

**Hochschule Neubrandenburg**

**Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften  
Studiengang Lebensmitteltechnologie**



Entwicklung einer temperaturabhängigen Steuerung für  
Getreidekochanlagen

Diplomarbeit  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplom Ingenieur (FH)

Vorgelegt von: cand. Ing. Claudia Kath

1. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Thomas John  
2. Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) Arne Jensen

Neubrandenburg, 22. April 2008

**URN:**  
**urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2008-0059-1**

## **Danksagung**

Meinen ersten Dank möchte ich Herrn Arne Jensen aussprechen für die Übertragung des interessanten Themas für die Diplomarbeit und die hilfreiche Unterstützung und Betreuung während der gesamten Zeit.

Weiterhin möchte ich mich bedanken bei Herrn Prof. Dr. Ing. Thomas John für die Übernahme der Betreuung und den Ratschlägen, welche zur Verbesserung dieser Arbeit beigetragen haben.

Ebenfalls möchte ich mich bei den Mitarbeitern der H. & J. Brüggen KG in Lübeck für die gute Zusammenarbeit und die tatkräftige Unterstützung bedanken.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern, meinem Lebensgefährten und meiner Schwester bedanken, die mir durch ihre Unterstützung und Geduld mein Studium ermöglicht haben.

## **Abstract**

The cooking process is a very important step in Ready-to-eat breakfast cereal production. The used rice and wheat grains are cooked in a rotary steam pressure vessel for about an hour, where the process is observed by measuring the pressure before and behind the vessel. Within this time gelatinization and pasting of starch should occur.

By pressure measuring the cooking process is not sufficiently observed because you only can adjust the pressure by hand during this step. So it was thought that control the process by measuring the temperature is much better.

In this paper it is described how the data logger is used to assess the cook value of all tests to find out the optimum. By dint of the cook value it is possible to identify the grade of cook and hence the end of the cooking process.

Because the data logger is a discontinuous tester you cannot control the process at the same time. So we had to find a continues one to ensure an optimal controlling of this process.

To fix a thermometer inside the vessel is very difficult because you also have to pay attention to the regulations concerning pressure vessels. So it was decided to fix an infrared thermometer outside the vessel for continuous control of the cooking step.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b> .....	<b>I</b>
<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Getreide und Frühstückscerealien</b> .....	<b>2</b>
2.1 Bedeutung der wichtigsten Getreidesorten .....	2
2.2 Ernährungsphysiologische Bedeutung von Frühstückscerealien.....	7
2.3 Herstellung von Getreideflakes .....	9
2.3.1 Konventionelles Verfahren .....	10
2.3.2 Extruderverfahren .....	11
2.3.4 Qualität und Sensorik von Getreideflakes .....	12
<b>3 Multigrainflakes</b> .....	<b>13</b>
3.1 Herstellung der MGF .....	13
3.2 Vorgänge während des Kochprozesses .....	17
3.3 Gelatinierung der Stärke .....	19
3.4 Einflüsse der einzelnen Zutaten auf die Qualität von Getreideflakes.....	21
3.4.1 Zucker .....	21
3.4.2 Kochsalz .....	21
3.4.3 Wasser/ Wasserdampf .....	21
3.4.4 Emulgatoren.....	22
3.4.5 Malzextrakt .....	22
3.4.6 Vitamine .....	22
<b>4 Analyse des Ist - Zustandes</b> .....	<b>23</b>



---

<b>5</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>25</b>
5.1	Materialien .....	25
5.1.1	verwendetes Getreide .....	25
5.1.2	weitere Zutaten .....	25
5.2	Geräte .....	26
5.2.1	Datenlogger .....	26
5.2.2	Infrarotthermometer .....	27
5.2.3	Aufbau und Funktionsweise der Kochanlage .....	28
5.3	Messdatenerfassung mittels Datenlogger .....	30
5.4	Temperaturaufzeichnung mittels Infrarot - Thermometer .....	33
5.5	sensorische Auswertung .....	33
<b>6</b>	<b>Durchführung und Ergebnisse</b> .....	<b>35</b>
6.1	Fließdiagramm des Kochprozesses .....	35
6.2	Vorversuche .....	36
6.3	Ermittlung des optimalen Kochwertes .....	39
6.4	Beurteilung der erhaltenen Kennzahlen .....	40
6.5	Bestätigung des ermittelten Kochwertes .....	45
6.5.1	Ergebnisse Versuch 1 .....	46
6.5.2	Ergebnisse Versuch 2 .....	53
6.6	Infrarot – Temperaturmessung .....	57
6.7	Vergleich Datenlogger und Infrarot – Thermometer .....	59
<b>7</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b> .....	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>65</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>66</b>
	<b>Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen</b> .....	<b>70</b>
	<b>Verzeichnis der Anlagen</b> .....	<b>71</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>72</b>
	<b>Erklärung über die selbständige Anfertigung der Arbeit</b> .....	<b>78</b>

**Formelzeichen und Abkürzungen**

ca.	circa
CFL	Cornflakes
cm	Zentimeter
c-Wert	Kochwert/ Kochschädigungswert
dt/ha	Dezitonne pro Hektar
Fa.	Firma
F-Wert	Sterilisationswert
i.O.	in Ordnung
K	Kelvin
kg	Kilogramm
lt.	laut
MGF	Multigrainflakes
mm	Millimeter
ppm/K	parts per million pro Kelvin
RT	Referenztemperatur
RTD	Resistance Temperature Detector
RTE – Cerealien	Ready-to-eat - Cerealien
t	Zeit
U/min	Umdrehungen pro Minute
usw.	und so weiter
u.U.	Unter Umständen
V	Versuch
v.a.	vor allem
VO	Verordnung
$\Delta t$	Zeitintervall

## 1 Einleitung

Getreideflakes gehören zu den Ready-to-eat Frühstückscerealien, die durch die Weiterverarbeitung und Veredelung von landwirtschaftlichen Produkten unter Zugabe von geschmacksgebenden Zutaten entstehen. Sie werden auf der Basis von Weizen, Gerste, Reis und Mais hergestellt (Siemens, 2007). Die bekanntesten Getreideflakes sind Cornflakes. Diese knusprigen Maisflocken wurden von den amerikanischen Brüdern William Keith und Dr. John Harvey Kellogg in den USA entwickelt. Sie werden hergestellt aus 4 - 6 mm großen Maisgrits des Endosperms (Keim und Schale wurden entfernt) von harten bis mittelharten Maissorten. Geschmacksgebende Zutaten bei der Cornflakesherstellung sind Zucker, Salz und Malz, sowie Vitamine. Der Verbrauch von Getreideerzeugnissen bei Müsli, Cornflakes und anderen Cerealien liegt in Deutschland bei 3 kg pro Kopf/ Jahr. (Klingler, 1995)

Da im Moment der Markt für functional food wächst, werden auch immer mehr Getreideprodukte die einen gesundheitlichen Aspekt aufweisen, produziert. Dazu zählen v.a. Branflakes, die einen hohen Anteil an Ballaststoffen aus Kleie aufweisen aber auch Multigrainflakes bei denen eine Kombination von verschiedenen Getreidesorten möglich ist.

Bei der H. u. J. Brüggel KG in Lübeck werden verschiedene Cerealien hergestellt, u.a. verschiedene Getreideflakes (Cornflakes, Multigrainflakes u.a.) aber auch diverse Extruderprodukte. Die Getreideflakes werden im Batch-Verfahren hergestellt, wobei die Getreidegrütze zunächst im Trommelkocher gekocht wird. Dieser Kochprozess wird überwacht mittels Druckmessung am Kochkessel. Es kommt aber immer wieder zu Druckschwankungen wodurch das Kochergebnis beeinträchtigt wird. Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die Grundlagen für eine temperaturabhängige Steuerung dieser Getreidekochanlagen durch Temperaturmessungen im Kochkessel zu entwickeln. Dazu wird der Kochprozess für die Herstellung von Multigrainflakes genauer untersucht. Ziel ist es damit den Kochprozess bei der Herstellung zu verbessern. Durch die Neuerung soll erreicht werden, dass die einzelnen Kochungen gleichmäßiger werden. Unterschiede zwischen den einzelnen Kochungen aufgrund ungleichmäßiger Dampfversorgung sollen minimiert werden, wodurch erwartet wird, dass eine stets einheitliche Qualität der Flakes erreicht wird.

Ein weiterer Vorteil kann die Dampfreduzierung, also die Einsparung von Dampf während des Kochprozesses sein, indem eventuell die latente Wärme (Restwärme) genutzt werden kann.

## 2 Getreide und Frühstückscerealien

### 2.1 Bedeutung der wichtigsten Getreidesorten

Getreide sind die wichtigsten höheren Pflanzen für die Ernährung des Menschen. Es besitzt eine hohe Nährstoffkonzentration, ist lange lagerfähig durch den geringen Wassergehalt von 12 bis 15 % und gut zu transportieren. Die Körner des Getreides bestehen aus zusammengewachsener Frucht- und Samenschale, Endosperm und Keimling (Tscheuschner, 1996).

„Weizen ist zusammen mit Mais und Reis das meist angebaute Getreide der Welt. 2005 wurden weltweit ca. 600 Millionen Tonnen Weizen produziert. Er wird auf allen Kontinenten kultiviert. Wichtige Anbauländer sind China, Indien, die USA, Russland, Australien und Argentinien (TransGen, 2008)“. Weniger wirtschaftlich wichtig ist die Gerste. Die Abbildung 1 zeigt den Aufbau einiger Getreidearten.

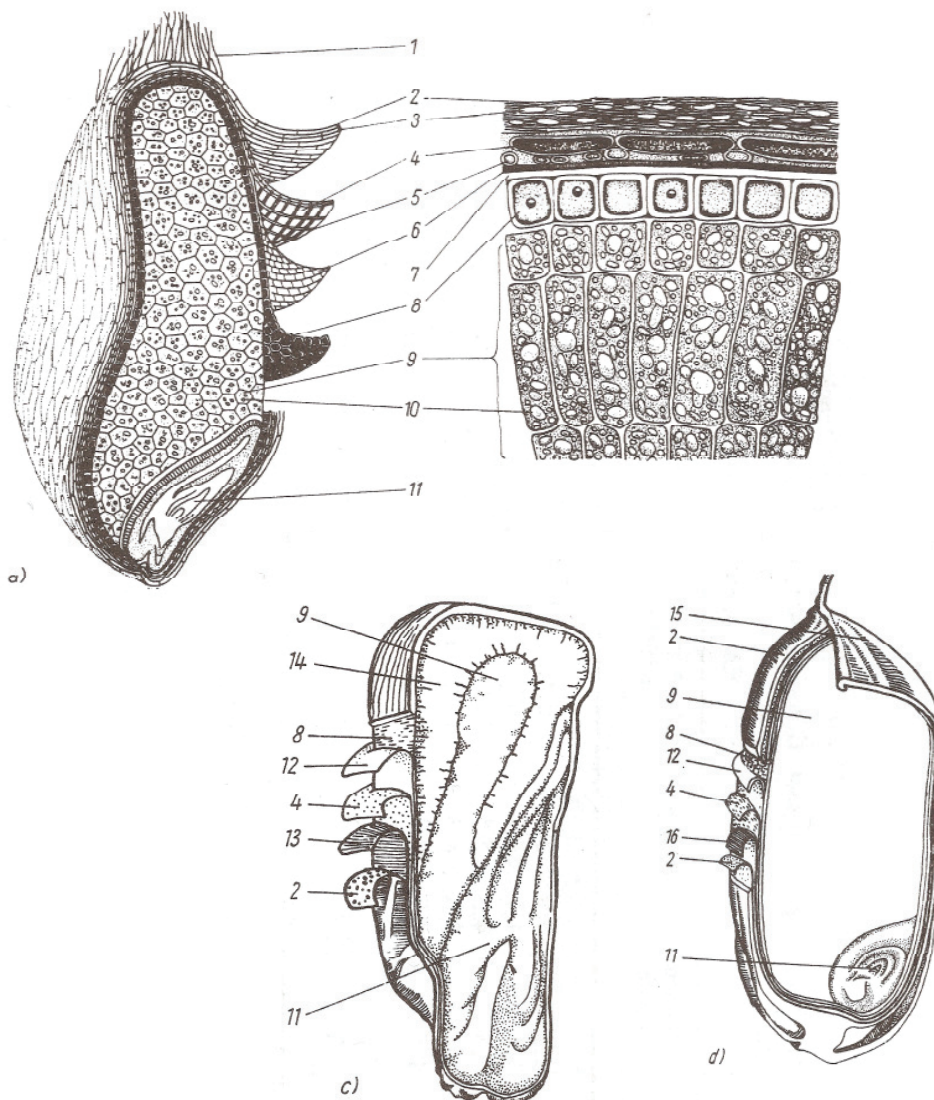


Abb. 1: Anatomischer Bau verschiedener Getreidegattungen (nach Tscheuschner, 1996)

a) Weizen	c) Mais	d) Reis
1 Bürstenhaare	2 Oberhaut	3 Längszellen
4 Querzellen	5 Schlauchzellen	6 Samenschale + Farbstoffschicht
7 Kerngewebe	8 Aleuronschicht	9 Mehlkörper
10 Zellen gefüllt mit Stärke	11 Keimanlage	12 Samenschale
13 Zwischenhaut	14 Hornkörper	15 Blütenspelze
16 Zwischenzellen	17 Spelze	

Für die Ernährung der Weltbevölkerung ist Getreide der wichtigste Lieferant für Kohlenhydrate und Eiweiss. Jedoch gibt es große Unterschiede im Verzehr in den einzelnen Ländern. Je höher der Lebensstandard, desto weniger Getreide wird verzehrt aber desto größer ist der Anteil an Fleisch, Zucker und Fett in der Nahrung.

Alle Getreidearten besitzen eine ähnliche chemische Zusammensetzung, die jedoch zwischen und innerhalb der Arten stark schwanken kann, wie in der Tabelle 1 aufgezeigt wird. Diese Unterschiede sind abhängig von der Sorte, dem Erntejahr und auch den Anbaubedingungen. Hauptinhaltsstoff aller Getreidearten ist die Stärke. Sie befindet sich im Endosperm (Mehlkörper) in Form von mikroskopisch kleinen, wasserunlöslichen Stärkekörnchen. Die Schalenschichten enthalten viel Zellulose und Hemizellulosen und der Keimling, ebenso die Aleuronzellen enthalten besonders hohe Anteile an Lipiden, Proteinen und Mineralstoffen (Klingler, 1995).

Tabelle 1: Gehalt an chemischen Hauptbestandteilen verschiedener Getreidegattungen (in % zur Trockenmasse) (nach Tscheuschner, 1996)

Getreideart	Eiweiss	Stärke	Rohfaser	Lipide	Mineralstoffe
Weizen	10,0...25,0	60,0...75,0	2,0...3,0	2,0...2,5	1,5...2,2
Gerste	10,5...14,5	68,0...78,0	4,5...7,2	1,9...2,6	2,7...3,1
Reis	7,0...10,0	65,0...75,0	9,5...12,5	1,5...2,5	4,5...6,8
Mais	9,0...13,0	68,0...76,0	2,5...3,0	5,0...6,0	1,4...1,8

### Weizen

Der Weizen gehört zu den Süßgräsern (*Poaceae*) der Gattung *Triticum L* und wird ca. 0,5 bis 1 m hoch.

Die Hauptbausorten von Weizen sind *Triticum aestivum* und *Triticum durum*. *T. aestivum* (Saatweizen) ist das eigentliche Brotgetreide. Es wird vorrangig zur Herstellung von Backwaren eingesetzt, da es einen hohen Anteil an Kleberproteinen besitzt. *T. durum* (Hartweizen) besitzt besonders harte Körner und wird vorwiegend zu Grieß vermahlen und dann zur Herstellung von Pasta verwendet. Zusätzlich kann Weizen auch zu weiteren Produkten wie Grieß, Graupen, Grütze, Stärke, Weizenkeimöl, Weizenbier oder auch Branntwein (Korn) verarbeitet werden (Matull et al.).

Der Weizen wird in Sommer- und Winterweizen unterteilt. Winterweizen wird bereits im Herbst ausgesät und die Ernte des Winterweizens erfolgt im Herbst des darauf folgenden Jahres. Der Ertrag liegt bei 60- 70 dt/ha. Jedoch können auch Spitzenwerte von über 110 dt/ha erreicht werden, wodurch der Winterweizen den anderen Getreidearten überlegen ist. Die Erträge von Sommerweizen liegen jedoch deutlich unter denen von Winterweizen (Matull et al.).

### Gerste

Die Gerste gehört zur Gattung *Hordeum* der Familie der Süßgräser (*Poaceae*). Die Pflanze wird 0,7 bis 1,2 m hoch und besitzt als Fruchtstand eine Ähre mit langen Grannen. Die Körner sind mit den Spelzen fest verwachsen und müssen daher nach der Ernte entfernt werden. Durch diese mechanische Behandlung wird das Korn stark beschädigt, die Randschichten werden weitgehend entfernt und der Keim zerstört. Durch diesen Prozess wird der Nährwert erheblich verringert (Klingler, 1995).

Beim Anbau wird zwischen Winter- und Sommergerste unterschieden. Die Aussaat der Sommergerste erfolgt im Frühjahr. Sie reift in weniger als 100 Tagen heran und benötigt deutlich weniger Wärme als die Wintergerste. Wintergerste ist jedoch ertragreicher und wird bereits im September gesät. Mit ihr kann man Erträge von 50-90 dt/ha, je nach Standort, erreichen. Sommergerste liefert einen Kornertrag von 40-65 dt/ha (Matull et al.).

## Reis

Reis (lat. *oryza*) ist eine Pflanzengattung aus der Familie der Süßgräser (*Poaceae*) mit breiten Blättern und langen Rispen. Der Kulturreis kann bis zu 30 Halme ausbilden. Diese sind 50 bis 160 cm hoch und tragen eine schmale überhängende Rispe mit einblütiger Ähre, die 80 bis 100 Körner enthalten kann. Aus einem Saatkorn können damit fast 3000 Reiskörner entstehen.

Reis enthält Mineralstoffe bzw. Spurenelemente, vor allem Phosphor, aber auch Eisen und Magnesium. Im Reis enthalten sind die Vitamine B1 und B2, die sich vor allem in der oberen Schicht des Korns befinden, die beim Polieren abgeschliffen wird. Die Vitamine A, B12, C und D fehlen im Reis völlig. Reis ist die älteste und wichtigste Kulturpflanze der Erde. Kein anderes Getreide ist für die Ernährung der Menschen wichtiger. Annähernd 3 Milliarden Menschen, davon 2 Milliarden in Asien, ernähren sich hauptsächlich von Reis (Klingler, 1995).

Weltweit existieren über 100.000 Reissorten, die aber alle aufgrund ihrer Korneigenschaften 3 Grundtypen zugeordnet werden können:

Langkornreis (*Oryza sativa ssp. indica*) hat eine Kornlänge von mindestens 6 mm. Die schmalen, länglichen, glasigen Körner sind weiß bzw. schimmern leicht gelblich. Beim Kochen werden sie weiß und bleiben locker und körnig.

Kurzkornreis (*Oryza sativa ssp. Japonica*) ist rundlicher Reis mit einer Kornlänge von weniger als 5,2 mm. Dieser Reistyp hat einen weichen Kern und gibt beim Kochen viel Stärke ab. Er ist daher gegart sehr weich und klebrig und somit ideal für Milchreis oder auch Paella.

Mittelkornreis ist eine Mischform der beiden oben genannten Typen und stammt meist aus Italien, wo er viel für Risotto verwendet wird. Seine Kornlänge beträgt 5,2 bis 6,0 mm. Gegart ist er weich und leicht klebrig.

Bei Loto handelt es sich um den Reistyp «Lungo A», eine Sorte mit langem, konvexem Korn, das sich hervorragend für Risotto eignet. Diese Reissorte bleibt während des Kochprozesses lange al dente und bindet die Flüssigkeit gut. Zur Herstellung von Reisflakes und Multigrainflakes wird bei der Fa. Brüggen Selenio Bruchreis verwendet. Loto Reis findet ebenfalls Verwendung für die Herstellung hochwertiger Reisflakes.

## Mais

Mais (*Zea mays L. subsp. mays*) ist ebenfalls ein Getreide aus der Familie der Süßgräser (*Poaceae*) und stammt ursprünglich aus Mexiko. Es gibt ca. 50.000 verschiedene Maissorten. Die Pflanze ist sehr blattreich und wird bis zu 3 Meter hoch. Die Körner sitzen in einer Spindel, die von Blättern dicht umhüllt ist. Die Form und die Farbe der Körner ist bei den verschiedenen Sorten sehr unterschiedlich und reicht von weiß und gelb, über rötlich, bis hin zu violett. Die größten Maiskolben enthalten 800 bis 1000 Körner, die kleineren Arten etwa 200 Körner.

Mais wird heute weltweit angebaut, hauptsächlich jedoch in Nordamerika, Argentinien (Plata-Mais) und in Südafrika und ist in vielen Ländern ein Grundnahrungsmittel. Vor allem in Südosteuropa und in Mexiko werden aus Maisgrieß Nationalspeisen hergestellt, z.B. Polenta, ein steifer Maisbrei und Mamalija, ein Fladengebäck als tägliche Hauptspeise. Es bestehen in der Nutzung allerdings sehr große Unterschiede zwischen den Entwicklungsländern und den Industrieländern. In den Entwicklungsländern wird der Mais, wie bereits erwähnt, überwiegend für die menschliche Ernährung eingesetzt (Tortillas, Maisbrei usw.), die Industrieländer verwenden den Mais hauptsächlich als Silage für die Tierfütterung. Im Jahr 2005 wurden laut Statistik der FAO weltweit 710,3 Millionen Tonnen Mais produziert. Damit liegt Mais vor Reis (628,5 Mio. t) und Weizen (620,0 Mio. t). In Deutschland wurden 2004 etwa 1,7 Mio. Hektar mit Mais (Körnermais und Silomais) angebaut. 70 % des in Deutschland angebauten Mais werden für Futterzwecke (Silomais) verwendet. Der Rest wird als Lebensmittel verwendet und dazu zum Großteil in der Lebensmittelindustrie verarbeitet. Es werden ca. 50 verschiedene Maissorten angebaut, die sich hinsichtlich ihrer Struktur (hart, weich), Kornform (rund- oder zahnförmig) und Farbe (rot, weiß, gelb) voneinander unterscheiden:

Weißer Mais: rundkörnig oder zahnförmig; harter Kern, weiße Ummantelung; größer als gelber Mais

Plata Mais: rundkörnig, rötliche Farbe, harte, glasige Struktur

Yellow Mais: Zahnmais, hellgelb bis hellrot, eher weiche Struktur (Klingler, 1995)



## 2.2 Ernährungsphysiologische Bedeutung von Frühstückscerealien

Getreide besitzt eine Vielzahl an Nährstoffen.

### Proteine

Weizen und Gerste besitzen einen höheren Proteingehalt als Reis und Mais. Albumine und Globuline kommen vorwiegend in den Aleuronzellen und im Keimling vor. Im Endosperm sind hauptsächlich Gliadine und Glutenine zu finden, die beim Anteigen heller Mehle (v.a. beim Weizen) einen viskoelastischen Kleber (Gluten) bilden (Klingler, 1995).

Die Proteinzusammensetzung von Getreide wird durch die essentiellen Aminosäuren Lysin, Methionin und Cystin limitiert. Da Frühstückscerealien aber oft aus einer Mischung von Getreide, Hülsenfrüchten und Nüssen hergestellt und meist mit Milch verzehrt werden, kann durch diese Kombination das Aminosäureverhältnis verbessert werden. Denn Hülsenfrüchte, Nüsse und Milch liefern Lysin und andere essentielle Aminosäuren. Diese ergänzenden Eigenschaften sind besonders wichtig für Vegetarier, da für diese Personengruppe Getreide eine bedeutende Proteinquelle darstellt (Fast et. al., 2000).

### Lipide

Obwohl der Keim und die Kleie von Getreide Lipide enthalten, gelten Cerealien als fettarme Lebensmittel, da ihr Gesamtfettgehalt nur ca. zwischen 2 - 5 % liegt. Die Lipide von Vollkorngetreide sind wichtige Quellen für essentielle Fettsäuren, wie z.B. Linolsäure, die über die Hälfte des Fettes in Cerealien darstellt, mit Ausnahme von Reis. Ölsäure ist die wichtigste einfach ungesättigte Fettsäure die in Getreide vorkommt. Als gesättigte Fettsäure kommt Palmitinsäure in Getreide die größte Bedeutung zu. Diese drei Fettsäuren stellen zusammen 90 % des Gesamtfettgehaltes der meisten Getreidearten dar (Klingler, 1995).

### Kohlenhydrate

Cerealien stellen eine gute Quelle für komplexe Kohlenhydrate und Ballaststoffe dar. Das vorherrschende, verdauliche Kohlenhydrat ist die Stärke aus dem Endosperm des Getreidekorns (Kent; Evers, 1994). Die besondere Bedeutung der Stärke liegt in ihrem Verhalten zu verkleistern und der anschließenden Retrogradation. Ballaststoffe befinden sich vorwiegend in der Kleie, im Korn ist sie jedoch nur minimal vorhanden. Ebenfalls sind in Cerealien viele einfache Kohlenhydrate, wie Saccharose, Maltose, Raffinose oder Fructose zu finden. Einige dieser Kohlenhydrate sind von Natur aus enthalten, entstehen während des Keimens des Getreidekorns oder werden während des Herstellprozesses zugesetzt (Klingler, 1995).

### Vitamine und Mineralstoffe

Getreide enthält viele B-Vitamine und Tocopherol (Vitamin E), dazu Mineralien, wie Eisen, Magnesium, Zink und Kupfer.

Bei Vollkornprodukten gehen nur wenige dieser Vitamine und Mineralstoffe verloren. Jedoch ist nicht garantiert, dass die Nährstoffe aus diesen Vollkornprodukten auch bioverfügbar sind. Denn Vollkornprodukte enthalten Faktoren wie Phytate und Kleie, die schwerlösliche Komplexe mit Mineralstoffen (insbesondere mit Calcium, Eisen, Magnesium und Zink) bilden (Schwiegelshohn, 2001).

