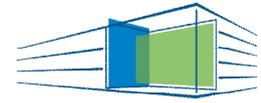




Technische Universität München



Wissenschafts Zentrum
STRAUBING

Masterarbeit

Untersuchung von Systemen zur Teig- kühlung im Bäckereigewerbe

vorgelegt von:

Stefan Heins

(Matrikelnummer: 03674353)

vorgelegt am: 02.05.2018

Prüfer: Prof. Dr. Simone Walker-Hertkorn

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Masterarbeit ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt wurde. Alle verwendeten Passagen wurden kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Stefan Heins

Straubing, 02.05.2018

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen dieser Abschlussarbeit beigetragen haben und mich tatkräftig unterstützt haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt hierbei Frau Prof. Dr. Simone Walker-Hertkorn, die mir die selbstständige Bearbeitung dieses interessanten Themas ermöglichte und immer ein offenes Ohr für mich hatte. Ihre Hilfsbereitschaft und Ihr Engagement haben zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Daneben möchte ich mich auch bei Herrn Bernd Kütscher von der Akademie des deutschen Bäckerhandwerks in Weinheim, sowie Herrn Hubert Langheinz von Langheinz Kältetechnik in Starzach herzlich bedanken. Sie haben mir Ihre wertvolle Unterstützung zu Teil werden lassen, ohne die die Bearbeitung des Themas in diesem Umfang wohl nicht möglich gewesen wäre. Vielen Dank auch an die vielen Bäcker und Bäckermeister, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen, von denen ich viel lernen durfte und die mir wertvolle Tipps und Informationen geliefert haben.

Der größte Dank gebührt allerdings meiner Familie, die mir den Rücken frei gehalten, mich immerwährend unterstützt und mir so mein Studium ermöglicht haben. Dafür kann man nicht dankbar genug sein.

Meinen Kommilitonen möchte ich danken, da sie mir während meines Studiums und darüber hinaus gute Freunde waren und sind, mich unterstützt haben und zum Erfolg meines Studiums einen nicht unerheblichen Anteil beigetragen haben. Auch allen Korrekturlesern möchte ich gerne danken, die Ihre Zeit geopfert haben.

Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Betrachtung von Teigkühlsystemen hinsichtlich qualitativer Eigenschaften, sowie energetischen und umweltrelevanten Gesichtspunkten.

In einer Literaturstudie werden zunächst die einzelnen Systeme einander gegenübergestellt und verglichen. Die daraus generierten Informationen fließen dann in Experteninterviews und Fragebögen ein, die dabei unterstützen sollen verschiedene Fragen zu beantworten. Insbesondere wird dabei darauf eingegangen, welche Chancen und Risiken in der Bäckereibranche für verschiedene Teigkühlsysteme bestehen und wie diese in welchem Maße in den Bäckereien eingesetzt werden.

Im weiteren Verlauf der Arbeiten werden mit Hilfe dieser Informationen allgemeingültige Aussagen hinsichtlich des Energieverbrauchs, der Kohlenstoffdioxidemissionen und möglicher Handlungsalternativen getroffen.

In Bezug auf den Energieverbrauch konnte ermittelt werden, dass Salzsole als kostengünstigste Alternative zu benennen ist, sie emittiert dabei auch die geringsten Emissionen. Da Salzsole jedoch nicht uneingeschränkt einsetzbar ist, wird der Einsatz von Quell-, Binär-, Slurryeis bzw. Eisbrei empfohlen. Die direkte Kühlung über kryogenes Gas wie CO₂ ist zu keinem der in dieser Arbeit beschriebenen Systeme konkurrenzfähig.

Da das System Quelleis relativ unbekannt zu sein scheint, konnte es sich trotz seines großen Potentials, auch hinsichtlich eines branchenübergreifenden Einsatzes, noch nicht am Markt etablieren.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Versicherung	II
Danksagung	III
Zusammenfassung	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellen	VIII
Tabellen	VIII
Formelzeichen und Abkürzungen	IX
Formelzeichen und Abkürzungen	IX
1 Aufgabenstellung und Motivation	10
2 Grundlagen und Schwerpunktsetzung	11
2.1 Teigbereitung und Teigkühlung	11
2.2 Vergleich zwischen Vergangenheit, Gegenwart und zukünftiger Entwicklung von Teigkühlsystemen	18
2.3 Vorstellung der verschiedenen Systeme zur Teigkühlung	25
2.3.1 Scherbeneis/Eisflakes/Brucheis	25
2.3.2 Eiswasser	27
2.3.3 Salzsole	30
2.3.4 Binäreis/Quelleis ®/Slurryeis/Eisbrei	33
2.3.5 Kühlung durch kryogene Gase	36
2.3.6 Gekühlte Knetmaschinen / Doppelmantelkühlung / Knetwerkzeugkühlung	41
3 Methodik und Vorgehensweise	43
3.1 Allgemein.....	43
3.2 Untersuchung, Befragung.....	43
3.3 Ermittlung von Markthemmnissen	45
3.4 Energetische Betrachtung	46
4 Ergebnisse und Diskussion	52
5 Fazit und Ausblick	67
6 Literaturangaben	69
Anhang	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung von Knetssystemen mit unterschiedlichem Knetwerkzeug [4].....	12
Abbildung 2: Einschieß-Dampf-Backofen [10].....	19
Abbildung 3: Dampfbackofen mit Seitenfeuerung (Schnittzeichnung) [11]	19
Abbildung 4: Knetmaschine [10]	20
Abbildung 5: Französische Großbäckerei des 20. Jahrhunderts [12].....	21
Abbildung 6: Umsatzverteilung Bäckereibranche 2014 [13]	22
Abbildung 7: Prinzip Eiserzeugung mittels Scherbeneiserzeuger [14]	25
Abbildung 8: Eiswasseranlage Komplettansicht [17]	27
Abbildung 9: Eiswasseranlage Draufsicht [17]	28
Abbildung 10: Eiswasseranlage Eisschicht an Kühlkreislauf [17].....	29
Abbildung 11: Temperatur-Zusammensetzungsdiagramm für Salz und Wasser [19].....	30
Abbildung 12: Salzsolesystem "daxSol" der Fa. Daxner [20]	31
Abbildung 13: Quelleisanlage Schema [16].....	34
Abbildung 14: Gesamtaufbau mit Positionierung der Schneelanze auf der Knetmaschine [15].....	37
Abbildung 15: CO ₂ -Schneelanze Schema [15].....	38
Abbildung 16: Eintrag des CO ₂ -Schnees mittels Injektor [15].....	38
Abbildung 17: Absaugung gasförmiges CO ₂ über Injektor [15]	39
Abbildung 18: CO ₂ -Injektor auf Knetmaschine [15].....	39
Abbildung 19: Zeichnung CO ₂ -Injektor [15]	40
Abbildung 20: Typen der Befragung [23]	44
Abbildung 21: Position der Umfrageteilnehmer innerhalb des Unternehmens (eigene Darstellung)	52
Abbildung 22: Jahresumsätze der betrachteten Betriebe (eigene Darstellung).....	53
Abbildung 23: Anzahl der Mitarbeiter in den betrachteten Betrieben (eigene Darstellung)	53
Abbildung 24: Anzahl der Verkaufsstellen und Produktionsstandorte (eigene Darstellung)	54
Abbildung 25: Anteile der produzierten Backwaren (eigene Darstellung)	55
Abbildung 26: Bezug und Lagerung des Mehls (eigene Darstellung).....	55
Abbildung 27: Einsatz der Knetmaschinensysteme (eigene Darstellung).....	56

Abbildung 28: Angestrebte Teigtemperaturen bei verschiedenen Backwaren (eigene Darstellung)	56
Abbildung 29: Bekanntheit der Teigkühlsysteme (eigene Darstellung)	57
Abbildung 30: Anwendung der Teigkühlsysteme in den Bäckereien (eigene Darstellung)	58
Abbildung 31: Betrachtung bei Anschaffung eines neuen Teigkühlsystems (eigene Darstellung)	59
Abbildung 32: Kosten der Teigkühlsysteme bei 23°C Teigtemperatur (eigene Darstellung)	62
Abbildung 33: Kohlenstoffdioxidemissionen verschiedener Teigkühlsysteme bei einer Teigtemperatur von 23°C (eigene Darstellung)	62
Abbildung 34: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix [27]	63
Abbildung 35: Kosten für die Teigkühlung des jeweiligen Systems pro Jahr (eigene Darstellung)	64
Abbildung 36: Kohlenstoffdioxidemissionen pro Jahr nach den einzelnen Teigkühlsystemen (eigene Darstellung)	65

Tabellen

Tabelle 1: Beispiele für Knetbedingungen bei der Herstellung von Weißbrotteigen	12
Tabelle 2: Bedeutung der Teigtemperatur bei verschiedenen Teigen.....	14
Tabelle 3: Eigenschaften von Scherbeneis (eigene Darstellung)	26
Tabelle 4: Eigenschaften von Eiswasser (eigene Darstellung).....	30
Tabelle 5: Eigenschaften von Salzsole (eigene Darstellung).....	33
Tabelle 6: Eigenschaften von Quelleis/Eisbrei/Binäreis (eigene Darstellung).....	35
Tabelle 7: Eigenschaften kryogener Gase (eigene Darstellung)	40
Tabelle 8: Eigenschaften doppelmantelgekühlter Knetmaschinen (eigene Darstellung)	42
Tabelle 9: Übersicht der physikalischen Kenndaten	47

