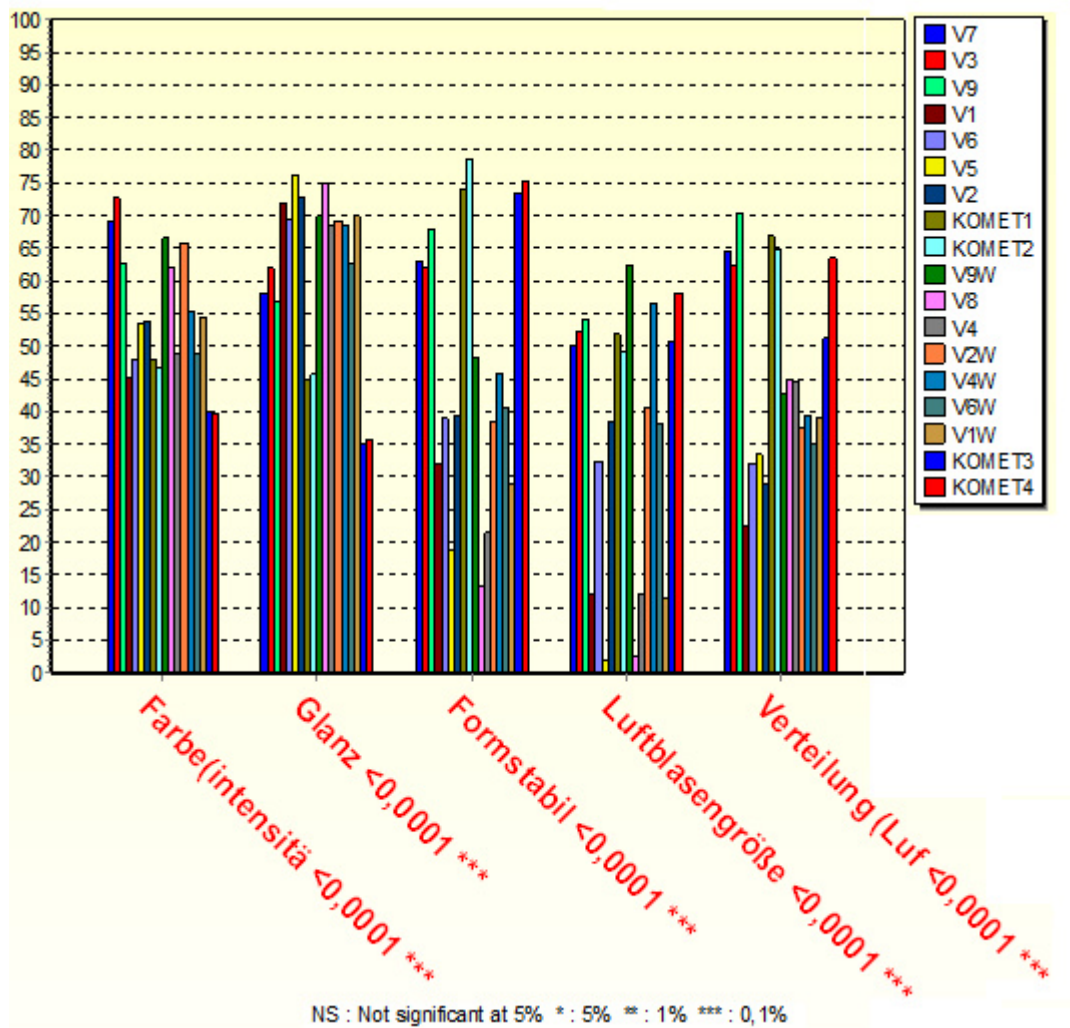


Abbildung 33: Ergebnisse Attribute: Merkmal Aussehen (Profilprüfung)

In Abb. 33 ist eine Zusammenfassung der Bewertung für alle 5 Attribute des Merkmals „Aussehen“ zu sehen. Diese Grafik wurde von FIZZ erstellt. Sie zeigt, dass auch bei den anderen Attributen des Merkmals Aussehen höchstsignifikante Unterschiede bestehen.

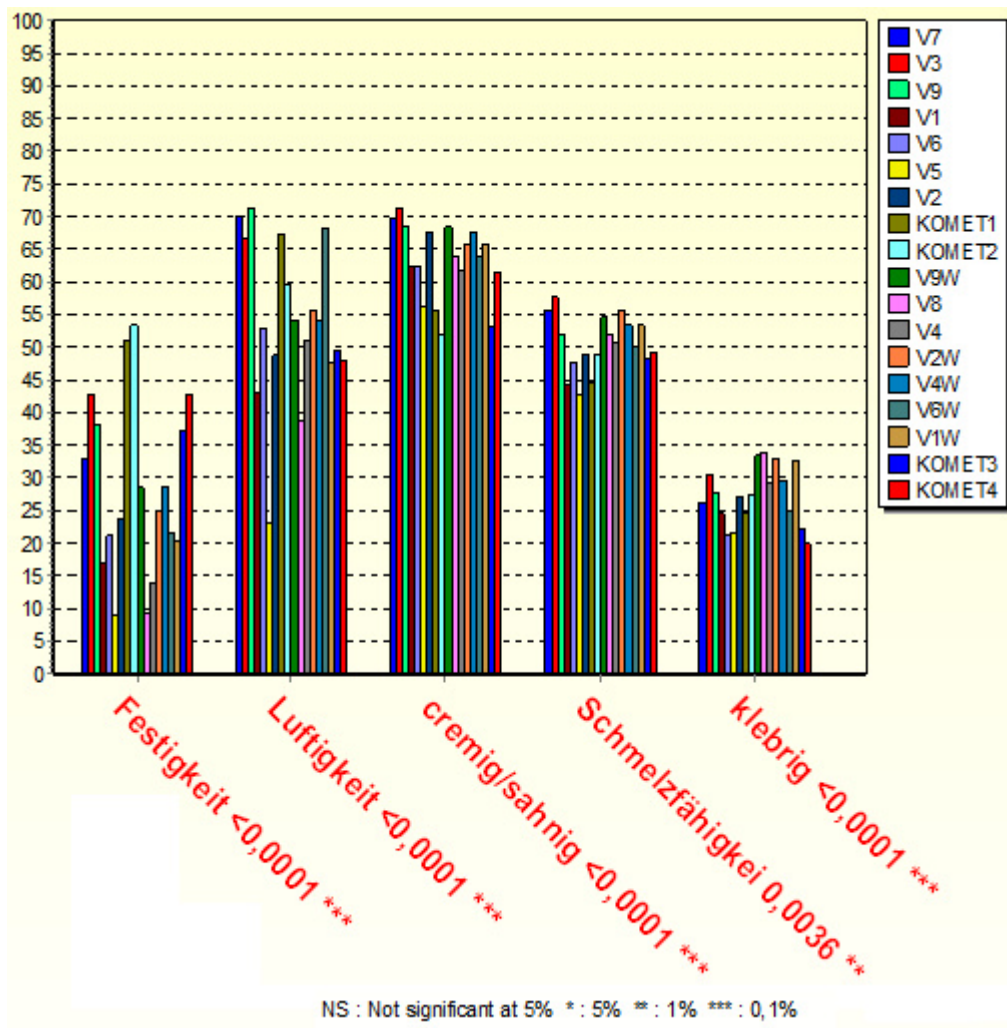


Abbildung 34: Ergebnisse Attribute: Merkmal Mundgefühl (Profilprüfung)

Die Abbildung 34 zeigt eine Zusammenfassung der Bewertungen der Attribute des Merkmals Mundgefühl. Auch dabei ist zu sehen, dass es bei allen 5 Attributen signifikante Unterschiede gibt.

4.3.2. Auswertung ECHIP

Um den Einfluss der Prozessparameter auf die Bewertung eines Attributs zu ermitteln, wurden die Daten für die 4 Attribute aus Punkt 4.3.1. ebenfalls in ECHIP ausgewertet. Dafür wurde alle Einzelwerte der Prüfung unter „Edit Response“ eingetragen und analysiert.

«xxxxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'FestigkeitM'		
Centered continuous variables		
COEFFICIENTS	P	TERM
33.2		0 CONSTANT
-0.35451	0.0000	2 Wirbelkammerdrehzahl[%]
-0.269477	0.0000	6 Mischkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]
0.198284	0.0001	8 Wirbelkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]
-0.0489063	0.0000	11 Mischkammerdrehzahl^2[%]
N trials	= 420	
N terms	= 5	

Abbildung 35: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Festigkeit(M)

Die Abb. 35 zeigt die Koeffizienten der Terme und ihre p-Werte nach Eliminierung der Terme mit hohen p-Werten. Anhand der Fehlerwahrscheinlichkeiten lässt sich erkennen, dass die verbleibenden Terme einen höchst signifikanten Einfluss auf die Festigkeit(M) haben. Mit Hilfe der Terme und der Koeffizienten kann eine Gleichung über die Wirkung der Variablen erstellt werden.

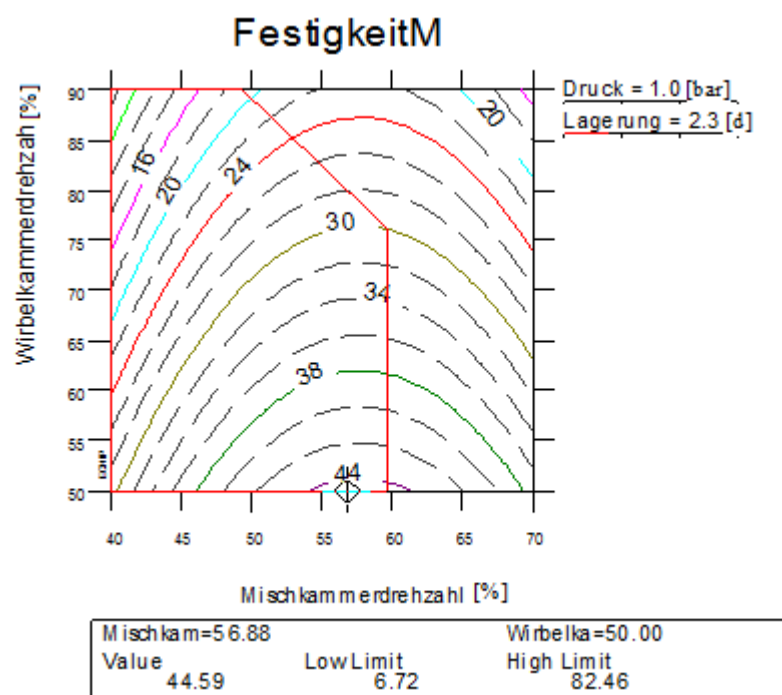


Abbildung 36: 2D-Darstellung Festigkeit(M)

Mit Hilfe der „Optimize“-Funktion wurden von ECHIP die optimalen Parameter angezeigt, um die höchste Bewertung bei der Festigkeit(M) zu erhalten.

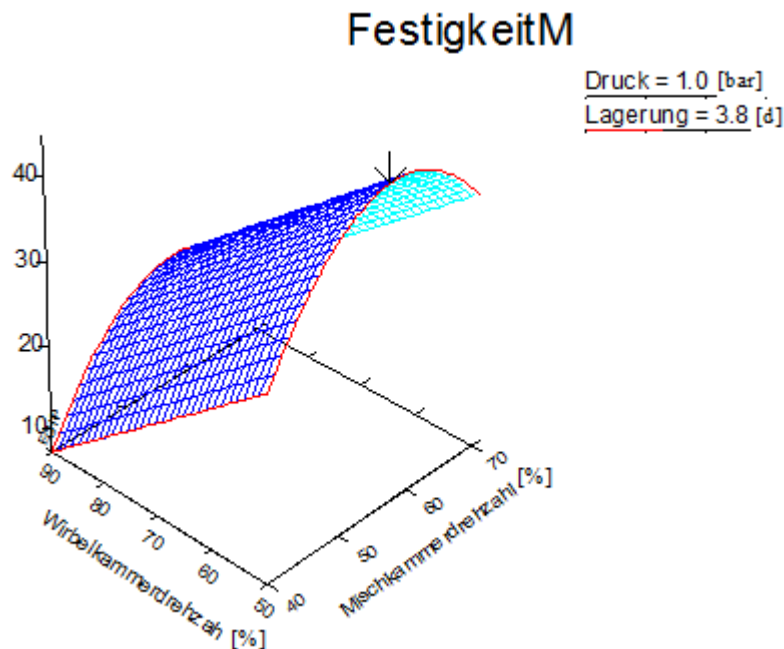


Abbildung 37: 3D-Darstellung Festigkeit(M)Abbildung

In der 3D-Grafik ist zu sehen, dass die Wirkung der Mischkammerdrehzahl ein Wendepunkt aufweist

Für die Luftigkeit(M) wurden folgende Werte ermittelt.

«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'LuftigkeitM'			
Centered continuous variables			
COEFFICIENTS	P	TERM	
65.7499		0 CONSTANT	
-0.559082	0.0000	2 Wirbelkammerdrehzahl[%]	
6.08838	0.0000	3 Druck[bar]	
-0.37198	0.0001	6 Mischkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]	
0.13811	0.0436	8 Wirbelkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]	
-0.0526452	0.0009	11 Mischkammerdrehzahl^2[%]	
N trials	= 420		
N terms	= 7		

Abbildung 38: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Luftigkeit(M)

Die p-Werte der Terme zeigen, das Term Nr.8 einen signifikanten Einfluss und die restlichen Terme einen höchst signifikanten Einfluss auf die Luftigkeit(M) haben. Die mit den Koeffizienten und Termen erstellte Gleichung lautet:

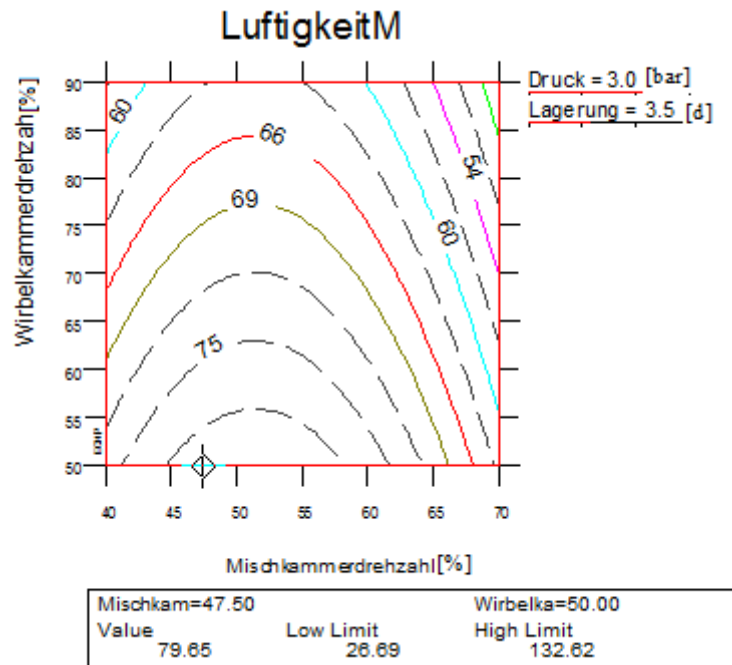


Abbildung 39: 2D-Darstellung Luftigkeit(M)

Um die höchsten Bewertungen der Luftigkeit(M) zu erzielen eignen sich nach ECHIP die in Abb.39 angegebenen Parametereinstellungen am besten.