Getreide besitzt viele wertvolle Inhaltsstoffe, die jedoch teilweise während der Herstellung von Frühstückscerealien verloren gehen. Um die ernährungsphysiologische Bedeutung der Frühstückscerealien nicht zu beeinträchtigen, sollte während der Getreideverarbeitung darauf geachtet werden, dass der Gehalt an Lysin nicht so stark reduziert wird, wie es durch die Maillardreaktion geschehen kann. Bestimmte Prozesse wie Puffen oder Flaken können die Proteinqualität ebenfalls herabsetzen.

Jedoch kann, vor allem bei gesüßten Cornflakes, Acrylamid entstehen. Denn für die Bildung von Acrylamid sind die Aminosäure Asparagin, die v.a. in Getreide enthalten ist und reduzierende Zucker, wie Glucose und Fructose, verantwortlich. Zur Entstehung von Acrylamid müssen diese Bestandteile miteinander reagieren. Dieser Vorgang findet insbesondere bei Temperaturen über 120 °C statt, wie sie beim Rösten zu finden sind. Die Bildung ist abhängig von der Erhitzungsdauer sowie vom Wassergehalt des Lebensmittels (Huber et al., 2004).

Frühstückscerealien können jedoch ernährungsphysiologisch aufgebessert werden, indem man sie mit Milch, Fruchtsäften oder frischen Früchten verzehrt.

Wie bereits erwähnt enthalten viele Getreidearten Gluten. Dazu zählen Weizen, Gerste, Hafer, Roggen, Triticale (Kreuzung aus Roggen und Weizen), Dinkel, Grünkern und Kamut. Daher sollten Personen mit einer Glutenunverträglichkeit, d.h. Personen, die an Zöliakie leiden, keine Produkte aus diesen Getreidesorten verzehren. Diese Personen können stattdessen auf Produkte aus Pseudocerealien zurückgreifen. Pseudocerealien sind Körnerfrüchte von Pflanzen, die nicht zur Familie der Gräser (*Poaceae* = alle echten Getreidearten) gehören. Die Früchte sind meist sehr reich an Stärke, Eiweiss, Mineralstoffen und Fett. Sie besitzen keine Eigenbackfähigkeit, wie z. B. Weizen oder Roggen, werden aber sonst ähnlich wie Getreide verwendet. Die wichtigsten und bekanntesten Pseudocerealien sind Quinoa, Amarant und Buchweizen. Aber auch die anderen Getreidesorten Mais und Reis, sowie Saaten wie Leinsamen, Sesam und Sonnenblumenkerne oder Hirse und Soja können die glutenhaltigen Getreidesorten ersetzen.

### **2.3 Herstellung von Getreideflakes**

Zur Herstellung von Getreideflakes können unterschiedliche Verfahren angewandt werden. Die sehr bekannten Cornflakes können mit dem konventionellen Verfahren oder auch mittels Extruderverfahren hergestellt werden. Die in dieser Arbeit untersuchten Multigrainflakes (MGF) werden zunächst traditionell gekocht aber im weiteren Verlauf unter Zugabe weiterer Rohstoffe extrudiert. In den folgenden Punkten werden das konventionelle Verfahren und das Extruderverfahren kurz und die Herstellung der Multigrainflakes ausführlicher beschrieben.

### 2.3.1 Konventionelles Verfahren

Traditionell ist das klassische Kochverfahren. Diese Methode ist etwas teurer, aber dafür viel schonender. Als Grundzutat dient bei Cornflakes (CFL) entkeimter, grob zerkleinerter Mais. Diese Maisgrütze wird in rotierenden Trommelkochern gekocht um den Aufschluss der Stärke zu erreichen. Der Aufbau und die Funktionsweise so eines Kochers wird später im Punkt 4.2.3 genau erläutert.

Auf einem Trockenband wird die entstandene Grütze auf eine Feuchte von ca. 16 – 17 % getrocknet. Über ein Gebläse wird heiße Luft von ca. 75 °C über die Grütze und von unten durch einen Siebboden gegeben, um eine gleichmäßige Trocknung zu erreichen. Bei der anschließenden Temperung „ruht“ die Grütze, um den richtigen Feuchtigkeitsgehalt und eine gleichmäßige Verteilung der Feuchtigkeit zu erreichen. Dieser Schritt ist wichtig für den Röstvorgang. Befindet sich während des anschließenden Röstvorganges zu viel Feuchtigkeit in den Flakes, werden diese flach und unansehnlich und weisen kaum Bläschenbildung auf. Denn während des Röstvorganges verdampft das enthaltene Wasser spontan und schlagartig und bewirkt somit ein Auseinanderreißen der Oberfläche in Form vieler kleiner Bläschen. Um Wasser zu verdampfen, wird sehr viel Energie benötigt. Je mehr Wasser noch in der Grütze und somit auch in den Flakes vorhanden ist, desto schleicher verläuft der Prozess, das Wasser verdampft nur sehr langsam und es können keine Bläschen entstehen. „Cornflakes enthalten eine Restfeuchte von etwa 2 – 4 %, so dass sie lange haltbar und sehr knusprig sind (Huber und Kühne 2004).“ Nach dem Rösten werden die Cornflakes gekühlt und abgepackt.

### 2.3.2 Extruderverfahren

Technisch aufwendiger aber billiger ist das Extruderverfahren. Ein Extruder besteht, wie in der Abbildung 2 dargestellt, aus einem beheizten Zylinder, mit einer oder mehreren darin befindlichen Schnecken, einem aufgesetzten Einfülltrichter und einem Formwerkzeug (Düse).

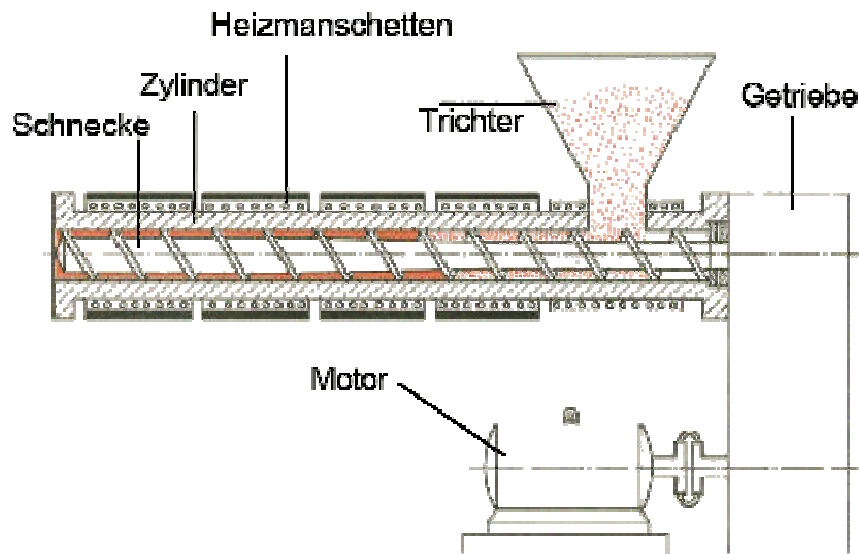


Abb. 2 Schematische Darstellung Extruder (MischerEXPO, 2006)

Beim Extruder sind verschiedene Zonen zu unterscheiden. In der Eintrittszone wird das Maisgrieß-Wasser-Gemisch vermischt und erwärmt. In der Umwandlungszone wird das Material homogenisiert, aufgeschlossen und verdichtet, so dass bei einer hohen Temperatur und Überdruck ein plastischer Teig entsteht. In der Ausstoßzone (Zumess- oder Pumpzone) wird dieser in einem konstanten, homogenen Strom unter gleichmäßigem Druck durch Düsen gepresst. Dabei schäumt die Masse zunächst auf, erstarrt dann aber infolge des Druckabfalls. Aus der Düse kommen Stränge die zu Pellets geschnitten werden. Durch die Kochextrusion wird das Aufschlussverfahren der Stärke vereinfacht, da der Aufschluss- bzw. Gelatinierungsprozess innerhalb einer Minute abgeschlossen ist. Die entstanden Pellets werden, ebenso wie die Maisgrits aus dem konventionellen Verfahren, gewalzt und geröstet.

### 2.3.4 Qualität und Sensorik von Getreideflakes

Welche Abweichungen und Fehler durch eine zu starke oder zu schwache Trocknung, durch eine ungenügende Temperung und nicht korrekte Röstparameter entstehen können, wird in den beiden Tabellen 2 und 3 aufgezeigt.

Tabelle 2: Getreideflakesfehler

<b>Fehler</b>	<b>Ursache</b>
Gerissene Ränder	Temperung war fehlerhaft: Feuchtigkeit nicht bis zum Ende ausgeglichen, Ware zu trocken
Ganz runde Form und kaum Bläschen	Grütze war zu feucht (nicht genügend runtergetrocknet); Röstparameter nicht i.O. → überprüfen!
Große unregelmäßige Bläschen und ganz flache Oberfläche auf einem Flake	Ungleichmäßige Verteilung der Feuchtigkeit, ungenügende Temperung

Tabelle 3: Abweichungen im Produktionsprozess – Getreideflakesherstellung

<b>Abweichungen im Produktionsprozess</b>	<b>Ursache + Maßnahmen zur Behebung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Endfeuchte der Flakes zu hoch</li> <li>➤ Flakes zu hell</li> </ul>	Rösttemperatur zu niedrig → Temperatur erhöhen (1. Zone für Feuchtigkeit / 2. Zone für Farbe)
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Endfeuchte der Flakes zu niedrig</li> <li>➤ Flakes zu dunkel</li> </ul>	Rösttemperatur zu hoch → Temperatur verringern
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Schüttgewicht zu hoch</li> <li>➤ Siebung fehlerhaft: zu viel Kleinanteil</li> </ul>	Flakes zu klein → Spalt verkleinern
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Schüttgewicht zu niedrig</li> <li>➤ Siebung fehlerhaft: zu viele große Flakes</li> </ul>	Flakes zu groß → Spalt vergrößern

### 3 Multigrainflakes

#### 3.1 Herstellung der MGF

Die Produktion von Multigrainflakes bei der H. & J. Brüggem KG erfolgt aus einer Kombination von konventionellem Verfahren und Extruderverfahren. Die Abbildung 3 zeigt in einem Fließschema den gesamten Herstellungsprozess von MGF.

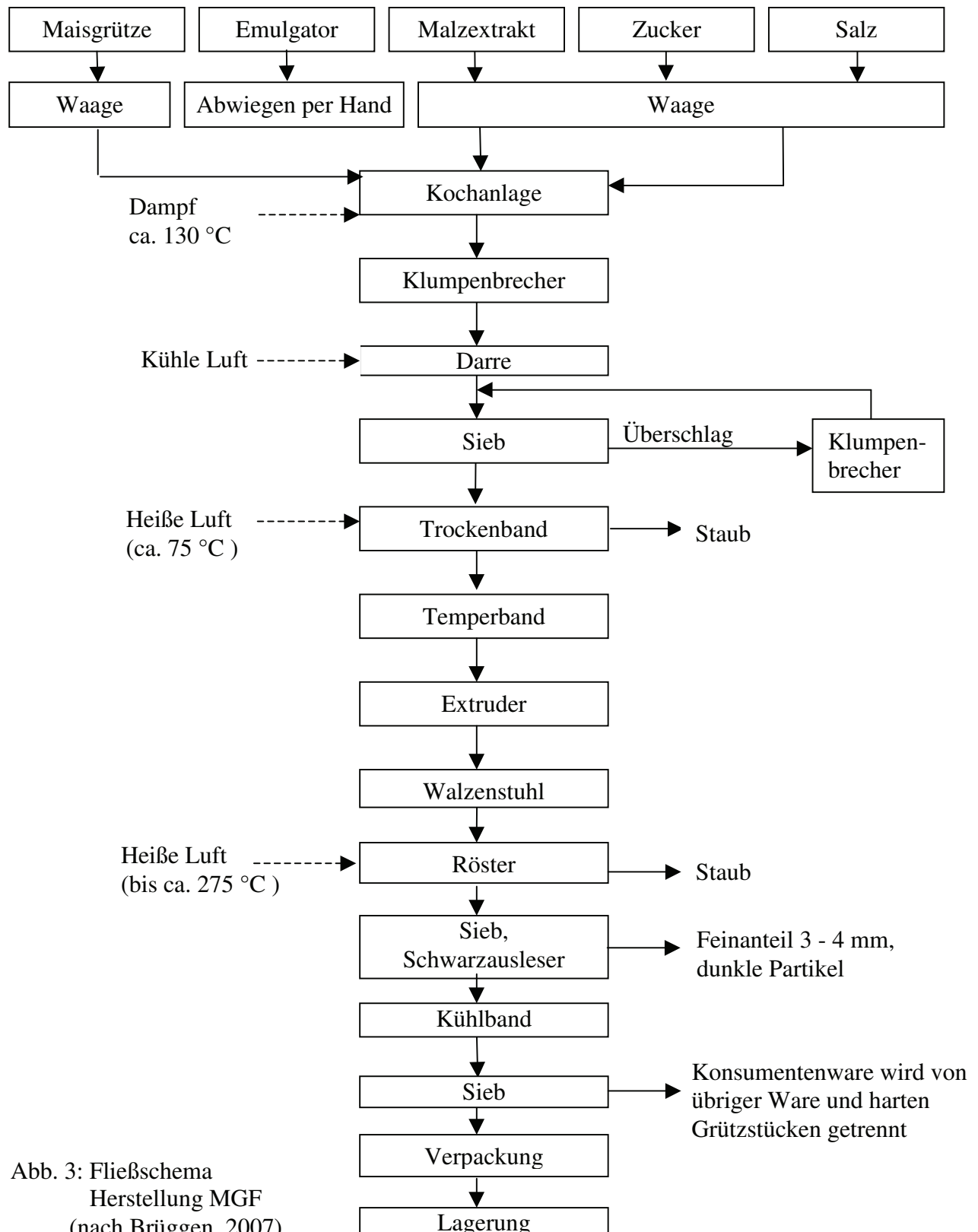


Abb. 3: Fließschema  
Herstellung MGF  
(nach Brüggem, 2007)

Ein wichtiger Bestandteil der Multigrainflakes bildet häufig Reis, der als größere Fraktionen in den Flakes auch optisch erkennbar ist und somit den Multigrain-Charakter dominiert. Um diese Produkte herzustellen, muss der Produktionsprozess erweitert werden, da die Verarbeitung von Mehlen, ganzen Körnern und weiteren Zutaten nicht in einem Prozessschritt möglich ist. Die ganzen Körner müssen konventionell in einem chargenweisen Verfahren vorgekocht werden, bevor sie im Extruder den weiteren Zutaten beigemischt werden können (Rubin, 2006).

Zur Herstellung von MGF dienen ebenfalls die rotierenden Trommelkocher, die auch zur Herstellung von Cornflakes eingesetzt werden. Als Rohstoffe werden jedoch Bruchreis und Weizenschrot eingesetzt. Der Kochprozess erfolgt genauso wie bei Produktion von CFL nur mit anderen Parametereinstellungen. Beide Prozesse können mit derselben Anlage gefahren werden.

Im ersten Verarbeitungsschritt werden Reis und Weizen auf der computergesteuerten Waage abgewogen und mittels druckluftgesteuertem Schieber vom Vorratsbehälter durch ein Fallrohr, wie in Abb. 4 dargestellt, in den Kocher geleitet (Brüggen, 2007). Das Salz-Zucker-Wassergemisch und Malzextrakt werden über einen Schlauch vom Vorratsbehälter in den Kocher (siehe Abb. 5) geführt. Die Zugabe von Emulgatoren (in pulveriger oder pastöser Form) erfolgt von Hand. Anschließend wird der Kocher verschlossen und das Kochprogramm wird gestartet. Bei der beschriebenen Anlage sind die verschiedenen Kochprogramme im PC gespeichert und können je nach gefahrenem Produkt eingestellt werden. Ein Beispiel für so ein Programm für die Herstellung von Flakes wird in der Tabelle 4 dargestellt.



Abb. 4: Kochanlage beim Befüllen mit Getreidegrütze



Abb. 5: Kochanlage beim Befüllen mit Zuckerlösung



Tabelle 4: Kochparameter für die Herstellung von Multigrainflakes

Schritt	1	2	3	4
Bezeichnung	Mischen	Kochen 1	Kochen 2	Abdampfen
Drehzahl (u/min)	6	4	5,5	0
Zeit (min)	10	72	6	25
Dampfventil links auf*	0	2	3	0
Dampfventil links zu*	0	2	0	0
Entlastung links auf*	0	0	0	25
Entlastung links zu*	0	0	0	0
Teilentlastung links auf*	0	2	0	0
Teilentlastung links zu*	0	2	0	0
Dampfventil rechts auf*	0	2	3	0
Dampfventil rechts zu*	0	2	0	0
Entlastung rechts auf*	0	0	0	25
Entlastung rechts zu*	0	0	0	0
Teilentlastung rechts auf*	0	2	0	0
Teilentlastung rechts zu*	0	2	0	0

\*Angaben sind in Minuten

Alle Schritte laufen bei der verwendeten Anlage automatisch ab, es muss lediglich am Terminal das Kochprogramm gestartet werden. Nach der Mischzeit wird Dampf mit einer Temperatur bis zu ca. 130 °C hinein gegeben.

Es baut sich ein Druck im Kocher auf, der auf ca. 1,5 bar gehalten werden soll. Nach Ende der Kochzeit erfolgt automatisch das Dampfablassen. Je nach Rezeptur dauert der gesamte Kochprozess, vom Mischen bis zum Abdampfen, 95 – 100 Minuten. Nach Ablauf der Kochzeit wird automatisch das Dampfablassventil geöffnet. Zeigen Manometer und Computer max. 0,3 bar an, kann der Deckel vorsichtig geöffnet werden (Brüggen, 2007). Ist das Kochgut in Ordnung, d.h. erfüllt es die sensorischen Eigenschaften, die auch in der Tabelle 9 gezeigt werden, wird der Kocher entleert, so dass die gekochte Maisgrütze über einen Klumpenbrecher und eine Rutsche in die Tellerdarre fällt. Dieser Vorgang ist in der Abb. 6 zu sehen.



Abb. 6: Entleeren des Kochers

Die Darre dient der Vereinzelung und dem Vortrocknen der Grütze, um sie transportfähig zu machen. Denn nach dem Kochen ist sie sehr feucht und klebrig, so dass Klumpen entstehen könnten. Getrocknet wird mittels Außenluft, die in die Darre geleitet wird und dort durch den Siebboden strömt. Durch das Rühren wird die Luft gleichmäßig in der Grütze verteilt. Der Darre schließen sich das Trockenband und das Temperband an.

Bei der Herstellung der MGF folgt anschließend der Extruderprozess. Hierbei handelt es sich um eine indirekte Expansion. „Bei der so genannten indirekten Expansion wird der Teig bei geringerer Temperatur und geringerem Druck durch die Düse eines Extruders gedrückt. Dabei verkleistert der Teig im Extruder. Das sich ergebende Produkt hat Ähnlichkeit mit Teigwaren (Schaaf, 1991)“. Die getrocknete Reis – Weizen – Grütze gelangt in den Extruder. Dazu werden noch weitere Zutaten wie Dunst usw. hinzudosiert. Im Extruder wird, wie bereits im vorherigen Punkt 2.3.2 Extruderverfahren beschrieben, diese Mischung dann vermengt und erhitzt. Die erhaltenen Pellets, hier zu sehen in der Abbildung 7 werden ebenso gewalzt (Abb.8) wie die Grütze der Cornflakes. Im Röster wird das Produkt dann mit heißer Luft zur Expansion gebracht, anschließend abgekühlt und abgepackt.



Abb.7: Pellets für die MGF Herstellung



Abb.8: Gewalzte Pellets für die MGF Herstellung

### 3.2 Vorgänge während des Kochprozesses

Der Kochprozess ist ein wichtiger Schritt bei der Herstellung von traditionellen Cerealienflakes. Das Garen ist eine gezielte chemisch-physikalische oder mechanisch-strukturelle Veränderung von Lebensmitteln zur Verbesserung der ernährungsphysiologischen und sensorischen Eigenschaften. Der Kochprozess bewirkt die Ausbildung der typischen physikalischen Eigenschaften, vorwiegend durch die Gelatinierung der Stärkefraktion des Getreidekorns. Gleichzeitig erfolgt beim Kochprozess die Eiweißdenaturierung und es kommt zur Ausbildung des typischen Geruchs und Geschmacks durch die Maillardreaktion. Mikroorganismen und hitzlabile Gifte (z.B. von Pilzen und Nachtschattengewächsen) werden während dieses Prozesses zerstört. Jedoch nimmt auch der Nährstoff- und Vitamingehalt ab. Zur Herstellung von Frühstückscerealien wird das Druckgaren eingesetzt. Als Druckgaren bezeichnet man das Kochen oder Dämpfen in einem fest verschlossenen Behältnis. Bei normalem Luftdruck siedet Wasser bei 100 °C. Weitere Wärmezufuhr bewirkt nur ein Entweichen von Dampf, jedoch keine weitere Temperaturerhöhung. Bei einem Druckbehälter wird der Wasserdampf zurückgehalten und baut einen Überdruck auf. Dadurch kann Wasser über 100 °C erhitzt werden. Die höhere Gartemperatur bewirkt ein Verkürzen der Garzeit.

Zucker bilden ab 120 °C Röststoffe bzw. sind in Maillardreaktionen involviert. Ab einer Temperatur von 130 °C setzt die Karamelisierung ein. Diese Stoffe können nur bedingt vom Körper verwertet werden und bei zu langer Hitzeeinwirkung können sich sogar Bitterstoffe bilden.

Peptide sowie freie Aminosäuren aber auch Nucleotide sind wichtige Geschmacksträger. Sie bilden Farb- und Aromastoffe, aber u.U. auch Bitterstoffe.

Die optimale Kochzeit der Getreidegrütze ist abhängig von der Sorte aber auch von den Wachstums-, Ernte- und Lagerbedingungen (Watson et al., 1987).

Ebenfalls wichtig für den Kochprozess ist die Drehzahl des Kochers. Diese liegt bei 1-5 u/min. Ist die Drehzahl zu hoch, kommt es zur Abnutzung/ Abrieb der Getreidekörner, so dass nach dem Kochprozess nur noch ein Brei vorliegt und keine vollständigen Grits mehr. Ist die Geschwindigkeit jedoch zu gering, wird ein unregelmäßiges Kochergebnis erreicht (Fast et al., 2000). Der Kochprozess ist abgeschlossen, wenn die Körner ihre Struktur von hart und weiß verändert haben in goldbraun, weich und durchscheinend. Der Kochprozess ist noch nicht beendet, wenn viele Körner noch ein weißes Zentrum besitzen und hat zu lange gedauert, wenn die Körner extrem weich, breiig und klebrig sind. Die optimalen Eigenschaften besitzt die Grütze wenn die Körner gummiartig aber stabil, unter Fingerdruck elastisch sind und keine rohe Stärke mehr enthalten, also kein weißes Zentrum mehr aufweisen. Der Feuchtigkeitsgehalt der Maisgrütze nach dem Kochen sollte maximal 32 % betragen (Watson et al., 1987). Laut Fast et al. (2000) können bei guten Chargen und optimalen Bedingungen sogar Feuchtigkeitsgehalte unter 28 % erhalten werden.

Die Vorgänge während des Garens, also Verkleistern, Karamelisieren, Vitaminverlust, Abtötung von Mikroorganismen usw., verlaufen der Reaktionskinetik folgend, nach bestimmten Zeitgesetzen ab. Dabei handelt es sich meist um Reaktionen 1. Ordnung, die bei weitgehend konstantem Reaktionsmilieu von Zeit und Temperatur abhängig sind (Tscheuschner, 1986). Diese „Garkinetik beschreibt den zeitlichen Ablauf der stofflichen Zustandsänderungen beim Garen...Vorzugsweise werden der zeitliche Abbau von Vitamin B1, Ascorbinsäure..., aber auch Gutserweichung bei Gartemperaturen beschrieben (Kurzahls, 2003)". Hierfür gilt, wie bereits geschrieben, in Näherung eine Reaktion erster Ordnung, aus welcher der Kochwert oder auch Garungswert abgeleitet wird (Kurzahls, 2003).

„Die Summe der Veränderungen beim Kochen kann in Form von Kochwerten (c-Wert) ausgedrückt werden. Für jedes Produkt kann dabei ein mehr oder weniger optimaler Bereich bestimmt werden, der Gare, Nährstoffretention und Enzyminaktivierung berücksichtigt (Baumann, 2004)“.

### 3.3 Gelatinierung der Stärke

Der Hauptbestandteil an Kohlenhydraten in Getreide ist die Stärke. Die Veränderungen die die Stärke unterläuft wenn diese in Wasser erhitzt wird, sind verantwortlich für den Charakter vieler Lebensmittel. Einige offensichtliche Beispiele dafür, sind die Viskosität und das Mundgefühl bei Saucen oder Puddings oder die Textur von Kaubonbons. Genauso wichtig aber nicht so offensichtlich ist der Effekt dieser Veränderungen bei gebackenen Produkten.