Formelzeichen und Abkürzungen

Symbol	Größe/Erläuterung	Einheit
Abkürzungen		
<i>TA</i>	Teigausbeute (Verhältnis von Mehl zu Wasser im Teig)	(-)
<i>TT</i>	Teigtemperatur	(°C)
<i>T</i>	Temperatur	(°C)
ΔT	Temperaturdifferenz	(K)
<i>K</i>	Kelvin	
<i>min</i>	Minuten	
<i>1/min</i>	Umdrehungen pro Minute	
<i>c</i>	spezifische Wärmekapazität	(kJ/kgK)
<i>g</i>	Gramm	
<i>kg</i>	Kilogramm	
°R	Réaumur	
<i>m</i>	Masse	(kg)
<i>p. a.</i>	per annum	
<i>a</i>	Jahr	
<i>pH</i>	Maß für sauren oder basischen Charakter einer wässrigen Lösung	(-)
<i>NaOH</i>	Natriumhydroxid	
<i>CO₂</i>	Kohlenstoffdioxid	
<i>N₂</i>	elementarer Stickstoff	
<i>NaCl</i>	Natriumchlorid (Kochsalz)	
<i>mm</i>	Millimeter	
Δh_E	Schmelzenthalpie Eis	(kJ/kg)
<i>Q</i>	Wärme	(kJ)
<i>t/a</i>	Tonnen pro Jahr	
<i>kWh/a</i>	Kilowattstunden pro Jahr	
<i>kW</i>	Kilowatt	
<i>Mio.</i>	Millionen	

1 Aufgabenstellung und Motivation

Die Situation, in der sich die Bäckereibranche derzeit befindet, ist als schwierig anzusehen. Neben steigenden Preisen für Energiedienstleistungen, sinkender Zahl an Betrieben und Beschäftigten und der damit verbundenen Nachwuchsproblematik geht auch noch ein enormer Wettbewerbsdruck durch den globalen Markt einher. Diesen Widrigkeiten zu trotzen verlangt ein Höchstmaß an Geschick und Weitsicht. Mit dieser Arbeit soll ein Teil zur Verbesserung beigetragen werden. Insbesondere soll diese Arbeit dabei als mögliche Handreichung und Entscheidungshilfe für Bäckereien dienen, die sich über Systeme zur Teigkühlung informieren möchten. Ziel und Aufgabe wird sein zu untersuchen, wie die Situation in den Bäckereibetrieben gestaltet ist und wie sich ggf. durch den gezielten Einsatz von bestimmten Systemen zur Teigkühlung ein Wettbewerbsvorteil durch Einsparung von Energie generieren lässt. Damit einher geht zugleich die Betrachtung der Umweltauswirkungen. So soll aufgezeigt werden, welchen Einfluss ein bestimmtes System zur Teigkühlung auf den Kohlenstoffdioxidausstoß nimmt. Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist es daher, die aktuelle Situation in Bäckereien zu ermitteln, um daraus mögliche Handlungsalternativen ableiten zu können. Dafür werden zunächst die am Markt vorhandenen Teigkühlsysteme betrachtet und untersucht. Es wird dabei auf die Technik der Systeme eingegangen, sowie deren Vor- und Nachteile ermittelt und die zu erwartenden Energiekosten aufgezeigt, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Systemen zu gewährleisten. Da es sich um verschiedenartige Systeme handelt, die in der Praxis zur Anwendung kommen, ist zu untersuchen wie sich die einzelnen Systeme bewähren und wie diese eingesetzt werden. Dafür sollen mittels einer Umfrage in der backenden Branche Informationen generiert werden, aus denen entsprechende Kenntnisse abgeleitet werden können. Schlussendlich soll die Frage beantwortet werden, welche Potentiale die einzelnen Systeme in Zukunft haben werden, welche Chancen und welche Herausforderungen sich innerhalb der Bäckereibranche ergeben. Nicht untersucht wird eine umfassende, quantitative Energiesituation von Bäckereibetrieben.

2 Grundlagen und Schwerpunktsetzung

2.1 Teigbereitung und Teigkühlung

Zur Herstellung von Backwaren sind verschiedene Mahlerzeugnisse wie z. B. Mehl, Gries, Dunst und Schrot etc. aus Getreiden, das sind landwirtschaftliche Nutzpflanzen aus der Familie der Gräser (*Poaceae*), notwendig. Im Allgemeinen sind jedoch nicht alle Getreidearten gleich gut dafür geeignet. Es wird hier auch von den sogenannten Brotgetreiden gesprochen, also all jenen Getreidesorten, die sich zur Herstellung von Brot eignen. Dazu zählen Weizen¹ und Roggen, alle weiteren Getreide wie Gerste, Hafer, Reis, Hirse und Mais zählen zu den sogenannten Nicht-Brotgetreiden. Mit diesen kann allein kein Brot gebacken werden, da sich Ihre Mahlprodukte durch zu geringe oder nicht vorhandene Anteile an Gluten nicht zur Herstellung eines lockerungsfähigen Teiges eignen. Mit einer Kombination aus Nicht-Brotgetreide und Brotgetreide kann allerdings die Herstellung eines Brotes aus lockerungsfähigem Teig gelingen. Diese Arbeit beschränkt sich im weiteren Verlauf auf die Brotgetreide. [1]

Die Teigbereitung beruht im Wesentlichen auf dem Vermischen von Mehl und einer Schüttflüssigkeit wie Wasser, Milch etc., hinzu kommen noch weitere Bestandteile je nach verwendeter Rezeptur wie z. B. Kochsalz, Triebmittel, Fett, Zucker etc. Durch Energieeinleitung mittels Kneten entsteht dann der Teig. Der Knetprozess wird dabei in zwei Abschnitte eingeteilt, die sogenannte Quellknetung, die einer langsamen Knetung zum Vermischen der Rezepturbestandteile und damit einem vollkommenen Benetzen der Mehlbestandteile entspricht und dem eigentlichen Auskneten. Dieses wird in der Regel intensiver mit höherer Knetgeschwindigkeit ausgeführt, um das Teiggerüst auszubilden. Auch hier gibt es signifikante Unterschiede zwischen den Brotgetreiden Weizen und Roggen: Während beim Weizen die Wasserbindung während der Teigbereitung im Wesentlichen durch die Bildung des sogenannten „Klebers“ (=Gluten) aus den Weizenproteinen Gliadin und Gluthenin zurückzuführen ist, übernehmen beim Roggen polymere Kohlehydrate, die sogenannten Pentosane, diese Aufgabe. Zwar sind in Weizen und Roggen immer beide Fraktionen vertreten, sowohl die Pentosane, wie auch die Proteine Gliadin und Gluthenin, allerdings in unterschiedlichen Zusammensetzungen [2]. Dieser Unterschied in der Zusammensetzung bedingt eine unterschiedliche Behandlung der jeweiligen Teige während des Knetprozesses. Während bei Weizenteigen eine intensive Knetung erforderlich ist um Disulfidbrücken aufzubrechen und wieder oxidativ neu zu verknüpfen [3] bis das Klebnetzwerk ausgebildet ist, benötigen Roggenlastigere Teige, ab einem Roggenanteil von ca. 50% an der Gesamtmehlmenge, nur eine schonende Vermischung des Mahlerzeugnisses mit der Schüttflüssigkeit i. d. R. Wasser. Die Pentosane quellen bei Benetzung mit Wasser stark auf und binden so die Flüssigkeit. Es ist festzuhalten, dass die Übergänge zwischen dem Roggenanteil in der Gesamtmehlmenge und

¹ Eine weitere Unterscheidung von Dinkel, Emmer, Einkorn, Kamut etc. wird nicht vorgenommen, da diese eng mit dem Weizen verwandt sind, ferner wird überwiegend der Weichweizen, *Triticum*, zur Herstellung von Backwaren herangezogen

der Knetintensität sowie der Teigtemperatur fließend sind. Im Allgemeinen lässt sich jedoch sagen, dass mit höherem Roggenanteil schonender geknetet, die Quellknetung also länger dauert und die Teigtemperatur erhöht wird. Da bei Roggenteigen eine eher schonende Vermischung des Mehls mit dem Wasser gewünscht wird, sind hier in der Regel andere Knetsysteme anzuwenden, als bei Weizenteigen, die eine intensive mechanische Bearbeitung erfordern. Für eine schonende Knetung, insbesondere bei Roggenteigen, werden Hubknetsysteme angewendet. Je nach Hub/min werden diese in Schnell- und Langsamknetter unterschieden, wobei Dreh- und Stoßhebelknetter Langsamknetter sind. Bei Weizenteigen sind Spiralknetsysteme bzw. Intensivknetter oder andere Hochleistungsknetsysteme z. B. Doppelkonusknetter/Wendelknetter, Mixer oder Rundaufschlagknetter die Mittel der Wahl. **Abbildung 1** zeigt schematisch die verschiedenen Knetsysteme.