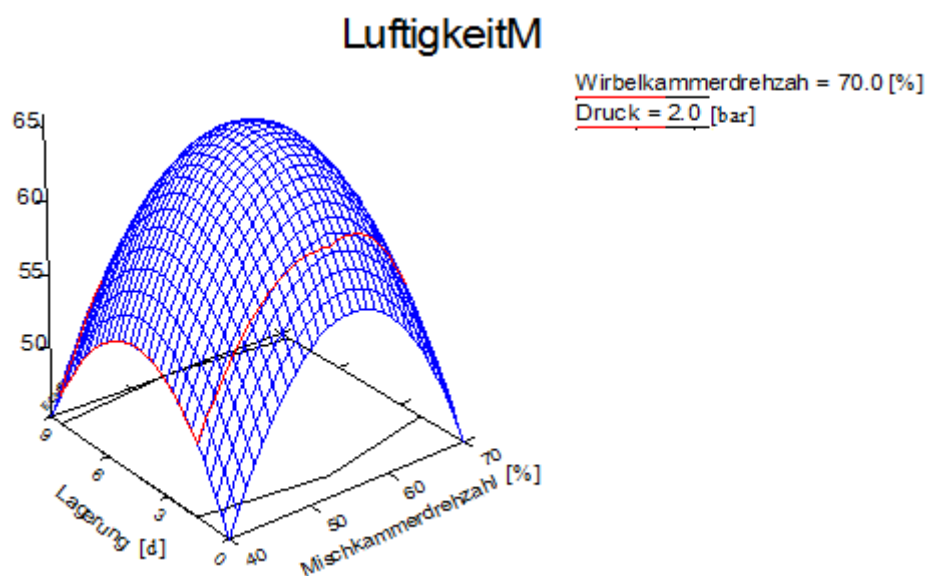


Abbildung 40: 3D-Darstellung Luftigkeit(M)

In der Abb. 40 (s.S. 97) sind die Wirkungen der Variablen zu erkennen. Wie zu sehen ist weißt die Mischerwellendrehzahl ein Wendepunkt bei ca.55% auf. Es zeigt sich auch, dass die Lagerdauer einen großen Einfluss auf die Bewertungen hat.

Bei der Analyse der Bewertungen der Formstabilität(A) wurden folgende Ergebnisse ermittelt.

«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'FormstabilitätA'		
Centered continuous variables		
COEFFICIENTS	P	TERM
58.0333		0 CONSTANT
-0.620374	0.0000	2 Wirbelkammerdrehzahl[%]
4.19792	0.0001	3 Druck[bar]
-0.366601	0.0000	6 Mischkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]
0.185729	0.0007	8 Wirbelkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]
-0.0957631	0.0000	11 Mischkammerdrehzahl^2[%]
N trials	= 420	
N terms	= 6	

Abbildung 41: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Formstabilität(A)

Nachdem alle Terme mit einem hohen p-Wert eliminiert wurden, konnten die Koeffizienten und Fehlerwahrscheinlichkeiten der anderen Terme eingesehen werden. Wie in Abb.41 zu erkennen ist, haben die verbleibenden Terme auf Grund der p-Werte einen höchst signifikanten Einfluss auf die Formstabilität(A).

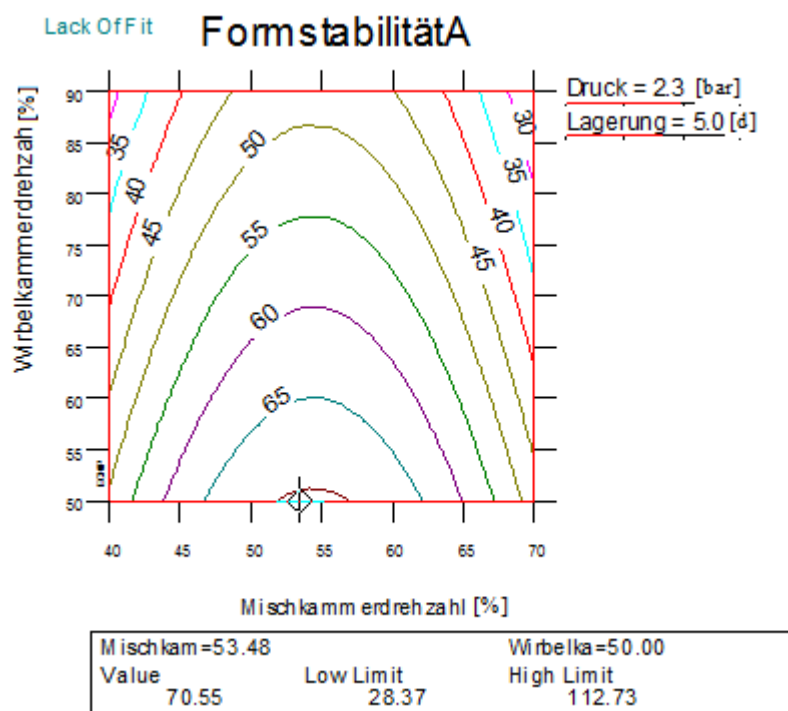


Abbildung 42: 2D-Darstellung Formstabilität(A)

Auch in der Abb. 42 (s.S.98) wurde mit Hilfe der Funktion „Optimize“ das Fadenkreuz in der Grafik positioniert, um die optimalen Parameter zu ermitteln und damit die höchste Bewertung zu erzielen. Durch die Platzierung des Fadenkreuzes in der 2D-Grafik unter den optimalen Einstellungen sollte theoretisch eine Bewertung von 70,30 erreicht werden.

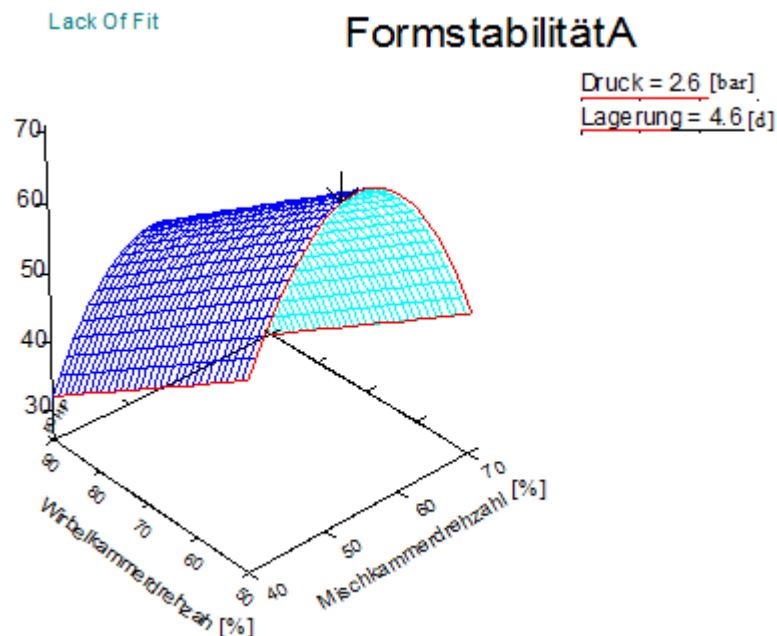


Abbildung 43: 3D-Darstellung Formstabilität(A)

Wie man in Abb.43 erkennen kann, sinkt die Formstabilität(A) bei steigender Drehzahl der Wirbelkammer. Dies ist ein Hinweis dafür, dass durch die starken Scherkräfte im Prozess die Strukturen der Fettkristalle und Proteine zerschlagen werden können. Auch hierbei wurde die Fehlermeldung „Lack of Fit“ angezeigt.

«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'LuftblasengrößeA'			
Centered continuous variables			
	COEFFICIENTS	P	TERM
	59.749		0 CONSTANT
	-0.215569	0.0110	1 Mischkammerdrehzahl[%]
	-0.804103	0.0000	2 Wirbelkammerdrehzahl[%]
	4.54784	0.0004	3 Druck[bar]
	3.31327	0.0000	4 Lagerung[d]
	-0.330727	0.0002	6 Mischkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]
	0.299939	0.0000	8 Wirbelkammerdrehzahl[%]*Druck[bar]
	-0.123983	0.0000	11 Mischkammerdrehzahl^2[%]
N trials	= 420		
N terms	= 9		

Abbildung 44: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung schlechter p-Werte für Luftblasengröße(A)

Abb.44 (s.S.99) zeigt die Terme, die nicht eliminiert wurden. Anhand der Fehlerwahrscheinlichkeiten (p-Wert) wird ersichtlich, dass die Mischkammerdrehzahl einen signifikanten (>95%) Einfluss auf die Luftblasengröße(A) hat. Die anderen Terme haben einen höchst signifikanten (>99,9%) Einfluss auf die Luftblasengröße(A).

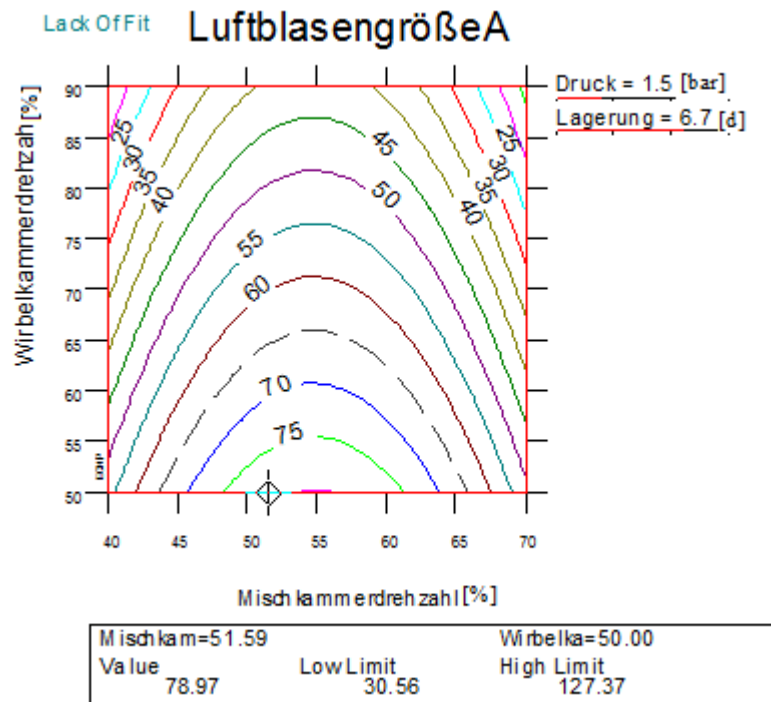


Abbildung 45: 2D-Darstellung Luftblasengröße(A)

Nach Verwendung der „Optimize“-Funktion hat ECHIP die optimalen Parameter für eine hohe Bewertung ermittelt. Diese sind in der Abb. 45 zusehen. Wie zu sehen ist hat ECHIP eine relativ hohe Lagerdauer ausgewählt. Das ist jedoch verwunderlich, da zu erwarten ist, dass die Koaleszenz der Gasblasen im Verlauf der Lagerung zunimmt. Das bedeutet die Gasblasen verbinden sich und werden größer, wodurch auch die Anzahl im Mousse abnimmt. Dadurch sollte die Bewertung theoretisch mit der Lagerdauer sinken.

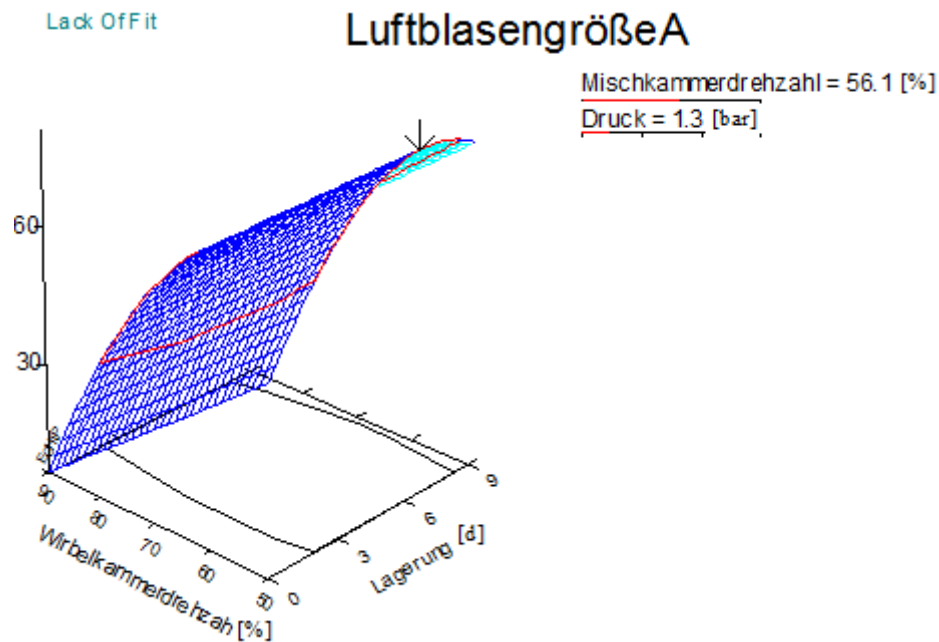


Abbildung 46: 3D-Darstellung Luftblasengröße(A)

Durch die Grafik (Abb.46) wird sichtbar, dass durch hohe Drehzahlen der Wirbelkammer die Bewertung der Luftblasengröße(A) sinkt. Das Optimum der Mischkammerdrehzahl liegt auch hier im mittleren Bereich zwischen 75-90 rpm. Auch in dieser Auswertung wurde die Fehlermeldung „Lack of Fit“ angezeigt. Das bedeutet die Streuung der Stichprobeneinzelwerte der Stichproben zu hoch. Wie aber auch zu sehen ist, hat die Lagerdauer einen Wendepunkt. Dies wird an der Koaleszenz der Gasblasen liegen.