Der wichtigste Vorgang bei der Herstellung von Getreideflakes ist die Gelatinierung der Stärkefraktion während des Kochprozesses. In kaltem Wasser sind die nativen Stärkekörner weitgehend unlöslich und können nur sehr geringe Mengen an Wasser aufnehmen (Kent; Evers, 1994). Wird die Stärke jedoch einer hydrothermischen Behandlung unterzogen, kommt es zu Veränderungen, wodurch sie in der Lage sind, Wasser aufzunehmen. Diese hydrothermische Umwandlung wird Gelatinierung genannt (Polenghi, 2007). Die Temperatur bei der dieser Prozess beginnt, unterscheidet sich je nach Stärke. Dabei finden einige Veränderungen statt, wie das Quellen der nativen Stärkekörnchen und der Verlust der Struktur, welches wahrgenommen wird, als Verlust der Fähigkeit der Lichtdoppelbrechung und der Zerstörung der kristallinen Struktur. Weiterhin erhöht sich die Durchlässigkeit für Wasser und gelöste Substanzen, Amylose und Amylopektin werden in der Wasserlösung aufgelöst und die Viskosität der wässrigen Lösung erhöht sich. Der im Anschluss an die Gelatinierung stattfindende Prozess wird „Pasting“ genannt (Hoseney, 1998). Nach van der Molen (1998) ist die Gelatinierung die Folge der Entstehung von Bindungen zwischen benachbarten Polysaccharidketten, wodurch ein Netzwerk entsteht, in welches Wasser eingelagert wird. Wobei die linearen Amylose-Ketten sich dicht nebeneinander ordnen und danach Bindungen miteinander eingehen können, während dies für die verzweigten Amylopektin-Ketten nicht möglich ist. Infolgedessen spielt das unterschiedliche Verhältnis dieser beiden Stärkefraktionen in den verschiedenen Stärkesorten eine große Rolle bei der Gelatinierung. Baks et al. (2008) schreibt, dass der Grad der Gelatinierung ebenfalls beeinflusst wird durch die Behandlungszeit.

In der Tabelle 5 sind einige Eigenschaften von Weizen-, Reis- und Maisstärke dargestellt. Die Stärken der verschiedenen Getreidearten variieren sehr stark in ihrer Größe, Form und den Gelatinierungseigenschaften. Der Anteil von Amylose und Amylopektin ist relativ konstant und liegt bei etwa  $23 \pm 3\%$  Amylose. Jedoch sind auch Mutationen mit stark veränderten Verhältnissen bei einer Reihe von Getreidesorten bekannt (z.B. Wachs-Mais).

Weizen, Gerste und Roggen besitzen zwei Arten und Größen von Stärkekörnern, zum einen lange (25-40  $\mu\text{m}$ ) linsenförmige und kleine (5-10  $\mu\text{m}$ ) kugelförmige Körner (Hoseney, 1998).

Tabelle 5: Größe, Form, Amylose- und Amylopektingehalte einiger Stärkesorten (nach Thomas, Atwell, 1999)

	<b>Weizen</b>	<b>Mais</b>	<b>Reis</b>
Durchmesser ( $\mu\text{m}$ )	1 - 45	5 - 30	1 – 30
Form	linsenförmig, rund	vieleckig, rund	vieleckig, kugelförmig
Amylose-Anteil (%)	25	Waxy – Mais < 1	19
Amylopektin-Anteil (%)	75	Waxy – Mais > 99	81

Laut Hoseney (1998) ist es jedoch schwierig Stärke in Systemen mit begrenzter Wassermenge zu erforschen. Die meisten Lebensmittel besitzen nur eine begrenzte Menge an Wasser, wie auch die Zusammenstellung der Rohstoffe für die MGF (Multigrainflakes). Verantwortlich für die Erhöhung der Viskosität sind die gelöste Stärke und die kontinuierliche Wasseraufnahme durch die Stärkekörner. Bei ausreichend vorhandenem Wasser ist das Stärkekorn nicht vollständig gelöst bis zu einer Temperatur über 120 °C. Demzufolge kann in einem Lebensmittel niemals eine vollständige Verkleisterung oder ein vollständiges in Lösung gehen der Stärke erreicht werden.

Da der Prozess der Stärkegelatinierung begrenzt wird durch den zugesetzten Gehalt an Wasser während des Kochens, können die Getreidekörner nicht verkochen und zerfallen, sondern behalten ihre Form. Je mehr Wasser zugegeben wird und je länger der Kochprozess dauert, desto weicher werden die Getreidekörner (Fast et al., 2000).

### **3.4 Einflüsse der einzelnen Zutaten auf die Qualität von Getreideflakes**

#### **3.4.1 Zucker**

Der Zucker hat Einfluss auf das Aussehen der Flakes. Denn durch das Vorhandensein der Saccharose kommt es bei Temperaturen über 100 °C zur nicht-enzymatischen Bräunung durch die Maillard-Reaktion und zur Bräunung durch die Karamelisierung.

Da diese beiden Vorgänge geschmacksbildend sind, ist die Saccharose ein wichtiger Faktor für den Geschmack und das Aroma der Flakes. Jedoch kann es auch zur unerwünschten Maillard-Reaktionen kommen, wie z.B. die Bildung von Acrylamid (Massholder).

#### **3.4.2 Kochsalz**

Kochsalz ist ebenfalls verantwortlich für den Geschmack der Flakes.

Denn „durch den Kochprozess ist die Stärke verkleistert, daher schmeckt das Flake etwas fade, ist gesalzen und meist auch gesüßt (Huber; Kühne, 2004)“.

#### **3.4.3 Wasser/ Wasserdampf**

Der Wasserdampf dient während des Kochprozesses als Heizmedium. Wasser dringt ins Innere des Korns, wodurch dieses „aufgeweicht,, wird.

Der Gehalt des Wassers ist daher mitbestimmend für die Dauer des Kochprozesses. Denn je mehr Wasser vorhanden ist, desto kürzer ist die Kochzeit. Der Grad der Gelatinierung wird durch den zugesetzten Gehalt an Wasser begrenzt. Also, je weniger Wasser enthalten ist, desto stabiler bleibt die Grütze (Fast et al., 2000).



### **3.4.4 Emulgatoren**

Emulgatoren werden eingesetzt um das Aussehen der Flakes zu verbessern. Bei der Herstellung der verschiedenen Flakes werden unterschiedliche Emulgatoren verwendet. Bei der Herstellung der MGF werden hier Mono- und Diglyceride von Speisefettsäuren eingesetzt. Diese sind Spalt- oder auch Abbauprodukte von Speisefettsäuren, welche wiederum aus Triglyceriden bestehen. In Verbindung mit warmem Wasser entfalten sie ihre emulgierenden Eigenschaften. In Getreideprodukten gehen die Mono- und Diglyceride Wechselwirkungen mit der enthaltenen Stärke ein, die dazu führen, dass diese ihre Wasserbindungsfähigkeit länger aufrechterhalten wird und es so weniger schnell zur Retrogradation der Stärke kommt.

Mono- und Diglyceride der Speisefettsäuren sind ohne Höchstmengenbeschränkung (quantum satis) für Lebensmittel allgemein zugelassen. Ausgenommen sind lediglich unbehandelte und solche Lebensmittel, die nach dem Willen des Gesetzgebers nicht durch Zusatzstoffe verändert werden sollen (zusatzstoffe-online, 2006).

### **3.4.5 Malzextrakt**

Malzextrakt ist ebenfalls verantwortlich für Aroma und Geschmack. Denn Malzextrakt besitzt ein Aroma ähnlich dem von getoastetem Getreide. Es wird meist eingesetzt in Mengen von 0,5 – 2 kg/ 50 kg Getreide (Fast et al., 2000).

### **3.4.6 Vitamine**

„Durch das Kochen sind die Flakes leichter verdaulich als Flocken, da der Wärmeprozess dem Menschen ein Teil der Verdauungsarbeit abgenommen hat. Allerdings ist der Gehalt an Vitaminen gemindert, weshalb Flakes in vielen Ländern vitaminisiert werden (Huber; Kühne, 2004)“.



## 4 Analyse des Ist - Zustandes

Das Garen der Grütze unter Überdruck bringt einige Nachteile mit sich. Zum einen ist zur Erzeugung des Überdrucks ein erhöhter technischer Aufwand nötig und zum anderen ist die Beobachtbarkeit und Regulierbarkeit des Prozesses erschwert (Tscheuschner, 1996). Das liegt daran, dass der Kochbehälter ein in sich abgeschlossenes System ist. Man kann nur Vermutungen darüber anstellen was im Inneren des Kessels während des Kochprozesses genau vor sich geht. Der Kochprozess wird nur überwacht und gesteuert über die Druckmessung vor und hinter dem Kocher. Während des Kochvorganges wird computergesteuert abwechselnd Wasserdampf, von links und von rechts über die Düsen in der Behälterwand, in den Kocher gegeben. Der verwendete Druck und die Kochdauer für den Kochprozess sind je nach gefahrenem Produkt unterschiedlich und werden über die verschiedenen Kochprogramme gesteuert aber nicht geregelt. Während des Kochprozesses kommt es häufiger zu Druckschwankungen, die dann nur am PC oder am Manometer abgelesen und manuell an der Druckluftregelstation reguliert werden können. Die Ursache für diese Druckschwankungen liegt bei einer zu unregelmäßigen Dampfversorgung, da alle Kochanlagen aus der gleichen Dampfquelle versorgt werden und es somit zur gleichzeitigen Abnahme des Dampfes durch alle Anlagen kommen kann. Aufgrund dieser Druckschwankungen kann es zu unterschiedlichen und unregelmäßigen Kochergebnissen kommen, die dann ebenfalls Einfluss nehmen können auf das Endprodukt. Diese Tatsache macht es nötig, dass man den Kochprozess zusätzlich durch Temperaturüberwachung kontrollieren muss. Bei guter Dampfversorgung ist der gewünschte Druck schnell, d.h. in etwa 17 min, erreicht und der Druck im Kessel kann sehr schnell aufgebaut werden. Bei einer Unterversorgung kann es jedoch relativ lange dauern bis der erwünschte Druck aufgebaut ist.

Während der Hitzebehandlung ist es unmöglich die Temperatur konstant zu halten. Die Temperatur im Gut ändert sich wegen der Aufheiz- und Abkühlphase in Abhängigkeit von der Zeit. Ein reales Temperatur-Zeit-Verhalten besteht aus einer Aufheizphase, einer anschließenden Haltezeit und einer Abkühlphase. Während der Aufheiz- und Abkühlphase ändert sich die Temperatur ständig mit der Zeit. Der Wärmedurchgang ins Produkt ist abhängig vom Temperaturunterschied zwischen der Dampftemperatur und der Füllguttemperatur. D.h., je höher der Temperaturunterschied, desto schneller erfolgt die Erwärmung. Daher ist der Wärmeübergang zu Beginn des Prozesses am größten, da der Temperaturunterschied dort am höchsten ist. Während des Kochprozesses wird der Temperaturunterschied zwischen dem Wärmemedium und dem zu erwärmenden Medium immer kleiner, so dass die Erwärmung

immer langsamer wird (Schütt, 1995). Durch die Bewegung des Kochers wird zusätzlich eine Zwangskonvektion erreicht, wodurch die Geschwindigkeit der Erwärmung etwas erhöht wird. Wie Gruner (2004) sagte, „...ist die Temperatur die nach der Zeit am zweithäufigsten gemessene physikalische Größe. Sowohl in der Fertigung und Qualitätskontrolle als auch bei Wartungsarbeiten spielt die Temperatur als Indikator für den Zustand eines Produktes... eine große Rolle. Eine präzise Temperaturüberwachung führt zu einer Steigerung der Produktqualität und der Produktivität.“ Das Aufzeichnen und die Steuerung der Temperatur ist demnach ein wichtiger Faktor für die Sicherheit und die Qualität des Endproduktes. Daher soll der Kochprozess besser überwacht werden mittels Temperaturmessung und Kochwertberechnung. Hierdurch sollen die Qualitätsunterschiede zwischen den einzelnen Kochungen minimiert werden, die aufgrund von Druckschwankungen während des Kochprozesses entstehen.

Um dies zu erreichen soll der Kochprozess mittels Temperaturüberwachung und daraus folgender Ermittlung der Kochwerte jeder einzelnen Kochung kontrolliert werden. So kann erwartet werden, dass der Kochprozess bei Erreichen eines bestimmten Kochwertes vollständig abgeschlossen ist. Dabei sollte es dann kaum noch eine Rolle spielen ob es während des Kochprozesses zu Druckschwankungen kommt oder nicht. Der Kochwert muss daher jedoch fortlaufend während des Kochens berechnet werden um den genauen Zeitpunkt der Beendigung bestimmen zu können.

Bei dem Trommelkocher handelt es sich um einen Druckbehälter laut der Druckbehälterverordnung. Somit dürfen bauliche Veränderungen nur mit Genehmigung vorgenommen werden. Um dies zu umgehen erfolgt die Temperaturmessung zunächst mittels Datenlogger. Dieser wird im Deckel des Kochkessels befestigt. Theoretisch müsste die Temperatur im thermischen Zentrum des Kessels gemessen und aufgezeichnet werden. Das thermische Zentrum ist der Punkt innerhalb des Kochers an dem die Temperatur während des Erhitzens am niedrigsten ist (Schütt, 1995). Da es jedoch keine weitere zufrieden stellende Möglichkeit gibt um einen Temperaturmesser genau dort anzubringen, wurde sich entschieden zunächst mit dem Datenlogger zu arbeiten.

Dieser kann jedoch erst nach der Kochung ausgewertet werden und durch Berechnungen den c-Wert liefern. Um die ermittelten Ergebnisse auch gewinnbringend einzusetzen muss der Datenlogger in der weiteren Entwicklung ersetzt werden. Dieser Temperaturfühler muss kontinuierlich eingesetzt werden können und fest im Kocher installiert sein, um so den Kochwert fortlaufend ermitteln zu können.

## 5 Material und Methoden

### 5.1 Materialien

#### 5.1.1 verwendetes Getreide

Die Versuche wurden stets bei laufender Produktion von Multigrainflakes durchgeführt. Für die Herstellung der Multigrainflakes wurde Selenio Reis verschiedener Firmen eingesetzt. Des Weiteren wurde gebrochener Weizen verschiedener Firmen verwendet. Die Tabelle 6 gibt einen kleinen Überblick.

Tabelle 6: Verwendetes Getreide

Getreide	Lieferanten
Reis	Transimpex, Euryza
Weizen	Rolandmühle

#### 5.1.2 weitere Zutaten

Zur Herstellung von Multigrainflakes werden die in den folgenden Tabellen 7 und 8 aufgeführten weiteren Zutaten verwendet

Tabelle 7: Weitere Zutaten während des Kochprozesses

Zutaten	Verwendungszweck
Zucker	Geschmacksgebung, Aussehen
Kochsalz	Geschmacksgebung
Dimodan (Mono- und Diglyceride von Speisefettsäuren)	Emulgator
Malzextrakt	Geschmack, Farbe
Vitamine	Vitaminisierung
Wasser/ Wasserdampf	Garmedium

Tabelle 8: Weitere Zutaten für Extruderprozess

Zutaten	Firma
Weizenkleber	Cargill
Weizendunst	Kampfmeyer
Puderzucker	Nordzucker

## 5.2 Geräte

### 5.2.1 Datenlogger

Datenlogger werden in vielen industriellen Prozessen und Laborarbeiten, sowie in den Bereichen Regeltechnik, Messtechnik und Maschinensteuerung eingesetzt. Ein Datenlogger misst und speichert zuverlässig Daten wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Licht, Druck, Luftströmung und optische Strahlung (ATP Messtechnik GmbH, 2007).

Der Datenlogger fragt, die an der Messstelle anfallenden digitalen oder analogen Messwerte, in regelmäßigen Abständen/ Intervallen ab und registriert diese.

Der verwendete Datenlogger EBI 125A der Fa. EBRO ist mit einem RTD-Element (Resistance Temperature Detector) ausgestattet. Diese Thermistoren bestehen aus einem Platindraht. Das Messprinzip dieser RTD-Elemente besteht darin, dass sie den positiven Temperaturkoeffizienten von Metallen, der sich bei steigender Temperatur durch einen höheren Widerstand bemerkbar macht, erfassen. Denn je höher die Temperatur, desto höher wird der elektrische Widerstand. Die standardisierten Sensoren sind Pt100, Pt500 oder PT1000. Pt1000 Sensoren wie der im EBI 125A verwendeten, sind Temperaturfühler, die auf der Widerstandsänderung von Platin unter Temperatureinfluss basieren. Als Widerstand wird ein Platindraht als Temperaturwandler verwendet, dessen Widerstandswert bei 0 °C 1 kOhm beträgt. Der Temperaturkoeffizient der Sensoren ist einheitlich 3850 ppm/ K (nach DIN). Das heißt der Innenwiderstand des Sensors ändert sich bei 1 Grad Temperaturänderung um 0,385 % (IT-Lexikon, 2007).

Diese Sensoren zeichnen sich durch eine gute Langzeitstabilität und eine hohe Präzision aus. Dies ist für die Industrie ein großer Vorteil. Somit können diese Sensoren eingesetzt werden wenn Präzision gefordert ist, denn PT100/1000-Sensoren weisen im gesamten Messbereich Messfehler von deutlich weniger als 1 °C auf (sprut, 2002). Der verwendete Datenlogger ist auf der Abbildung 9 zu sehen.



Abb. 9: Verwendeter Datenlogger EBI 125A

Bei der Wahl des Datenloggers wurde darauf geachtet, dass dieser den Umgebungsbedingungen im Kocher während des Kochprozesses standhalten kann. Die verwendeten Datenlogger der Fa. EBRO Electronic sind wasserdicht und druckfest bis maximal 20 bar und halten Umgebungstemperaturen bis 140 °C stand (Ebro Bedienungsanleitung, 2002).

### 5.2.2 Infrarotthermometer

Die weitere Temperaturerfassung erfolgte mit einem Miniatur Infrarot (MI) Sensor. „MI Sensoren sind berührungslos arbeitende Temperaturmessgeräte. Sie erfassen präzise und mit höchster Wiederholgenauigkeit die Energiemenge, die von einem Objekt ausgestrahlt wird und berechnen daraus den Temperaturwert (Raytek, 2006)“. Laut Newport Electronics GmbH (2006) heißt es „Infrarot – Pyrometer eignen sich besonders für den Einsatz in Applikationen, in denen konventionelle Sensoren nicht verwendet werden können. Dies gilt für bewegliche Objekte..... Der rotierende Kochkessel zur Herstellung der Multigrainflakes stellt so ein bewegtes Objekt dar. Aus diesem Grund scheint der Einsatz eines Infrarotmessgerätes sinnvoll.

Das eingesetzte Infrarotthermometer stammt von der Firma Raytek. In einem robusten Edelstahlgehäuse nach IEC 529 (IP 65) befindet sich der Messkopf, welcher mit der Messelektronik durch ein Kabel verbunden ist. Da die Messelektronik getrennt in einer separaten Box vom Messkopf untergebracht ist, kann der Messkopf Temperaturen bis zu 180 °C ohne Kühlung ausgesetzt werden (Raytek, 2006).

### 5.2.3 Aufbau und Funktionsweise der Kochanlage

Die zur Herstellung von Getreideflakes verwendeten Kocher sind universell einsetzbare (für Mais, Reis, Weizen, Gerste) rotierende Trommelkocher. Durch die Rotation des Kochers während des Kochprozesses erfolgt eine gute Durchmischung des Füllgutes.

Der Kocher besteht, wie auf der Abbildung 10 zu sehen ist, aus einer horizontal verlaufenden Achse und einem fassförmigen Behälter der mit einem manuell zu betätigendem Deckel verschlossen wird. Über diesen Deckel werden die Getreidegrütze, Wasser und andere Zutaten nach Programmvorgabe eingefüllt (siehe Abschnitt 2.3 Herstellung von MGF). Der Kocher wird nicht komplett voll gefüllt, sondern nur etwas über die Hälfte, da das Getreide während des Kochprozesses aufquillt. Jeweils an der linken und der rechten Seite des Kochers befinden sich vier Düsen in der Behälterwand über die das wärmeführende Medium (Heißdampf) in den Kocher gegeben wird. Diese Düsen sind an der Behälterinnenseite mit Sieben versehen, damit das Füllgut nicht die Dampfleitungen verstopfen kann. Die Düsen sind über Leitungen miteinander verbunden und werden aus einer gemeinsamen Quelle versorgt. Es wird automatisch abwechselnd von links oder von rechts Dampf in den Kocher gegeben um ein optimales Kochergebnis zu erzielen.

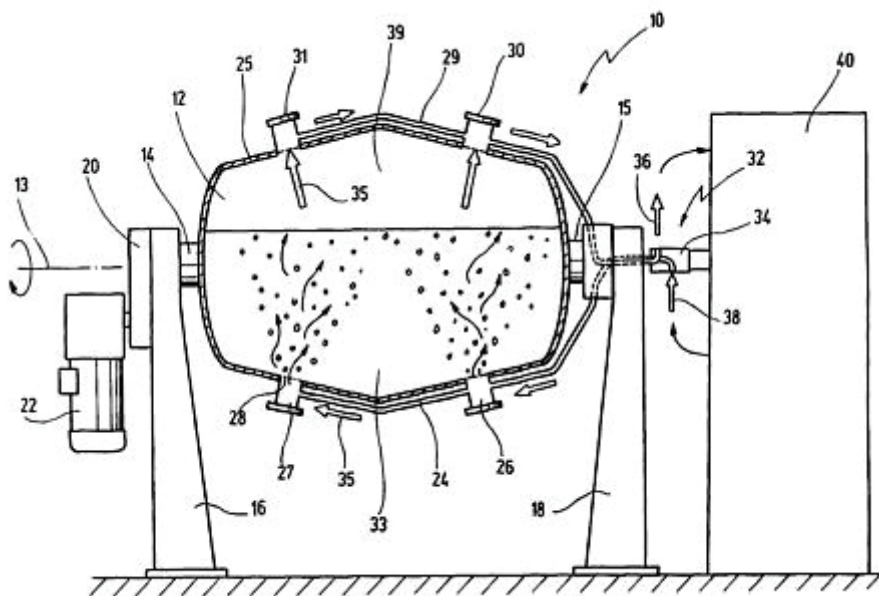


Abb. 10: Schematische Darstellung eines Trommelkochers (Bichsel, 1999)

10	Trommelkocher	28	Sieb
12	Drehbarer Behälter	32	Steuervorrichtung
13	Drehachse	33	Vom Kochgut bedeckter Bereich
14;15	Seitliche Lager	34	Mehrwegdurchführung
16;18	Ständer	35	Gasförmiges, wärmetragendes Medium
20	Kettenantrieb	36	Entlüftung
22	Antriebsmotor	38	Zuführung
24;29	Leitungen	39	kochgutfreier Bereich
25	Behälterwand	40	Versorgungs- und Steuereinrichtung
26;27;30;31	Düsen		

Da laut Bichsel (1999) „...laufend neues wärmeleitendes Medium für den Kochvorgang zugeführt werden muss, müssen zusätzliche Vorkehrungen getroffen werden, damit auch gasförmiges Medium wieder aus dem Behälter abgeführt werden kann,...“. Dies erfolgt über Öffnungen im Dampfauslassventil, über die so genannte Teilentlastung. Diese Öffnungen sind sehr klein, damit nur ein geringer Teil des Dampfes wieder entweicht und sich im Behälter trotzdem ein Druck aufbauen kann.

Dadurch dass auch wieder Dampf abgeführt werden muss, besteht die Gefahr, dass es zwischen dem frisch zugeführten Heißdampf und der Grütze nur zu einem sehr geringen Stoffaustausch kommt. Der Grund hierfür ist, dass stets zwei Düsen über dem Produktspiegel liegen und der Dampf vorwiegend über die Düsen ins Innere des Behälters eintritt, die nicht in den vom Produkt bedeckten Bereich führen. Aus diesem Grund kann es passieren, dass sehr lange Kochzeiten benötigt werden. Wie Bichsel (1999) schrieb, besteht bei langen Kochzeiten jedoch die Gefahr, dass in den äußeren Bereichen der gekochten Maisgrits „...schon Gelatinierungsvorgänge an der Stärke stattfinden, im Inneren des Maiskorns aber der Kochvorgang noch nicht zu dem gewünschten Ergebnis geführt hat, dort noch ein so genannter „weißer Punkt“ an ungekochtem Stärkematerial besteht. Dies führt bei der Weiterverarbeitung dazu, dass nach dem Walzen der Körner zu Plättchen Bereiche in diesen entstehen, die nicht gelatierte Bereiche aufweisen.“ Dies kann nicht nur bei Maisgrits sondern auch bei Weizen und Reis und anderen Getreidesorten der Fall sein. So entstehen während des Röstvorganges Flakes, die keine feinen Bläschen aufweisen, sondern an den Stellen mit der ungekochten Stärke eine geschlossene Backstruktur zeigen. Bei Multigrainflakes ist diese Struktur als weiße Stel-



len in den Flakes zu erkennen. Einige MGF die diese weißen Stellen aufweisen, werden im Bild 11 gezeigt.

Der gesamte Kochprozess kann am PC überwacht werden. Der PC zeigt an von welcher Seite zurzeit der Dampf einlässt und die Teilentlastung erfolgt und welche Drücke dort herrschen. Die Drücke werden parallel zum Kochprozess aufgezeichnet und können auch als Druckdiagramm am PC aufgerufen werden. Weiterhin werden am PC die Rezepturen usw. eingestellt.



Abb. 11: MGF mit weißer Backstruktur

### 5.3 Messdatenerfassung mittels Datenlogger

Zur Auswertung der Temperatur muss der Datenlogger komplett ausgebaut werden. Die Auswertung erfolgt dann über die Auswertestation mit dem Programm EbiWinlog2000. Dazu wird der Datenlogger in die Station eingelegt und das Programm gestartet. Nach der Abspeicherung der Messdaten erhält man eine graphische Darstellung auf dem Bildschirm. Da die Datenlogger die Temperatur aufzeichnen, erhält man eine Temperatur – Zeit – Kurve des gesamten Kochprozesses. In jedem entstandenem Diagramm werden die Messgrößen auf der y-Achse, die Zeit als Datum und Uhrzeit auf der x-Achse dargestellt. „Die y-Achse wird automatisch, bedingt durch eine Kennung im Logger, mit der richtigen Dimension beschriftet (Ebro Bedienungsanleitung, 2003)“. Eine typische Kurve ist in der Abbildung 16 in Punkt 6.2 dargestellt und beschrieben.