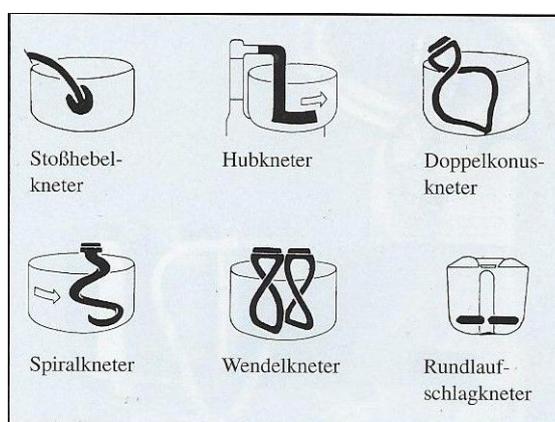


Abbildung 1: Schematische Darstellung von Knetsystemen mit unterschiedlichem Knetwerkzeug [4]

In diesem Zusammenhang ist weiterhin festzustellen, dass die Energieeinleitung über die Knetwerkzeuge unterschiedlich ist, da Weizenteige dem Knetwerkzeug einen höheren Widerstand entgegensetzen, als dies bei Roggenteigen der Fall ist. Um qualitativ hochwertige Backwaren zu erhalten, muss dies daher berücksichtigt werden. Durch die höhere Energieeinleitung bei Weizenteigen und dem vom Weizenteig entgegensetzten Knetwiderstand am Knetwerkzeug kommt es in den Teigen zu erhöhter Reibung und folglich zu einer Erwärmung, insbesondere wenn Knetmaschinen zum Einsatz kommen, die eine hohe Umdrehungszahl aufweisen (siehe **Tabelle 1**):

Tabelle 1: Beispiele für Knetbedingungen bei der Herstellung von Weißbrotteigen

Knetter	Umdrehungszahl (1/min)	Knetzeit (min)	Teigerwärmung ΔT (K) während der Knetzeit
Schnellknetter (Hubknetter)	60-75	20	2
Intensivknetter (Spiralknetter)	120-180	10	5

Hochleistungsknetter (Doppelkonusknetter, Wendelknetter)	450	3-5	Keine Angabe
Mixer	1.440	1	9
Mixer	2.900	0,75	14

[2]

Da Bäcker während des täglichen Betriebes Teige wünschen, die definierte Eigenschaften aufweisen und optimal zu verarbeiten sind, also nicht zu schnell gären, an- bzw. austrocknen, alt werden und zudem Aromastoffe entwickeln, ist eine bestimmte Teigtemperatur einzuhalten. Für reine Weizenteige und Weizenmischteige ist eine Teigtemperatur von 24-26°C, für Roggenmischteige eine Teigtemperatur von 27-28°C und für Roggenteige eine Teigtemperatur von 28-30°C [5] anzustreben. Bei bestimmten Kleingebäcksorten, feinen Backwaren oder Backwaren, die mit Gärunterbrechung oder Gärverzögerung bereitet oder anschließend tiefgefroren werden, kann die Teigtemperatur auch gesenkt werden. Gärunterbrechung und Gärverzögerung bezeichnen dabei spezielle Arten der Bevorratung vorgegarter Teiglinge, wobei sich beide Verfahren dabei lediglich in der Temperatur und der Lagerfähigkeit der Teiglinge unterscheiden. Bei der sogenannten Gärverzögerung wird die Gare verlangsamt, bzw. verzögert, indem die Teiglingstemperatur auf -5°C bis +5°C gesenkt wird. Bei dieser Temperatur werden die Gärtätigkeit der Hefe und die Arbeit der Enzyme auf ein Minimum abgesenkt, sodass die Teiglinge bis zu einem Tag lagerfähig bleiben. Backende Betriebe können dadurch den ganzen Tag hindurch frische Backwaren anbieten. Die Gärunterbrechung arbeitet mit Temperaturen von -10°C bis -18°C. Ab -18°C beginnt das sogenannte Tiefgefrieren, die Gäraktivität der Hefe und die Enzymaktivität werden hier vollständig eingestellt. Die Lagerdauer verlängert sich dadurch auf einen bis drei Tage. Dieses Verfahren erlaubt eine rationellere Herstellungsweise, da Produkte für mehrere Tage im Voraus hergestellt werden können. Beide Verfahren haben sich in der Branche durchgesetzt und sorgen für eine flexiblere Produktion. Sie eignen sich nur für Hefegebäcke und insbesondere dafür wenn mehrere Filialen beliefert werden, in denen die Backwaren frisch vor den Kunden aufgebacken werden.

Bei Brezelteigen, einem Weizenteig, ist eine Teigtemperatur von 20-22°C optimal für eine bessere Verarbeitung und spätere Belaugung, da diese „jung“ gehalten werden müssen. Als junge oder alte Teige werden in der Fachsprache der Bäcker die verschiedenen Garstufen und Entspannungsstufen eines Teiges bezeichnet. In diesem Zusammenhang weisen junge Teige zähe, straffe Teigeigenschaften auf, mit einer kurzen Teigruhe, bei denen eine nicht vollständige Entspannung des Klebergerüsts nach dem Knetvorgang eingetreten ist. Junge Teige können daher leicht reißen. Eine leicht feuchte Teiglingsoberfläche ist charakteristisch und zeigt eine noch nicht vollständige Verquellung durch die kurze Teigruhezeit an. Reife Teige haben eine längere Teigruhe hinter sich, das Klebergerüst ist entspannt, die Teige lassen sich leichter verarbeiten, die Quellvorgänge sind abgeschlossen und sie können abgebacken werden. Alte Teige hin-

gegen sind überreif, sie fallen bereits in sich zusammen, haben meist eine angetrocknete Oberfläche und können i. d. R. nicht mehr zu qualitativ hochwertigen Backwaren verarbeitet werden. Alte Teige werden gerne als Vorteige, bzw. als Aromaträger zu neuen Teigen hinzugegeben. Niedrige Teigtemperaturen verzögern die Gare des Teiglings und die Verquellung des Mehls. Die Teigtemperaturen und die damit einhergehende Bedeutung für die Qualität der Backwaren sind in **Tabelle 2** zusammengefasst:

Tabelle 2: Bedeutung der Teigtemperatur bei verschiedenen Teigen

Art	Charakteristik	Angestrebte Teigtemperatur	Besonderheiten
Brezelteig	Geringe Teigausbeute	20-max. 23°C	Niedrige Teigtemperatur bei geringer TA (=erhöhter Energieeintrag)
Tiefkühl-Teiglinge	Teiglinge mit geringer Gare	24°C	Teige mit guter Gefrier-Tau-Resistenz für eine gute Lagerstabilität
Vorgegärt-gefrostete Teiglinge	Teiglinge mit genau definierter Gare	26 °C	Einhaltung gesicherter Gebäckqualität durch gleichbleibende Gärbedingungen
Blätterteig und Plunder	Exakt geschichtete Gebäckstruktur (abwechselnde Teig- und Fettschichten)	20-26°C (von Fettmenge und –art abhängig)	Hohe Teigtemperaturen bedingen die Verschmierung der Fettschichten; ungenügende Blätterung
Mürbeteig	Fettreicher Teig	20-26°C (von Fettmenge und –art abhängig)	Schmelzendes Fett bei zu hoher Temperatur führt zu „brandigem“ Teig = Einbußen bei der Gebäckqualität

In Anlehnung an [6]

Einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Kneterwärmung hat die Teigausbeute (TA = Verhältnis von Mehl zu Wasser im Teig). Je niedriger diese ist, desto weniger Wasser befindet sich im Teig und desto fester ist dieser. Feste Teige (= niedriger TA) bieten dem Knetwerkzeug einen größeren Widerstand als weichere Teige (= höhere TA) und somit wird ein höherer Temperatureintrag durch die Reibwärme des Teiges am

Knetwerkzeug generiert. Diese Besonderheit tritt beispielsweise bei Brezelteigen häufig auf. Der Teig für Brezeln ist in der Regel fest (TA 145-150), muss aber für die spätere Verarbeitung im Vergleich zu anderen Backwaren kühl sein (s. **Tabelle 2**) um ihn jung verarbeiten zu können. Das bedeutet: wenig Gäraktivität, feuchte Oberfläche, kurze Teigeigenschaft. Dies ist unbedingt notwendig, um bei der weiteren Verarbeitung der Teiglinge die spätere Charakteristik der Brezeln herauszubilden, insbesondere das beim Backprozess typische Aufplatzen des Bauches bei schwäbischen und badischen Brezeln oder das unregelmäßige Aufplatzen der bayerischen Brezen. In diesem Zusammenhang gilt es auch zu bedenken, dass die Brezeln vor der Belaugung zur Bildung einer Haut und damit Vermeidung des Eindringens von Natronlauge (NaOH) in den Teigling in kühler Umgebung absteifen müssen. Im Regelfall müssen bei großindustrieller Herstellung die Brezeln nach dem Laugen tiefgekühlt werden. Eine möglichst niedrige Teigtemperatur hat auch hier Vorteile, da dadurch der Energieverbrauch für das spätere Tiefgefrieren oder Frosten niedrig gehalten werden kann.