4.4. Vergleich mechanische mit sensorischen Analysen

Um einen Vergleich der mechanischen und sensorischen Analyse zu gewährleisten, wurde nach allen Sitzungen der Overrun ermittelt und die Schaumfestigkeit mittels Texture Analyser gemessen. Durch eine anschließende Varianzanalyse und einen Tukey-Test konnten die Versuche aufgrund signifikanter Unterschiede in Gruppen eingeteilt werden. Diese Rangfolge ermöglicht einen Vergleich der instrumentellen Messungen und den sensorischen Bewertungen. Damit kann z.B. aufgezeigt werden, ob signifikante Unterschiede bei den mechanisch ermittelten Messergebnissen auch in der sensorischen Analyse als signifikant wahrgenommen wurden.

Tabelle 48: Vergleich Overrun mit sensorischen Attributen(Irrtumswahrscheinlichkeit 5%)

Versuch	Overrun [%]		Attribut/ Versuch	Luftblasengröße (A)		Attribut/ Versuch	Luftigkeit(M)	
	MW	Gruppe		MW	Gruppe		MW	Gruppe
9(W)	130.59	A	9W	62.33	A	9	71.07	A
6(W)	121.03	A;B	Komet4	58.20	A	7	70.17	A;B
9	119.69	B	4W	56.57	A;B	6W	68.20	A;B;C
6	117.87	B	9	54.10	A;B;C	Komet1	67.33	A;B;C;D
4(W)	113.80	B	3	52.40	A;B;C	3	66.57	A;B;C;D
7	110.59	B;C	Komet1	51.73	A;B;C	Komet2	59.67	A;B;C;D;E
4	110.42	B;C	Komet3	50.87	A;B;C	2W	55.50	A;B;C;D;E
2(W)	101.62	C;D	7	49.97	A;B;C	9W	54.17	B;C;D;E;F
1(W)	96.84	D	Komet2	49.27	A;B;C;D	4W	54.07	B;C;D;E;F
2	96.28	D	2W	40.53	B;C;D	6	52.90	C;D;E;F
Komet1	95.49	D	2	38.60	C;D	4	50.97	D;E;F
1	93.70	D	6W	38.27	C;D	Komet3	49.37	E;F
Komet2	93.52	D	6	32.43	D	2	48.67	E;F
Komet4	89.10	D;E	4	12.10	E	Komet4	47.93	E;F
Komet3	86.47	D;E	1	12.00	E	1W	47.80	E;F
3	81.32	E	1W	11.40	E	1	43.23	E;F
5	81.03	E	8	2.60	E	8	38.67	F;G
8	63.62	F	5	1.97	E	5	23.10	G

In Tab. 48 sind zunächst die Analyseergebnisse des Overruns und den Attributen der Luftblasengröße(A) und der Luftigkeit(M) zu sehen. Diese beiden Attribute eignen sich am besten zum Vergleich mit dem gemessenen Overrun. Bei den Versuchen 3, 5 und 8 wurde der signifikant kleinste Overrun gemessen. Werden dazu die Bewertungen des Panels verglichen ist zu erkennen, dass die Versuche 5 und 8 bei beiden Attributen die signifikant niedrigsten Bewertungen erhielten. Dies lässt vermuten, dass es zwischen diesen drei Versuchen Unterschiede in der Gasblasenstruktur gibt. In den Versuchen 5 und 8 lag wahrscheinlich eine Kugelstruktur der Gasblasen vor. Es waren zu wenig Gasblasen in der Mousse und viele größere vorhanden. Dadurch der geringere Overrun und die niedrigen Bewertungen. Der Versuch Nr. 3 wurde dagegen bei beiden Attributen hoch bewertet. In diesem Versuch haben die Luftblasen wahrscheinlich eine Honigwabenstruktur ausgebildet. Im Vergleich zu Versuch 3 hatte der Versuch Nr. 9(W) einen deutlich signifikant höheren Overrun. Bei der Bewertung der Attribute gab es jedoch keine signifikanten Unterschiede. Im 2. Versuch z.B. wurde eine Overrun im angestrebten Bereich (90%-110%) erreicht. Trotzdem wurde dieser bei der Luftigkeit(M) und der Luftblasengröße(A) signifikant niedriger als Versuch 3 bewertet. Das wiederholt sich auch bei einigen anderen Versuchen. Der Overrun für sich erlaubt nur Aussagen über die Volumenzunahme im Produkt, jedoch nicht über die Schaumstruktur. Aufgrund der Bewertungen der Attribute kann gesagt werden, dass die geschulten Prüfer nicht nur die Volumenzunahme beachten. Die Schaumstruktur hat wahrscheinlich auch einen großen Einfluss auf die Bewertung. Dies verdeutlicht die

Wichtigkeit der sensorischen Analyse und zeigt, dass in diesem Fall physikalische Untersuchungen allein nicht ausreichen. Auf der andere Seite ist es aber auch möglich, dass die Auswahl der Attribute nicht optimal war, also andere besser geeignet gewesen wären.

Tabelle 49: Vergleich Schaumfestigkeit mit sensorischen Attributen(Irrtumswahrscheinlichkeit 5%)

Versuch	Festigkeit [N]		Attribut/ Versuch	Formstabilität (A)		Attribut/ Versuch	Festigkeit (M)	
	MW	Gruppe		MW	Gruppe		MW	Gruppe
Komet2	0.788	A	Komet2	78.67	A	Komet2	53.27	A
Komet3	0.735	A	Komet4	75.30	A	Komet1	50.90	A
Komet1	0.711	A	Komet1	73.93	A;B	3	42.97	A;B
Komet4	0.694	A	Komet3	73.53	A;B	Komet4	42.77	A;B
3	0.358	B	9	67.83	A;B;C	9	37.93	B;C
7	0.356	B	7	62.93	B;C	Komet3	37.30	B;C
9	0.310	B;C	3	61.87	C	7	33.03	B;C;D
2(W)	0.277	B;C;D	9W	48.23	D	4W	28.60	C;D;E
9(W)	0.254	C;D;E	4W	45.80	D	9W	28.47	C;D;E
2	0.221	C;D;E;F	6W	40.63	D;E	2W	25.00	D;E;F
6	0.220	C;D;E;F	2	39.37	D;E;F	2	23.80	D;E;F
6(W)	0.216	C;D;E;F	6	39.07	D;E;F	6W	21.77	D;E;F
1(W)	0.194	D;E;F	2W	38.50	D;E;F	6	21.07	E;F
8	0.193	D;E;F	1	31.93	E;F;G	1W	20.47	E;F;G
1	0.188	D;E;F	1W	28.73	F;G;H	1	17.10	E;F;G;H
4	0.164	F	4	21.50	G;H;I	4	14.07	F;G;H
4(W)	0.148	F	5	19.00	H;I	8	9.40	G;H
5	0.146	F	8	13.33	I	5	8.93	H

In der Tab.49 sind Mittelwerte und die Ergebnisse des Tuckey-Tests der gemessenen Schaumfestigkeit und der Attribute zu sehen. Zum Vergleich wurden die Attribute Formstabilität(A) und Festigkeit(M) gewählt. Wie in zu sehen ist wurden bei den Referenzproben mittels die signifikant höchsten Schaumfestigkeiten gemessen. Werden nun die Bewertungen der Prüfer in den sensorischen Analysen betrachtet ist zu sehen, dass auch dabei die Referenzproben die signifikant höchsten Bewertungen aufwiesen. Bei der gemessenen Schaumfestigkeit der Versuche ist zu sehen, dass diese im Vergleich zur Festigkeit nach der Produktion abgenommen hat (siehe Tab.43, S.80). Für die Schaumfestigkeit wurde ein Bereich zwischen 0,350 N und 0,550 N angestrebt. Dies konnte mit den Versuchen 3 und 7 erreicht werden. Bei Betrachtung der Versuche wurde bei den Nr.3, 7 und 9 die signifikant höchste Schaumfestigkeit gemessen. In z.B. den Versuchen 4, 5 und 8 wurden die signifikant geringsten Schaumfestigkeiten gemessen. In der sensorischen Analyse gab es kaum signifikante Unterschiede zwischen den Versuchen 3, 7, 9 und den Referenzproben. Die Versuche 4, 5 und 8 hatten aber auch hierbei die signifikant geringsten Bewertungen.

Dadurch kann mit großer Sicherheit gesagt werden, dass geschulte Prüfer durchaus in der Lage sind, bis zu einem gewissen Level Unterschiede in Bezug auf die Schaumfestigkeit zu erkennen.

4.5. Mikrobiologische Ergebnisse

Da es sich bei Mousse au Chocolat um ein leicht verderbliches Lebensmittel handelt und diese im Rahmen einer Profilprüfung sensorisch bewertet wurde, musste zum Schutz der Prüfer die Verzehrbarkeit und gesundheitliche Unbedenklichkeit überwacht und gewährleistet werden. In der Regel gibt es für Lebensmittel spezifische Richt- und Grenzwerte in Bezug auf den Keimgehalt, welche diese nicht überschreiten dürfen, um als verkehrs- bzw. verzehrfähig zu gelten. Da Mousse au Chocolat im Handel hauptsächlich in Pulverform (Trockenprodukt) erhältlich ist, können diese Werte nicht genutzt werden, weil es sich in dieser Masterthesis um eine hitzebehandelte, lagerfähige Mousse au Chocolat handelt. Im Hinblick auf die Rezeptur besteht die produzierte Mousse zu ca. 75% aus Milcherzeugnissen, daher wurden zur Klassifizierung der mikrobiologischen Ergebnisse die Richt- und Grenzwerte der Milchverordnung („Verordnung über Hygiene- und Qualitätsanforderungen an Milch und Erzeugnisse auf Milchbasis“, Stand 2004) als Standard genutzt. Dabei wurde sich an den Richt- und Grenzwerten von „wärmebehandelten, nicht fermentierten Flüssigerzeugnissen auf Milchbasis“ orientiert. Für die Gesamtkeimzahl gelten ein Schwellenwert von $5 \cdot 10^4$ KbE/ml und ein Grenzwert von 10^5 KbE/ml. Des Weiteren ist eine zu untersuchende Probenanzahl von $n=5$ vorgeschrieben. Als weitere Anforderung ist die Anzahl der Abweichungen „c“ aufgeführt, in diesem Fall 2. Die Anforderung „c“ beschreibt die Anzahl der Proben (von $n=5$) mit einem Keimgehalt zwischen dem Schwellen- und dem Grenzwert. Das bedeutet, dass das Produkt als verkehrsfähig gilt, wenn 2 von 5 Proben einen Keimgehalt zwischen dem Schwellen- und dem Grenzwert aufweisen, solange die anderen 3 Proben maximal den Schwellenwert erreichen. Ist „c“ höher als 2, gilt das Produkt als nicht verkehrsfähig. Für Enterobakterien (= Coliforme) gilt der Schwellenwert 0 KbE/ml bzw. g und ein Grenzwert von 5 KbE/ml bzw. g. Die Probenanzahl „n“ beträgt 5 und die Anzahl der Abweichungen „c“ beträgt 2. Für Hefen bzw. Schimmel gibt es in dieser Verordnung keine Richt- und Grenzwerte. In den Vorversuchen an dem SWÜ und der SDM sollte zunächst ein Einblick in den mikrobiologischen Status der Mousse au Choclat gewonnen werden.

Tabelle 50: Keimgehalte Vorversuche

Keimart in [KbE/g]	VV2(SWÜ)	VV1(SDM)	VV2(SDM)
GKZ	$7.1 \cdot 10^3$	$7.1 \cdot 10^3$	$3.3 \cdot 10^3$
Hefen/Schimmel	$2.4 \cdot 10^3$	$1.6 \cdot 10^4$	$1.9 \cdot 10^4$
Enterobakterien	$3.2 \cdot 10^3$	$1.9 \cdot 10^5$	$3.9 \cdot 10^3$

Wie in der Tab.50 zu sehen ist, waren alle Vorversuche aufgrund der Keimbelastung nicht verkehrsfähig. Das größte Problem war der positive Nachweis von coliformen Keimen. Da der Mousse-Mix pasteurisiert wurde, konnte der Eintrag durch das Personal ausgeschlossen werden. Nach der Pasteurisation gab es keinerlei Kontakt zwischen Produkt und Mensch. Dies wurde direkt aus dem 85°C heißen Topf in die SDM umgefüllt und daraus direkt in die Verpackung. Somit wurde die Ursache, trotz gründlicher Reinigung, in der SDM vermutet. Daher wurden an verschiedenen Punkten der SDM Oberflächenabstriche gemacht, um den Ort der Kontamination zu finden. Dafür wurden Tupfer (steril verpackt) in sterilisierte NaCl-Lösung getaucht und anschließend die Oberfläche abgestrichen. Danach wurde mit dem genutzten Tupfer eine vorbereitete Agar-Platte (GKZ; H/S; E.) bestrichen und bei der jeweiligen Temperatur bebrütet. Die Oberflächenabstriche wurden in der Wirbelkammer, an der Mischerwelle, im Auslass von innen und im Auslass von unten gemacht.



Abbildung 47: Agar-Platte (Endo-Agar) bebrütet (Oberflächenabstrich)

Abbildung 47 zeigt eine bebrütete Platte mit Endo-Agar. Wie darauf deutlich zu erkennen ist, war der Nachweis auf coliforme Keime positiv. Dabei handelt es sich um den Abstrich vom Auslass (oben), der Abstrich von Auslass(oben) war auch positiv. Somit wurde die Quelle der Rekontamination gefunden. Im Auslass befindet sich ein Kugelventil, das innen hohl ist, damit das Produkt ausgelassen werden kann.

Zum Reinigen ist dieses Ventil jedoch immer verschlossen und nur beim Ablassen des Reinigungswassers konnten Verunreinigungen entfernt werden. Dieser Punkt muss also als CCP (Critical Control Point) angesehen werden. Um dort die Keime abzutöten, wurde zusätzlich zur Reinigung der Auslass mit 500ml Flächendesinfektion gereinigt. Der Auslass wurde nur einen Spalt geöffnet, damit das Desinfektionsmittel nur sehr langsam durchlaufen konnte. Der anschließende Oberflächenabstrich war negativ auf coliforme Keime und es wurden nur eine geringe GKZ bzw. Hefen/Schimmel nachgewiesen. Für die Analyse der Hauptversuche erfolgte eine Einteilung in Versuchstage. Dies war durch die sehr hohe benötigte Menge an erforderlichen Platten und Agar notwendig, um die zu Verfügung stehenden Mittel nicht zu überschreiten. An den Versuchstagen, an denen mehr als 1 Versuch durchgeführt wurde, wurden 6 Proben gezogen (Doppelprobe je Versuch).