Die erhaltene Temperaturkurve erlaubt es, Rückschlüsse zu ziehen auf den Kochprozess. Weist die Temperaturkurve Unregelmäßigkeiten auf, kam es während des Kochprozesses zu



Druckschwankungen, die sich wiederum auf das Ergebnis der Kochung auswirken. Fällt der Druck zu stark ab, ist die Grütze nicht optimal durchgegart und enthält noch rohe Stärke. Welche Auswirkungen dies auf das Endprodukt hat, ist bereits unter Punkt 5.2.3 beschrieben worden.

Um für den Kochprozess den optimalen Zeitpunkt festlegen zu können wann der erforderliche Garzustand erreicht wurde, wird der Kochwert (c-Wert) genutzt. Der Garzustand ist ein sensorisch erfassbarer Zustand. Die wichtigsten sensorischen Eigenschaften sind Geruch, Geschmack, Aussehen und Textur. Hauptsächlich ist die Stärke verantwortlich für die typischen Eigenschaften von Cerealien Produkten. Daher sollte der Zustand der Stärke ein Indikator sein für den Grad des Kochprozesses (Fast et al., 2000).

Der c-Wert wird als Maß für die durch eine Hitzebehandlung erfolgte Schädigung der Inhaltsstoffe benutzt. Diese Größe erlaubt es, den Effekt von Temperatur-Zeit-Kurven auf die chemische Reaktion der Inhaltsstoffe zu beurteilen. Somit werden erwünschte Wirkungen, wie die Garung aber auch unerwünschte, wie z.B. die Vitaminzerstörung, erfasst. Der C-Wert ist abhängig vom z-Wert, der jeweils betrachteten Abbaureaktion und der Referenztemperatur. Als Referenztemperatur wird  $T = 100 \text{ °C}$  und  $z = 33 \text{ K}$  gewählt, da dieser für viele Reaktionen eine obere Grenze darstellt (Schütt, 1995). Baumann (2004) schrieb ebenfalls, dass „...für die Beurteilung eines Kochvorganges ist in der Regel ein Wert von  $33 \text{ °C}$  vorzuziehen“ ist.

Somit könnte sich durch die Berechnung des c-Wertes der optimale Zeitpunkt festlegen lassen, wann der Kochprozess beendet ist, also wann der angestrebte Gareffekt erreicht wurde.

Jede Wärmebehandlung kann aufgrund einer Temperatur – Zeit – Kurve beurteilt werden. Die Summe aller Behandlungseffekte ergibt den Wert für die gesamte Wärmebehandlung.

Der c-Wert (cook value) ist ein quantitatives Maß für die Summe der Zerstörung von Inhaltsstoffen während einer Hitzebehandlung. Dabei gilt, dass die Kochschädigung auf einer Reaktion 1. Ordnung basiert. Der c-Wert ist wie der F-Wert abhängig vom z-Wert und der Referenztemperatur.

Der Kochwert kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$c_0 = \Delta t \cdot 10^{\frac{T-100}{33}}$$

T	Behandlungstemperatur
$\Delta t$	Zeitintervall in dem die konstante Temperatur T herrscht, in Sekunden
$c_0$	Kochwert/ Kochschädigungswert/ Garungswert

Das Auswerteprogramm EbiWinlog2000 bietet die Möglichkeit, Berechnungen mit den geöffneten Kurven, d.h. mit den Messwerten durchzuführen. Dazu können die bereits hinterlegten Formeln, die sog. Templates, verwendet werden. Auf diese bereits erstellten Formeln besteht ein Schnellzugriff durch einfaches Auswählen der entsprechenden Formel aus der Liste. Einige dieser vordefinierten Formeln sind z.B. F-Wert Berechnung, PE-Wert Berechnung, usw. (Ebro Bedienungsanleitung, 2003).

Die Formel für den Kochwert (c-Wert) ist in dem Auswerteprogramm nicht vorhanden. EbiWinlog2000 bietet jedoch die Möglichkeit eigene Berechnungen mit den geöffneten Messwertkurven durchzuführen. Dazu müssen Formeln verwendet werden, die mit dem dazugehörigen Formeleditor geändert oder erstellt wurden. Mit Hilfe des Handbuches konnte in EbiWinlog die Formel für die Berechnung des c-Wertes erstellt werden. Dazu wird das entsprechende Dialogfenster geöffnet und ein vorgefertigtes Template kann geladen und entsprechend verändert oder ein neues Template kann erstellt werden. Zur Erstellung steht in Winlog2000 eine Skriptsprache zur Verfügung. Diese Skriptsprache ist „...nichts anderes als ein Taschenrechner mit ein paar zusätzlichen Funktionen. U.a. besteht die Möglichkeit, Variable zu definieren (Ebro Bedienungsanleitung, 2003)“.

Mit Hilfe dieser Skriptsprache ist es gelungen die Formel für den c-Wert zu erstellen. Der Ausschnitt aus der Bedienungsanleitung in der die Skriptsprache erläutert wird und mit dessen Hilfe die Formel für den C-Wert erstellt werden konnte, befindet sich im Anhang in Anlage 1. Die fertige, in EbiWinlog erstellte Formel ist in der Abbildung 12 dargestellt.

```
// Set Base temperature
varBase=100;
// Set Start temperature
varSTART=80;
// Set Z-Value
varZ=33;
// Get Delta t
dataDT=cdt(0)/60;
// Get the temperature value from channel 1(0)
dataVAL=CVAL(0);

// Calculate exponent
calEXP=(dataVAL-varBASE)/varZ;
// Get the maximum calculated c-Value
calA=cmax(-1);
// Calc the c-Value
calB=dataDT*pow(10,calEXP);

// Only accumulate the c-Value if temperature was greater than start temperature
calA+trsh(dataVAL,varSTART,calB);
```

Abb. 12: In EbiWinlog erstellte Formel für den c-Wert

Mit Hilfe der Formel für den c-Wert ist es möglich, alle Behandlungseffekte zu berechnen und in einer Tabelle zusammenzufassen. Diese Tabelle ist im Anhang in Anlage 4 zu finden. Die praktische Anwendung dieser Tabelle erfolgt in ähnlicher Weise wie bei der Berechnung des Sterilisationseffektes (F-Wert) (Eisner, 1985). Für die gemessenen Temperaturen werden die entsprechenden Werte aus der Tabelle genommen und addiert. Das Programm EbiWinlog errechnet sich aus der erstellten Formel die Behandlungseffekte und summiert diese, so dass daraus eine Kurve und der Endwert für den c-Wert dargestellt wird.

#### **5.4    Temperaturlaufzeichnung mittels Infrarot - Thermometer**

Da der Datenlogger langfristig durch einen kontinuierlichen Temperaturmesser ersetzt werden muss, um den Kochwert parallel zum Kochprozess berechnen zu können, wird versucht die Temperatur von außen mittels Infrarot-Thermometer aufzuzeichnen. Dabei wird lediglich die Temperatur erfasst, der Kochwert kann nicht gleich mitberechnet werden. Dieser müsste anschließend manuell mit der bekannten Formel berechnet werden. Um ein Infrarot – Thermometer für den kontinuierlichen Gebrauch einzusetzen, müsste dieses den c-Wert parallel zum Kochprozess berechnen können.

#### **5.5    sensorische Auswertung**

Zusätzlich wurden von allen durchgeführten Kochungen Proben genommen, die sensorisch untersucht wurden. Dabei wurde bei der Grütze überwiegend auf das Aussehen und die Textur geachtet. Bei den fertigen Flakes kommt es vor allem auf Aussehen, Geruch, Geschmack und Textur an.

Um die gekochte Grütze bewerten zu können wurde eine sensorische Analyse durchgeführt. Der entstandene Gesamteindruck wurde qualitativ durch Begriffe und quantitativ durch Intensitätsstufen charakterisiert, wie hier in der Tabelle 9 zu sehen ist. Die Grütze für die Multi-grainflakes konnte somit sensorisch in mehrere Gruppen unterteilt werden.

Tabelle 9: Einteilung der sensorischen Eigenschaften der gekochten Grütze

-	<b>Minimaler c-Wert: 247 min</b>	<b>Optimaler c-Wert: 289 min</b>	<b>Maximaler c-Wert: 331 min</b>	-
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
viele weiße Klumpen	weiße Klumpen	wenige weiße Klumpen	keine weißen Klumpen	keine weißen Klumpen
weißes Zentrum bei vielen Getreidekörnern erkennbar	bei wenigen Getreidekörnern weißes Zentrum erkennbar	kein weißes Zentrum erkennbar	kein weißes Zentrum	kein weißes Zentrum
Getreide noch sehr hart	Getreide etwas weicher	Getreide ist gummiartig, elastisch und gibt unter Fingerdruck nach	Getreide ist weich und klebt	Getreide ist extrem weich und matschig
Grütze sehr hell	Grütze hellbraun	Grütze ist goldbraun	Grütze ist relativ dunkel	Grütze ist sehr dunkel und klebt stark

Die fertigen Flakes wurden gegen ein vorgegebenes Nullmuster verkostet. Dieses Nullmuster gibt das optimale Aussehen, die Textur und den Geschmack der Multigrainflakes vor. In der Tabelle 10 sind diese Vorgaben dargestellt worden.

Tabelle 10: Vorgaben Nullmuster Multigrainflakes

<b>Aussehen</b>	<b>Textur</b>	<b>Geschmack</b>
einzelne Getreidebestandteile erkennbar	knusprig	arttypisch nach Getreide
kleine Bläschen auf der Oberfläche Farbe: beige/ hellbraun	zart	leichter Röst- und Malzgeschmack

## 6 Durchführung und Ergebnisse

### 6.1 Fließdiagramm des Kochprozesses

Im folgenden Fließdiagramm wird der Kochprozess der Flakesherstellung dargestellt. Weiterhin sind im Diagramm (Abbildung 13) alle relevanten Parameter eingetragen.

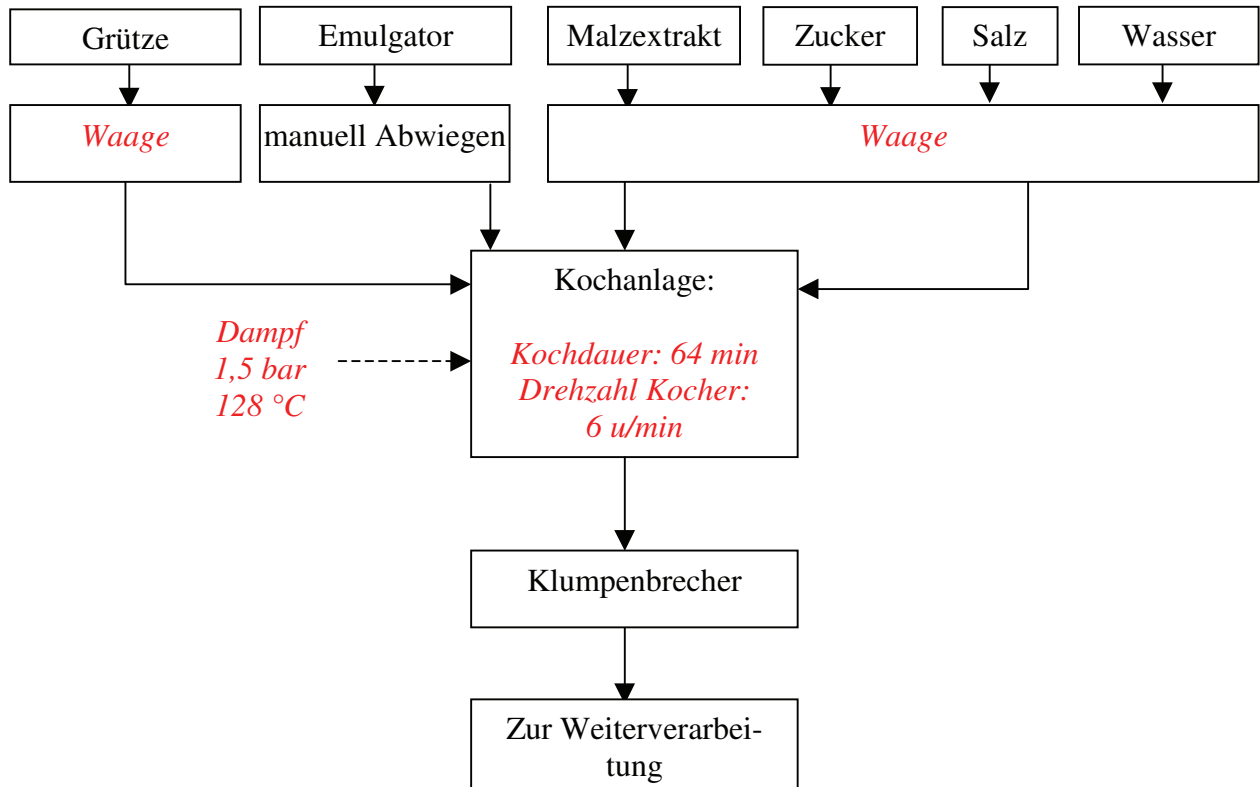


Abb. 13: Fließdiagramm Kochprozess Flakesherstellung

## 6.2 Vorversuche

Zur Temperaturmessung wurde der Datenlogger in den Kocher eingebaut. Der Deckel des Kochers besitzt bereits eine Öffnung die mittels abgedichtetem Stutzen verschlossen ist. In diese Öffnung wurde in einer Halterung der Datenlogger eingesetzt. Somit mussten am Kocher keine baulichen Veränderungen durchgeführt werden. Auf den Abbildungen 14 und 15 sind die Halterung für den Logger zu sehen und wie er an der Deckelinnenseite befestigt ist.



Abb. 14: Halterung für den Logger



Abb. 15: Messung an der Deckelinnenseite

Dadurch, dass der Logger an der Innenseite des Deckels angebracht wird, taucht er während des Kochprozesses immer wieder in das Kochgut ein. Somit wird davon ausgegangen, dass die Temperatur im Kochgut relativ genau erfasst wird.

Der Datenlogger wurde in den Deckel des Kochers eingebaut und ist so mehrere Kochungen hintereinander mitgelaufen. Dabei hat er die Temperaturmessungen durchgeführt. Anschließend wurde der Datenlogger ausgebaut und mit Hilfe der Auslesestation am PC ausgelesen. Die Software fasst die gesammelten Daten in einer Tabelle zusammen und erstellt automatisch eine Temperatur – Zeit – Kurve.

Ein typischer Kurvenverlauf ist in der folgenden Abbildung 16 zu sehen und wird anschließend beschrieben.

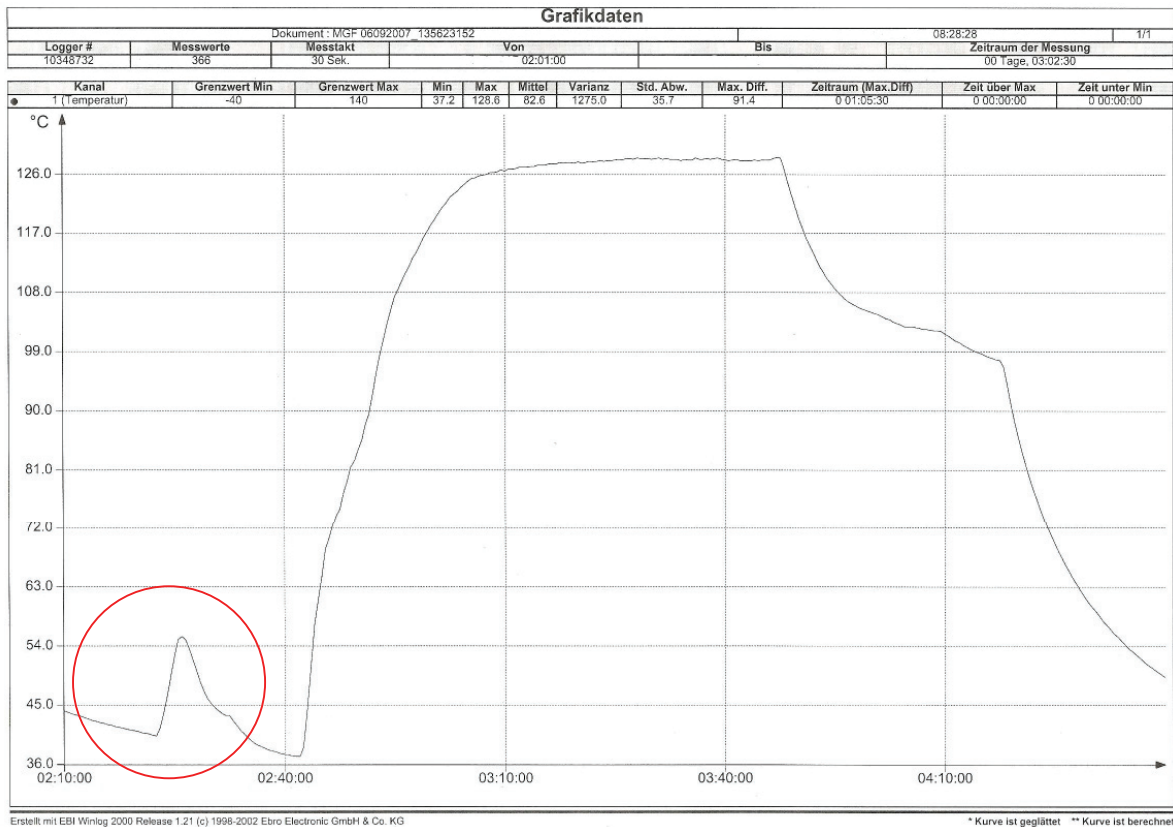


Abb. 16: Typischer Verlauf einer Temperaturkurve während des Kochprozesses

Zu Beginn der Kurve (siehe roter Kreis) ist zu erkennen, dass die Temperatur leicht abfällt. Grund hierfür ist der Temperaturunterschied zwischen der Umgebungstemperatur auf der Kocherbühne und dem Füllgut, dem Getreide. Wird der Deckel des Kochers geschlossen und der Kocher in Bewegung gesetzt, taucht der Datenlogger in das kalte Getreide. Dies geschieht während der ersten Phase des Kochprozesses, dem Mischen des Kocherinhalt. Die Temperatur beginnt schlagartig zu steigen wenn die zweite Phase, das Kochen, beginnt. Dabei werden abwechselnd die Dampfventile am Kocher in regelmäßigen Abständen geöffnet und Dampf mit einem Druck von 1,5 bar hineingegeben. Der Druck im Kocher und somit auch die Temperatur im Füllgut steigen allmählich an. Nach etwa 20 Minuten ist der erforderliche Druck im Kocher aufgebaut und die Temperatur erreicht, so dass jetzt die Haltezeit beginnt.

Am Ende des Kochprozesses erfolgt das Abdampfen. Dabei werden die Dampfablassventile an beiden Seiten des Kochers geöffnet um den Dampf abzulassen. Der Druck fällt und die Temperatur sinkt bis auf einen bestimmten Punkt. Nach 20 Minuten ist das Abdampfen beendet und der Deckel des Kochers wird geöffnet, dabei kommt es erneut zum Abfall der Temperatur, die wieder bis auf die Umgebungstemperatur auf der Kocherbühne fällt.

Nach mehreren Probeläufen waren keine Temperaturmessungen mit den Datenloggern mehr möglich. Es konnten keine vernünftigen Ergebnisse mehr erhalten werden, d.h. die Datenlogger haben zunächst unregelmäßig und dann gar keine Temperaturen mehr aufgezeichnet und



konnten nicht mehr ausgelesen werden. Auf Grund dessen wurden beide zur Reparatur geschickt. Nach der Reparatur waren die Datenlogger wieder einsatzbereit. Bei der Reparatur wurde festgestellt, dass die Datenlogger regelrecht „verköcht“ waren. Aus diesem Grund dürfen sie nicht so viele Kochungen hintereinander eingesetzt werden, sondern müssen nach jeder Kochung oder spätestens nach jeder zweiten Kochung langsam abkühlen (mind. genauso lange) und können erst dann ausgelesen und wieder neu eingebaut werden.

Um die Datenlogger nicht erneut zu beschädigen sollte eine neue Halterung oder Befestigungsmöglichkeit für die Datenlogger im Kocher gesucht werden. Die Datenlogger sollen vom Mitarbeiter auf der Kocherbühne selbständig ein- und ausgebaut werden können, so dass dies nicht mehr von den Handwerkern durchgeführt werden muss.

Dies konnte leider nicht umgesetzt werden und so wird die alte Vorgehensweise weiter genutzt. Jedoch darf der Datenlogger nur noch maximal zwei Kochungen mitlaufen und muss dann ausgebaut werden zum Abkühlen. Es werden zwei Logger im Wechsel eingesetzt. Durch die Dauer der Kochzeiten (bis zu 100 min) können 2-3 Messungen am Tag vorgenommen werden.

Die Vorversuche dienten dazu, um die optimalen Einstellungen mit denen die Datenlogger programmiert werden müssen, herauszufinden. Es wurden somit zunächst verschiedene Einstellungen gewählt. Während der Programmierung können zwei Parameter verändert werden. Dabei handelt es sich um die Messart und den Messtakt. Bei den Messarten kann man wählen zwischen Start-Messtakt, Endlosmessung und Start-Stop. Beim Messtakt dient zum Einstellen des Zeitintervalls in welchem eine Temperaturoaufzeichnung erfolgen soll. Dabei kann man wählen zwischen Sekunden, Minuten und Stunden.

Es hat sich herausgestellt, dass die Messart keinerlei Einfluss besitzt auf das Ergebnis der Messung. Beim Messtakt werden die eindeutigsten Ergebnisse erzielt bei einem Messintervall von 30 Sekunden. Liegt der Messtakt weit über 30 Sekunden erhält man keine eindeutigen Messwerte, da man nicht sicher sein kann ob der Datenlogger die Temperatur des Produktes oder die Temperatur im Kopfraum aufzeichnet. Bei einem Messtakt von deutlich weniger als 30 Sekunden sind die entstandenen Kurven zu unübersichtlich und das Berechnen des c-Wertes dauert sehr lange. Bei einem Messtakt von 30 Sekunden sind beide Probleme nicht vorhanden, daher wurden diese Einstellungen für alle weiteren Versuche genutzt.



### 6.3 Ermittlung des optimalen Kochwertes

Die Temperaturmessung erfolgte auf die gleiche Weise wie bei den Vorversuchen. Die Temperaturen wurden stets während der laufenden Produktion aufgezeichnet. Somit sind diese Ergebnisse repräsentativ und können optimal genutzt werden um die Ergebnisse auszuwerten und dadurch den Produktionsprozess besser steuern zu können.

Der erste Schritt bei der Erstellung der Steuerung ist das Ermitteln des optimalen oder eines angemessenen Wertes für den Kochwert. Dazu wurden von mehreren Kochungen des gleichen Produktes die Temperaturen aufgezeichnet, die entstandenen Kurven ausgewertet und die erhaltenen Grüten miteinander verglichen.

Die Erfassung der Wärmebehandlung erfolgte, wie bereits beschrieben, mittels des im Kocherdeckel eingebauten und programmierten Datenloggers. Der Logger wurde vor Beginn der Kochung durch einen Handwerker manuell in den Deckel eingebaut. Dabei ist darauf zu achten, dass der Logger sicher in der Halterung und die Halterung richtig im Deckel eingeschraubt ist. Der programmierte Logger zeichnet im 30 Sekunden Takt die Temperatur auf. Dies kann schon vor dem Start der Kochung geschehen. Während der Kochung dreht sich der Kochkessel um seine eigene Achse um das Kochgut optimal zu durchmischen. Dadurch taucht der Logger immer wieder in das Kochgut ein. Daher wird davon ausgegangen, dass die Temperatur innerhalb des Kochgutes relativ genau erfasst wird.

Der berechnete c-Wert liegt bei der Produktion von MGF mit einem Wert von ca. 300 min sehr hoch. Der Grund dafür ist, dass die Dauer der Wärmebehandlung ebenfalls sehr hoch ist. Bei einer normalen Wärmebehandlung, z.B. Sterilisation von Konservendosen, ist diese Zeit wesentlich geringer. Um den gewünschten bzw. benötigten F-Wert zu erhalten muss eine bestimmte Temperatur nur für wenige Minuten gehalten werden. Um aber den gewünschten und benötigten Kochgrad bei Getreidegrütze zu erhalten, muss die Temperatur ca. 30 – 40 min. gehalten werden. Dadurch kommen diese hohen Werte zustande.

#### 6.4 Beurteilung der erhaltenen Kennzahlen

Es wurde nach jeder Kochung eine Probe gezogen und optisch bewertet. Nach dem Auslesen der Messwerte der einzelnen Kochungen konnten die berechnete C-Werte und die Temperatur- und Druckkurven aller Kochungen miteinander verglichen werden.

In der Tabelle 11 sind die Ergebnisse und c-Werte aller Proben zusammengefasst und aufgelistet.