Um die optimale Teigtemperatur zu ermitteln, bedienen sich Bäcker der Formel zur Berechnung der Teigtemperatur, um daraus die Temperatur der Schüttflüssigkeit, die sie in diesem Falle am einfachsten beeinflussen können, zu ermitteln. Berücksichtigt werden dabei die Temperatur des Mehls, der Vorstufen insofern diese vorhanden sind und ggf. die Raumtemperatur. Vorstufen sind dabei z. B. Sauerteige, Vorteige, Quell-, Brüh- und Kochstücke. Je nach Art der Vorstufe werden diese mit oder ohne Mikroorganismen bereitet und ggf. kühl, über einen längeren Zeitraum geführt. Allgemein kann die Temperatur des Schüttwassers, um die optimale Teigtemperatur zu erreichen, über folgende vereinfachte **Formel (2.1)** berechnet werden:

$$T_{\text{Schüttflüssigkeit}}(^{\circ}\text{C}) = ((T_{\text{Teiggewünscht}} - \Delta T_{\text{Kneten}}) * (k + 1)) - \sum_{i=1}^k T_i \quad (2.1)$$

Von der gewünschten Teigtemperatur ($T_{\text{Teiggewünscht}}$) ist also die Knetenerwärmung, die **Tabelle 1** entnommen werden kann, zu subtrahieren. Der erhaltene Wert ist dann mit 1 + der Anzahl der Komponenten im Teig (Mehl, Vorstufen, Sauerteig) zu multiplizieren und davon die jeweilige Temperatur der Einzelkomponenten abzuziehen.

Dazu ein Beispiel:

Herstellung eines Weißbrotteiges bzw. Weizenbrotteig im Spiralkneter (Intensivkneter) unter Zunahme eines Vorteiges. Folgende Parameter sind angenommen: Mehltemperatur 21°C und Vorteigtemperatur aus der Kühlkammer 7°C . Somit ergibt sich nach **Formel (2.1)** für die gewünschte Teigtemperatur von 24°C eine Temperatur der Schüttflüssigkeit von:

$$T_{\text{Schüttflüssigkeit}}(^{\circ}\text{C}) = ((24^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}) * 3) - 21^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C} = \underline{\underline{29^{\circ}\text{C}}}$$

Diese Formel ist vereinfacht, da sie keine Berücksichtigung der Gewichtsanteile der einzelnen Rezepturkomponenten beinhaltet, sie wird aber üblicherweise in dieser Form in der Bäckerei als Näherung verwendet und liefert i. d. R. ein gutes Ergebnis. Eine Berücksichtigung der einzelnen Gewichtsanteile würde das Ergebnis zwar verbessern, hat sich in der Praxis allerdings nicht durchsetzen können. Hintergrund ist auch, dass die spezifischen Wärmekapazitäten von Mehl (ca. $c_p = 1,465 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$) und Wasser (ca. $c_p = 4,187 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$) in einem Teig (ca. $c_p = 2,4 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$) je nach Rezepturzusammensetzung im Mittel halbieren.

Die Temperatur der Schüttflüssigkeit kann mit 29°C direkt aus dem Wasserhahn entnommen werden, bzw. über sogenannte Misch- und Dosiereinheiten eingestellt werden. Schwieriger wird es nun, wenn beispielsweise bei sommerlichen Temperaturen ein Teig hergestellt werden soll, der kühl (20°C) zu führen ist. Wird zudem das Mehl in einem Silo gelagert und ist nicht gegen die umgebende Witterung isoliert, sodass die Mehltemperatur durchaus bei 25°C bis 30°C liegen kann, ergibt sich nach **Formel (2.1)** folgende Rechnung:

$$T_{\text{Schüttflüssigkeit}} (^\circ\text{C}) = ((20^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}) \cdot 2) - 25^\circ\text{C} = \underline{\underline{5^\circ\text{C}}}$$

Eine Entnahme von Leitungswasser mit 5°C ist nahezu unmöglich. Je nachdem, ob die Leitungen freiliegen oder nicht, kann die übliche Wassertemperatur der Leitungen im Sommer bei $14\text{-}18^\circ\text{C}$ liegen [7]. Damit ergibt sich eine Herausforderung bei der Temperierung des Schüttwassers. Nun könnte versucht werden die Komponenten separat vorzukühlen, also z. B. das Mehl aus dem Silo in Säcke einzuwiegen und diese in Kühlräume zu verbringen. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass das Mehl nicht zu kalt wird, da sonst die optimale Quelltemperatur von $15\text{-}20^\circ\text{C}$ nicht mehr eingehalten werden kann.

Die Bedeutung der Quelltemperatur, also die Temperatur des Mehl-Wasser-Zutatengemisches nach der Mischphase (= 1. Knetphase, langsame Vermischung), wird in der Literatur in diesem Zusammenhang nur sehr spärlich behandelt. Prof. Dr. Brümmer von der Getreideforschungsanstalt Detmold äußerte sich dazu insoweit, dass Quellansätze ohne Starter, also ohne Hinzugabe von Mikroorganismen, kaum untersucht sind, siehe dazu **Anhang C**. Allerdings wurden bereits Versuche unternommen, die die Quelltemperatur genauer betrachten und die optimale Verquellung in einen Bereich von 15 bis 20°C festlegen, s. **Anhang D**. In der Literatur findet sich zudem der Hinweis, dass sich das Klebergerüst unterhalb von 15 bis 20°C nur mäßig bildet. [8]

Eine weitere Möglichkeit ist die Zugabe von gekühlten Vorteigen, die allerdings nicht in jeder Rezeptur berücksichtigt werden können. So kann einem Blätterteig kein Vorteig zugegeben werden, da dieser seinen Trieb und damit die Blätterung allein durch die Wasserverdunstung aus dem eintourierten Fett, z. B. Butter, während des Backprozesses

ses erhält. Vorteige enthalten Mikroorganismen die einen Trieb verursachen. Für einen Blätterteig ist dies nicht zulässig.

Diese beiden Möglichkeiten stellen Bäcker allerdings wieder vor Herausforderungen: Zum einen stellt die Möglichkeit das Silomehl in Säcke zu wiegen und in die Kühlung zu verbringen einen hohen Aufwand dar, wenn davon ausgegangen werden kann, dass das Silo 2-3 Tonnen Mehl enthält, dies unter der Annahme eines handwerklichen Backbetriebes. Von Großbäckereien die mehrere hundert Tonnen Mehl silovorrätig haben, ist diese Möglichkeit nicht zu realisieren. In diesem Zusammenhang ist, sowohl für den Handwerksbetrieb wie für den großindustriellen Betrieb, der Platzbedarf in der Kühlung für mehrere Säcke á 25-50 kg zu bedenken. Zum anderen stellt sich die Frage nach den gekühlten Vorteigen. Abgesehen davon, dass diese nicht für alle Rezepturen in Frage kommen, z. B. Blätterteig, der ohne Triebmittel hergestellt wird oder auch Keksteig, ist auch hier die Platzproblematik ausschlaggebend. Für die Tagesproduktion müssen die Vorteige stets vorrätig gehalten werden. Es ist zudem zu bedenken, dass es bei Vorteigen durch die Gärung zu einer mindestens 3-fachen Volumenvergrößerung kommt, somit sind wiederum Behältnisse zu wählen, die ausreichend Platz für die aufgehenden Teige bieten. Beide Möglichkeiten stellen keine befriedigenden Lösungen dar. Es gäbe es zwar die Möglichkeit das Leitungswasser in Behältnissen in die Kühlkammer zu geben, immer davon ausgehend, diese ist auch vorhanden, allerdings ist auch hier wieder die Platzproblematik ausschlaggebend. Somit bleibt letztendlich nur, die Schüttflüssigkeit anderweitig herabzukühlen. Letztendlich hat also der rationell arbeitende Bäckerei- und Großbetrieb nur die Möglichkeit die Schüttflüssigkeit zu temperieren.