Tabelle 51: Zusammenfassung Mikrobiologie Hauptversuche

Versuchstag	Keimbestimmung	Keimgehalt in [KbE/g]		
		nach Produktion	nach 2. Messung	nach 3. Messung
1 (V7,3,9)	GKZ	$3,3 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^3$
	Hefen/Schimmel	$1,2 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^3$
	Enterobakterien	<1	<1	<1
2 (V6,5,1)	GKZ	$3 \cdot 10^3$	$7,3 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^4$
	Hefen/Schimmel	$1,1 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^3$
	Enterobakterien	<1	<1	<1
3 (V2)	GKZ	$3,1 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$
	Hefen/Schimmel	$1,1 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^3$	$6,6 \cdot 10^3$
	Enterobakterien	<1	<1	<1
4 (V9W,8,4)	GKZ	$9,8 \cdot 10^2$	$4,8 \cdot 10^3$	
	Hefen/Schimmel	$8,2 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^3$	
	Enterobakterien	<1	<1	
5 (V2W,4W16W)	GKZ	$2,3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	
	Hefen/Schimmel	$9,8 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^3$	
	Enterobakterien	<1	<1	
6 (V1W)	GKZ	$1,6 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^3$	
	Hefen/Schimmel	$1,1 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^3$	
	Enterobakterien	<1	<1	

In Tab. 51 sind die Mittelwerte der Keimgehalte aufgelistet. Ab dem 4. Versuchstag waren nur 2 Untersuchungen nötig, da die Termine der Profilprüfung in kurzer Zeit folgten. Die Proben wurden zu jeder Sitzung der Profilprüfung untersucht, um ein Risiko für die Prüfer auszuschließen. Wie zu sehen ist, überstieg kein Versuch die Grenzwerte der Milchverordnung. Somit war die Mousse au Chocolat aller Versuche verzehrfähig.

4.6 Lagertest

Um sichere Aussagen über die Lagerstabilität in Bezug auf die Keimbelastung treffen zu können, wurden vom Versuch 1(W) weiterhin Proben genommen und untersucht.

Tabelle 52: Zusammenfassung Mikrobiologie Lagertest

Versuch	Keimbestimmung in [KbE/g]	Lagerdauer				
		nach Produktion	7 Tage	13 Tage	19 Tage	23 Tage
1(W) von Versuchstag 6	GKZ	$1,6 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^3$	$9,6 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^4$	$8,3 \cdot 10^4$
	H/S	$1,1 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^3$	$8,9 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^4$
	E	<1	<1	<1	$5,6 \cdot 10^2$	$4,2 \cdot 10^3$

In Tab.52 ist die Entwicklung der Keimgehalte über die Lagerdauer aufgelistet. Dabei ist zu sehen, dass nach 19 Tagen der Grenzwert für coliforme Keime überschritten war, wodurch diese Mousse als nicht verkehrsfähig gilt. Um die weitere Entwicklung zu beobachten, wurde nach 23 Tagen eine weitere Untersuchung gemacht. Dabei war aber in einigen Packungen sichtbar, dass sich bereits Schimmel auf der Mousse gebildet hat. Hier wurde auch der Schwellenwert der GKZ von $5 \cdot 10^4$ KbE/g bei mehr als 2 Proben überschritten.

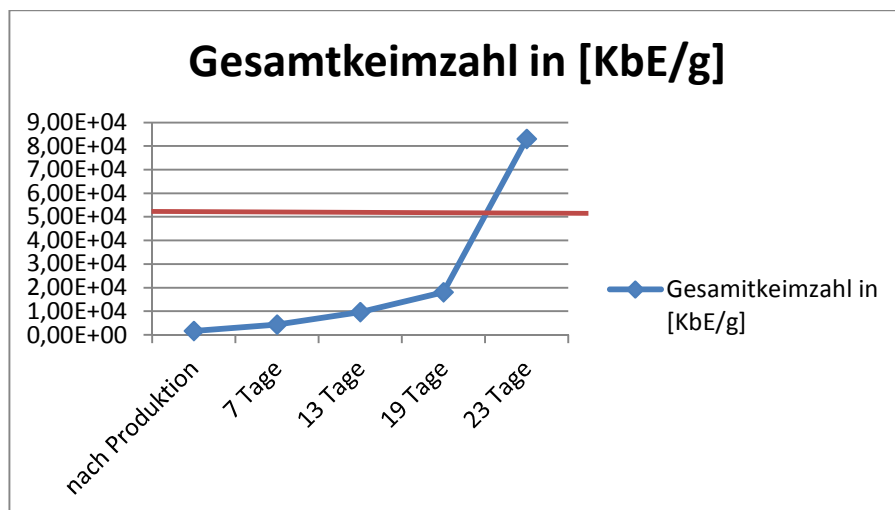


Abbildung 48: Entwicklung Gesamtkeimzahl über Lagerung

Die Abbildung 48 zeigt das Keimwachstum in Abhängigkeit von der Lagerung. Die rote Linie kennzeichnet den Schwellenwert. Vor allem zwischen 19 und 23 Tagen ist ein sehr starkes Wachstum zu beobachten.

5. Diskussion

Das Magermilchpulver konnte in den Vorversuchen erfolgreich durch Vollmilchpulver ersetzt werden. Nach ECHIP wäre für den Overrun ein gesenkter Fettgehalt von Vorteil, damit wäre eine Volumenzunahme von über 100% möglich. Da dabei aber die Festigkeit extrem abnimmt, wurde für die Hauptversuche die Vollmilchrezeptur mit erhöhtem Fettgehalt (Milch/Sahne-Max) und gesenktem Wasserzusatz gewählt. In den Vorversuchen an dem SWÜ konnte mit den Parametern aus der 2. Studienarbeit (Hänel, 2008) keine gute Mousse au Chocolat produziert werden. Der erste Versuch hatte einen sehr niedrigen Overrun und wurde Verworfen. Beim 2. Versuch wurde zwar ein besserer Overrun erzielt, aber die Schaumfestigkeit war sehr gering (siehe Punkt 4.1.2., S.64). Aufgrund der schlechten Ergebnisse wurde sich gegen Hauptversuche an dem SWÜ entschieden. Bei den Vorversuchen an der SDM wurde im 1. Versuch ein hoher Overrun erreicht, aber eine sehr geringe Schaumfestigkeit erzielt. Im 2. Versuch wurden ein guter Overrun und eine hohe Schaumfestigkeit erreicht (siehe Punkt 4.1.3 S.66). Diese Ergebnisse waren vergleichbar mit dem Fertigprodukt aus dem Handel (Dr. Oetker). Mit Hilfe dieser Erkenntnisse wurde die Planung der Hauptversuche mit Hilfe von ECHIP durchgeführt (siehe Punkt 3.5.2 S.44). Im Hauptversuch 7 wurde der signifikant höchste Overrun erzielt und auch im Versuch 9 wurde ein hoher Overrun gemessen. Diese liegen deutlich über der Literaturempfehlung (Baumann, 2006) von 100%. Auch die Schaumfestigkeit dieser Versuche lag im oberen Bereich der gemessenen Daten und konnte fast die des Fertigprodukts aus dem Handel erreichen. Die signifikant höchste Schaumfestigkeit wurde im Versuch 3 gemessen. Der schlechteste Overrun wurde im 8. Versuch erzielt. Auch in den anderen Versuchen (1, 4, 5), bei denen die Drehzahl der Wirbelkammer bei 1458 rpm lag, konnte nur eine geringe Schaumfestigkeit erzielt werden. Dies bestätigt die Vermutung, dass die Struktur der Mousse zerschlagen wurde (siehe Punkt 4.2.10. S.79). In der sensorischen Profilprüfung wurden diese Ergebnisse bestätigt. In Bezug auf die Festigkeit erhielten die Versuche 3, 7 und 9 die höchsten Bewertungen, während z.B. die Versuche 1, 4, 5 und 8 am niedrigsten bewertet wurden. Bei der Bewertung des Overruns ist das gleiche Muster zu erkennen (siehe Punkt 4.3.1., S.90). Des Weiteren war beim Vergleich der mechanischen mit den sensorischen Analysen zu sehen, dass signifikant höhere Messwerte nicht zu signifikant höheren Bewertungen führen. Die Referenzproben hatten die signifikant höchste Schaumfestigkeit, welche deutlich Versuch 3 lag. In der sensorischen Analyse war bei der Bewertung kein signifikanter Unterschied zu sehen.

Das bedeutet, dass die Prüfer bis zu einem gewisse Maße in der Lage sind, Unterschiede wahrzunehmen, aber Schaumfestigkeiten von z.B. 0,310N und 0,735 nicht mehr als signifikant unterschiedlich wahrgenommen werden. In der Bewertung des Overruns war das gleiche Muster zu beobachten. Versuch 9 und 7 wiesen keinen signifikanten Unterschied der Bewertung zu den Referenzproben auf (siehe Punkt 4.3.1., S.90). Im Rahmen der mikrobiologischen Untersuchungen konnte ermittelt werden, dass eine Reinigung der SDM sehr wichtig ist und der Auslass als CCP zu sehen ist. Durch eine zusätzliche Desinfektion konnte die Rekontaminationsquelle eliminiert werden. Die so hergestellte Mousse au Chocolat hatte eine ungefähre Lagerdauer von 13 Tagen bei 8°C. Nach ca. 2 Wochen wurden die Grenzwerte der Milchverordnung überschritten und nach 3 Wochen konnte ein Schimmelwachstum beobachtet werden (siehe Punkt 4.6., S.107). Bei der Beurteilung der Wiederholbarkeit der Versuche ist zu sehen, dass es zwischen den Versuchen 1, 2, 4, 6 und deren Wiederholungen keine signifikanten Unterschiede in den Messergebnissen gibt. Nur im Versuch 9 wurde ein signifikanter Unterschied des Overruns ermittelt. In der sensorischen Analyse sind die Versuche jedoch oft als signifikant unterschiedlich bewertet worden. Durch die gewonnen Daten können Aussagen über die optimalsten Parameter der Satz-Druck-Maschine zur Produktion einer hitzebehandelten, lagerfähigen Mousse au Chocolat, die fest und luftig ist, getroffen werden. Die Mousse sollte dabei einen Overrun zwischen 90%-110% erreichen und mindestens eine Schaumfestigkeit von 0,300 N aufweisen. Für die Mischerwelle eignen sich am besten Drehzahlen im mittleren Bereich zwischen 60 – 90 rpm. Dadurch ist eine gute Durchmischung des Mousse-Mixes gewährleistet und sie ist stabil und luftig. Die Drehzahl der Wirbelkammer sollte zwischen 810 – 1134 rpm liegen. Bei höheren Einstellungen wurden nur geringe Festigkeiten erzielt, dies lässt vermuten, dass die gebildeten Komplexe durch die starke Krafteinwirkung zerschlagen wurden. Bei einem Prozessdruck von 1 bar konnte der angestrebte Overrun erreicht werden. Die sensorische Analyse zeigte bei diesen Einstellungen keine signifikanten Unterschiede zu den Referenzproben, bei denen signifikant höhere Festigkeiten gemessen wurden. Zur Verifizierung der Ergebnisse wäre es von Vorteil, Versuche mit den ermittelten Parametern zu wiederholen und weitere Versuche am Schabe-Wärme-Überträger durchzuführen. Des Weiteren könnten zusätzliche sensorische Analysen Aufschluss darüber geben, welche Schaumfestigkeit und Luftigkeit (Volumenzunahme) vom Verbraucher erwünscht sind, um die Parameter weiterhin anzupassen.

Dies könnte mit Hilfe einer Beliebtheitsprüfung, einer Akzeptanzprüfung oder eines Verbrauchertests geschehen. Um die Reproduzierbarkeit der Versuche zu erhöhen, sollte eine Möglichkeit gefunden werden, den Druckausgleich von Prozessdruck auf Umgebungsdruck zu automatisieren. Die manuelle Steuerung birgt das größte Fehlerrisiko bei der Herstellung.

6. Zusammenfassung

Diese Masterthesis befasst sich mit den Einflussfaktoren des Mischprozesses auf fettbasierte Lebensmittelschäume am Beispiel einer hitzebehandelten, lagerfähigen Mousse au Choclat. Das Ziel war es, mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse einer Studienarbeit (Hänel, 2008), die optimalste Aufschlagtemperatur und Fettgehalt, sowie die geeignetsten Parameter der genutzten Maschinen zu ermitteln, um eine hohe Schaumfestigkeit und einen hohen Overrun zu erzielen. Als Ausgangsrezeptur wurde die Rezeptur aus der 2. Studienarbeit genutzt. In den Vorversuchen sollte versucht werden, das Magermilchpulver in der Rezeptur durch Vollmilchpulver zu ersetzen. Dafür wurde die Rezeptur dementsprechend angepasst. In den Versuchen wurden die verschiedenen Fettgehalte mit den Aufschlagtemperaturen kombiniert und der Versuchsplan erstellt. Die Versuche wurden im Labormaßstab in kleinen Mengen (500g) durchgeführt und mit einem Handmixer aufgeschlagen. Die ermittelten Ergebnisse der Schaumfestigkeit und des Overruns wurden mit Hilfe von ECHIP ausgewertet. Für die Rezepturen die Vollmilchpulver enthalten wurde ermittelt, dass der Overrun bei einem niedrigen Fettgehalt (Milch/Sahne-Mix) und einer erhöhten Aufschlagtemperatur (10°C) am höchsten ist. Da bei einem niedrigen Fettgehalt die Schaumfestigkeit aber sehr gering ist im Vergleich, wurde für die Hauptversuche eine Rezeptur (Vollmilchpulver) mit erhöhtem Fettgehalt bei einer höheren Aufschlagtemperatur ausgewählt. In weiteren Vorversuchen wurden 2 verschiedenen Aufschlagsysteme im Technikum untersucht. Für die Versuche am Schabe-Wärme-Überträger wurden ebenfalls die Einstellungen aus der 2. Studienarbeit übernommen, es wurde aber keine gute Mousse au Choclat produziert. Aufgrund des hohen Rohstoffverbrauchs wurde sich dann gegen weitere Versuche am Schabe-Wärme-Überträger entschieden. Mit Hilfe der Vorversuche an der Satz-Druck-Maschine konnten Erkenntnisse für die Planung der Hauptversuche gesammelt werden. Die Planung der Hauptversuche erfolgte mit ECHIP. Für die Durchführung wurde ein teilfaktorielles Versuchsdesign mit einem Wendepunkt ausgewählt, des Weiteren wurden 5 Wiederholungsversuche eingeplant. Damit wurden 14 Hauptversuche von ECHIP vorgegeben.