Tabelle 11: Sensorische Ergebnisse und c-Werte

Vers.- Nr.	Ergebnisse	c-Wert (min)
1	Grütze ist weich, goldbraun, elastisch; wenige weiße Reisklumpen und weiße Reiskörner in der Grütze erkennbar;	276,72
2	Grütze ist weich aber elastisch, goldbraun und locker; wenige weiße Reiskörner sind enthalten	304,33
3	Grütze ist elastisch, locker, goldbraun, einige weiße Reiskörner	249,59
4	Grütze ist gummiartig, goldbraun jedoch sehr hell: viele weiße Reiskörner vorhanden; einige Getreidekörner besitzen noch weißes Zentrum an roher Stärke;	228,61
5	Grütze ist goldbraun aber ziemlich hell, elastisch und locker; viele weiße Reiskörner und größere weiße Reisklumpen sind vorhanden	239,61
6	Grütze ist goldbraun, elastisch und locker; kaum weiße Reiskörner vorhanden	280,24
7	Grütze ist goldbraun, elastisch und locker; kaum weiße Reiskörner vorhanden	263,52
8	Grütze ist goldbraun, elastisch und locker; einige weiße Reiskörner vorhanden	248,19
9	Grütze ist locker, goldbraun jedoch sehr hell, gummiartig und stellenweise noch hart; viele Körner besitzen noch weißes Zentrum; größere weiße Reisklumpen sind enthalten; fertige Flakes weisen viele weiße Stellen auf	167,82
10	Grütze ist weich, goldbraun, elastisch und locker; kaum weiße Reisklumpen; wenige weiße Reiskörner in der Grütze	265,86

11	Grütze ist gummiartig, goldbraun jedoch relativ hell, viele größere weiße Reisklumpen; sehr locker, einzelne weiße Reiskörner und kleinere weiße Reisklumpchen in der Grütze erkennbar, Getreidekörner besitzen stellenweise noch weißes Zentrum; in den Flakes sind viele weiße Stellen	207,34
12	Grütze ist weich, goldbraun, elastisch; wenige weiße Reisklumpen; wenige weiße Reiskörner in der Grütze erkennbar	281,57
13	Grütze ist weich, goldbraun, elastisch und locker; kaum weiße Reisklumpen; wenige weiße Reiskörner in der Grütze	269,55
14	Grütze ist sehr dunkel, relativ weich und klebrig; keine weißen Körner oder Klumpen mehr vorhanden	381,39
15	Grütze ist goldbraun, elastisch, locker, klebt nicht, kaum weiße Klumpen	348,83
16	Grütze ist goldbraun, elastisch, klebt etwas, keine weißen Reiskörner vorhanden	387,01
17	Grütze ist goldbraun, elastisch, locker und enthält kaum größere Reisklumpen; in den Flakes sind die weißen Stellen wieder zu erkennen	359,0
18	Grütze ist goldbraun, elastisch, enthält wenige größere weiße Reisklumpen	317,41
19	Grütze ist weich, gummiartig, locker, goldbraun, enthält einige weiße Reisklumpen und wenige einzelne weiße Reiskörner	293,71
20	Grütze ist weich, goldbraun, durchscheinend; wenige größere weiße Reisklumpen; Grütze enthält kleine Klumpchen; wenige weiße Reiskörner in der Grütze erkennbar	276,09
21	Grütze ist weich, goldbraun, durchscheinend, locker, enthält einige größere weiße Reisklumpen und auch einige einzelne weiße Reiskörner	237,06
22	Grütze ist weich, goldbraun aber sehr hell, durchscheinend; relativ viele größere weiße Reisklumpen; sehr locker, nicht klebrig; einzelne weiße Reiskörner und kleinere weiße Reisklumpchen in der Grütze erkennbar, Getreidekörner besitzen stellenweise noch weißes Zentrum; in den Flakes sind viele weiße Stellen zu erkennen	173,77
23	Grütze ist weich, gummiartig, locker, nicht verklebt, goldbraun, viele größere weiße Reisklumpen und viele einzelne weiße Reiskörner; fertige Flakes weisen einige weiße Stellen auf	236,64

24	Grütze ist weich aber stabil, gummiartig, locker, nicht verklebt, goldbraun jedoch sehr hell, viele größere weiße Reisklumpen und sehr viele einzelne weiße Reiskörner, Getreidekörner oftmals innen noch weißes Zentrum	141,82
25	Grütze ist weich, goldbraun, durchscheinend; relativ locker, enthält jedoch mehrere Klümpchen und auch wenige weiße Reisklumpen und auch einige einzelne weiße Reiskörner	342,38
26	Grütze ist weich, goldbraun, durchscheinend; relativ locker, enthält jedoch mehrere Klümpchen und auch weiße Reisklumpen und somit auch einige einzelne weiße Reiskörner	315,74
27	Grütze ist weich, goldbraun, durchscheinend; locker, enthält wenige größere weiße Reisklumpen und einzelne weiße Reiskörner	352,46
28	Grütze ist weich, goldbraun, durchscheinend; locker, enthält wenige größere weiße Reisklumpen und einzelne weiße Reiskörner	327,55
29	Grütze ist weich, goldbraun, durchscheinend; bildet Klümpchen und enthält auch mehrere größere weiße Reisklumpen und somit auch einige einzelne weiße Reiskörner	342,39
30	Grütze ist weich, goldbraun jedoch relativ hell, durchscheinend, locker, enthält jedoch mehrere größere weiße Reisklumpen und somit auch viele einzelne weiße Reiskörner; Getreidekörner oftmals innen noch weißes Zentrum; fertige Flakes zeigen weiße Stellen	176,73

An den Ergebnissen ist zu erkennen, dass es trotz gleichem Rezept und Kochprogramm zu unterschiedlichen Resultaten am Ende der Kochung kam. Durch die unterschiedlichen c-Werte ist zu erkennen, dass es während der Kochungen zu Unregelmäßigkeiten gekommen sein muss. Da die Dauer des Kochprozesses automatisch gesteuert wird, kann die Ursache nicht bei einer unterschiedlichen Kochdauer liegen. Vielmehr liegt die Ursache bei einer zu unregelmäßigen Dampfversorgung, da alle Kochanlagen, wie bereits geschildert, aus der gleichen Dampfquelle versorgt werden.

Das die c-Werte (siehe Abb. 17) bei fast gleichen Maximaltemperaturen so extrem schwanken liegt daran, dass die Haltedauer bei den unterschiedlichen Temperaturen verschieden ist. Der c-Wert ist abhängig von der Temperatur und der Haltedauer der Temperatur. Jede Temperatur besitzt einen Einfluss auf den Abbau der Inhaltsstoffe.

Je höher die Temperatur, desto höher ist auch dieser Einfluss. Eine Tabelle mit den einzelnen Behandlungsäquivalenten für die verschiedenen Temperaturen während einer Minute ist, wie bereits gesagt, im Anhang in Anlage 4 zu finden.

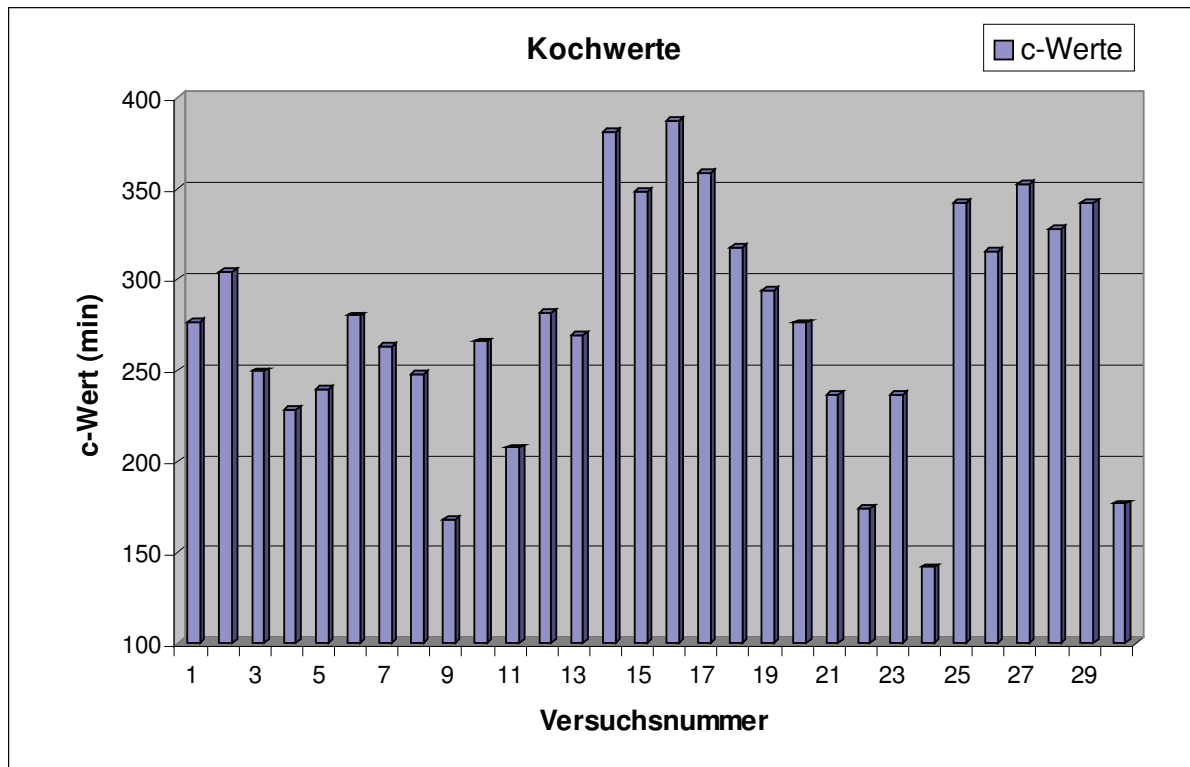


Abb.: 17: Kochwerte

Von allen Kochungen wurden Proben der Grütze genommen, die sensorisch untersucht wurden um die einzelnen Kochungen miteinander zu vergleichen. Eine Tabelle mit den wichtigsten Merkmalen ist bereits unter Punkt 5.5 Sensorische Auswertung in Tabelle 9 dargestellt. Aufgrund dieser sensorischen Einteilung der Grütze kann die Qualität des Kochprozesses beurteilt werden.

Von allen Kochungen wurden die aussortiert, die einen sehr niedrigen oder sehr hohen c-Wert besaßen und bei denen die optische Kontrolle negativ ausfiel. Ein Beispiel für einen zu niedrigen Kochwert ist im Bild 18 zu sehen. Dort ist zu erkennen, dass sich noch viele weiße Reiskörner (siehe z.B. blauer Kreis) in der Grütze befinden und dass viele Körner nicht richtig durchgekocht sind (siehe z.B. roter Kreis) und noch rohe Stärke im Inneren enthalten.

Von allen positiv bewerteten Proben wurde von den c-Werten der Mittelwert und die Standardabweichung bestimmt um den optimalen c-Wert festlegen zu können.

Die Tabelle nach der die Bewertung vorgenommen wurde ist im Anhang unter Anlage 2 zu finden. Da die einzelnen Kochungen jedoch stark schwanken, konnte der passende Kochwert

nicht genau bestimmt werden, sondern es konnte nur ein bestimmter Bereich ermittelt werden, in welchem dieser liegen sollte.



Abb. 18: Grütze mit zu niedrigem C-Wert von 173,77 min

Aus den Werten wurde der Mittelwert berechnet, der bei 289 min liegt mit einer Standardabweichung von 42. Somit kann man sagen, dass die optimalen c-Werte in einem Bereich von 247 bis 331 liegen sollten.

Proben, die einen sehr niedrigen c-Wert aufwiesen zeigten auch erhebliche Mängel in der Sensorik. Proben mit einem c-Wert deutlich unter dem ermittelten optimalen c-Wert von 247 min weisen teilweise noch ungekochtes Getreide auf. Es befinden sich Getreidekörner mit weißem Zentrum und Klumpen mit weißen Reiskörnern in der Grütze. Insgesamt ist die Grütze heller und klebt nicht. In den fertigen Flakes sind weiße Stellen zu erkennen. Liegt die Grütze nur etwas unterhalb des Bereiches kann es sein, dass die Grütze trotz des etwas zu geringen c-Wertes noch in die Sensorik-Klasse 2 (siehe Tabelle 9) eingeteilt werden kann.

Bei Proben mit einem c-Wert deutlich über 331 ist das Getreide zwar vollständig durchgekocht und es befinden sich keine Getreidekörner mit weißem Zentrum oder weißer Reis mehr in der Grütze, jedoch ist die Grütze insgesamt sehr dunkel, weich und klebt sehr stark, so dass sich die Weiterverarbeitung schwieriger gestaltet und auch die fertigen Flakes eine dunklere Farbe besitzen.



## 6.5 Bestätigung des ermittelten Kochwertes

Nachdem die Temperaturen erfasst, die erhaltenen c-Werte ausgewertet und daher die optimalen Kochwerte festgelegt werden konnten, wurden weitere Versuche durchgeführt um die erhaltenen Ergebnisse zu bestärken.

Dazu wurde in jedem Versuch ein Parameter geändert, um zu sehen, wie sich das Produkt verhält. Es wurden jeweils Doppelbestimmungen durchgeführt, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Diese Versuche sollten dazu dienen um aufzuzeigen, was passieren kann, wenn es während des Kochprozesses zu Druckschwankungen kommt und wie man dem entgegenwirken kann. Bei beiden Versuchen kommt es darauf an, dass trotz erhöhtem oder verringertem Druck der ermittelte optimale Kochwert erreicht wird. In der folgenden Tabelle sind die Parameter, die verändert wurden, dargestellt.

Tabelle 12: Versuchparameter

Parameter	Druck (bar)	Zeit (min)	Drehzahl Kocher (u/min)
Normal Rezeptur	1,5	64	4
V1	1,25	77	4
V2	1,6	60	4

Im ersten Versuch wurde der Druck gesenkt um einen Druckabfall während des Kochens vorzutauschen. Um zu beweisen, dass es möglich ist mit Hilfe des Kochwertes diesen Druckabfall auszugleichen, wurde die Kochdauer dementsprechend verlängert. Dies würde auch geschehen, wenn der C-Wert fortlaufend zum Kochprozess berechnet wird um damit diesen zu kontrollieren. Nach dem Starten des Kochers wurde der Druck manuell verringert. An jedem Kocher befindet sich eine Druckregelstation welche von Hand bedient werden kann. Dort ist es möglich während des Kochprozesses den Dampfdruck etwas zu erhöhen oder zu verringern. Die Kochzeit wurde nach dem 10-minütigen Mischen, direkt zu Beginn der Kochphase am Bildschirm des PC von 64 Minuten auf 77 Minuten verlängert. Die Drehzahl des Kochers wurde nicht verändert

### 6.5.1 Ergebnisse Versuch 1

#### Versuch 1.1

Die Zutaten wurden in folgender Reihenfolge in den Kocher gegeben:

Emulgator – Reis – Weizen – Malzextrakt – Wassermischung

Direkt zu Beginn des Kochphase baut sich der Druck allmählich auf. Da er beim Starten des Kochers bereits verringert wurde, liegt er nach etwa fünf Minuten bei ca. 1,02 bar. Nach 17 Minuten ist der Druck noch weiter angestiegen, so dass er bei 1,17 bar liegt. Nach ca. 22 Minuten wurde der erwünschte Druck erreicht, der dann bei 1,24 bar lag. Es ist schwierig den Druck manuell korrekt einzustellen, da es nach dem Verstellen immer mehrere Minuten dauert bis die Auswirkungen zu erkennen sind. Der Druck konnte während des gesamten Kochprozesses relativ gleichmäßig bei 1,25 bar  $\pm$  0,03 gehalten werden. Diese Werte sind auch aus dem folgenden Druckdiagramm in Abbildung 19 ersichtlich. Die Aufzeichnung des Druckes erfolgt bei jeder Kochung automatisch und die Werte werden mehrere Tage lang gespeichert und können so abgerufen werden um ausgewertet zu werden.

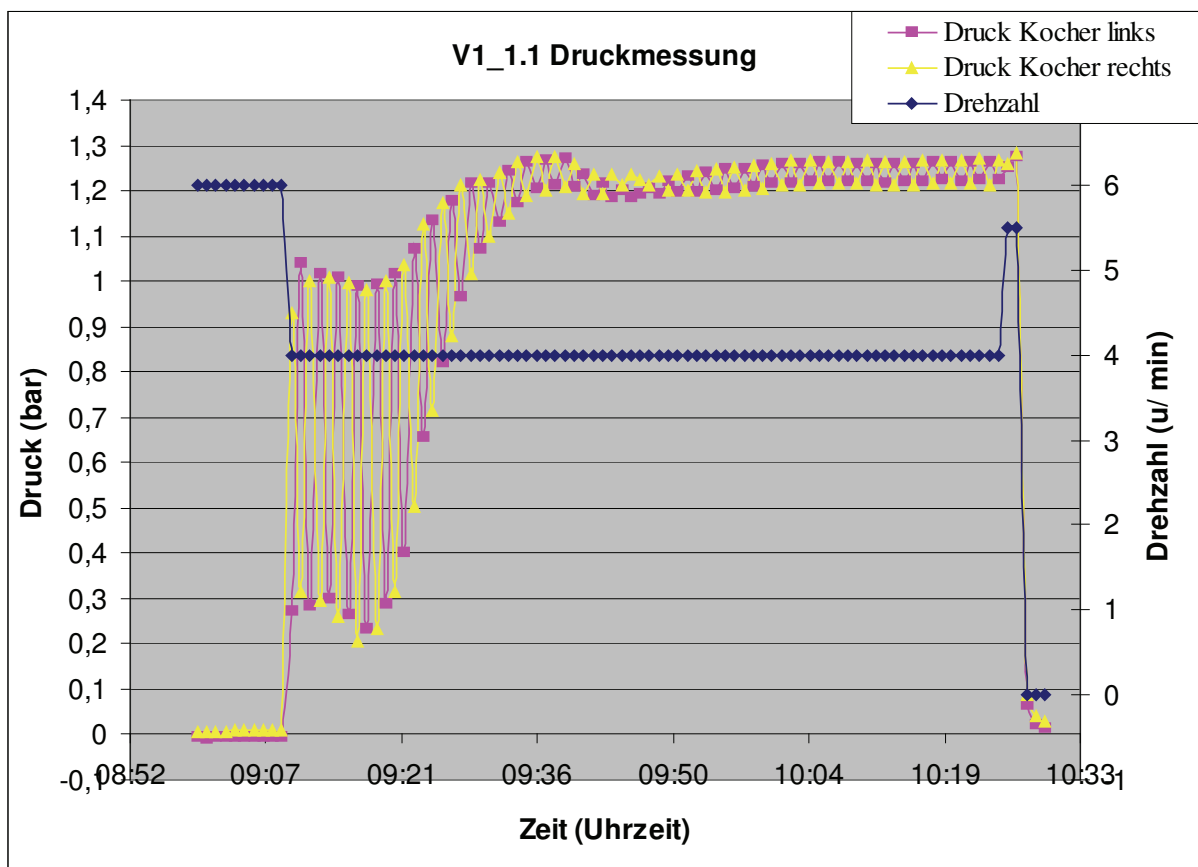


Abb. 19: Druckaufzeichnung während Versuch 1.1



Nach 77 Minuten Kochzeit erfolgte automatisch 20 Minuten lang das Abdampfen. Nach dem Öffnen des Deckels befand sich ein weißer Kuchen aus Reis in der Deckelöffnung.

Die erhaltene Grütze war weich, gummiartig und elastisch. Es waren keine weißen Stellen im Inneren der Getreidekörner zu erkennen. Jedoch war die Grütze etwas heller als normal. Ebenfalls enthält die fertige Grütze einige weiße Reiskörner, wie in der Abbildung 20 zu sehen ist.



Abb. 20: Fertige Grütze Versuch 1.1

Nach dem Auslesen des Datenloggers wurde die in der Abbildung 21 dargestellte Kurve erhalten. Mit Hilfe der aufgezeichneten Werte konnte der Kochwert berechnet werden. Dieser lag mit 283,11 min., wie beabsichtigt, im optimalen Bereich.

Die fertigen Multigrainflakes entsprechen dem vorgegebenen Nullmuster. Sie besitzen den typischen Geruch und die helle beige Farbe. Es sind einzelne Getreidebestandteile zu erkennen und sie weisen die typischen kleinen Bläschen auf. Aufgrund der weißen kleinen Reisklumpen, welche noch rohe Stärke enthalten, sind in einigen der Flakes weiße Stellen zu erkennen. Die Multigrainflakes (MGF) sind sehr zart und knusprig in der Textur. Die fertigen Flakes sind in der Abbildung 22 zu erkennen.

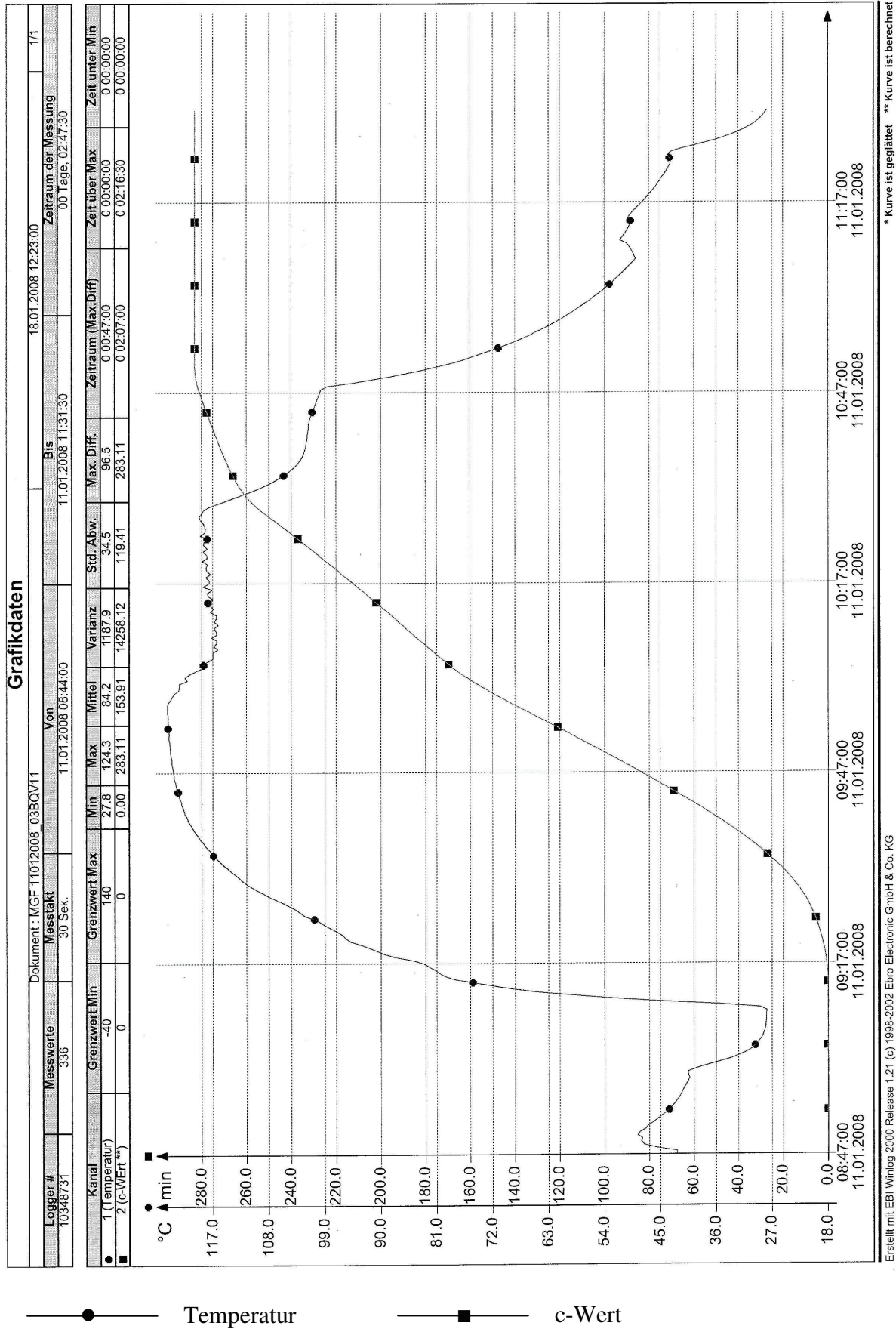


Abb. 21: Diagramm c-Wert V1.1



Abb. 22: Fertige MGF aus Versuch 1.1

### Versuch 1.2

Die Zutaten wurden in der gleichen Reihenfolge in den Kocher gegeben:

Emulgator – Reis – Weizen – Malzextrakt – Wassermischung.

Nach dem Starten des Kochers musste der Druck nicht erneut manuell verringert werden. Die Kochzeit wurde nach dem 10-minütigen Mischen, wieder direkt zu Beginn der Kochphase am PC von 64 Minuten auf 77 Minuten verlängert.

Zu Beginn des Kochprozesses baut sich der Druck wieder allmählich auf und liegt erst nach etwa 17 Minuten bei ca. 0,87 bar. Erst nach ca. 30 Minuten wurde der erwünschte Druck erreicht, der dann bei 1,25 bar lag. Der Druck fiel während des gesamten Kochprozesses immer wieder etwas ab und lag nur bei 1,19 bar. Diese Werte sind auch aus dem folgenden Druckdiagramm in Abbildung 23 ersichtlich.