Für Teige mit erhöhtem Roggenanteil spielen niedrige Teigtemperaturen eine sehr geringe Rolle, da die für die Wasserbindung verantwortlichen Pentosane eine optimale Quelltemperatur bei 27-28°C aufweisen und somit eine höhere Teigtemperatur erwünscht ist. Daneben wird in Backwaren mit einem Roggenanteil von > 20% ein Sauerteig eingesetzt. Der Sauerteig hat dabei mehrere Funktionen. Zum einen wird durch eine Absenkung des pH-Wertes (< 5) die Enzymaktivität der hydrolytischen Enzyme, z. B. Amylase gehemmt [9] [3] und somit der Abbau der polymeren Kohlehydrate. Das Mehl wird dadurch backfähig und läuft durch die jetzt abgesenkte Enzymaktivität gegenüber ungesäuerten Roggenteigen weniger in die Breite. Andere Funktionen des Sauerteiges sind neben der Bildung des typisch säuerlichen Geschmacks in Roggenbrot auch die Verbesserung der Bekömmlichkeit für den menschlichen Verdauungsapparat durch den Abbau der Phytinsäure, die Verbesserung der Frischhaltung u. v. m. Sauerteige benötigen für die Ausbildung der gewünschten Mikroflora, die aus Hefen, homo- und heterofermentative Lactobacillen besteht ein bestimmtes Temperaturfeld. Durch mehrstufige Führung von 18-30°C kann damit die benötigte Säuerung und Triebfähigkeit reguliert werden. Je nachdem, welche Eigenschaften der spätere Sauerteig aufweisen soll, also besonders triebfähig, besonders sauer oder eher mildsäuerlich, ist der Sauerteig mit einer entsprechenden TA und TT zu führen. Niedrige Temperaturen (18-20°C) und eine festere Teigführung (niedrige TA ca. 155-165) sorgen für eine überwiegende Ausbildung von Acetat durch die Bakterien, das dem Brot später einen stark säuerlichen Geschmack verleiht. Wird hingegen ein eher ausgewogener und mild-säuerlicher Geschmack ange-

strebt so wird der Sauerteig eher warm (28-30°C) und weich (höhere TA ca. 180-190) geführt, um die Bildung von Lactat zu begünstigen. Die optimale Hefevermehrung wird bei einer sehr hohen TA (200-220) und mittleren Temperaturen (25-26°C) gefördert, der Sauerteig wird dann besonders triebfähig. Klassisch werden alle drei Parameter durch eine sogenannte „Drei-Stufen-Führung“ optimal vereint. Für ein wohlschmeckendes Brot, das durch Sauerteighefen gelockert wird, sind demnach kühle Temperaturen hinderlich. Eine Kühlung der Schüttflüssigkeit ist daher nicht notwendig, sondern eher gegenteilig die Erwärmung vorzuziehen. Für Weizenteige werden in der Regel direkte Hefeführungen ohne Sauerteig herangezogen. Der Sauerteig bei Weizenteigen dient lediglich der Geschmacksbildung und beugt dem Verderb der fertigen Backware vor. Andere Eigenschaften, wie die Verbesserung der Bekömmlichkeit oder eine Enzymhemmung werden bei Weizenteigen i. d. R. nicht oder nur selten durch einen Sauerteig gefördert. Die Hefeführung bei Weizenteigen benötigt daher andere Teigtemperaturen, als dies bei Roggenteigen der Fall ist.

Zusammenfassend ist die optimale Teigtemperatur von mehreren Faktoren abhängig und entscheidend für die Qualität und spätere Weiterverarbeitung der Backwaren. Wie dabei die optimale Teigtemperatur zu erreichen ist, hängt wiederum von mehreren Möglichkeiten ab. Die dabei notwendigen Bedingungen haben komplexe Zusammenhänge. Beeinflussend darauf ist zunächst das Produktangebot. Welche Backwaren werden vornehmlich produziert? Liegt das Hauptaugenmerk auf Brot, welches überwiegend Roggen enthält, oder werden eher Weizenkleingebäck und feine Backwaren hergestellt? Daneben ist auch die Spezialisierung auf bestimmte Backwaren bzw. deren Weiterverarbeitung zu berücksichtigen. So streben Unternehmen niedrige Teigtemperaturen an, wenn die Backwaren nach der Produktion tiefgekühlt verkauft werden, oder bspw. hauptsächlich Mürbeteiggebäcke, wie z. B. bei der Hartkeksfabrikation, hergestellt werden. Der Automatisierungsgrad und die Betriebsgröße entscheiden eher darüber, wie die Kühlung, bzw. die Erreichung kühlerer Teigtemperaturen gewährleistet wird. Darauf aufbauend beeinflusst die eigentliche Rezeptur und die verarbeitenden Mengen in den entsprechenden Knetmaschinen die gewünschte Teigtemperatur. Nicht zu vernachlässigen sind auch die Witterungsverhältnisse, die einen erheblichen Einfluss auf die Prozesse im Teig und die Verarbeitung haben können und demnach die Teigtemperatur mit beeinflussen.

2.2 Vergleich zwischen Vergangenheit, Gegenwart und zukünftiger Entwicklung von Teigkühlsystemen

Im Bäckerbuch von Franz Pusch, welches 1901 erschien [10], sind bei den Rezeptangaben keine Teigtemperaturen verzeichnet. Bisweilen finden sich jedoch Hinweise darauf, dass das Mehl angewärmt werden solle oder es ist die Wassertemperatur in der Einheit °Réaumur oder °Celsius [10] angegeben. Auch der Hinweis, dass die Summe aus Mehltemperatur, Wassertemperatur und Bäckereitemperatur nach Möglichkeit immer 65°R (entspricht 81,25°C) betragen solle [10] und zum Ausgleich der Temperatur immer die Wassertemperatur heranzuziehen ist findet sich. Die Backstubentemperatur solle

dabei zwischen 20°-30°R (entspricht 25-37,5°C) liegen. Eine aktive Kühlung des Teiges wird jedoch nicht erwähnt. Die Lagerung des Mehls wird vom Autor in unterschiedlicher Weise beschrieben. So wird Sackware in kühlen Kellerräumen oder aber in Mehlböden vorgehalten. Schüttware in Mehlböden wird dabei über Mehlaustragsgebläse der Bäckerei zur Verfügung gestellt. Das Hauptaugenmerk in jener Zeit wird eher auf neue Backofentechnik gelegt, so wird vermehrt auf die Vorzüge des Dampfbackofens bzw. Seitenfeuerungs-ofens oder Wasserheizungs-ofens, hingewiesen, der in jener Zeit seinen Siegeszug antrat.

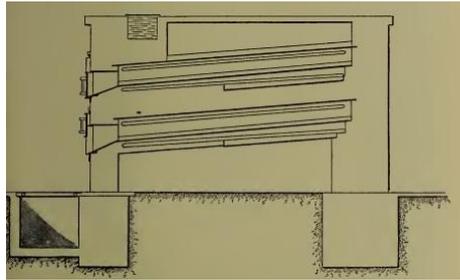


Abbildung 2: Einschieß-Dampf-Backofen [10]

Abbildung 2 zeigt dabei einen seitlichen Schnitt durch einen „Einschießdampfbackofen mit 2 Herden“. Das bedeutet, dass mit insgesamt nur einer Feuerung in zwei getrennten Backkammern gleichzeitig gebacken werden konnte und das Einbringen der Teiglinge, in der Fachsprache der Bäcker „Einschießen“ genannt, mittels eines Einschießapparates von statten ging. Es handelt sich dabei um ein mit Tuch bespanntes Gestell, auf das die fertig gegarten Teiglinge verbracht und dann damit in den Ofen geschoben wurden. Durch das Herausziehen des Einschießapparates aus dem Ofen rollte sich das Tuch ab und die Teiglinge fielen dann auf die Herdplatte um dort gebacken zu werden. So konnten gleichzeitig mehrere Brote oder andere Backwaren in einen Herd verbracht werden und das zeitraubende Einschießen mit einem aus Holz gefertigten „Einschießer“, der wie eine große Schaufel anmutet, entfiel dadurch.

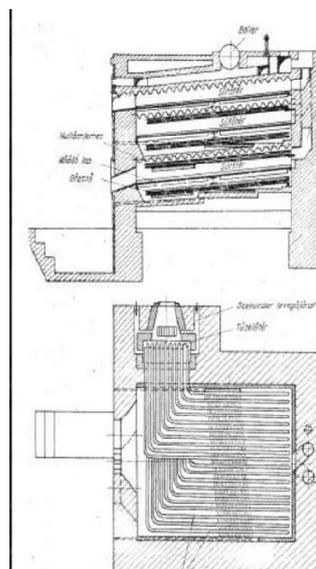


Abbildung 3: Dampfbackofen mit Seitenfeuerung (Schnittzeichnung) [11]

In **Abbildung 3** ist sowohl der seitliche Schnitt mit den beiden Herden dargestellt, wie auch in der Draufsicht die einzelnen Rohrlagen der sogenannten „Perkinsrohre“. Diese Rohre sind zu 2/3 mit Wasser gefüllt, beidseitig verschlossen und ragen mit einer Seite in den Backraum, mit der anderen Seite in den Feuerungsraum. Durch das Erhitzen der Rohre entsteht überhitzter Wasserdampf, welcher seine Energie an den Backraum bzw. das Backgut abgibt. Der Wasserdampf kondensiert an der kalten Seite des Rohres und läuft zurück, wodurch ein Kreislauf entsteht.