Diese wurden nicht nur durch instrumentell gemessene Ergebnisse beurteilt. Zum weiteren Vergleich wurde eine konventionelle sensorische Profilprüfung durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurde der mikrobiologische Status der Versuche überwacht, um die Verzehrfähigkeit und die gesundheitliche Unbedenklichkeit für die Prüfer zu gewährleisten. Die Ergebnisse wurden anschließend mit ECHIP ausgewertet. Bei der Auswertung der Ergebnisse der instrumentellen Analysen konnten signifikante Unterschiede (Overrun, Schaumfestigkeit) zwischen den Versuchen festgestellt werden. Auch zu den Referenzproben der Profilprüfung war dies der Fall. Diese Unterschiede wurden auch größtenteils in der Profilprüfung aufgezeigt. Dabei war jedoch zu sehen, dass ab einem gewissen Punkt der Schaumfestigkeit kein Unterschied zu deutlich höheren Festigkeiten (instrumentell gemessen) festgestellt wurde. Ein Lagertest ergab, dass die Haltbarkeit der Mousse au Chocolat bei ca. 2 Wochen liegt. Abschließend lässt sich sagen, dass sowohl der Fettgehalt als auch die Aufschlagtemperatur einen Einfluss auf die Schaumfestigkeit und die Volumenzunahme haben. Aber auch die prozesstechnischen Einstellungen des Aufschlagsystems haben einen entscheidenden Einfluss auf die Beschaffenheit der Mousse au Chocolat.

7. Verzeichnisse

7.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung Mousse im Handel (Baumann, 2006).....	10
Tabelle 2: Rohstoffe.....	25
Tabelle 3: Materialien (Hauptversuche).....	26
Tabelle 4: Grundrezeptur Mousse au Chocolat (Magermilchpulver).....	26
Tabelle 5: Grundrezeptur Mousse au Chocolat (Vollmilchpulver).....	27
Tabelle 6: Messparameter Texture Analyser.....	33
Tabelle 7: Rezeptur Magermilchpulver (Fettgehalt erhöht, Wasserzusatz erhöht).....	35
Tabelle 8: Rezeptur Vollmilchpulver (Fettgehalt erhöht, Wasserzusatz erhöht).....	36
Tabelle 9: Versuchsplanung Vorversuche.....	37
Tabelle 10: Rezeptur Versuche Technikumsmaßstab.....	39
Tabelle 11: Prozessparameter Vorversuche Schabe-Wärme-Überträger.....	40
Tabelle 12: Prozessparameter Vorversuche Satz-Druck-Maschine.....	42
Tabelle 13 : Variablenplanung Hauptversuche.....	44
Tabelle 14: Planung Hauptversuche ECHIP.....	45
Tabelle 15: Einstellung Satz-Druck-Maschine für Hauptversuche.....	46
Tabelle 16: Agarsorten Keimbestimmung.....	49
Tabelle 17: Prüfmuster für Panelschulung.....	52
Tabelle 18: Attributliste Profilprüfung mit Ankerpunkten.....	53
Tabelle 19: Probenplan Profilprüfung Hauptversuche.....	54
Tabelle 20: Referenzproben Handelsprodukte.....	55
Tabelle 21: Ergebnisse Vorversuche Labormaßstab.....	56
Tabelle 22: Tafel der Varianzanalyse Overrun (Vorversuche).....	56
Tabelle 23: Messung Schaumfestigkeit VV2 SWÜ.....	65
Tabelle 24: Messung Overrun VV1 SDM.....	66
Tabelle 25: Messung Festigkeit VV1 SDM.....	67
Tabelle 26: Messung Overrun VV2 SDM.....	67
Tabelle 27: Messung Festigkeit VV2 SDM.....	68
Tabelle 28: Ergebnisse HV 1 (Erstversuch).....	69
Tabelle 29: Ergebnisse HV 1 (W).....	70
Tabelle 30: Ergebnisse HV2 (Erstversuch).....	70
Tabelle 31: Ergebnisse HV2(W).....	71
Tabelle 32: Ergebnisse HV3.....	72
Tabelle 33: Ergebnisse HV4 (Erstversuch).....	72
Tabelle 34: Ergebnisse HV4 (W).....	73
Tabelle 35: Ergebnisse HV5.....	74
Tabelle 36: Ergebnisse HV6 (Erstversuch).....	75

Tabelle 37: Ergebnisse HV6 (W).....	75
Tabelle 38: Ergebnisse HV7.....	76
Tabelle 39: Ergebnisse HV8.....	76
Tabelle 40: Ergebnisse HV9 (Erstversuch).....	77
Tabelle 41: Ergebnisse HV9 (W).....	78
Tabelle 42: Ergebnisse (Overrun) Tukey-Test Hauptversuche (Irrtumswahrscheinlichkeit 1%).....	79
Tabelle 43: Ergebnisse (Schaumfestigkeit)Tukey-Test Hauptversuche (Irrtumswahrscheinlichkeit 1%).....	80
Tabelle 44: Ergebnisse Energie- und Mengenbilanz der Hauptversuche	81
Tabelle 45 : Ergebnisse Wasser- und Wärmebilanz der Hauptversuche.....	83
Tabelle 46: Ergebnisse Profilprüfung für Luftgehalt (Irrtumswahrscheinlichkeit: 5%).....	90
Tabelle 47: Ergebnisse Profilprüfung für Schaumfestigkeit (Irrtumswahrscheinlichkeit: 5%).....	92
Tabelle 48: Vergleich Overrun mit sensorischen Attributen(Irrtumswahrscheinlichkeit 5%).....	102
Tabelle 49: Vergleich Schaumfestigkeit mit sensorischen Attributen(Irrtumswahrscheinlichkeit 5%).....	103
Tabelle 50: Keimgehalte Vorversuche	105
Tabelle 51: Zusammenfassung Mikrobiologie Hauptversuche.....	106
Tabelle 52: Zusammenfassung Mikrobiologie Lagertest.....	107
Tabelle 53:Rezeptur Magermilchpulver (Fettgehalt erhöht, Wasserzusatz gesenkt).....	118
Tabelle 54: Rezeptur Magermilchpulver (Fettgehalt gesenkt, Wasserzusatz gesenkt).....	118
Tabelle 55: Rezeptur Magermilchpulver (Fettgehalt gesenkt, Wasserzusatz erhöht).....	119
Tabelle 56: Rezeptur Vollmilchpulver (Fettgehalt erhöht, Wasserzusatz gesenkt).....	119
Tabelle 57: Rezeptur Vollmilchpulver (Fettgehalt gesenkt, Wasserzusatz gesenkt).....	120
Tabelle 58: Rezeptur Vollmilchpulver (Fettgehalt gesenkt, Wasserzusatz erhöht).....	120
Tabelle 59: Messung Volumenzunahme VV1 SWÜ	121
Tabelle 60: Messung Volumenzunahme VV2 SWÜ.....	121
Tabelle 61:Kühltemp. Aufschlagprozess Hauptversuche.....	121
Tabelle 62:Definitionen Attribute (Profilprüfung).....	122
Tabelle 63: Berechnung spezifische Wärmekapazität Mousse au Chocolat.....	122
Tabelle 64: Mengenbilanz Hauptversuche.....	123
Tabelle 65: Energiebilanz Hauptversuche.....	124
Tabelle 66: Wärmebilanz Hauptversuche.....	128
Tabelle 67: Wasserverbrauch Hauptversuche.....	129
Tabelle 68: Messergebnisse Vorversuche mit Magermilchpulver.....	130
Tabelle 69: Messergebnisse Vorversuche Vollmilchpulver.....	133
Tabelle 70 :Messergebnisse Overrun in %, Hauptversuche (während Profilprüfung).....	136
Tabelle 71: Messergebnisse Schaumfestigkeit in N, Hauptversuche (während Profilprüfung).....	137
Tabelle 72: Ergebnisse Mikrobiologie Hauptversuche.....	138

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: a) Kugelschaum; b) Polyederschaum (Tscheuschner, 2004).....	13
Abbildung 2: Grenzflächenverhalten von Emulgatoren verschiedener Stoffklassen (Damodaran, 1997)....	15
Abbildung 3: Aufbau Mondomix (Klupsch, 1992).....	22
Abbildung 4: Aufbau Schabe-Wärme-Überträger.....	23
Abbildung 5: Aufbau Satz-Durck-Maschine.....	24
Abbildung 6: Wirbelkammer (Quelle: http://www.lippmischtechnik.de/de/wirkprinzipien/wirbelkammer/).....	24
Abbildung 7: Startmenü ECHIP.....	27
Abbildung 8: Festigkeitsmessung Texture Analyser.....	33
Abbildung 9: Festigkeitsmessung Mousse au Chocolat.....	34
Abbildung 10: Fließschema Probenherstellung Labormaßstab.....	38
Abbildung 11: Verfahrensfließbild SWÜ mit vorgeschaltetem Luftdosiersystem (LDS) und separaten Kühlkreislauf.....	41
Abbildung 12: Verfahrensfließbild Satz-Druck-Maschine mit Luftdosiersystem und separatem Kühlkreislauf.....	43
Abbildung 13: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Overrun (VV Magermilchpulver).....	58
Abbildung 14: 2D-Darstellung Overrun (VV Magermilchpulver).....	59
Abbildung 15: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Festigkeit (VV Magermilchpulver).....	59
Abbildung 16: 2D-Darstellung Festigkeit (VV Magermilchpulver).....	60
Abbildung 17: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Overrun (VV Vollmilchpulver).....	61
Abbildung 18: 2D-Darstellung Overrun (VV Vollmilchpulver).....	61
Abbildung 19: Koeffizienten der Terme für Festigkeit (VV Vollmilchpulver).....	62
Abbildung 20: 2D-Darstellung Festigkeit (VV Vollmilchpulver).....	63
Abbildung 21 : Verlauf Volumenzunahme über Zeit (VV1 SWÜ).....	64
Abbildung 22: Verlauf Volumenzunahme über Zeit (VV2 SWÜ).....	65
Abbildung 23 : Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Energieverbrauch (Hauptversuche).....	82
Abbildung 24 : 2D-Darstellung Energieverbrauch der Hauptversuche.....	83
Abbildung 25 : Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Wasserverbrauch (Hauptversuche).....	84
Abbildung 26 : Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Wasserverbrauch (Hauptversuche).....	85
Abbildung 27: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Overrun (Hauptversuche).....	86
Abbildung 28: 2D-Darstellung Overrun (Hauptversuche).....	86
Abbildung 29: 3D-Darstellung Overrun (Hauptversuche).....	87

Abbildung 30: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Festigkeit (Hauptversuche).....	88
Abbildung 31: 2D-Darstellung Festigkeit (Hauptversuche).....	88
Abbildung 32: 3D-Darstellung Festigkeit (Hauptversuche).....	89
Abbildung 33: Ergebnisse Attribute: Merkmal Aussehen (Profilprüfung).....	93
Abbildung 34: Ergebnisse Attribute: Merkmal Mundgefühl (Profilprüfung).....	94
Abbildung 35: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Festigkeit(M).....	95
Abbildung 36: 2D-Darstellung Festigkeit(M).....	95
Abbildung 37: 3D-Darstellung Festigkeit(M).....	96
Abbildung 38: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Luftigkeit(M).....	96
Abbildung 39: 2D-Darstellung Luftigkeit(M).....	97
Abbildung 40: 3D-Darstellung Luftigkeit(M).....	97
Abbildung 41: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung hoher p-Werte für Formstabilität(A).....	98
Abbildung 42: 2D-Darstellung Formstabilität(A).....	98
Abbildung 43: 3D-Darstellung Formstabilität(A).....	99
Abbildung 44: Koeffizienten der Terme nach Eliminierung schlechter p-Werte für Luftblasengröße(A).....	99
Abbildung 45: 2D-Darstellung Luftblasengröße(A).....	100
Abbildung 46: 3D-Darstellung Luftblasengröße(A).....	101
Abbildung 47: Agar-Platte (Endo-Agar) bebrütet (Oberflächenabstrich).....	105
Abbildung 48: Entwicklung Gesamtkeimzahl über Lagerung).....	107

7.3 Literaturverzeichnis

- Belitz, H.-D.: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 6. Aufl. Berlin: Springer, 2008.
- Campbell, G. M.: Bubbles in Food. St. Paul, Minn: Eagan Press, 1999.
- Damodaran, S., Paraf, A.: Food proteins and their applications. 1. Aufl. New York: Dekker, 1997.
- Dickinson, E.: Food Emulsions and Foams. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1999
- Klupsch, H. J.: Saure Milcherzeugnisse-Milchmischgetränke und Desserts. 2. Aufl. Gelsenkirchen-Buer: Mann, 1992.
- Spreer, E.: Technologie der Milchverarbeitung. 8. Aufl. Hamburg: Behr, 2005.
- Tscheuschner, H. D.: Grundzüge der Lebensmitteltechnik. 3. Aufl. Hamburg: Behr, 2004.
- Schuster G.: Emulgatoren für Lebensmittel, Berlin: Springer 1985
- Campbell G.M., Mougeot E.: Creation and characterisation of areated food products, Zeitschrift: Trends in Food Science Technology 10: 1999 S.283-296
- Borcherding K. : Untersuchungen zur Charakterisierung der Makro- und Mikrostruktur von Milchsäumen, Kiel: 2004
- Hänel D.: Kontinuierlich aufgeschlagene Milchprodukte, 2. Studienarbeit, Hochschule Neubrandenburg, 2008
- Plättner: Vergleich von ECHIP und Unscrambler, 2. Studienarbeit, Hochschule Neubrandenburg, 2005
- Rohenkohl H.: Schaum ist nicht gleich Schaum, 2002
- Wheeler B., Betsch R.: Reference Manual (Software for the Design of Experiments) ECHIP, Incorporated, 742 Yorklyn Road, Hockessin, DE 19707-8703, 2003
- DIN 10950-1, Sensorische Prüfung, Teil 1: Begriffe, 1999
- DIN 10950-2, Sensorische Prüfung Teil 2: Allgemeine Grundlagen, 2000
- DIN 10961, Schulung von Prüfpersonen für sensorische Prüfungen, 1996
- DIN 10967-1, Sensorische Prüfverfahren, Profilprüfung, Teil 1 Konventionelles Profil, 1999

Internetquellen

Leitsätze für Pudding, andere süße Desserts und verwandte Erzeugnisse

<http://www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/379784/publicationFile/> , Aufruf: 21.02.2014

Baumann I., Geschäumte Träume, Zeitschrift Lebensmittel Technologie, Ausgabe 06/2006

<http://www.lt-magazin.ch/lTech/artikel/index.php?id=5569> Aufruf: 14.02.14

Verordnung über Hygiene- und Qualitätsanforderungen an Milch und Erzeugnisse auf Milchbasis
(Milchverordnung)

http://www.vetion.de/gesetze/Gesetzestexte_pdf/MilchVO.pdf, Aufruf: 01.03.2014

www.laetta.de, Aufruf: 05.02.2014

<http://testlokal.de/2012/01/laetta-luftig/>, Aufruf: 01.03.14

Anhang

Tabelle 53: Rezeptur Magermilchpulver (Fettgehalt erhöht, Wasserzusatz gesenkt)