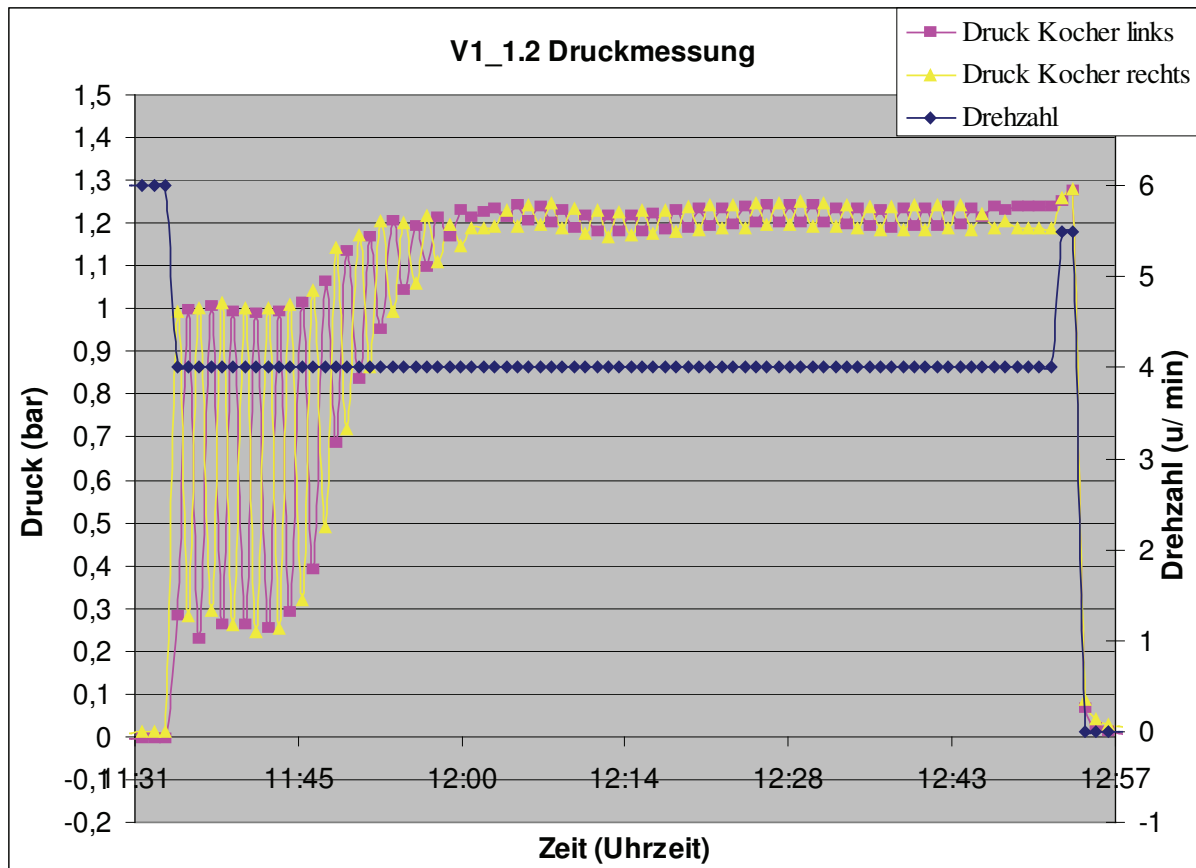


Abb. 23: Druckaufzeichnung während Versuch 1.2

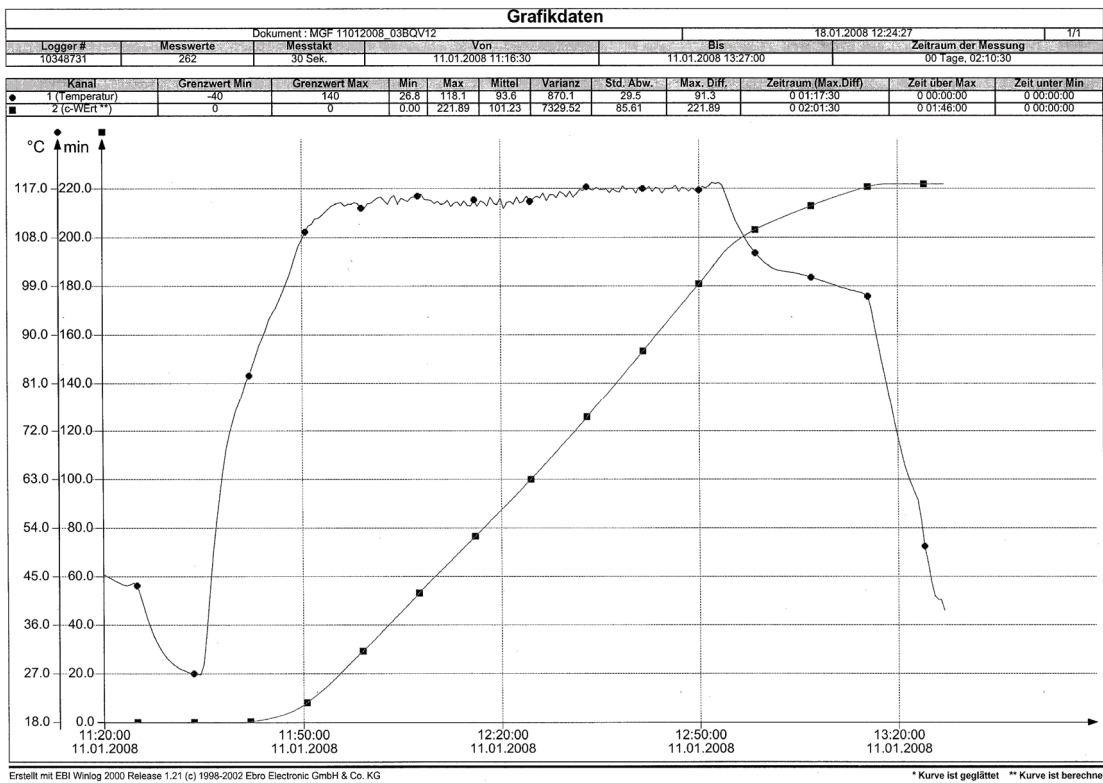
Nach dem Öffnen des Deckels befand sich wieder ein weißer Kuchen in der Deckelöffnung.

Die erhaltene Grütze war ebenfalls weich, gummiartig und elastisch. Es waren keine weißen Stellen im Inneren der Getreidekörner zu erkennen. Die Grütze war jedoch noch etwas heller als aus dem ersten Versuch. Auch hier enthielt die fertige Grütze einige weiße Reisklumpen. Dies ist aus der Abbildung 24 zu erkennen.

Dadurch dass sich der gewünschte Druck relativ langsam aufgebaut hat und während des Kochprozesses immer wieder etwas abfiel liegt der berechnete C-Wert nur bei 221,89 min. und befindet sich knapp unterhalb des berechneten minimalen Bereiches für den C-Wert. Die Temperatur- und c-Wert-Kurven sind im nachfolgenden Diagramm in Abbildung 25 dargestellt.



Abb. 24: Grütze Versuch 1.2



Temperatur


c-Wert

Abb. 25: Diagramm c-Wert V 1.2

Die fertigen Multigrainflakes besitzen gleichfalls den typischen Geruch und die helle beige Farbe. Es sind einzelne Getreidebestandteile zu erkennen und sie weisen die typischen kleinen Bläschen auf. Aufgrund der weißen kleinen Reisklumpen sind in einigen der Flakes weiße Stellen zu erkennen. In der Textur sind diese Multigrainflakes etwas fester als die aus dem ersten Versuch. Die fertigen Flakes aus diesem Versuch sind auf dem folgenden Bild 26 zu sehen.



Abb. 26: fertige MGF V1.2

Aus diesen beiden Versuchen ist bereits zu erkennen, dass es möglich ist, den Kochgrad über den C-Wert zu bestimmen. Wenn es während des Kochprozesses zum Abfallen des Druckes kommt, kann diesem mit einer Verlängerung der Kochzeit entgegengewirkt werden. Wenn der C-Wert parallel zum Kochprozess berechnet wird, ist es so genau möglich den erwünschten Kochgrad der Getreidegrütze zu erhalten.

Im zweiten Versuch wurde der entgegengesetzte Fall analysiert. Es wurde der Druck erhöht und daher die Kochzeit verkürzt. Nach dem Starten des Kochers wurde der Druck manuell erhöht. Die Kochzeit wurde nach dem 10-minütigen Mischen, direkt zu Beginn der Kochphase am PC von 64 Minuten auf 60 Minuten verkürzt. Die Drehzahl des Kochers wurde nicht verändert.

## 6.5.2 Ergebnisse Versuch 2

### Versuch 2.1

Die Zutaten wurden in folgender Reihenfolge in den Kocher gegeben:

Emulator – Reis – Weizen – Malzextrakt – Wassermischung

Der Druck wurde nach dem Mischen zu Beginn des Kochprozesses manuell etwas erhöht. So eine Druckerhöhung könnte es auch während der normalen Produktion durch bestimmte Umstände entstehen (Kesselhaus, nur ein Kocher,...). Um den gewünschten c-Wert von ca. 289 min zu erreichen, wurde die Kochzeit entsprechend verkürzt. Es wird gehofft, dass die Sensorik der fertigen Grütze optimal ausfällt und der c-Wert erreicht bzw. nicht deutlich überschritten wird.

Direkt zu Beginn des Kochprozesses baut sich der Druck allmählich auf. Nach 15 Minuten liegt er bei ca. 1,2 bar. Da der Druck noch viel zu niedrig liegt, wird nochmals nachgeregelt, so dass er auf 1,5 bar angestiegen ist. Nach 25 Minuten ist der erwünschte Druck von 1,65 bar erreicht worden. Dieser Druck konnte während der gesamten weiteren Kochzeit relativ konstant gehalten werden.

Nach dem Abdampfen wurde der Deckel geöffnet. Im Deckelrand befand sich ein kleiner Kuchen. Die erhaltene Grütze wies keine rohe Stärke mehr auf und war elastisch und gummiartig. Weiterhin konnten kaum weiße Klumpen in der Grütze gefunden werden. An der rechten Innenseite des Kochers war die Grütze verklebt, so dass sich dort ein großer Klumpen befand. Die Grütze ist an dieser Stelle schon etwas verkocht, so dass die Gelatinierung bereits zu weit fortgeschritten ist.

Der berechnete c-Wert war mit 242,11 min verhältnismäßig niedrig, die Grütze war jedoch relativ dunkel. Die Maximaltemperatur lag trotz Druckerhöhung nur bei 125,2 °C. Die erhaltene Kurve ist in der Abbildung 27 dargestellt. Die Flakes entsprechen ebenfalls dem vorgegebenen Nullmuster und zeigten die typische Farbe, Aussehen, Geschmack und waren sehr zart.



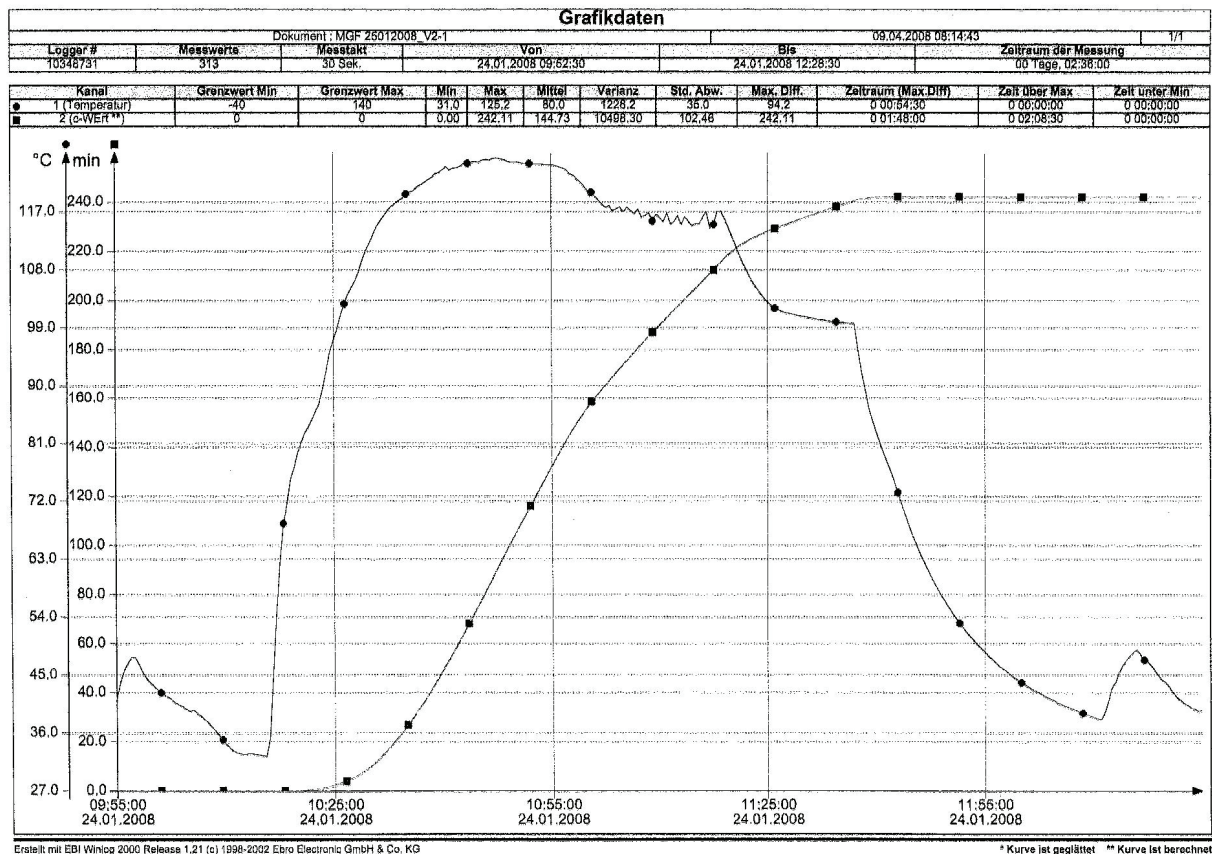


Abb. 27: Diagramm c-Wert V 2.1 —●— Temperatur —■— c-Wert

## Versuch 2.2

Bei der zweiten Kochung dieses Versuches wurde genauso vorgegangen. Hier wurde nach 17 Minuten ein Druck von 1,58 bar erreicht und nach 19 Minuten der gewünschte von 1,6 bar. Es befand sich ein kleiner Kuchen im Deckel. Die Grütze wies keine rohe Stärke mehr auf, war goldbraun und elastisch. Es konnten einige weiße Reiskörner in der Grütze gefunden werden. Der C-Wert war mit 191,47 min sehr klein. Trotz der Druckerhöhung konnte nur eine Maximaltemperatur von 126 °C erreicht werden, wie auch auf der Abbildung 28 zu sehen ist.

Die Ergebnisse dieser beiden Versuche scheinen sehr unrealistisch zu sein. Denn trotz Druckerhöhung, die auch am PC abgelesen werden konnte, zeigte sich im Innern des Kochkessels keine große Temperatursteigerung. Die erhaltene Grütze konnte, wie bereits gesagt, im optimalen Bereich eingeordnet werden. D.H., es waren keine Getreidekörner mit roher Stärke enthalten, sie waren goldbraun und elastisch, obwohl der berechnete c-Wert im Minimum bzw. unterhalb des optimalen Bereiches liegt.



Die Ursache hierfür liegt wahrscheinlich darin, dass der Datenlogger während des Kochprozesses durch die weiche Grütze verklebt war und somit nicht die genauen Temperaturen aufzeichnen konnte. Ein weiterer Grund für die eher unwahrscheinlichen Ergebnisse könnte auch sein, dass die Kochersiebe durch verkochte Grütze verstopft waren und so der Dampf nicht genügend einströmen konnte.

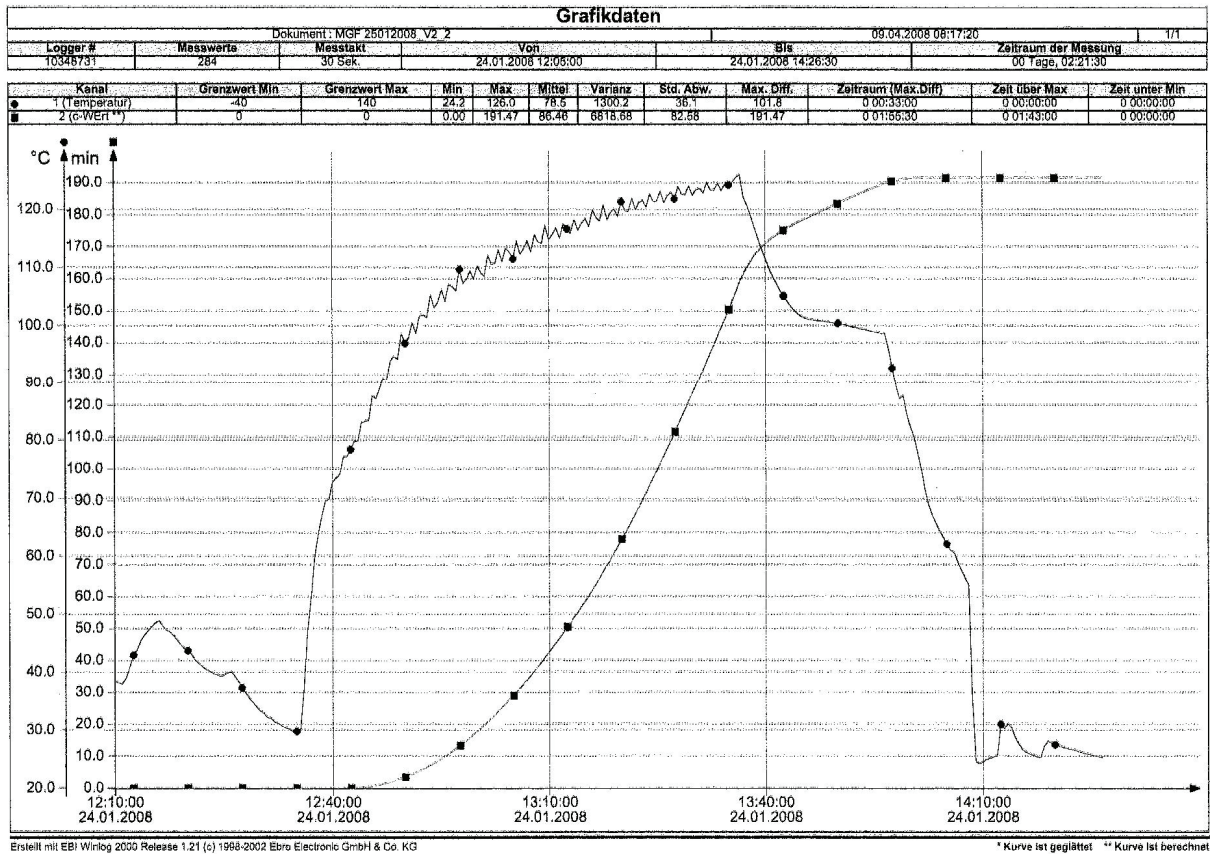


Abb. 28: Diagramm c-Wert V 2.2 ● Temperatur ■ c-Wert

### Versuch 2.3

Wegen der unrealistischen Ergebnisse wurde noch eine Kochung am nächsten Tag durchgeführt. Die Einstellungen für die Kochung erfolgten wie bei den beiden ersten Versuchen. Der erwünschte Druck konnte recht schnell nach etwa 17 Minuten erreicht werden und konnte während des gesamten Kochprozesses konstant gehalten werden. Die erhaltene Grütze war weich, gummiartig, elastisch und vergleichsweise dunkel. Sie enthielt keine rohe Stärke und es waren auch keine weißen Klumpen enthalten. Mit diesen Eigenschaften liegt die Grütze bereits im Maximum was ihre Sensorik betrifft. Daher wird davon ausgegangen, dass auch der Kochwert relativ hoch sein muss.

Nach dem Auswerten des Datenloggers erhält man die folgende in Abbildung 29 dargestellte Kurve des Kochprozesses. Der c-Wert lag, wie vermutet, mit 356,75 min sehr hoch (siehe Abbildung 29). Es konnte eine Maximaltemperatur von 130,2 °C erreicht werden.

Dieser Umstand ist ein weiterer Punkt weshalb es sinnvoller ist den Kochprozess unter Verwendung der Temperaturüberwachung zu steuern. Der Druck wird nur vor und hinter dem Kessel gemessen und nicht im Kessel. Dadurch kann nur vermutet werden welcher Druck im Innern herrscht. Durch die Temperaturmessung im Produkt, könnte der Kochprozess dann gezielt gesteuert werden und mittels c-Wert kann der Zustand der Grütze und das Stadium der Stärke genau bestimmt werden unabhängig von den Druckschwankungen.

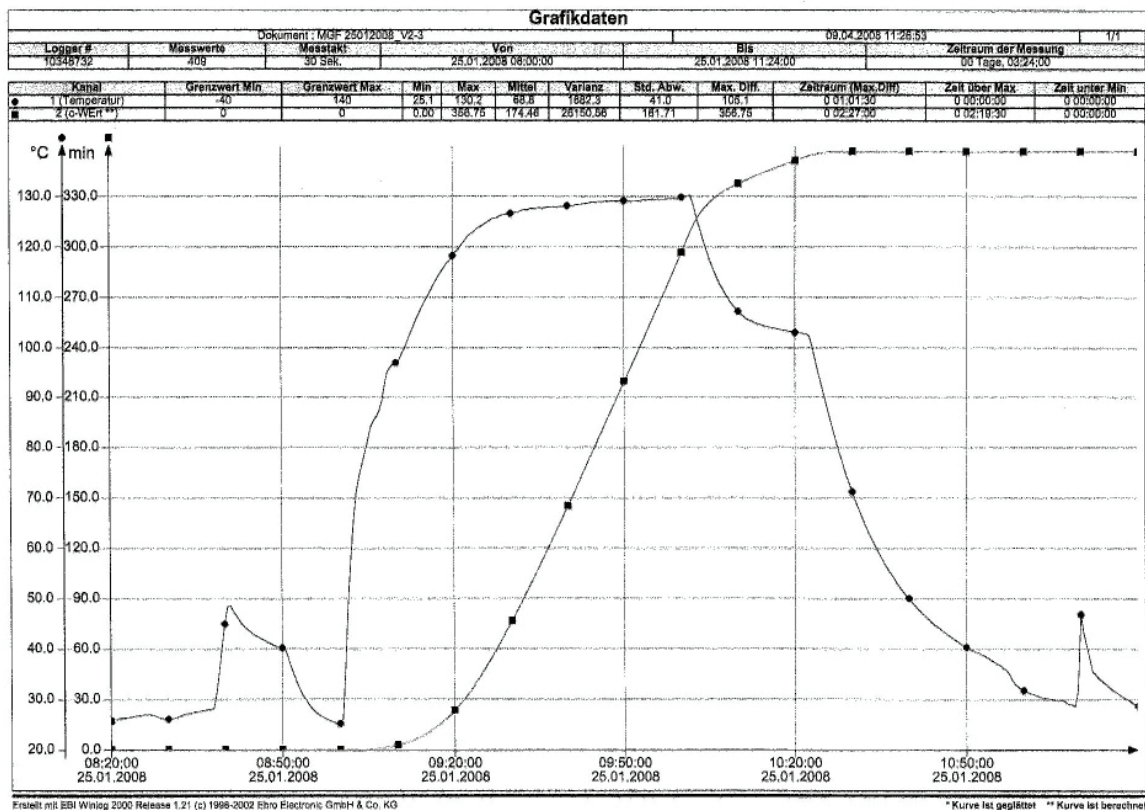


Abb. 29: Diagramm c-Wert V 2.3 —●— Temperatur —■— c-Wert

## 6.6 Infrarot – Temperaturmessung

Da der Datenlogger langfristig durch einen kontinuierlichen Temperaturmesser ersetzt werden muss, um den Kochwert parallel berechnen zu können, wird versucht die Temperatur mittels Infrarot-Thermometer aufzuzeichnen. Das Thermometer wird unten, außerhalb des Kochers fest angebracht und rotiert nicht mit. Die Temperatur wird nahe am Dom des Kochkessels gemessen.

Das Infrarot - Thermometer wird unten, außerhalb des Kochers fest angebracht und rotiert nicht mit. Die Temperatur wird nahe am Dom des Kochkessels gemessen. Der Dom ist der Bereich des Kessels in welchem sich der Deckel befindet.

An der Außenwand des Kochkessels kann aber niemals die gleiche Temperatur gemessen werden wie im Inneren. Der eingelassene Dampf kondensiert an der Behälterinnenwand und kühlt diese dadurch stets etwas ab. Aus diesem Grund wird die Temperatur an der Außenwand immer niedriger sein als die von Innen mit dem Datenlogger gemessene.

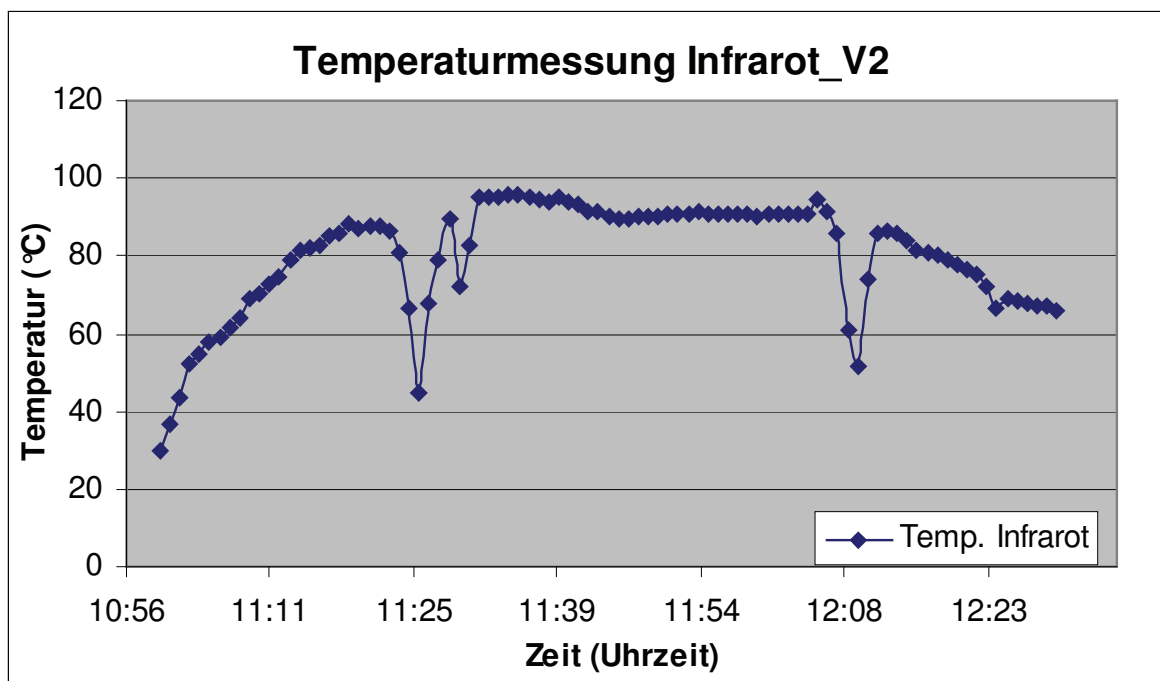


Abb.30: Temperaturaufzeichnung mittels Infrarot – Thermometer \_Versuch 2

Es wurden fünf Versuche zur Temperaturoaufzeichnung durchgeführt. Aus den erhaltenen Diagrammen ist sehr gut zu erkennen, dass es bei der Temperaturoaufzeichnung mit dem Infrarotmessgerät immer wieder zu erheblichen Schwankungen kommt. Besonders gut zu sehen ist dies bei Versuch 2, dargestellt in der oben stehenden Abbildung 30.