Weiterhin werden die Errungenschaften in der Knetmaschinenteknik benannt. Eines der ersten serienmäßigen Modelle zeigt **Abbildung 4**. [10]

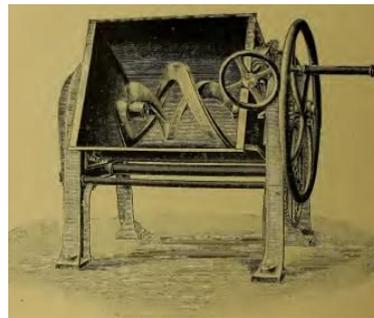


Abbildung 4: Knetmaschine [10]

Je nach Modell und Größe ermöglichte eine Knetmaschine es, dass ein Bäcker jener Zeit in 15 Minuten ca. 120 kg Teig herstellen konnte. Zuvor war dies mit reiner Handarbeit nur zu einem Bruchteil möglich. Die Maschinen konnten manuell, elektrisch oder mit einer Dampfmaschine betrieben werden. Die bis dahin nicht vorhandene Notwendigkeit der Teigkühlung mag daher kommen, dass die Technisierung der Bäckereibranche ab diesem Zeitpunkt erst begann. Auch wenn erst kurze Zeit vor Erscheinen des Bäckerbuches von Franz Pusch die erste industriell arbeitende Kältemaschine von Linde entwickelt wurde, so hat diese im Bäckerhandwerk jener Zeit noch keinen Einzug gehalten. Man erkennt dies auch an der Tatsache, dass bspw. Milch nicht mittels Kühlschränken oder Kältemaschinen abgekühlt wurde, sondern explizit die Empfehlung auf einen Milchkühlapparat, welcher die Milch in Kannen mittels umfließenden kalten Leitungswassers herabkühlt, gelegt wird. [10] Mit fortschreitendem Einsatz von Technik in Bäckereibetrieben wurde die Herstellung von Backwaren rationeller. Menschliche Arbeitskraft wurde dabei zunehmend durch Maschinen ersetzt, wodurch mehr Backwaren in kürzerer Zeit hergestellt werden konnten. Durch die Einführung des Dampfbackofens war zudem auch eine durchgängige Produktion möglich, da erstmalig die Möglichkeit geschaffen wurde, Back- und Feuerungsraum räumlich zu trennen und somit durch anhaltendes Nachfeuern kontinuierlich zu produzieren. Zuvor wurde mit gemauerten Steinöfen gearbeitet, in denen vor dem eigentlichen Backprozess im Backraum ein Feuer entzündet wurde, um die Steine aufzuheizen. Die Bäcker konnten dadurch lediglich mit der zuvor im Stein gespeicherten Wärmeenergie arbeiten, die im Verlauf des Backprozesses abfiel.

War die tägliche Produktionsmenge in Bäckereien vorher durch die Arbeitskraft der Mitarbeiter und die Ofentechnik begrenzt, ergaben sich durch den Einsatz von Knetmaschi-

nen und Öfen mit räumlich getrennter Feuerung neue Möglichkeiten der Produktion. Nicht zu vergessen ist zudem, dass durch militärische Aufrüstung der europäischen Nationen zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Versorgung der nationalen Armeen in Europa in den Vordergrund gerückt wurde. Die rationelle und logistische Versorgung mit Nahrungsmitteln wie Brot musste sichergestellt werden, sodass die großtechnische Herstellung durch Militärbäckereien vorangetrieben wurde. Diese Entwicklungen bewirkten mitunter das zunehmende Aufkommen von Großbäckereien auch in der Privatwirtschaft.

Abbildung 5 vermittelt einen Eindruck, wie zu Beginn des 20. Jahrhunderts in Frankreich eine industriell anmutende Großbäckerei ausgesehen haben könnte. Auf der Abbildung ist eine automatische Mehlförderanlage und eine mechanisch angetriebene Knetmaschine, die in etwa jener aus **Abbildung 4** entspricht, zu sehen.

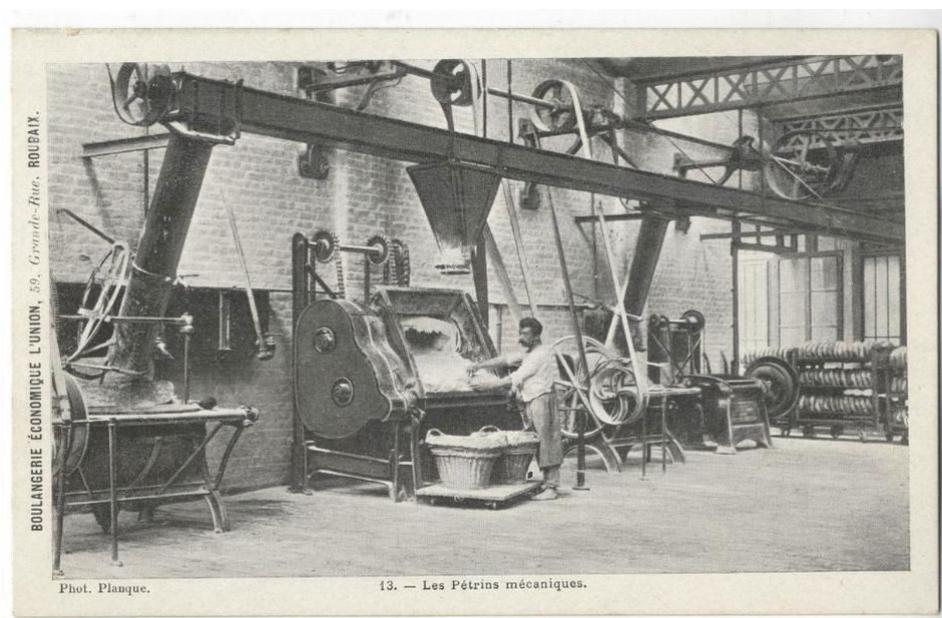


Abbildung 5: Französische Großbäckerei des 20. Jahrhunderts [12]

Der Einsatz von Knetmaschinen in Backbetrieben die die manuelle Tätigkeit des Teigknetens ablösten, bewirkte, dass auch schneller mehr Energie den Teigen zugeführt und dadurch die Besonderheit der Teigerwärmung zunehmend erkannt wurde. Selbst in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde in der Literatur noch kein Hinweis auf Teigkühl-systeme gegeben [7]. Eher im Gegenteil wird zur Teigbereitung darauf hingewiesen, das Mehl rechtzeitig aufzuwärmen und keine zu kalten Maschinen zu verwenden. Kälteanlagen wurden eher für die Lagerung und Bevorratung fertiger oder vorgegarter Teiglinge in Kühltruhen, Kühlschränken oder Kühlkammern verwendet [7].

Da sich dann in der Bäckereibranche über Jahrzehnte ein Wandel innerhalb der Betriebsstruktur vollzogen hat, haben sich auch die Techniken und Möglichkeiten der Teigkühlung verändert. Der Zentralverband des deutschen Bäckerhandwerks schreibt dazu: „Gab es in den 1950er Jahren überwiegend kleine Familienbetriebe, in denen der Verkauf an die Backstube angeschlossen war, so geht der Trend heute vermehrt zu zentralen Produktionsstätten mit einem lokalen oder regionalen Netz von Verkaufsstellen. Häu-

fig werden Meisterbetriebe übernommen und in das Filialnetz einer größeren Bäckerei eingegliedert, wenn der frühere Besitzer in den Ruhestand geht. Dementsprechend ist die Zahl der Bäckereibetriebe in den letzten 60 Jahren von rund 55.000 (im alten Bundesgebiet) auf 12.155 Betriebe mit geschätzten 35.000 Filialen also auf ca. 47.000 Verkaufsstellen (Stand: 31.12.2015) in ganz Deutschland gefallen“ [13]. Wie aus nachfolgender Grafik (**Abbildung 6**) ersichtlich, ist die Großzahl der backenden Betriebe als „Kleinbetriebe“ mit einem Umsatz < 500.000,00 € p. a. anzusehen, mit der geringsten Gesamtumsatzbeteiligung (9 %) der Branche. Insgesamt 4 % der Betriebe sind Großbetriebe mit einem Jahresumsatz von > 5.000.000,00 €, sie teilen sich einen Branchenumsatz von 65 %.

UMSATZVERTEILUNG 2014



Die Grafiken verdeutlichen die Umsatzverteilung im deutschen Bäckerverhandwerk: Auf die mit 4,3 % kleinste Gruppe der Bäckereien mit mehr als 5 Mio. € Jahresumsatz entfiel 2014 ein Umsatzanteil von 65,3 %. Die 30,3 % aller Betriebe mit 500.000 bis 5 Mio. € Jahresumsatz konnten einen Anteil von 25,9 % verbuchen und die Bäckereien mit weniger als 500.000 € Jahresumsatz – 65,5 % aller Betriebe – erwirtschafteten 8,8 % des Gesamtumsatzes.

Quelle: Zentralverband des Deutschen Bäckerverhandwerks e. V. nach Daten der Umsatzsteuerstatistik des Statistischen Bundesamtes, Berlin 2016

Abbildung 6: Umsatzverteilung Bäckereibranche 2014 [13]

Allgemein lässt sich aus diesen Informationen ableiten, dass in den vergangenen Jahrzehnten die Anzahl an kleinen Betrieben zu Gunsten einer Großbetriebsstruktur bzw. Filialisten rückläufig war. Dieser Trend wird aller Voraussicht nach in den nächsten Jahren weiter anhalten.