Rezeptur	Menge in [%]	Fettgehalt in [%]
Milch/Rahm	74.80	19.00
Vollmilch	12.98	3.50
Sahne	61.82	30.00
Magermilchpulver	4.00	1.00
Zucker	13.00	0.00
Kakaopulver	5.00	20.50
Wasser (für Gelatine)	1.60	0.00
Gelatine (bloom 260)	0.80	0.00
Mono-/Diglyceride	0.70	70.00
Carageen	0.10	0.00
Gesamt	100.00	20.55

Tabelle 54: Rezeptur Magermilchpulver (Fettgehalt gesenkt, Wasserzusatz gesenkt)

Rezeptur	Menge in [%]	Fettgehalt in [%]
Milch/Rahm	74.80	16.00
Vollmilch	24.30	3.50
Sahne	50.50	30.00
Magermilchpulver	4.00	1.00
Zucker	13.00	0.00
Kakaopulver	5.00	20.50
Wasser (für Gelatine)	1.60	0.00
Gelatine (bloom 260)	0.80	0.00
Mono-/Diglyceride	0.70	70.00
Carageen	0.10	0.00
Gesamt	100.00	17.55

Tabelle 55: Rezeptur Magermilchpulver (Fettgehalt gesenkt, Wasserzusatz erhöht)

Rezeptur	Menge in [%]	Fettgehalt in [%]
Milch/Rahm	74.00	16.00
Vollmilch	23.40	3.50
Sahne	50.60	30.00
Magermilchpulver	4.00	1.00
Zucker	13.00	0.00
Kakaopulver	5.00	20.50
Wasser (für Gelatine)	2.40	0.00
Gelatine (bloom 260)	0.80	0.00
Mono-/Diglyceride	0.70	70.00
Carageen	0.10	0.00
Gesamt	100.00	17.55

Tabelle 56: Rezeptur Vollmilchpulver (Fettgehalt erhöht, Wasserzusatz gesenkt)

Rezeptur	Menge in [%]	Fettgehalt in [%]
Milch/Rahm	73.47	17.65
Vollmilch	16.57	3.50
Sahne	56.90	30.00
Vollmilchpulver	5.33	26.00
Zucker	13.00	0.00
Kakaopulver	5.00	20.50
Wasser (für Gelatine)	1.60	0.00
Gelatine (Bloom 260)	0.80	0.00
Mono-/Diglyceride	0.70	70.00
Carageen	0.10	0.00
Gesamt	100.00	20.55

Tabelle 57: Rezeptur Vollmilchpulver (Fettgehalt gesenkt, Wasserzusatz gesenkt)

Rezeptur	Menge in [%]	Fettgehalt in [%]
Milch/Rahm	73.47	14.66
Vollmilch	27.85	3.50
Sahne	45.62	30.00
Vollmilchpulver	5.33	26.00
Zucker	13.00	0.00
Kakaopulver	5.00	20.50
Wasser (für Gelatine)	1.60	0.00
Gelatine (bloom 260)	0.80	0.00
Mono-/Diglyceride	0.70	70.00
Carageen	0.10	0.00
Gesamt	100.00	17.56

Tabelle 58: Rezeptur Vollmilchpulver (Fettgehalt gesenkt, Wasserzusatz erhöht)

Rezeptur	Menge in [%]	Fettgehalt in [%]
Milch/Rahm	72.67	14.66
Vollmilch	26.95	3.50
Sahne	45.72	30.00
Vollmilchpulver	5.33	26.00
Zucker	13.00	0.00
Kakaopulver	5.00	20.50
Wasser (für Gelatine)	2.40	0.00
Gelatine (bloom 260)	0.80	0.00
Mono-/Diglyceride	0.70	70.00
Carageen	0.10	0.00
Gesamt	100.00	17.56

Tabelle 59: Messung Volumenzunahme VV1 SWÜ

Zeit in min	Masse [g]	Dichte [g/ml]	Overrun [%]
0	67.3	1.04	0
6	66.55	1.02	1.17
9	63.73	0.98	5.65
15	62.73	0.97	7.33
25	62.15	0.96	8.33
35	62.55	0.96	7.63
50	61.15	0.94	10.1
60	57.23	0.88	17.65
70	58.18	0.9	15.73
80	57.8	0.89	16.48

Tabelle 60: Messung Volumenzunahme VV2 SWÜ

Zeit in min	Masse [g]	Dichte [g/ml]	Overrun [%]
0	67.48	1.04	0
6	64.33	0.99	4.66
19	57.05	0.88	18.01
25	53.65	0.83	25.49
31	50.5	0.78	33.32
37	46.85	0.72	43.7
43	47.55	0.73	41.59
55	47.7	0.73	41.14
65	42.03	0.65	60.2
75	38.55	0.59	74.64
85	40.2	0.62	67.48

Tabelle 61: Kühltemp. Aufschlagprozess Hauptversuche

Versuch-Nr.	Kühltemperatur in [°C]
1	0
2	10
3	5
4	5
5	5
6	5
7	10
8	0
9	5

Tabelle 62: Definitionen Attribute (Profilprüfung)

Merkmal	Attribut	Definition
Aussehen	Luftblasengröße	Die Luftblasengröße ist die Anzahl der Luftblasen im Mix und deren Größe. Der Nullpunkt (Pudding) bedeutet, es sind nur wenige und große enthalten. Der 100-Punkt (Haushaltssieb) bedeutet, es sind viele Luftblasen, bei annähernd gleicher Größe im Mix verteilt.
	Verteilung (Luftblasen)	Die Verteilung der Luftblasen beschreibt die Anordnung der Luftblasen im Mix. Wie in einem Brötchen (0-Punkt) ist die Verteilung eher unregelmäßig und durch grobe Einschlüsse unterbrochen. Der 100-Punkt (Haushaltssieb) kennzeichnet dabei eine strukturell geordnete Verteilung.
	Farbe	Das Attribut Farbe bezeichnet die Intensität der Färbung durch das Kakaopulver von sehr hell bis sehr dunkel.
	Glanz	Der Glanz beschreibt das Aussehen der Oberfläche der Mousse au Chocolat.
	Formstabilität	Die Formstabilität ist definiert als die mögliche eintretende Verformung, wenn das Produkt mit z.B. einem Löffel geteilt wird.
Textur/Mundgefühl	Festigkeit	Die Festigkeit beschreibt das Verhalten der Mousse im Mund. Ob sie wie Joghurt (0-Punkt) gleich zerfließt, oder durch die Zunge zerdrückt wird wie bei Wackelpudding (110-Punkt)
	Luftigkeit	Die Luftigkeit beschreibt den Eindruck des Luftgehaltes der im Mund erzeugt wird, wenn das Produkt mit der Zunge zerdrückt wird.
	cremig/sahnig	Durch die Cremigkeit/Sahnigkeit wird beschrieben, ob beim Verkosten ein "fettiges" Mundgefühl entsteht.
	Schmelzfähigkeit	Die Schmelzfähigkeit beschreibt das Schmelzverhalten der Mousse im Mund, also ob sie gleich zerfließt (wie Wasser) oder nach einer gewissen Zeit schmilzt (wie Schokolade)
	Klebrigkeit	Die Klebrigkeit bezeichnet die Eigenschaft der Mousse, ob sie nach dem Zerdrücken mit der Zunge stark am Gaumen kleben bleibt oder nicht.

Tabelle 63: Berechnung spezifische Wärmekapazität Mousse au Chocolat

Zutat	Menge in [%]	spez. Wärmekapazität in[kJ/(kg*K)]
Vollmilch	16.57	3.850
Sahne	56.90	3.140
Vollmilchpulver	5.33	2.094
Zucker	13.00	1.256
Kakaopulver	5.00	2.000
Wasser (für Gelatine)	1.60	4.180
Gelatine (bloom 260)	0.80	0.000
Mono-/Diglyceride	0.70	0.000
Carageen	0.10	0.000
Gesamt	100.00	3.37

Tabelle 64: Mengenbilanz Hauptversuche

Versuch	Einwaage in [kg]	Auswaage in [kg]	Verlust in [kg]	Verlust in [%]
1	15.00	13.96	1.04	6.95
1W	15.00	14.15	0.85	5.64
2	15.00	14.09	0.91	6.06
2W	15.00	14.24	0.76	5.05
3	15.00	13.81	1.19	7.91
4	15.00	14.09	0.91	6.06
4W	15.00	13.93	1.07	7.11
5	15.00	14.15	0.85	5.65
6	15.00	13.84	1.16	7.70
6W	15.00	13.90	1.10	7.34
7	15.00	11.09	3.92	26.10
8	15.00	12.04	2.96	19.75
9	15.00	13.29	1.72	11.43
9W	15.00	13.86	1.14	7.60

Tabelle 65: Energiebilanz Hauptversuche

Versuch	Prozessschritt	Anmerkung	Zeit in h	Leistung (P) in [kW]	Energieverbrauch in [kWh]	Energieverbrauch je [kg] fertiges Produkt in [kWh/kg]
1	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.46	1.50	0.68	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.54	0.14	0.08	
		Rührelement WK		0.25	0.13	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.34	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.44	0.15	
		Rührelement WK		1.26	0.42	
		Kühlaggregrat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.30	
1(W)	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.44	1.50	0.65	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.65	0.14	0.09	
		Rührelement WK		0.25	0.16	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.63	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.45	0.15	
		Rührelement WK		1.26	0.42	
		Kühlaggregrat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.61	
2	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.46	1.50	0.69	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.56	0.14	0.08	
		Rührelement WK		0.25	0.14	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.40	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.28	0.09	
		Rührelement WK		0.50	0.17	

		Kühlaggregat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.06	0.22
2W	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.45	1.50	0.68	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.54	0.14	0.08	
		Rührelement WK		0.25	0.13	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.35	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.43	0.14	
		Rührelement WK		0.35	0.12	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.00	
3	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.39	1.50	0.58	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.59	0.14	0.08	
		Rührelement WK		0.25	0.15	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.47	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.47	0.16	
		Rührelement WK		0.55	0.18	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.13	
4	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.46	1.50	0.68	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.57	0.14	0.08	
		Rührelement WK		0.25	0.14	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.43	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.28	0.09	
		Rührelement WK		0.97	0.32	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.25	

4W	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.44	1.50	0.66	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.51	0.14	0.07	
		Rührelement WK		0.25	0.13	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.27	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.27	0.09	
		Rührelement WK		1.10	0.37	
		Kühlaggregrat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.08	

5	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.43	1.50	0.64	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.53	0.14	0.07	
		Rührelement WK		0.25	0.13	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.31	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.27	0.09	
		Rührelement WK		1.06	0.35	
		Kühlaggregrat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.10	

6	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.44	1.50	0.66	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.53	0.14	0.07	
		Rührelement WK		0.25	0.13	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.32	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.44	0.15	
		Rührelement WK		0.55	0.18	
		Kühlaggregrat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.01	

6W	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.42	1.50	0.63	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.63	0.14	0.09	

		Rührelement WK		0.25	0.16	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.56	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.45	0.15	
		Rührelement WK		0.52	0.17	
		Kühlaggregrat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.26	0.23

7	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.52	1.50	0.78	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.72	0.14	0.10	
		Rührelement WK		0.25	0.18	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.79	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.28	0.09	
		Rührelement WK		0.55	0.18	
		Kühlaggregrat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.63	

8	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.42	1.50	0.63	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.55	0.14	0.08	
		Rührelement WK		0.25	0.14	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.38	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.46	0.15	
		Rührelement WK		1.24	0.41	
		Kühlaggregrat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.29	

9	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.44	1.50	0.65	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.57	0.14	0.08	
		Rührelement WK		0.25	0.14	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.42	

	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.37	0.12	
		Rührelement WK		0.83	0.28	
		Kühlaggregrat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.19	0.24

9W	Aufheizen Mousse-Masse	auf separater Heizplatte	0.46	1.50	0.69	
	Abkühlen der Masse (auf 10°C)	Rührelement MK	0.52	0.14	0.07	
		Rührelement WK		0.25	0.13	
		Kühlaggregat (über Stromzähler)		2.50	1.31	
	Aufschlagen der Masse	Rührelement MK	0.33	0.81	0.27	
		Rührelement WK		0.40	0.13	
		Kühlaggregrat (über Stromzähler)		1.50	0.50	
	Summe Energieverbrauch				3.10	

Tabelle 66: Wärmebilanz Hauptversuche

Versuch		1	1W	2	2W	3	4	4W	5	6	6W	7	8	9	9W
Produkt	m in [kg]	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
	c in [kJ/(kg*K)]	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37
	ΔT in [K] (85°C - 10°C)	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00
	Q in [kJ]	3789.33	3789.33	3789.33	3789.33	3789.33	3789.33	3789.33	3789.33	3789.33	3789.33	3789.33	3789.33	3789.33	3789.33
Kühlaggregat	m in [kg]	360.73	395.54	324.44	324.99	338.44	332.7	304.06	316.55	327.95	352.83	342.76	372.79	294.15	289.96
	c in [kJ/(kg*K)]	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18
	ΔT in [K] (24°C - 8°C)	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
	Q in [kJ]	24125.62	26453.72	21698.55	21735.33	22634.87	22250.98	20335.53	21170.86	21933.30	23597.27	22923.79	24932.20	19672.75	19392.52
Wirkungsgrad in %		15.71	14.32	17.46	17.43	16.74	17.03	18.63	17.90	17.28	16.06	16.53	15.20	19.26	19.54