Außerdem kommt es, wie bereits kurz erwähnt, mehrmals zu einem sehr starken Abfall der gemessenen Temperaturen. Mögliche Ursachen sind wahrscheinlich äußere Einflüsse wie evtl. Luft aus der Darre, Dampf, Zugluft durch offene Rolltore. Es wird aber auch vermutet, dass diese Schwankungen durch Reflexionen an der Behälterwand verursacht werden können. Daher wurde der Kochkessel an der Messstelle mit schwarzer Farbe gestrichen um diese Reflexionen zu verhindern bzw. zu minimieren. Da ebenfalls angenommen wird, dass wenn das Infrarotthermometer die Temperatur genau am Dom des Kochers aufnimmt, es zum Abfall der gemessenen Temperatur kommt, wurde aus diesem Grunde das Infrarotmessgerät um etwa 10 cm weiter weg vom Dom angebracht. (Kondensat, dickere Wände wegen Deckel...)

Nach diesem ersten Umbau sind die Ergebnisse gleichmäßiger, d.h. es kommt zu weniger Schwankungen und die Temperatur nähert sich der gemessenen Temperatur vom Datenlogger. Dies kann auch der Abbildung 31 entnommen werden.

Es kann jedoch immer noch beobachtet werden, dass es stets nach den gleichen Zeitabständen zu einem rapiden Abfall der gemessenen Temperaturen kommt, selbst nach den ersten getroffenen Maßnahmen.

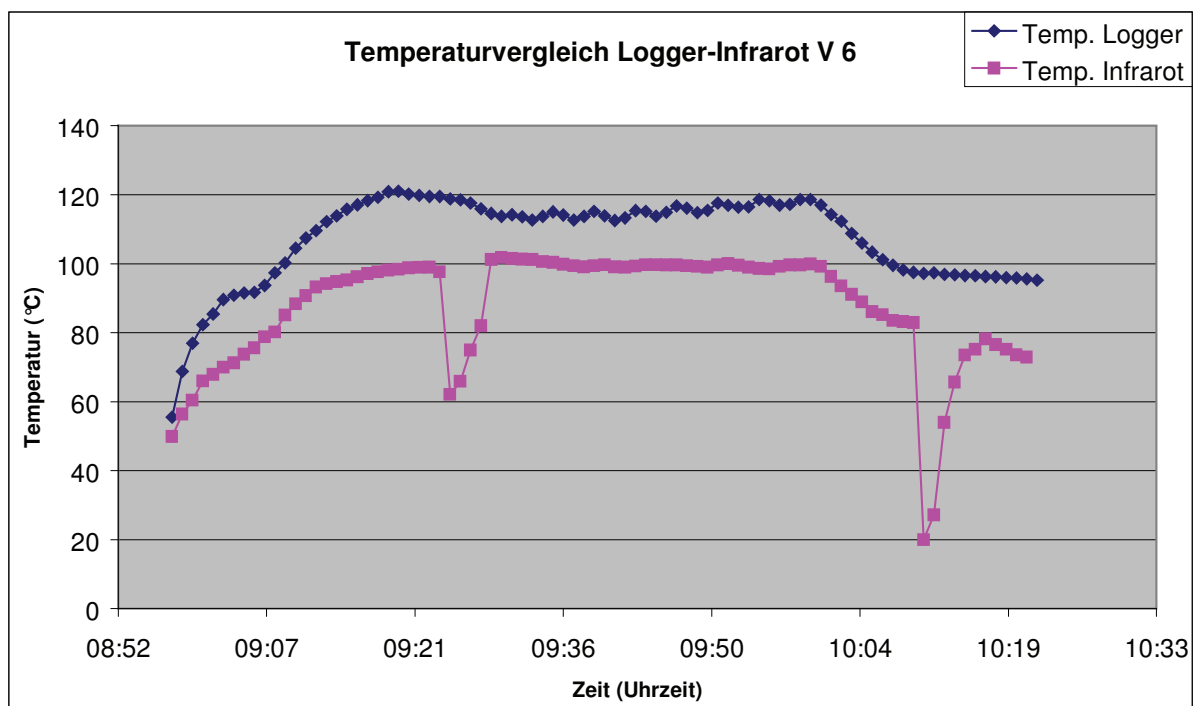


Abb. 31: Temperaturvergleich Datenlogger-Infrarot Versuch 6

Ein Vergleich der Zeiten ergab, dass es stets zum Abfall der gemessenen Temperatur kam wenn die Darre eingeschaltet wird. Es wird also vermutet, dass die Zugluft aus der Darre für den Einbruch der Temperatur verantwortlich ist. Um diesen Fehler auszugrenzen soll das Infrarotthermometer umgebaut werden. Es wird oberhalb des Kochers fest angebracht und rotiert nicht mit.

Nach dem Auswerten der daraus folgenden Ergebnisse kann gesagt werden, dass es auch noch nach dem zweiten Umbau zu den besagten Temperaturschwankungen kommt, die aber nicht mehr ganz so stark ausfallen.

Die Temperaturmessung wurde weitergeführt um mehr Ergebnisse zu erhalten. Es ist zu beobachten, dass die Schwankungen mit der Zeit immer mehr abnehmen. Jedoch sinkt die gemessene Maximaltemperatur wieder unter 100 °C. Dies lässt sich wahrscheinlich darauf zurückführen, dass nun von Außen der Kopfraum gemessen wird und sich im Kopfraum kein Produkt befindet, sondern nur Dampf.

## **6.7 Vergleich Datenlogger und Infrarot – Thermometer**

Der Vergleich der beiden Temperaturmessmethoden soll Aufschluss darüber geben, ob es möglich ist, die Produkttemperatur im Inneren des Kessels von Außen zu bestimmen.

Die Aufzeichnungen vom Infrarotmessgerät wurden mit denen des Datenloggers verglichen.

In der Abbildung 32 ist zu sehen, dass die Temperaturen vom Infrarotthermometer stark abweichen von denen des Datenloggers.

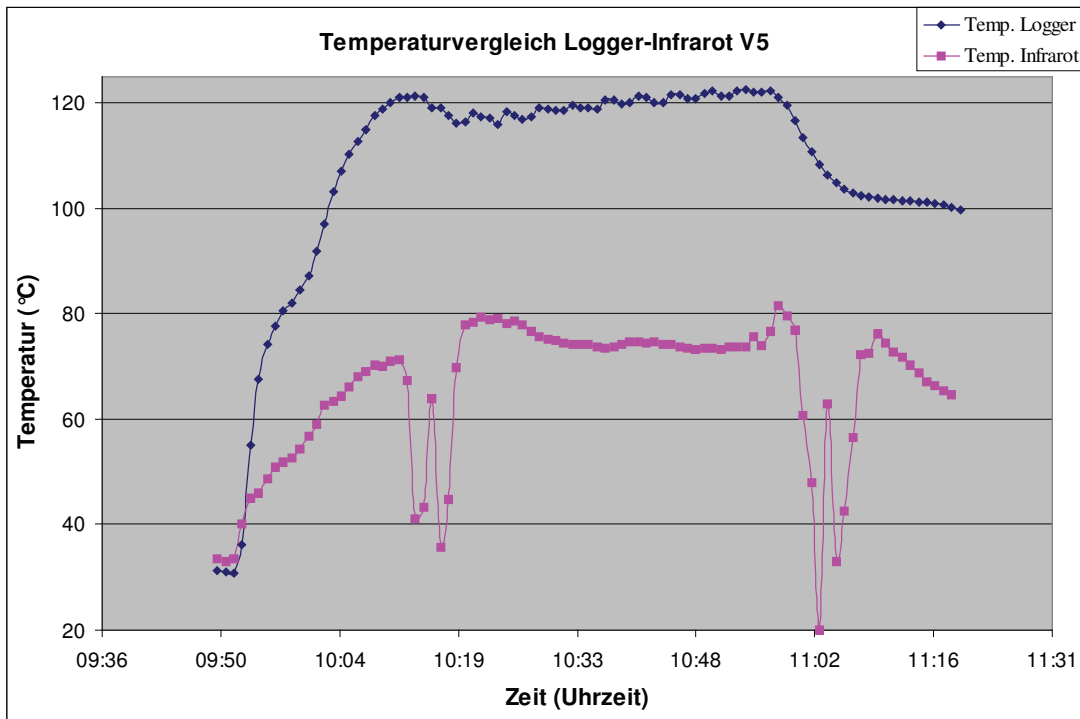


Abb. 32: Temperaturvergleich Datenlogger-Infrarot Versuch 7

Dabei ist aus den erhaltenen Ergebnissen zu erkennen, dass der Zusammenhang der Temperaturen von Datenlogger und Infrarot – Thermometer relativ gering ausfällt. Dieses Ergebnis stützt sich auf die Berechnungen des Korrelationskoeffizienten der beiden Methoden. In der Abbildung 33 sind die Korrelationskoeffizienten der ersten Versuche dargestellt. Der Mittelwert liegt hier nur bei  $r = 0,811$ .

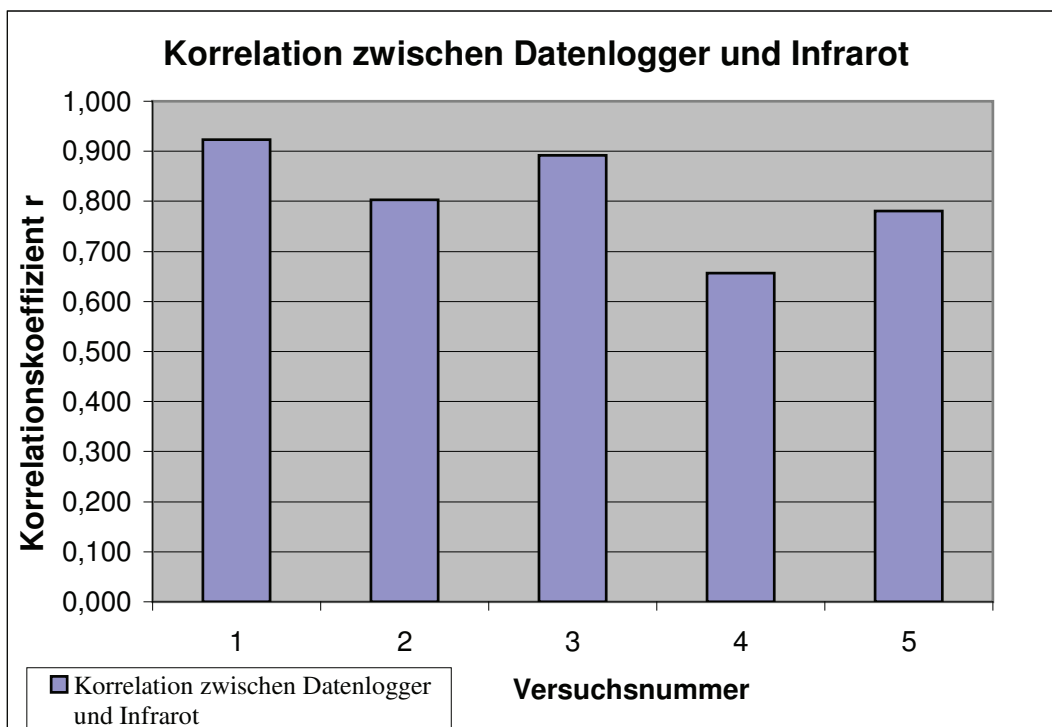


Abb.33: Korrelationskoeffizienten zwischen Datenlogger und Infrarot

Wie bereits gesagt, wurden die Ergebnisse nach dem ersten Umbau etwas gleichmäßiger obwohl es immer noch zu erheblichen Schwankungen kommt.

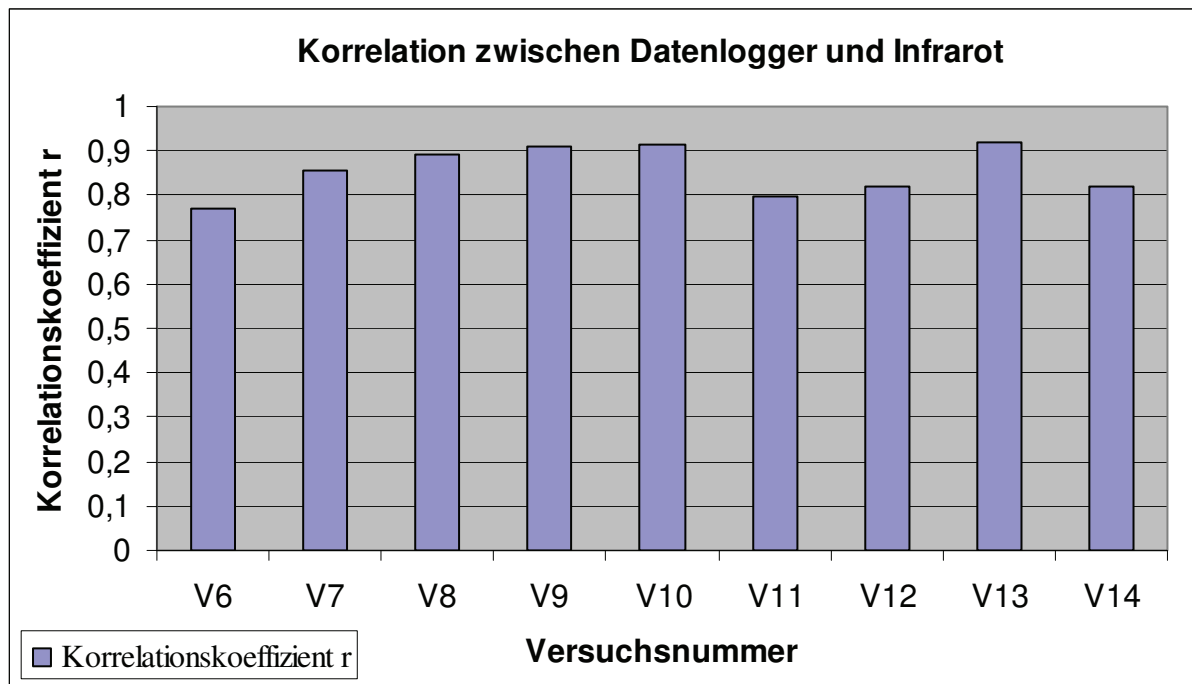


Abb.34: Korrelationskoeffizienten zwischen Datenlogger und Infrarot nach dem ersten Umbau

Durch den Vergleich der beiden Diagramme ist zu erkennen, dass die Streuung um den Mittelwert abgenommen hat und sich der Zusammenhang zwischen den Temperatureaufzeichnungen von Datenlogger und Infrarot-Messgerät etwas verbessert hat. Die Korrelationskoeffizienten der Versuche 6 – 14 sind in der Abbildung 34 veranschaulicht. Der Mittelwert liegt bei dieser Versuchsreihe jedoch immer noch sehr niedrig bei  $r = 0,855$ .

Nach dem zweiten Umbau kam es ebenfalls noch zu einigen Schwankungen, die jedoch bei weiteren Versuchen immer weniger wurden. Bei den drei letzten Versuchen sind diese kaum noch zu sehen und der Korrelationskoeffizient liegt hier mit einem Durchschnitt von  $r = 0,96$  relativ hoch. Dies ist in der Abbildung 35 zu sehen.

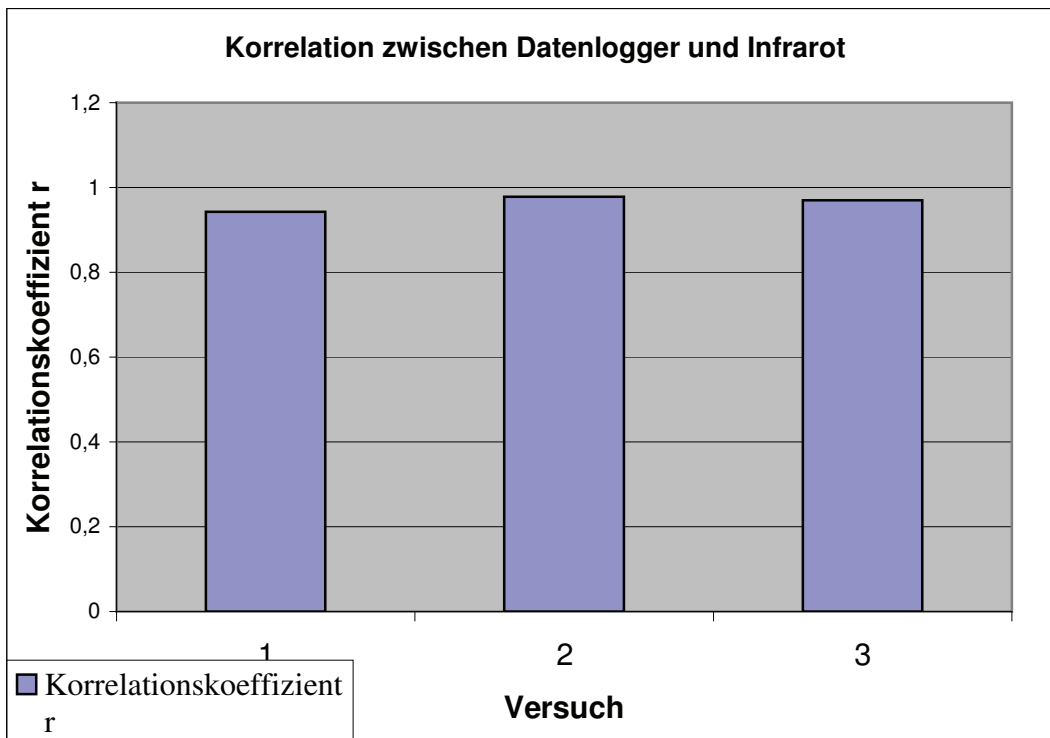


Abb. 35: Korrelationskoeffizienten zwischen Datenlogger und Infrarot nach dem zweiten Umbau

Allerdings müssten noch mehr Versuche durchgeführt werden, um zu sehen ob sich dieser Trend weiter fortsetzt oder nicht, da die Schwankungen erst in den letzten Versuchen abgenommen haben. Um zu sehen, ob es möglich ist durch Messung der Manteltemperatur den Kochwert zu bestimmen und so den Kochprozess zu steuern, reichen die durchgeführten Versuche nicht aus.



## 7 Diskussion der Ergebnisse

Nach dem Abschluss aller Versuche kann gesagt werden, dass sich der Kochwert mit der Temperaturaufzeichnung berechnen lässt. Da der Datenlogger ein sehr zuverlässiges Messinstrument darstellt, ist es möglich den c-Wert genau zu bestimmen. Durch das Sammeln der c-Werte von Kochungen desselben Produktes und dem Vergleich dieser, konnte zwar nicht ein bestimmter Wert für den c-Wert herausgearbeitet werden, sondern nur ein bestimmter Bereich in welchem der c-Wert liegen sollte. Innerhalb dieses Bereiches sind die sensorischen Eigenschaften so, dass sich die erhaltene Grütze problemlos weiterverarbeiten lässt. Die Einteilung der sensorischen Eigenschaften sind nachzulesen in der Tabelle 9 in Abschnitt 5.5 sensorische Auswertung. Bei Grützen die unterhalb des minimalen Bereiches liegen, besitzen zu viele Getreidekörner noch ein weißes Zentrum an ungekochter Stärke und die Körner sind noch sehr hart und hell. Somit würde ein unbrauchbares Endprodukt entstehen, welches gesperrt werden müsste. Wird jedoch direkt nach dem Kochprozess erkannt, dass die Grütze noch nicht den gewünschten Kochgrad erreicht hat, ist es möglich die Grütze noch einmal nachzukochen. Dies muss jedoch manuell am PC an der Anlage eingestellt werden. Wird dies nicht erkannt, wäre dann das entstandene Endprodukt sehr hell und hätte sehr viele weiße Stellen, welche die Flakes unansehnlich machen. Der hellen Farbe könnte entgegengewirkt werden mit Hilfe der Einstellungen am Röster, d.h. es könnte länger oder mit einer höheren Temperatur geröstet werden. Dieser Vorgang kann aber nicht beliebig verändert werden, denn bei hohen Temperaturen kommt es schnell zu Verbrennungen, so dass die Flakes schwarz werden. Ebenfalls fördert ein zu langes Rösten bei so hohen Temperaturen die Bildung von Acrylamid. Da dieser Stoff im Verdacht steht krebsauslösend zu sein, darf er nur zu einer bestimmten Menge im Endprodukt enthalten sein.

Im umgekehrten Fall, wenn die sensorischen Eigenschaften der Grütze über dem Maximum liegen, ist das Getreide zu weich und die Gelatinierung ist schon zu weit fortgeschritten. Somit wird die Weiterverarbeitung sehr schwierig. Durch die sehr weichen Körner könnten sämtliche Klumpenbrecher, Elevatoren, Siebe oder auch die Rohrleitungen verstopfen. Daher kann eine Grütze, die über dem Maximum liegt nur in den seltensten Fällen weiterverarbeitet werden. Verkochte Grütze muss daher entsorgt werden. Tritt dieser Fall ein, kommt es zu einem großen Verlust an Rohstoffen, da sich pro Kochung ca. 900 kg Getreide und weitere Zutaten im Kocher befinden.

Weiterhin bedeutet ein zu langes Kochen ein hoher Energieverlust. Denn Dampferzeugung kostet Energie. Wird zu lange gekocht, wird zu viel Energie verbraucht.

Nach Betrachtung aller Ergebnisse kann bestätigt werden, dass es möglich ist durch eine Temperaturmessung im Inneren des Kochkessels den Kochprozess der Grütze für die Herstellung von Multigrainflakes zu überwachen. Denn durch die Erfassung der Temperatur und daraus folgender Berechnung des Kochwertes ist es möglich den Kochgrad der Stärke, also in welchem Maße die Gelatinierung fortgeschritten ist, zu bestimmen. Dies konnte durch alle Versuche gezeigt werden, da der Kochwert proportional zum Zustand der Grütze nach dem Kochprozess war. D.H, je niedriger der c-Wert, desto heller war die Grütze und desto mehr ungekochte weiße Zentren traten auf. Im Gegenzug sank die Anzahl der weißen Zentren bei steigendem c-Wert und die Grütze wurde immer dunkler.

Die Temperaturmessung mittels Infrarotthermometer konnte sich dagegen noch nicht durchsetzen. Es traten zu viele Schwankungen und Abweichungen auf. Obwohl diese Schwankungen bei weiteren Versuchen weniger wurden, lässt sich die Temperatur im Inneren des Kessels noch nicht genau von außen bestimmen. Der Abstand zwischen den beiden Kurven von Datenlogger und Infrarotmessgerät liegen bei jedem Versuch unterschiedlich weit auseinander. Aus diesem Grund kann man die beiden Messungen nicht ausreichend miteinander vergleichen.

Aufgrund der Ergebnisse aller Versuche lässt sich sagen, dass theoretisch eine Steuerung der Kochung über die Temperaturmessung möglich wäre.

So eine Steuerung könnte folgendermaßen aussehen:

Es müsste ein kontinuierliches Messgerät im Kocher eingebaut werden, welches die Temperatur aufzeichnet und parallel zum Kochprozess den Kochwert berechnet. Das Programm müsste neben den üblichen Prozessparametern, wie Mischzeit, Dauer der Dampfzufuhr, Drehzahl des Kochers, Kochdauer usw., den Dampf automatisch abschalten wenn der erwünschte Kochwert erreicht wird, so dass es nicht mehr zum Überkochen der Grütze kommen kann. Ebenso müsste die Dampfzufuhr weiter bestehen, wenn während des Kochprozesses der Druck im Inneren des Kochers nicht erreicht wurde und somit auch nicht die erforderliche Temperatur um den gewünschten Grad der Stärkeverkleisterung zu erzielen. Das eingesetzte Messgerät müsste lediglich mit der Formel für den Kochwert programmiert werden, so dass es in der Lage ist, diesen parallel zum Kochprozess zu berechnen.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war es die Grundlagen für eine Temperatursteuerung für Getreidekochanlagen zu entwickeln. Dabei war es zunächst einmal wichtig ein geeignetes Messinstrument für die Temperaturmessung auszuwählen. Damit im späteren Verlauf ein kontinuierliches Messinstrument eingebaut werden kann, ist es notwendig die Eigenschaften des Kochprozesses zu analysieren. Dazu wurden mittels Datenlogger die Temperaturen während des Kochens aufgezeichnet und anschließend ausgewertet, wobei vor allem auf den Kochwert geachtet wurde. Dabei stellte sich heraus, dass sich bei einem annähernd gleichem Kochwert die sensorischen Eigenschaften der gekochten Grützen sehr ähnelten. Aufgrund dieser Ergebnisse konnte eine Range ermittelt werden, in welcher sich der optimale c-Wert befindet.

Um zu zeigen, dass sich der Kochprozess durch die produktionsbegleitende Berechnung des c-Wertes steuern lässt und sich somit Druckschwankungen ausgleichen lassen wurden weitere Versuche durchgeführt. Bei diesen wurde der Druck künstlich per Hand gesenkt und auch erhöht um so mögliche Druckschwankungen vorzutäuschen. Da noch kein fest installiertes Thermometer, welches gleichzeitig den c-Wert berechnen kann vorhanden war, wurde die Kochzeit ebenfalls per Hand verlängert bzw. verkürzt. Diese Versuche haben gezeigt, dass eine Verlängerung der Kochzeit bei zu niedrigem Druck zu dem erforderlichen c-Wert führt und somit möglich ist. Das gleiche gilt für die Verkürzung der Kochzeit bei zu hohem Druck. Da ein festinstalliertes Messgerät für die Temperaturüberwachung und Berechnung des Kochwertes gefunden werden soll, wurde versucht dies über ein Infrarotthermometer, welches von außen angebracht wurde zu erreichen. Da es aber zu erheblichen Abweichungen zu den mittels Datenlogger erfassten Temperaturen kam und auch sehr starke Schwankungen aufgetreten sind, die sich selbst durch veränderte Versuchsbedingungen nicht beseitigen ließen, kann diese Methode vorerst für eine kontinuierliche und verlässliche Temperaturerfassung ausgeschlossen werden. Somit konnte gezeigt werden, dass es bisher nur möglich ist, die Temperatur des Produktes im Inneren des Kessels genau zu erfassen.