Wie in Kapitel 2.1 bereits näher erläutert, bedarf es bei Weizenteigen unter bestimmten Voraussetzungen einer Kühlung des Teiges. Dies kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Im Wesentlichen sind jedoch zwei grundsätzliche Methoden zur Kühlung möglich: Zum einen die Kühlung des Mehls, Zum anderen die Kühlung der Schütflüssigkeit. In diesem Zusammenhang ist wichtig, dass Mehl eine optimale Lagertemperatur besitzt. So sollten Getreidemahlerzeugnisse bei einer optimalen Temperatur von 14-18°C lagern. [4] Zu kaltes Mehl birgt bei der späteren Teigbereitung das Risiko, dass eine höhere Schütflüssigkeitstemperatur angestrebt werden muss. Dies kann zu einer Schädigung der Mehlproteine führen oder aber eine ungewollte frühzeitige Verkleisterung der Mehlbestandteile bewirken. Zu warmes Mehl führt zu einer frühzeitigen Mehlalterung, indem z. B. enzymatische Abbauprozesse im Mehl vorangetrieben werden. Weiterhin werden bei einer Mehltemperatur ab 35-40°C wiederum die Kleberproteine geschädigt. Eine zu hohe Mehltemperatur bedingt zudem, dass während der Teigbereitung wieder über die Schütflüssigkeit gekühlt werden muss, was aus energetischer Sicht eher suboptimal anzusehen ist, denn wo gekühlt werden muss, wird Energie in Form von Kälte benötigt.²

Abgesehen davon, ob die beliefernden Mühlen überhaupt die Möglichkeit haben Silomehl zu liefern, werden aus Gründen der Logistik bei Großbetrieben die Mahlerzeugnisrohstoffe nicht mehr als Sackware angeliefert, sondern werden über Tanklastfahrzeuge in entsprechende Mehlsilos eingeblasen. Dies hat mehrere Vorteile: neben dem kostengünstigeren Bezug und der Arbeiterleichterung, da Hebearbeiten entfallen, ist der Rohstoff während des Betriebs leichter zu dosieren, ggf. mittels Computerunterstützung und die Staubbelastung wird verringert, z. B. durch geschlossene Rohrsysteme und Staubabsaugung bei Eintrag des Mehls. [4] Silos sind zudem die platzsparendste Alternative, da auf einer kleinen Grundfläche einige Tonnen Mehl gelagert werden können. Daneben sind Silos als deutlich hygienischer gegenüber Sackware anzusehen, da sie nach außen abgeschirmt sind und im gefüllten Zustand nicht betretbar sind. [4] Je nach Aufstellungsart, entweder Eingehaust oder Freiluftaufstellung, sind die Silos allerdings witterungsbedingten Temperaturschwankungen unterworfen. Geht man nun davon aus, dass kleinere Betriebe ohne Silo mit Sackware beliefert werden, insbesondere durch etwaige bauliche Situationen, die vorhandenen Lagerräume und Fragen der Logistik, so ist darauf zu schließen, dass früher überwiegend Mehl in Säcken angeliefert wurde. Die Lagerung der Sackware wurde dabei in Kellern oder Lagerräumen vorgenommen. [10] Es sind folgende Schlüsse zu ziehen: Je kleiner ein Betrieb, desto wahrscheinlicher die Möglichkeit, dass dieser seine Rohstoffe als Sackware erhält. Im Umkehrschluss bedeutet dies bei größeren Betrieben, dass das Mehl in Silos gelagert wird. Mehl als Sackware, aufbewahrt in Lagerräumen oder Kellern, hat in der Regel eine gleichbleibende Temperatur und kann ggf. dadurch gekühlt werden. Bei (Groß-)Betrieben, die Ihre Rohstoffe in Silos lagern ist dies nicht möglich und die Ware ist stärkeren Temperaturschwankungen un-

² In der Thermodynamik ist lediglich der Begriff der „Wärme“ bekannt, „Kälte“ kann als Abfuhr von Wärme betrachtet werden. Der leichteren Verständlichkeit wegen werden im weiteren Verlauf der Arbeit allerdings die Begriffe „Kälte“, „Kälteenergie“ und „Kühlung“ verwendet, was der Abfuhr von Wärme entspricht.

terworfen, je nach Aufstellungsweise des Mehlsilos. Wo also in der Vergangenheit bei kleinen handwerklichen Betrieben eine Abkühlung des Mehls durch die spezifischen Lagerbedingungen möglich war, ist heutzutage bei größeren Bäckereien i. d. R. nur noch die Teigkühlung über das Schüttwasser zu erreichen.

Die zukünftige Entwicklung der Bäckereibranche wird weiterhin zu Lasten der handwerklichen Kleinbetriebe gehen und die Großproduktion mit mehreren Filialen bzw. Verkaufsstellen voranschreiten. Das kann aus der vergangen Entwicklung der Branche geschlossen werden. Aufgrund dieser Tatsache wird sich auch die Produktion innerhalb der Betriebe ändern. Mehr Filialen, die von einem Produktionsbetrieb beliefert werden, bedeuten eine rationellere Produktionsweise mit vorgefertigten Teiglingen, die ggf. frisch im Ladengeschäft vor den Kunden aufgebacken werden. Ofenwarme Ware suggeriert den Verbrauchern zugleich auch frische Ware, auch wenn diese bereits mehrere Tage im Voraus produziert wurde. Dieses Qualitätsversprechen und das Ansprechen der Sinne ist ein verkaufsförderndes Argument, das sich viele Unternehmen zunutze machen. Als Beispiel seien dazu die Aufbackstationen bei Lebensmitteldiscountern im Eingangsbereich benannt. Es kommt dadurch zu einer teilweisen Verlagerung des Backprozesses vom Produktionsbetrieb hin zu den einzelnen Ladengeschäften, bzw. Filialen.

Für die einzusetzenden Teigkühlssysteme bedeutet dies Folgendes: die rationelle Produktionsweise kann nur mit Knetmaschinen erreicht werden, die in kurzer Zeit optimale Knetergebnisse erwarten lassen. Dies bedeutet höhere Umdrehungszahlen und stärkere Teigerwärmung. Zudem ist zu erwarten, dass vorgefertigte Teiglinge die ggf. mit Gärverzögerung oder Gärunterbrechung produziert wurden, vermehrt hergestellt werden, um die Belieferung einzelner Filialen logistisch und produktionstechnisch rationell zu gestalten. Dies bedeutet einen zunehmenden Einsatz von Kälteenergie entweder in Form von Kühlanlagen in den Produktionsbetrieben und/oder durch die Steuerung der Teigtemperatur mittels Teigkühlssystemen. Da die Qualität der Backwaren dabei nicht zu Lasten einer rationellen Produktion gehen soll, wird den Quellvorgängen und den optimalen Teigtemperaturen wieder mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Gegenwärtig ist bspw. die Teigkühlung überwiegend mit Scherbeneis oder Eispellets am Markt vorherrschend (s. dazu die Befragungsergebnisse in Kapitel 4). Aktuelle Forschungen gehen zudem in die Richtung, eine Teigkühlung mittels CO₂ Einblasung während des Knetprozesses zu erreichen. Im nachfolgenden **Kapitel 2.3** wird daher auf die grundlegenden Eigenschaften der aktuell am Markt zu beziehenden Teigkühlssysteme eingegangen.

2.3 Vorstellung der verschiedenen Systeme zur Teigkühlung

2.3.1 Scherbeneis/Eisflakes/Brucheis

Zur Produktion von Scherbeneis oder Eisflakes wird eine von innen gekühlte Metallwalze mit Trinkwasser beaufschlagt. Dieses friert unmittelbar an der Oberfläche der sich drehenden Walze fest und wird über einen Abkratzer von der Walze entfernt. Es entstehen dadurch dünne Eisscheiben (Bereich von 1-7 mm Stärke). Das Prinzip wird in **Abbildung 7** verdeutlicht.