Tabelle 67: Wasserverbrauch Hauptversuche

Versuch	1	1W	2	2W	3	4	4W	5	6	6W	7	8	9	9W
Wasserverbrauch (Kühlvorgang) Kühlaggregat in [ml/ 10s]	640.00	620.00	680.00	720.00	700.00	740.00	700.00	520.00	700.00	720.00	680.00	680.00	540.00	640.00
	600.00	580.00	660.00	700.00	620.00	580.00	600.00	580.00	660.00	620.00	640.00	620.00	580.00	600.00
	680.00	660.00	720.00	680.00	660.00	640.00	640.00	620.00	720.00	600.00	520.00	680.00	500.00	580.00
Mittelwert in [ml/ 10s]	640.00	620.00	686.67	700.00	660.00	653.33	646.67	573.33	693.33	646.67	613.33	660.00	540.00	606.67
Zeit Kühlvorgang in [h]	0.54	0.65	0.56	0.54	0.59	0.57	0.51	0.53	0.53	0.63	0.67	0.55	0.57	0.49
Volumenstrom (Kühlvorgang) in [l/h]	384.00	372.00	412.00	420.00	396.00	392.00	388.00	344.00	416.00	388.00	368.00	396.00	324.00	364.00
Gesamtverbrauch (Kühlvorgang) in [l]	206.40	242.54	230.10	226.66	233.44	223.70	196.39	180.89	218.95	242.50	245.76	218.46	183.82	176.96
Wasserverbrauch (Aufschlag) Kühlaggregat in [ml/ 10s]	600.00	540.00	260.00	280.00	320.00	320.00	300.00	460.00	340.00	360.00	220.00	520.00	300.00	280.00
	500.00	580.00	240.00	240.00	280.00	340.00	340.00	460.00	300.00	320.00	280.00	580.00	360.00	360.00
	540.00	500.00	240.00	280.00	300.00	300.00	300.00	440.00	320.00	300.00	280.00	540.00	320.00	380.00
Mittelwert in [ml/ 10s]	546.67	540.00	246.67	266.67	300.00	320.00	313.33	453.33	320.00	326.67	260.00	546.67	326.67	340.00
Zeit Aufschlag in [h]	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Volumenstrom (Aufschlag) in [l/h]	328.00	324.00	148.00	160.00	180.00	192.00	188.00	272.00	192.00	196.00	156.00	328.00	196.00	204.00
Gesamtverbrauch (Aufschlag) in [l]	109.33	108.00	49.33	53.33	60.00	64.00	62.67	90.67	64.00	65.33	52.00	109.33	65.33	68.00
Wasserverbrauch Reinigung in [l]	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
Gesamt Wasserverbrauch (pro Versuch) in [l]	360.73	395.54	324.44	324.99	338.44	332.70	304.06	316.55	327.95	352.83	342.76	372.79	294.15	289.96

Tabelle 68: Messergebnisse Vorversuche mit Magermilchpulver

Versuch	Datum	Masse in [g]					Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
Aufschlagzeit in min		0	1.5	3	4.5	6			
1		67.8	45.7	37.1	34.3	34.2	0.53	99.34	0.638
		68.1	44.7	37.3	34.8	35.1	0.54	94.23	0.661
		68.6	43.2	37.5	34.1	34.7	0.53	96.47	0.617
		68.2	44.6	37.3	34.6	34.5	0.53	97.61	0.619
Mittelwert		68.18	44.55	37.30	34.45	34.63	0.53	96.91	0.634
ρ _{mousse} in [g/ml]		1.05	0.69	0.57	0.53	0.53			-
Overrun in [%]		0.00	53.03	82.77	97.90	96.90			-
SD		0.33	1.03	0.16	0.31	0.38			0.020
VK		0.48	2.31	0.44	0.90	1.09			3.261
2		68.3	44.8	36.9	36.5	36.8	0.57	83.70	0.162
		67	45.9	36.4	37.3	38.3	0.59	76.50	0.162
		67.3	45	36.2	37.8	37.5	0.58	80.27	0.199
		67.8	45.3	36.4	36.9	37.8	0.58	78.84	0.191
Mittelwert		67.60	45.25	36.48	37.13	37.60	0.58	79.82	0.179
ρ _{mousse} in [g/ml]		1.04	0.70	0.56	0.57	0.58			-
Overrun in [%]		0.00	49.39	85.33	82.09	79.79			-
SD		0.57	0.48	0.30	0.56	0.63			0.019
VK		0.85	1.06	0.82	1.50	1.67			10.785
3		66.4	49.8	36.2	35.5	36.5	0.56	82.05	0.499
		66.7	47.8	35.8	35.2	36.9	0.57	80.08	0.446
		66.3	49	36.7	36.1	36.2	0.56	83.56	0.459
		66.4	48.7	36.3	35.9	36.3	0.56	83.06	0.458

Mittelwert		66.45	48.83	36.25	35.68	36.48	0.56	82.19	0.466
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.02	0.75	0.56	0.55	0.56			-
Overrun in [%]		0.00	36.10	83.31	86.26	82.18			-
SD		0.17	0.83	0.37	0.40	0.31			0.023
VK		0.26	1.69	1.02	1.13	0.85			4.945
4		66.3	48.8	40.2	38.3	36.8	0.57	80.37	0.127
		66.6	49.5	40.7	37.4	36.5	0.56	81.85	0.122
		66.1	48.9	41	37	37.1	0.57	78.91	0.135
		66.5	49.2	40.6	37.9	36.6	0.56	81.35	0.135
Mittelwert		66.38	49.10	40.63	37.65	36.75	0.57	80.62	0.130
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.02	0.76	0.63	0.58	0.57			-
Overrun in [%]		0.00	35.18	63.38	76.29	80.61			-
SD		0.22	0.32	0.33	0.57	0.26			0.006
VK		0.33	0.64	0.81	1.51	0.72			5.133
5		66.6	44.1	36.2	37.3	36.3	0.56	84.30	0.406
		66.3	44.5	37.3	37.2	37.4	0.58	78.88	0.386
		67.8	44.6	36.8	36.8	36.9	0.57	81.30	0.412
		66.9	44.4	36.6	37.1	37.2	0.57	79.84	0.408
Mittelwert		66.90	44.40	36.73	37.10	36.95	0.57	81.08	0.403
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.03	0.68	0.57	0.57	0.57			-
Overrun in [%]		0.00	50.68	82.16	80.32	81.06			-
SD		0.65	0.22	0.46	0.22	0.48			0.0116046
VK		0.97	0.49	1.25	0.58	1.30			2.844
6		66.1	44.7	36.2	37.4	36.9	0.57	79.95	0.635
		66.4	44.8	36.4	36.8	37.1	0.57	78.98	0.629

		66.6	44.2	35.8	37.2	36.5	0.56	81.92	0.648
		66.5	44.9	36	37.1	36.8	0.57	80.43	0.610
Mittelwert		66.40	44.65	36.10	37.13	36.83	0.57	80.32	0.631
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.02	0.69	0.56	0.57	0.57			-
Overrun in [%]		0.00	48.71	83.93	78.86	80.31			-
SD		0.22	0.31	0.26	0.25	0.25			0.016
VK		0.33	0.70	0.72	0.67	0.68			2.531
7		66.3	47.8	38.2	34.4	33.8	0.52	99.78	0.55
		67.5	46.3	38.6	34.7	35.1	0.54	92.38	0.53
		69.1	47.6	39	35.5	35.5	0.55	90.21	0.56
		67.2	47.4	38.4	34.8	35.3	0.54	91.29	0.60
Mittelwert		67.53	47.28	38.55	34.85	34.93	0.54	93.41	0.56
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.04	0.73	0.59	0.54	0.54			-
Overrun in [%]		0.00	42.83	75.16	93.76	93.34			-
SD		1.17	0.67	0.34	0.47	0.77			0.03
VK		1.73	1.42	0.89	1.34	2.20			5.40
8		65.8	46.7	38.9	36.6	37.1	0.57	76.08	0.350
		64.8	46.5	38.5	36.2	36.9	0.57	77.03	0.343
		65.5	46.3	39.8	37.8	36.5	0.56	78.97	0.347
		65.2	46.6	38.6	36.4	36.7	0.56	78.00	0.351
Mittelwert		65.33	46.53	38.95	36.75	36.80	0.57	77.52	0.348
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.01	0.72	0.60	0.57	0.57			-
Overrun in [%]		0.00	40.41	67.72	77.76	77.51			-
SD		0.43	0.17	0.59	0.72	0.26			0.004
VK		0.65	0.37	1.52	1.96	0.70			1.085

Tabelle 69: Messergebnisse Vorversuche Vollmilchpulver

Versuch	Datum	Masse in [g]					Dichte in [g/ml]	Overrun in [%]	Festigkeit in [N]
Aufschlagzeit in min		0	1.5	3	4.5	6			
1		65.4	44.3	36.6	34.2	35.6	0.55	84.06	0.445
		64.4	44.2	37	35.1	35.1	0.54	86.68	0.462
		66.7	45.5	37.5	34.6	35.3	0.54	85.62	0.431
		65.6	44.5	37.2	34.5	35.2	0.54	86.15	0.431
Mittelwert		65.53	44.63	37.08	34.60	35.30	0.54	85.63	0.442
ρ _{mousse} in [g/ml]		1.01	0.69	0.57	0.53	0.54			-
Overrun in [%]		0.00	46.83	76.74	89.38	85.62			-
SD		0.94	0.60	0.38	0.37	0.22			0.015
VK		1.44	1.34	1.02	1.08	0.61			3.302
2		67.2	43.7	35.6	34.4	35.4	0.54	89.34	0.851
		66.9	43.3	35.6	33.9	34.5	0.53	94.28	0.908
		67.2	44.7	36.5	35.1	35.3	0.54	89.87	0.845
		66.8	43.5	35.8	34.4	34.9	0.54	92.05	0.78
Mittelwert		67.025	43.800	35.875	34.450	35.025	0.54	91.38	0.846
ρ _{mousse} in [g/ml]		1.031	0.674	0.552	0.530	0.54			-
Overrun in [%]		0.000	53.025	86.829	94.557	91.36			-
SD		0.206	0.622	0.427	0.493	0.411			0.053
VK		0.308	1.420	1.191	1.432	1.174			6.212
3		66	49.8	41.3	37.8	35.3	0.54	88.81	0.335
		68.6	50.3	41.3	36.3	35.1	0.54	89.89	0.346
		65.6	48.9	43.4	37.9	35.9	0.55	85.65	0.343

		66.4	49.6	42.3	37.4	35.5	0.55	87.75	0.343
Mittelwert		66.650	49.650	42.075	37.350	35.450	0.55	88.02	0.342
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.025	0.764	0.647	0.575	0.545			-
Overrun in [%]		0.000	34.240	58.408	78.447	88.01			-
SD		1.340	0.580	1.001	0.733	0.342			0.004
VK		2.011	1.169	2.380	1.961	0.964			1.315
4		66.7	44.7	35.6	32.5	32.4	0.50	106.56	0.519
		66.9	43.7	35.4	33	32.9	0.51	103.42	0.479
		67.6	43.2	36	33.1	32.3	0.50	107.20	0.483
		66.5	43.6	35.8	32.7	32.3	0.50	107.20	0.461
Mittelwert		66.925	43.800	35.700	32.825	32.475	0.50	106.09	0.485
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.030	0.674	0.549	0.505	0.50			-
Overrun in [%]		0.000	52.797	87.465	103.884	106.08			-
SD		0.479	0.638	0.258	0.275	0.287			0.024
VK		0.715	1.456	0.723	0.839	0.884			5.019
5		65.4	44.2	37.8	36.5	36	0.55	82.99	0.822
		67.1	45.9	37.7	36.2	34.9	0.54	88.75	0.746
		65.4	45.5	38	36.3	36.1	0.56	82.48	0.716
		65.6	45.3	37.5	36.3	35.8	0.55	84.01	0.726
Mittelwert		65.875	45.225	37.750	36.325	35.70	0.55	84.56	0.752
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.013	0.696	0.581	0.559	0.55			-
Overrun in [%]		0.000	45.661	74.503	81.349	84.52			-
SD		0.822	0.727	0.208	0.126	0.548			0.048
VK		1.248	1.608	0.551	0.346	1.534			6.356
6		65.6	41.6	34.9	34.1	35	0.54	89.36	0.856

		66.3	42.9	35.7	34.8	34.9	0.54	89.90	0.873
		66.5	42.5	35.8	33.9	34.2	0.53	93.79	0.94
		66.7	42.3	35.1	34.4	34.6	0.53	91.55	0.885
Mittelwert		66.275	42.325	35.375	34.300	34.675	0.53	91.15	0.888
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.02	0.65	0.54	0.53	0.53			-
Overrun in [%]		0.00	56.59	87.35	93.22	91.13			-
SD		0.479	0.544	0.443	0.392	0.359			0.036
VK		0.722	1.285	1.251	1.142	1.036			4.065
7		67.1	51	42.3	37.3	33.9	0.52	94.32	0.369
		66.8	49.9	43	36.5	34.5	0.53	89.93	0.395
		65.3	51.5	41.4	37	34.5	0.53	89.93	0.417
		66.4	50.7	42.5	36.8	34.1	0.52	92.16	0.414
Mittelwert		66.400	50.775	42.300	36.900	34.250	0.53	91.58	0.399
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.022	0.781	0.651	0.568	0.527			-
Overrun in [%]		0.000	30.773	56.974	79.946	93.869			-
SD		0.787	0.670	0.668	0.337	0.300			0.022
VK		1.186	1.320	1.580	0.912	0.876			5.452
8		67.5	47.5	38.9	35.2	33.2	0.51	101.20	0.578
		66.5	47.5	37.8	35.9	33.8	0.52	97.63	0.548
		66.4	47.9	37.7	35.6	33.7	0.52	98.22	0.57
		66.8	47.3	38.1	35.1	33.2	0.51	101.20	0.585
Mittelwert		66.800	47.550	38.125	35.450	33.475	0.52	99.57	0.57
ρ_{mousse} in [g/ml]		1.028	0.732	0.587	0.545	0.52			-
Overrun in [%]		0.000	39.642	74.164	87.306	98.357			-
SD		0.497	0.252	0.544	0.370	0.320			0.016

VK	0.743	0.529	1.427	1.043	0.956			2.765
----	-------	-------	-------	-------	-------	--	--	-------

Tabelle 70 :Messergebnisse Overrun in [%], Hauptversuche (während Profilprüfung)

Sitzung	Probe/Versuch	1	1(W)	2	2(W)	3	4	4(W)	5	6	6(W)	7	8	9	9(W)	Komet1	Komet2	Komet3	Komet4
1 Overrun in [%]	1	102.01	101.08	112.84	108.01	81.85	120.40	122.26	91.34	128.33	128.11	117.52	63.28	116.95	130.31	91.31	98.34	76.42	85.60
	2	100.18	103.54	109.50	105.46	83.86	118.23	118.63	90.26	127.55	126.55	119.67	64.89	123.48	131.90	95.43	98.34	77.11	79.68
	3	100.79	102.92	112.84	106.73	83.86	118.95	119.34	87.60	127.55	124.26	121.86	63.68	119.08	133.52	95.43	100.97	80.64	84.08
	4	101.39	101.69	11.49	109.97	82.85	116.10	121.52	87.08	127.50	127.33	114.04	64.48	118.37	131.10	93.76	94.10	78.50	85.60
	5	98.39	105.42	110.82	109.31	84.37	120.40	116.51	89.18	126.01	128.90	118.24	64.48	120.53	130.31	92.12	95.78	79.21	81.85
2 Overrun in [%]	6	94.33	95.21	106.89	99.94	80.38	108.00	112.38	87.08	125.25	122.01	118.95	65.30	120.53	129.52	98.06	97.62	89.33	96.54
	7	93.76	92.95	108.84	101.75	79.41	106.71	114.42	85.01	123.75	120.53	116.82	64.89	120.53	130.31	99.75	92.53	93.39	94.02
	8	96.05	95.78	107.54	99.35	77.97	107.35	111.71	84.00	126.01	119.80	114.04	65.71	116.25	131.90	98.90	95.90	92.56	90.76
	9	95.47	93.51	104.99	100.54	77.97	109.31	109.72	86.04	122.26	123.50	116.12	65.30	117.66	128.74	103.20	94.20	95.91	96.54
	10	94.33	95.21	105.62	98.17	78.93	108.65	114.42	85.53	127.50	122.75	115.42	64.48	116.25	133.52	97.23	97.62	91.75	95.69
3 Overrun in [%]	11	86.69	94.64	93.10	96.42	81.36	104.80	109.72	70.03	100.30	119.08	96.99	59.38	119.08	130.31	91.86	92.28	85.49	90.80
	12	83.09	92.95	88.73	97.58	79.89	106.07	108.41	66.65	102.12	116.93	95.26	60.92	124.98	130.31	92.68	84.36	86.26	89.21
	13	85.64	91.84	89.80	95.85	83.35	104.17	107.12	67.48	102.12	118.36	99.34	62.48	123.48	127.19	95.17	87.36	90.17	87.63
	14	86.69	93.51	90.34	96.42	82.35	104.80	111.71	69.60	102.73	114.82	98.75	63.28	121.99	127.96	89.46	87.45	91.78	90.00
	15	86.69	92.39	90.89	98.75	81.36	102.31	109.06	69.32	99.11	102.53	95.84	61.70	116.25	131.90	98.02	85.89	88.58	88.42