Durch diese Arbeit wurde die Grundlage geschaffen um so ein produktionsbegleitendes Temperaturmessgerät zu beschaffen und zu installieren. Bei der Beschaffung sollte darauf geachtet werden, dass dieses Thermometer leicht anzubringen ist d.h., dass keine baulichen Veränderungen am Kessel vorgenommen werden müssen. Ein weiterer Punkt sollte sein, dass sich das Thermometer leicht reinigen lässt um stets die exakten Daten zu liefern. Dazu sollte es im Kessel leicht zugänglich sein für die Mitarbeiter. Die günstigste Variante wäre der Einbau im Deckel des Kochers, wie es bereits geschehen ist mit den hier verwendeten Datenloggern.

## 9 Literaturverzeichnis

ATP Messtechnik GmbH: Datenlogger. 1998-2007.

<http://www.atp-messtechnik.de/Physikalische-Mestechnik/Datenlogger/23>. 09.01.2008

Baks, Tim; Bruins, Marieke E.; Janssen, Anja E. M.; Boom, Remko M.: Effect of Pressure and Temperature on the Gelatinization of Starch at Various Starch Concentrations. *Bio-macromolecules* (2008), Nr. 9, S. 296 - 304.

Baumann, Bruno: Grundlagen der Hitzebehandlung (I - IV). 13.5.2004.

[http://www.foodnews.ch/x-plainmefood/40\\_sicherheit/Hitzebehandlung\\_1.html](http://www.foodnews.ch/x-plainmefood/40_sicherheit/Hitzebehandlung_1.html). 30.09.2005; 03.10.2007.

Bichsel, Rudolph: Drum Cooker. 16.09.1999.

<http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?IA=WO1999%2F45830&WO=1999%2F45830&DISPLAY=STATUS>. 10.09.2007

Bichsel, Rudolph: Drum Cooker. 16.09.1999.

<http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?WO=1999%2F45830&IA=WO1999%2F45830&DISPLAY=DESC>. 10.09.2007

Brüggen Verfahrensanweisung: Produktion von Cornflakes/ Getreideflakes Linie 1. 2007.

Ebro: EbiWinlog2000 Bedienungsanleitung. 2003.

Eisner, Manfred: Einführung in die Technik und Technologie der Rotationssterilisation. 2. erweiterte Aufl. Wolfsburg: Günter Hempel, 1985.

Faruq, Golam; Hadjim, Mohamad O.; Meisner, C. A.: Inheritance of Gelatinization Temperature in Rice. *International Journal of Agriculture & Biology* Vol.6 (2004), No.5, S. 810-812.

Fast, Robert B.; Caldwell, Elwood F.: Breakfast cereals and how they are made. 2<sup>nd</sup> ed., St. Paul, Minn: American Association of cereal chemists, 2000.

Gruner, Dr.-Ing. K.: Grundlagen der berührungslosen Temperaturmessung „Strahlungsthermometrie“.12/ 2004.

[http://www.qm-infocenter.de/qm/tools/download\\_bd.asp?basic\\_id=27226143136-103&doc\\_id=51](http://www.qm-infocenter.de/qm/tools/download_bd.asp?basic_id=27226143136-103&doc_id=51). 04.01.2008

Hoseney, R. Carl: Principles of cereal science and technology. 2nd ed., 2<sup>nd</sup> printed, St. Paul, Minn: American Association of cereal chemists, 1998.

Huber, Dr. Karin; Kühne, Dr.sc.agr. Petra: Frühstückscerealien, neue und bekannte Getreideprodukte: Herstellung, Qualitätsveränderungen, Bio-Angebot. Arbeitskreis für Ernährungsforschung, 2004.

IT-Lexikon: resistance temperature detector. DATACOM Buchverlag GmbH 2004-2007.  
<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/resistance-temperature-detector-RTD-RTD-Element.html>. 13.09.2007

IT-Lexikon: PT 100 Sensor. DATACOM Buchverlag GmbH 2004-2007.  
<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Pt100-Sensor-Pt100.html>. 13.09.2007

Kent, Norman Leslie; Evers, A. D.: Technology of Cereals: an Introduction for Students of Food Science and Agriculture. 4<sup>th</sup> ed. Oxford [u.a.]: Pergamon Press, 1994.

Klingler, Rudolf W.: Grundlagen der Getreidetechnologie. Hamburg: Behr, 1995.

Kulp, Karel; Ponte, Jr., Joseph G.: Handbook of cereal science and technology. 2<sup>nd</sup> ed., rev. and expanded. New York, NY [u.a.] : Dekker, 2000.

Kurzhals, Hans-Albert: Lebensmittellexikon. 1.Auflage, Band 1 u. 2. Hamburg: Behr, 2003.

Massholder, Frank: Maillard-Reaktion. Lebensmittellexikon.

<http://www.lebensmittellexikon.de/m0000840.php>. 14.01.2008

Matull, Anja; Wohler, Monika: Pflanzen in der Landwirtschaft. Information.medien.agrar.e.V. (i.m.a.); Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOPe.V.) [http://www.ima-agrar.de/Dateien/Pflanzen\\_in\\_der\\_LW.pdf](http://www.ima-agrar.de/Dateien/Pflanzen_in_der_LW.pdf). 12.10.2007.

MischerExpo: Extruder-Grundlagen, 2006. <http://www.mischer.com/index.htm>. 22.10.2007

Newport Electronics: Infrarot-Messtechnik. Omega, 2006.  
<http://www.omega.de/techref/index.html>. 05.02.2008

Optris: Grundlagen der berührungslosen Temperaturmessung: Infrarotthermometer und Infrarotkameras. <http://www.optris.de/de/index.html>. 14.12.2007

Polenghi, Dr. Ombretta: Mehle oder Stärken. Schär Professional – The Schär Magazine for a tasteful Life (2007). Nr.3, S. 4 - 5.

Raytek: Betriebsanleitung für Miniatur Infrarot Sensor, 2006.

Rubin, Christopher: Trends bei der Herstellung verzehrfertiger Produkte mittels Zweiwellenextrusion – Bunte Vielfalt ist gefragt. *dei - die ernährungsindustrie* (2008), Nr. 8, S.30.

Schaaf, Heinz-Joseph: Method of peparing an expanded foodstuff. 27.12.1991.  
<http://www.freepatentsonline.com/EP0286098B1.html>. 17.10. 2007.

Schütt, Jens: Grundlagen der Sterilisation. Auszug aus der Diplomarbeit, 1996.  
[http://www.jens-schuett.de/files/allg\\_tpd\\_lang.pdf](http://www.jens-schuett.de/files/allg_tpd_lang.pdf). 08.09.2007

Schwiegelshohn, Bettina: Wechselwirkung zwischen Phytaten und Mineralstoffen. 2001.  
<http://www.ernaehrung-fuer-gesundheit.de/sek-Pflanzenstoff/Phytat.html>. 10/2003.  
14.09.2007

Siemens: Siemens Wägetechnik in der Cerealienherstellung, 08/2007.  
[https://pia.khe.siemens.com/efiles/weighing/case\\_studies/milltronics/Cereals\\_WF600\\_ge.pdf](https://pia.khe.siemens.com/efiles/weighing/case_studies/milltronics/Cereals_WF600_ge.pdf).  
19.03.22008

sprut: Temperaturmessung (mit PIC): Grundlagen der Temperatursensoren. 28.12.2002.  
<http://www.sprut.de/electronic/temperatur/temp.htm#pt100>. 28.07.2006; 16.10.2007.

Thomas, D.J.; Atwell, W.A.: Starches. American Association of Cereal Chemists Inc., St Paul (MN). 1999.

TransGen Lebensmitteldatenbank: Weizen.

<http://transgen.de/datenbank/pflanzen/78.weizen.html>. 20.03.2008; 28.03.2008

Tscheuschner, Horst-Dieter: Lebensmitteltechnik. 1. Auflage, Leipzig: VEB Fachbuchverlag, 1986.

Tscheuschner, Horst-Dieter (Hrsg.): Grundzüge der Lebensmitteltechnik. 2. Aufl. Hamburg: Behr 1996.

van der Molen, Ir. R.M. A.: Natürliche Stärke und Modifikationen: Effektive Prozeßtechnik zur Stärkeverarbeitung. *dei - die ernahrungsindustrie* (1998), Nr. 2, S. 32.

Watson, Stanley A.; Ramstad, Paul E.: Corn: chemistry and technology. St. Paul, Minn., USA: American Association of Cereal Chemists, 1987.

Zusatzstoffe-online: Mono- und Diglyceride von Speisefettsäuren. 01.08.2006.  
[http://zusatzstoffeonline.de/zusatzstoffe/185.e471\\_mono\\_diglyceride\\_von\\_speisefetts%E4uren.html](http://zusatzstoffeonline.de/zusatzstoffe/185.e471_mono_diglyceride_von_speisefetts%E4uren.html). 09.10.2007

## Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abb. 1 :	Anatomischer Bau verschiedener Getreidegattungen (nach Tscheuschner, 1996) .....	2
Abb. 2:	Schematische Darstellung Extruder (MischerEXPO, 2006) .....	11
Abb. 3:	Fließschema Herstellung MGF (nach Brüggem, 2007) .....	17
Abb. 4:	Kochanlage beim Befüllen mit Getreidegrütze .....	18
Abb. 5:	Kochanlage beim Befüllen mit Zuckerlösung .....	18
Abb. 6:	Entleeren des Kochers .....	16
Abb. 7:	Pellets für die MGF Herstellung .....	21
Abb. 8:	Gewalzte Pellets für die MGF Herstellung .....	21
Abb. 10:	Schematische Darstellung eines Trommelkochers (Bichsel, 1999) .....	28
Abb. 11:	MGF mit weißer Backstruktur .....	30
Abb. 12:	In EbiWinlog erstellte Formel für den c-Wert .....	32
Abb. 13:	Fließdiagramm Kochprozess Flakesherstellung .....	35
Abb. 14:	Halterung für den Logger .....	40
Abb. 15:	Messung an der Deckelinnenseite .....	36
Abb. 16:	Typischer Verlauf einer Temperaturkurve während des Kochprozesses .....	37
Abb. 17:	Kochwerte .....	43
Abb. 18:	Grütze mit zu niedrigem C-Wert von 173,77 min .....	44
Abb. 19:	Druckaufzeichnung während Versuch 1.1 .....	46
Abb. 20:	Fertige Grütze Versuch 1.1 .....	47
Abb. 21:	Diagramm c-Wert V1.1 .....	48
Abb. 22:	Fertige MGF aus Versuch 1.1 .....	49
Abb. 23:	Druckaufzeichnung während Versuch 1.2 .....	50
Abb. 24:	Grütze Versuch 1.2 .....	51
Abb. 25:	Diagramm c-Wert V 1.2 .....	51
Abb. 26:	fertige MGF V1.2 .....	52
Abb. 27:	Diagramm c-Wert V 2.1 .....	54
Abb. 28:	Diagramm c-Wert V 2.2 .....	55
Abb. 29:	Diagramm c-Wert V 2.3 .....	56
Abb. 30:	Temperaturaufzeichnung mittels Infrarot – Thermometer _Versuch 2 .....	57



Abb. 31: Temperaturvergleich Datenlogger-Infrarot Versuch 6 .....	58
Abb. 32: Temperaturvergleich Datenlogger-Infrarot Versuch 7 .....	60
Abb. 33: Korrelationskoeffizienten zwischen Datenlogger und Infrarot .....	60
Abb. 34: Korrelationskoeffizienten zwischen Datenlogger und Infrarot nach dem ersten Umbau .....	61
Abb. 35: Korrelationskoeffizienten zwischen Datenlogger und Infrarot nach dem zweiten Umbau .....	62
Tabelle 1: Gehalt an chemischen Hauptbestandteilen verschiedener Getreidegattungen (in % zur Trockenmasse) (nach Tscheuschner, 1996).....	3
Tabelle 2: Getreideflakesfehler .....	12
Tabelle 3: Abweichungen im Produktionsprozess – Getreideflakesherstellung.....	12
Tabelle 4: Kochparameter für die Herstellung von Multigrainflakes .....	15
Tabelle 5: Größe, Form, Amylose- und Amylopektingehalte einiger Stärkesorten (nach Thomas, Atwell, 1999).....	20
Tabelle 6: Verwendetes Getreide .....	25
Tabelle 7: Weitere Zutaten während des Kochprozesses.....	25
Tabelle 8: Weitere Zutaten für Extruderprozess .....	26
Tabelle 9: Einteilung der sensorischen Eigenschaften der gekochten Grütze .....	34
Tabelle 10: Vorgaben Nullmuster Multigrainflakes .....	34
Tabelle 11: Sensorische Ergebnisse und c-Werte .....	40
Tabelle 12: Versuchsparameter.....	45
Tabelle 13: c-Werte zur Bestimmung des optimalen Kochwertes.....	76
Tabelle 14: Beurteilung der Sensorik von Multigrainflakes .....	76

## Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1: Ausschnitt aus dem EbiWinlog – Handbuch zur Erstellung von Formeln
Anlage 2: c-Werte zur Bestimmung des optimalen Kochwertes
Anlage 3: Beurteilung der Sensorik von Multigrainflakes
Anlage 4: Teilraten zur Ermittlung des C-Wertes während einer Minute

## Anhang

Anlage 1      **Ausschnitt aus dem EbiWinlog – Handbuch zur Erstellung von Formeln****10.3.4.3.3 Skript Sprache zur Formelerstellung****Funktionen nur zur Auswertung von Kurven**

Die folgenden Funktionen sind nur bei der Auswertung von Kurven verwendbar.

Sie dürfen nicht bei der Definition eigener Einheiten verwendet werden.

Funktion	Parameter	Beschreibung	Beispiel
CVAL(n)	n - Kanal des Dokuments, wobei gilt: n=0 (Kanal1), n=1 (Kanal2), usw.	Liefert den Messwert des angegebenen Kanals.	CVAL(0)*2 : Liefert den aktuellen Messwert von Kanal 1 und multipliziert diesen Wert mit 2.
CDT(n)	n - Kanal des Dokuments, wobei gilt: n=0 (Kanal1), n=1 (Kanal2), usw.	Liefert den Messstakt in Sekunden, mit dem die Daten aufzeichnet wurden.	CDT(1) : Liefert den Messstakt von Kanal 2.

CMAX(n)	n - Kanal des Dokuments, wobei gilt: n=0 (Kanal1), n=1 (Kanal2), usw.	Ermittelt das Maximum des angegebenen Kanals. Wenn Sie für n = -1 angeben, wird das Maximum des momentan berechneten Kanals ermittelt.	CMAX(2) : Ermittelt den maximalen Messwert von Kanal 3
CMIN(n)	n - Kanal des Dokuments, wobei gilt: n=0 (Kanal1), n=1 (Kanal2), usw.	Ermittelt das Minimum des angegebenen Kanals. Wenn Sie für n = -1 angeben, wird das Minimum des momentan berechneten Kanals ermittelt.	CMIN(2) : Ermittelt den minimalen Messwert von Kanal 3
CMID(n)	n - Kanal des Dokuments, wobei gilt: n=0 (Kanal1), n=1 (Kanal2), usw.	Ermittelt den Mittelwert des angegebenen Kanals. Wenn Sie für n = -1 angeben, wird der Mittelwert des momentan berechneten Kanals ermittelt.	CMID(2) : Ermittelt den Mittelwert von Kanal 3

## Anlage 1 Fortsetzung: Ausschnitt aus dem EbiWinlog- Handbuch zur Erstellung von Formeln

**ebiro**  
**WINLOG 2000**  
10 Arbeiten mit WINLOG 2000 Professionelle Version

<b>CSTD(n)</b>	n - Kanal des Dokuments, wobei gilt: n=0 (Kanal1), n=1 (Kanal2), usw.	Ermittelt die Standardabweichung des angegebenen Kanals. Wenn Sie für n = -1 angeben, wird die Standardabweichung des momentan berechneten Kanals ermittelt.	<b>CSTD(2)</b> : Ermittelt die Standardabweichung von Kanal 3
<b>CVAR(n)</b>	n - Kanal des Dokuments, wobei gilt: n=0 (Kanal1), n=1 (Kanal2), usw.	Ermittelt die Varianz des angegebenen Kanals. Wenn Sie für n = -1 angeben, wird die Varianz des momentan berechneten Kanals ermittelt.	<b>CVAR(2)</b> : Ermittelt die Varianz von Kanal 3
<b>SBC(zahl)</b>	Zahl=Farbe als RGB-Wert	Setzt die Hintergrundfarbe des Statusfensters	
<b>STC(zahl)</b>	Zahl=Farbe als RGB-Wert	Setzt die Textfarbe des Statusfensters	
<b>STS(zahl)</b>	Zahl = Fontgröße	Ändert die Fontgröße des Statusfensters	

1340-2350-1950 12/03

Seite 203

**ebiro**  
**WINLOG 2000**  
10 Arbeiten mit WINLOG 2000 Professionelle Version

<b>STT (nummer, text, wert, dezimalstellen)</b>	<b>Nummer(0-3):</b> Index des einzustellenden Textes <b>Text=</b> der anzuzeigende Text <b>Wert=</b> Wert, der hinter dem Text erscheinen soll <b>Dezimalstellen: &lt;wert&gt;</b> wird auf <dezimalstellen> formatiert	<b>Beispiel:</b> <b>STT(0;"F-Wert", 70,2)</b> ergibt den Text: F-Wert=70	
---	---	---	--

Mit Hilfe der letzten vier Funktionen ist es möglich, aus einer Formel heraus auf ein dynamisches Statusfenster der **WINLOG 2000** zuzugreifen. Damit kann ein berechneter F-Wert im Klartext ausgegeben werden.

Seite 204

1340-2350-1950 12/03



## Anlage 1 Fortsetzung: Ausschnitt aus dem EbiWinlog- Handbuch zur Erstellung von Formeln

<b>EBITZ</b>
<b>WINLOG 2000</b>
10 Arbeiten mit WINLOG 2000 Professionelle Version

**Funktionen zur Auswertung und Erstellung von Einheiten**

Diese Funktionen können sowohl bei der Auswertung von Kurven, als auch bei der Erstellung eigener Einheiten verwendet werden.

Funktion	Parameter	Beschreibung	Beispiel
TRSH(V,T,R)	V - Wert, T - Ver- gleichs- wert, R - Rück- gabewert	Wenn V größer oder gleich T ist, liefert die Funktion den Wert in R zurück, an- sonsten 0.	TRSH(50,30,50) : Ergibt 50, da $50 \geq 30$ TRSH(50,60,50) : Ergibt 0, da $50 < 60$
SIN(X)	X	Liefert den Sinus von X	SIN(CVAL(0)) : Liefert den Sinus der Messwerte von Kanal 1
COS(X)	X	Liefert den Cosinus von X	COS(CVAL(0)) : Liefert den Cosinus der Messwer- tes von Kanal 1
TAN(X)	X	Liefert den Tangens von X	TAN(CVAL(0)) : Liefert den Tangens der Mess- werte von Kanal 1
ASIN(X)	X	Liefert den Arcus Sinus von X	ASIN(CVAL(0)) : Liefert den Arcus Sinus der Messwerte von Kanal 1

1340-2350-1950 12/03

Seite 205

<b>EBITZ</b>
<b>WINLOG 2000</b>
10 Arbeiten mit WINLOG 2000 Professionelle Version

ACOS(X)	X	Liefert den Arcus Cosinus von X	ACOS(CVAL(0)) : Liefert den Arcus Cosinus der Messwertes von Kanal 1
ATAN(X)	X	Liefert den Arcus Tangens von X	ATAN(CVAL(0)) : Liefert den Arcus Tangens der Messwertes von Kanal 1
RAD	Keiner	Schaltet auf Bogenmaß um. Hat nur einen Effekt auf trigonometri- sche Funktio- nen (Sin, Cos, ...)	-
DEG	Keiner	Schaltet auf Neugrad um. Hat nur einen Effekt auf trigonometri- sche Funktio- nen (Sin, Cos, ...)	-
GON	Keiner	Schaltet auf Allgrad um. Hat Effekt auf trigonometri- sche Funktio- nen (Sin, Cos, ...)	-

Seite 206

1340-2350-1950 12/03

Anlage 1 Fortsetzung: Ausschnitt aus dem EbiWinlog- Handbuch zur Erstellung von Formeln

**ebio**  
**WINLOG 2000**  
10 Arbeiten mit WINLOG 2000 Professionelle Version

<b>POW(X;Y)</b>	X - Basis, Y - Potenz	Ermittelt die Potenz Y zur Basis X.	<b>POW(2;2) = 4</b>
<b>SQR(X)</b>	X - Wert	Ermittelt das Quadrat von X	<b>SQR(2) = 4</b>
<b>SQRT(X)</b>	X - Wert	Ermittelt die Quadratwurzel von X	<b>SQRT(4) = 2</b>
<b>EXP(X)</b>	X - Wert	Ermittelt das Exponential von X	<b>EXP(2.302585093) = 10</b>
<b>LOG(X)</b>	X - Wert	Ermittelt den natürlichen Logarithmus von X	<b>LOG(9000)=9.104980</b>
<b>LOG10(X)</b>	X - Wert	Ermittelt den Logarithmus von X zur Basis 10	<b>LOG10(9000)=3.954243</b>
<b>CUBE(X)</b>	X - Wert	Ermittelt die dritte Potenz von X	<b>CUBE(2)=8</b>
<b>ABS(X)</b>	X - Wert	Ermittelt den absoluten Wert von X	<b>ABS(-5)=5</b>

**ebio**  
**WINLOG 2000**  
10 Arbeiten mit WINLOG 2000 Professionelle Version

<b>INT(X)</b>	X - Wert	Ermittelt den ganzzahligen Anteil von X	<b>INT(4.5)=4</b>
<b>FRACT(X)</b>	X - Wert	Ermittelt den Nachkommanteil von X	<b>FRACT(4.5)=0.5</b>
<b>FAK(X)</b>	X - Wert	Ermittelt die Fakultät von X	<b>FAK(5)=120</b>

## Anlage 2 c-Werte zur Bestimmung des optimalen Kochwertes

Tabelle 13: c-Werte zur Bestimmung des optimalen Kochwertes

Vers.-Nr.	c-Werte	Vers.-Nr.	c-Werte
1	276,72	17	359,0
2	304,33	18	317,41
3	249,59	19	293,71
4	228,61	20	276,09
5	239,61	21	237,06
6	280,24	23	236,64
7	263,52	25	342,38
8	248,19	26	315,74
10	265,86	27	352,46
12	281,57	28	327,55
13	269,55	29	342,39
15	348,83		
Mittelwert:	289,44	Stabw.:	41,68

## Anlage 3 Beurteilung der Sensorik von Multigrainflakes

Tabelle 14: Beurteilung der Sensorik von Multigrainflakes

Grütze		Flakes		
Aussehen	Textur	Aussehen	Textur	Geschmack
weiß	weich	einzelne Getreidebestandteile erkennbar	knusprig	arttypisch
Klumpen innen weiß	matschig		fest	mehlig
weißes Zentrum	hart	Bläschen	hart	verbrannt
goldbraun	gummiartig	weiße Stellen	zart	
durchscheinend	elastisch unter Fingerdruck	beige/ hellbraun		
große Klumpen	extrem weich			
locker	breiig/ klebrig			



**Anlage 4 Teilraten zur Ermittlung des C-Wertes während einer Minute**

z-Wert: 33 °C

Referenztemperatur: 100 °C

$$C_0 = C_{100}^{33}$$

Prozesstemp. (°C)	C-Wert pro min
80,0	0,24771
80,5	0,25650
81,0	0,26561
81,5	0,27504
82,0	0,28480
82,5	0,29492
83,0	0,30539
83,5	0,31623
84,0	0,32745
84,5	0,33908
85,0	0,35112
85,5	0,36359
86,0	0,37649
86,5	0,38986
87,0	0,40370
87,5	0,41803
88,0	0,43288
88,5	0,44824
89,0	0,46416
89,5	0,48064
90,0	0,49770
90,5	0,51537
91,0	0,53367
91,5	0,55262
92,0	0,57224
92,5	0,59255
93,0	0,61359
93,5	0,63538
94,0	0,65793
94,5	0,68129
95,0	0,70548
95,5	0,73053
96,0	0,75646
96,5	0,78332
97,0	0,81113
97,5	0,83993
98,0	0,86975
98,5	0,90063
99,0	0,93260
99,5	0,96571
100,0	1,00000
100,5	1,03550
101,0	1,07227
101,5	1,11034
102,0	1,14976
102,5	1,19058
103,0	1,23285
103,5	1,27662
104,0	1,32194
104,5	1,36887
105,0	1,41747
105,5	1,46780

Prozesstemp. (°C)	C-Wert pro min
105,5	1,46780
106,0	1,51991
106,5	1,57387
107,0	1,62975
107,5	1,68761
108,0	1,74753
108,5	1,80957
109,0	1,87382
109,5	1,94034
110,0	2,00923
110,5	2,08057
111,0	2,15443
111,5	2,23092
112,0	2,31013
112,5	2,39215
113,0	2,47708
113,5	2,56502
114,0	2,65609
114,5	2,75039
115,0	2,84804
115,5	2,94915
116,0	3,05386
116,5	3,16228
117,0	3,27455
117,5	3,39081
118,0	3,51119
118,5	3,63585
119,0	3,76494
119,5	3,89860
120,0	4,03702
120,5	4,18034
121,0	4,32876
121,5	4,48245
122,0	4,64159
122,5	4,80638
123,0	4,97702
123,5	5,15372
124,0	5,33670
124,5	5,52617
125,0	5,72237
125,5	5,92553
126,0	6,13591
126,5	6,35375
127,0	6,57933
127,5	6,81292
128,0	7,05480
128,5	7,30527
129,0	7,56463
129,5	7,83320
130,0	8,11131
130,5	8,39929
131,0	8,69749

## **Erklärung über die selbständige Anfertigung der Arbeit**

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

---

Ort, Datum

---

Unterschrift