Tabelle 71: Messergebnisse Schaumfestigkeit in [N], Hauptversuche (während Profilprüfung)

Sitzung	Probe/Versuch	1	1(W)	2	2(W)	3	4	4(W)	5	6	6(W)	7	8	9	9(W)	Komet1	Komet2	Komet3	Komet4
1 Festigkeit in [N]	1	0.235	0.167	0.286	0.330	0.392	0.163	0.134	0.189	0.305	0.289	0.315	0.198	0.295	0.281	0.599	0.894	0.653	0.699
	2	0.261	0.151	0.258	0.305	0.409	0.160	0.128	0.198	0.270	0.265	0.460	0.203	0.313	0.281	0.536	0.974	0.663	0.636
	3	0.250	0.217	0.269	0.322	0.383	0.143	0.134	0.181	0.285	0.293	0.353	0.244	0.312	0.250	0.579	0.839	0.657	0.698
	4	0.246	0.220	0.276	0.371	0.429	0.148	0.128	0.180	0.264	0.340	0.440	0.267	0.328	0.255	0.508	0.965	0.672	0.589
	5	0.257	0.162	0.275	0.331	0.392	0.191	0.127	0.189	0.285	0.312	0.398	0.244	0.323	0.250	0.489	0.892	0.629	0.622
2 Festigkeit in [N]	6	0.166	0.239	0.235	0.354	0.301	0.136	0.130	0.145	0.180	0.187	0.381	0.168	0.344	0.255	0.711	0.910	0.957	0.801
	7	0.165	0.235	0.197	0.295	0.326	0.161	0.127	0.130	0.189	0.161	0.382	0.204	0.291	0.246	0.732	0.922	1.000	0.733
	8	0.174	0.236	0.229	0.250	0.320	0.182	0.124	0.134	0.201	0.175	0.367	0.165	0.299	0.249	0.754	0.999	0.988	0.783
	9	0.177	0.233	0.218	0.243	0.318	0.171	0.126	0.124	0.202	0.155	0.389	0.196	0.317	0.241	0.731	0.962	0.944	0.789
	10	0.190	0.225	0.206	0.248	0.315	0.147	0.126	0.134	0.205	0.141	0.321	0.211	0.270	0.244	0.697	0.949	0.949	0.818
3 Festigkeit in [N]	11	0.142	0.178	0.200	0.190	0.398	0.182	0.188	0.116	0.182	0.179	0.258	0.125	0.284	0.252	0.927	0.512	0.617	0.646
	12	0.131	0.151	0.163	0.231	0.359	0.219	0.191	0.118	0.180	0.160	0.302	0.199	0.292	0.254	0.843	0.483	0.618	0.660
	13	0.131	0.167	0.168	0.219	0.374	0.187	0.180	0.119	0.183	0.188	0.306	0.188	0.338	0.259	0.843	0.485	0.569	0.675
	14	0.147	0.163	0.146	0.226	0.347	0.142	0.175	0.111	0.189	0.190	0.316	0.153	0.322	0.264	0.858	0.506	0.549	0.648
	15	0.143	0.160	0.191	0.233	0.305	0.134	0.196	0.117	0.174	0.200	0.356	0.129	0.327	0.228	0.865	0.527	0.561	0.613

Tabelle 72: Ergebnisse Mikrobiologie Hauptversuche

[illegible]

4(V3)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
5 (V9)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
6 (V9)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	<1					<1					<1				
KbE/g (Gesamt)	<1					<1					<1				
Versuchstag2	GKZ nach Produktion in [KbE/g]					GKZ nach 6 Tagen Lagerun in [KbE/g]					GKZ nach 8 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch) /Verdünnungsstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V6)	30	27	<1	<1	<1	49	34	<1	<1	<1	n.a.	39	2	2	<1
2 (V6)	18	4	1	<1	<1	56	n.a.	64	31	3	n.a.	29	5	6	<1
3 (V5)	12	6	<1	<1	<1	n.a.	3	2	1	<1	n.a.	40	13	<1	<1
4(V5)	8	7	<1	<1	<1	14	<1	<1	<1	1	n.a.	20	<1	1	<1
5 (V1)	45	n.a.	<1	<1	<1	91	2	<1	<1	<1	n.a.	<1	3	<1	<1
6 (V1)	34	5	<1	<1	<1	46	1	<1	<1	<1	n.a.	35	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	30.26	*10 ¹				73.4	*10 ¹				35.9	*10 ²			
KbE/g (Gesamt)	3	*10 ³				7.3	*10 ³				3.6	*10 ⁴			
	H/S nach Produktion in [KbE/g]					H/S nach 6 Tagen Lagerun in [KbE/g]					H/S nach 8 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch) /Verdünnungsstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V6)	5	<1	<1	<1	<1	15	<1	<1	<1	<1	35	<1	<1	<1	<1
2 (V6)	14	1	<1	<1	<1	17	1	<1	<1	<1	30	<1	2	<1	<1
3 (V5)	8	3	<1	<1	<1	20	1	<1	<1	<1	34	23	<1	<1	<1
4(V5)	6	6	<1	<1	<1	21	<1	<1	<1	<1	28	5	<1	<1	<1
5 (V1)	15	<1	<1	<1	<1	15	1	<1	<1	<1	20	3	<1	<1	<1
6 (V1)	11	<1	<1	<1	<1	11	<1	<1	<1	<1	23	10	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	10.95	*10 ¹				16.19	*10 ¹				33.2	*10 ¹			
KbE/g (Gesamt)	1.1	*10 ³				1.6	*10 ³				3.3	*10 ³			
	E. nach Produktion					E. nach 6 Tagen Lagerun					E. nach 8 Tagen Lagerung				

Probe (Versuch) /Verdünnungsstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V6)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2 (V6)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
3 (V5)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4(V5)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
5 (V1)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
6 (V1)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	<1					<1					<1				
KbE/g (Gesamt)	<1					<1					<1				
Versuchstag 3	GKZ nach Produktion in [KbE/g]					GKZ nach 5 Tagen Lagerung in [KbE/g]					GKZ nach 7 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch) /Verdünnungsstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V2)	43	9	<1	<1	<1	59	138	40	1	2	n.a.	43	1	1	<1
2 (V2)	28	14	<1	<1	<1	n.a.	9	1	<1	<1	n.a.	33	1	15	1
3 (V2)	13	3	<1	<1	<1	72	1	1	<1	<1	n.a.	39	<1	1	<1
4(V2)	21	21	1	<1	<1	101	16	1	<1	<1	n.a.	26	1	3	<1
5 (V2)	9	2	6	<1	<1	102	92	19	<1	<1	160	18	1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	30.80	*10 ¹				143.9	*10 ¹				222.8	*10 ¹			
KbE/g (Gesamt)	3.1	*10 ³				1.4	*10 ⁴				2.2	*10 ⁴			
	H/S nach Produktion in [KbE/g]					H/S nach 5 Tagen Lagerung in [KbE/g]					H/S nach 7 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch) /Verdünnungsstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V2)	17	1	<1	<1	<1	34	<1	<1	<1	<1	30	8	30	<1	<1
2 (V2)	10	<1	<1	<1	<1	23	<1	<1	<1	<1	n.a.	10	<1	<1	<1
3 (V2)	12	7	1	<1	<1	25	1	<1	<1	<1	48	3	<1	<1	<1
4(V2)	5	<1	<1	<1	<1	31	1	<1	<1	<1	82	4	<1	<1	<1
5 (V2)	8	1	<1	<1	<1	35	3	<1	<1	<1	n.a.	16	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	11.25	*10 ¹				28.87	*10 ¹				65.8	*10 ¹			

KbE/g (Gesamt)	1.1	*10 ³				2.9	*10 ³				6.6	*10 ³			
	E. nach Produktion in [KbE/g]					E. nach 5 Tagen Lagerung in [KbE/g]					E. nach 7 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch) /Verdünnungsstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V2)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2 (V2)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
3 (V2)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4(V2)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
5 (V2)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	<1					<1					<1				
KbE/g (Gesamt)	<1					<1					<1				
Versuchstag 4		GKZ nach Produktion in [KbE/g]					GKZ nach 7 Tagen Lagerung in [KbE/g]								
Probe (Versuch) /Verdünnungsstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V9W)	13	1	<1	<1	<1	89	3	<1	<1	<1					
2 (V9W)	10	<1	<1	<1	<1	19	2	<1	<1	<1					
3 (V8)	4	<1	<1	<1	<1	47	1	<1	<1	<1					
4(V8)	9	1	<1	<1	<1	52	2	<1	<1	<1					
5 (V4)	15	4	<1	<1	<1	43	5	<1	<1	<1					
6 (V4)	5	<1	<1	<1	<1	49	4	<1	<1	<1					
KbE/0,1g (Gesamt)	9.8	*10 ¹				47.88	*10 ¹								
KbE/g (Gesamt)	9.8	*10 ²				4.8	*10 ³								
	H/S nach Produktion in [KbE/g]					H/S nach 7 Tagen Lagerung in [KbE/g]									
Probe (Versuch)	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵					
1 (V9W)	13	<1	<1	<1	<1	22	1	<1	<1	<1					
2 (V9W)	7	2	<1	<1	<1	54	2	<1	<1	<1					
3 (V8)	6	<1	<1	<1	<1	24	3	<1	<1	<1					
4(V8)	8	2	<1	<1	<1	24	4	<1	<1	<1					
5 (V4)	4	<1	<1	<1	<1	17	3	<1	<1	<1					

6 (V4)	9	<1	<1	<1	<1	19	1	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	8.23	*10 ¹				26.36	*10 ¹			
KbE/g (Gesamt)	8.2	*10 ²				2.6	*10 ³			
	E. nach Produktion in [KbE/g]					E. nach 7 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch)	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V9W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2 (V9W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
3 (V8)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4(V8)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
5 (V4)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
6 (V4)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	<1					<1				
KbE/g (Gesamt)	<1					<1				
Versuchstag 5	GKZ nach Produktion in [KbE/g]					GKZ nach 6 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch) /Verdünnungsstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V2W)	23	1	<1	<1	<1	38	2	<1	<1	<1
2 (V2W)	36	<1	<1	<1	<1	42	3	<1	<1	<1
3 (V4W)	28	1	<1	<1	<1	19	<1	1	<1	<1
4(V4W)	15	2	<1	<1	<1	32	<1	<1	<1	<1
5 (V6W)	22	2	<1	<1	<1	38	1	1	<1	<1
6 (V6W)	14	<1	<1	<1	<1	45	35	1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	22.5	*10 ¹				40.1	*10 ¹			
KbE/g (Gesamt)	2.3	*10 ³				4	*10 ³			
	H/S nach Produktion in [KbE/g]					H/S nach 6 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch) /Verdünnungsstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V2W)	6	2	<1	<1	<1	23	1	<1	<1	<1
2 (V2W)	25	<1	<1	<1	<1	16	<1	<1	<1	<1
3 (V4W)	4	<1	<1	<1	<1	21	5	<1	<1	<1
4(V4W)	1	<1	<1	<1	<1	18	<1	<1	<1	<1

5 (V6W)	2	<1	<1	<1	<1	32	4	<1	<1	<1
6 (V6W)	20	<1	<1	<1	<1	15	<1	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	9.8	*10 ¹				21.4	*10 ¹			
KbE/g (Gesamt)	9.8	*10 ²				2.1	*10 ³			
	E. nach Produktion in [KbE/g]					E. nach 6 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch) /Verdünnungstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V2W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2 (V2W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
3 (V4W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4(V4W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
5 (V6W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
6 (V6W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	<1					<1				
KbE/g (Gesamt)	<1					<1				
Versuchstag 6	GKZ nach Produktion in [KbE/g]					GKZ nach 5 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch) /Verdünnungstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V1W)	19	<1	<1	<1	<1	33	1	1	<1	<1
2 (V1W)	11	<1	<1	<1	<1	47	1	1	<1	<1
3 (V1W)	8	3	<1	<1	<1	55	8	<1	<1	<1
4(V1W)	21	<1	<1	<1	<1	51	3	<1	<1	<1
5 (V1W)	15	5	<1	<1	<1	33	4	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	15.8	*10 ¹				43.1	*10 ¹			
KbE/g (Gesamt)	1.6	*10 ³				4.3	*10 ³			
	H/S nach Produktion in [KbE/g]					H/S nach 5 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch) /Verdünnungstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V1W)	18	<1	<1	<1	<1	31	<1	<1	<1	<1

2 (V1W)	14	<1	<1	<1	<1	19	5	<1	<1	<1
3 (V1W)	8	4	<1	<1	<1	45	3	<1	<1	<1
4(V1W)	9	<1	<1	<1	<1	29	9	<1	<1	<1
5 (V1W)	12	3	<1	<1	<1	21	<1	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	11.0	*10 ¹				30.57	*10 ¹			
KbE/g (Gesamt)	1.1	*10 ³				3.1	*10 ³			
	E. nach Produktion in [KbE/g]					E. nach 5 Tagen Lagerung in [KbE/g]				
Probe (Versuch) /Verdünnungsstufe	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
1 (V1W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2 (V1W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
3 (V1W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
4(V1W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
5 (V1W)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
KbE/0,1g (Gesamt)	<1					<1				
KbE/g (Gesamt)	<1					<1				

Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit

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

Ort, Datum

Unterschrift