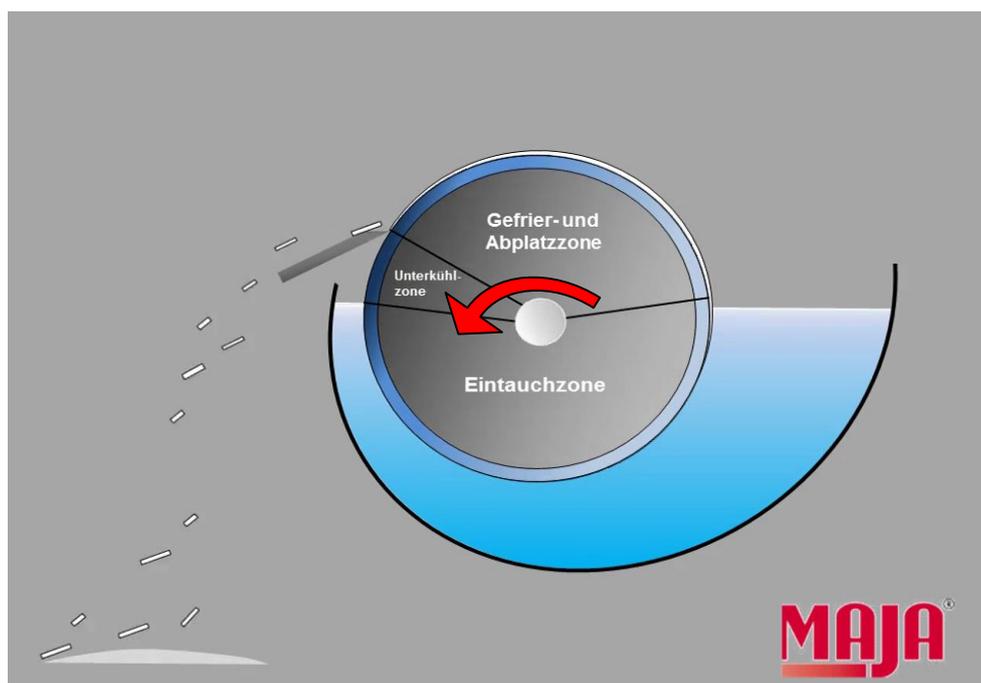


Abbildung 7: Prinzip Eiserzeugung mittels Scherbeneiserzeuger [14]

Diese Art der Kühlung hat vielerlei Anwendungsmöglichkeiten: Neben dem Einsatz als Teigkühlung in Bäckereien wird diese Art Eis auch in Fleischereibetrieben/Metzgereien zum Cuttern bzw. zur Herstellung von Brät und Wurstgrundmasse verwendet. Ferner werden damit z. B. in Auslagen Fisch und Meeresfrüchte gekühlt. Die Eistemperatur beträgt ca. -7°C [14]. Scherbeneis kann sowohl manuell wie teilautomatisch dem Teig zugefügt werden und ist somit flexibel einsetzbar. Eine Korrektur des Schüttwasseranteils muss aufgrund des Dichteunterschiedes von Wasser zu Eis vorgenommen werden. Da Scherbeneis als Feststoff dem Teig zugegeben wird, steht weniger flüssiges Wasser zur Teigbildung zur Verfügung. Diese Tatsache kann zum Klumpen des Teiges führen, wodurch teilweise nicht optimal ausgeknetete Stellen im Teig entstehen können. Eine zu hohe Eismenge kann zudem zu lokalem Gefrierbrand im Teig führen, die Knetwerkzeuge werden durch die mechanische Reibung des Knetwerkzeugs an den Eispartikeln stärker beansprucht und die Teigbildung wird verzögert. Bis alle Eispartikel vollständig geschmolzen sind, muss in Folge die Knetzeit verlängert werden, was insbesondere durch eine verlängerte Quellknetung bzw. Langsamknetung erreicht wird. Daneben haben Eisflakes/Scherbeneis wie auch Eispellets die Eigenschaft, durch sich an der Oberfläche

bildendes Schmelzwasser zusammen zu kleben, was die Dosierung mitunter erschwert. Da Scherbeneis nicht pumpfähig ist, sondern manuell oder teilautomatisch eingetragen werden muss, kann es in Betrieben mit geringer Automation im Verarbeitungsprozess zum Einsatz kommen. Scherbeneis lässt sich auf Vorrat herstellen und je nach Bedarf verwendenden, muss dafür aber in Kühlkammern zwischengelagert werden. Mit einer Schmelzenthalpie von $\Delta h_E = 333,4$ kJ/kg kann Scherbeneis eine große Menge Energie in Form von Kälte abgeben, im Vergleich zu flüssigem Wasser (vgl. $c_{p,w} = 4,19$ kJ/kgK). Die Menge an einbringbarem Scherbeneis, bzw. allgemein von Wasser in festem Aggregatzustand ist bei der Teigherstellung jedoch limitiert. Ein zu hoher Anteil führt dazu, dass nicht genug freies Wasser zur Verfügung steht, um die Quellvorgänge und die Ausbildung des Klebnetzwerkes voranzutreiben. Die Ausbildung der rheologischen Teigeigenschaften wird dadurch verschlechtert. Bislang wird eine Limitierung von 10-20% Scherbeneisanteil am Gesamtwasserschüttanteil empfohlen. [15] Dieses System ist für die Herstellung wasserfreier Teige (Mürbeteige/Hartkeksproduktion) ungeeignet. Eine nachträgliche, bzw. fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur kann mit dieser Art der Teigkühlung nicht vorgenommen werden, da die Zugabe der Schüttflüssigkeit incl. des Wassereises vor Knetbeginn erfolgen muss. Scherbeneisanlagen unterliegen strengen Hygieneauflagen und müssen täglich desinfiziert werden. Weiterhin ist es möglich, dass Fremdkörper in die Wasserwanne und somit in die Backwaren gelangen können.

Nachfolgende **Tabelle 3** stellt die physikalisch/chemischen und qualitativen Eigenschaften von Scherbeneis/Eisflakes noch einmal übersichtlich dar:

Tabelle 3: Eigenschaften von Scherbeneis (eigene Darstellung)

Temperatur [°C]	Wärme- kapazität [kJ/Kg*K]	Phasenumwand- lungsenthalpie [kJ/Kg]	Qualitative Eigenschaften
ca. -7 °C	Wasser 4,186 Eis 2,100	333,4	<ul style="list-style-type: none"> - Weniger flüssiges Wasser zur Verquellung vorhanden - limitierte Zugabemenge - längere Quellknetung - Verschlechterung der rheologischen Teigeigenschaften - Hohe Kühlwirkung durch Nutzung von Phasenumwandlung und Wärmekapazität - nicht pumpfähig, dadurch nur teilautomatisierte oder manuelle Dosierung möglich

- Dosierung erschwert aufgrund möglichen Zusammenklebens durch Auffrieren von Oberflächenschmelzwasser
 - Nicht für wasserfreie Teige nutzbar
 - keine fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur während des Knetprozesses möglich
 - Strenge Hygieneauflagen
-

2.3.2 Eiswasser

Wie in Kapitel 2.1 bereits beschrieben, schwanken die Temperaturen des Leitungswassers Jahreszeitabhängig in einem Bereich von 14 bis 18°C im Sommer [7], andere Quellen gehen von 15 bis 20°C aus [16], und 8 bis 12°C in den Wintermonaten. Dies stellt eine Herausforderung bei der Erzeugung von gleichbleibender Qualität der Backwaren dar. Insbesondere auch deshalb, da die optimale Teigtemperatur nicht immer eingehalten werden kann. Um das ganze Jahr hindurch eine gleichbleibende Wassertemperatur zu gewährleisten und zusätzlich den Teig durch Schüttwassereintrag bei Bedarf zu kühlen, werden sogenannte Eiswasseranlagen eingesetzt. Eiswasseranlagen kühlen dabei das Leitungswasser (Schüttwasser) konstant auf 2 bis 3°C ab [16]. Die Anlage besteht dabei aus zwei getrennten Kreisläufen, im äußeren Kreislauf zirkuliert das Kältemittel und kühlt dabei eine „Wassertasche“ mit Prozesswasser ab. Innerhalb der Wassertasche befindet sich der zweite Kreislauf, durch den das Leitungswasser fließt und somit eine Art „Durchlaufkühler“ darstellt. Zur besseren Anschaulichkeit tragen die nachfolgenden Abbildungen bei.



Abbildung 8: Eiswasseranlage Komplettansicht [17]

Abbildung 8 zeigt die komplette Anlage, die eine kompakte Einheit darstellt. Auf der linken Seite des Bildes ist die Kompressionskältemaschine untergebracht (erkennbar am Kondensatorlüfter). Eiswasseranlagen sind flexibel in der Kälteerzeugungstechnik, es können sowohl Kompressions-, wie Adsorptions- oder Absorptionskältemaschinen als Wärmequelle dienen.



Abbildung 9: Eiswasseranlage Draufsicht [17]

Abbildung 9 zeigt die Innenansicht der Eiswasseranlage als Draufsicht. Deutlich zu erkennen sind dabei die beiden getrennten Kreisläufe mit der Wassertasche. Diese ist dabei mit Prozesswasser gefüllt und dient sowohl als Kältespeicher wie auch als Trennung und Wärmeüberträger zwischen Verdampferrohr und Durchlauftrinkwasserkühlschlange. Dieser Aufbau erlaubt den Einsatz im Lebensmittelbereich, da Kältekreislauf und Trinkwasserkreislauf voneinander getrennt sind und die Kälteenergie indirekt an den Durchlaufkühler übertragen wird. Bei einer möglichen Leckage kann somit kein Kältemittel in das Lebensmittel gelangen. Dieses System bietet einige Vorteile, wie die Tatsache, dass Bedarfsspitzen im Kältebedarf abgefangen werden können, da die Anlage zugleich als Energiespeicher fungiert. Wird vorübergehend kein kaltes Wasser zur Teigbereitung benötigt, kann die Kältemaschine das Prozesswasser soweit herabkühlen, bis sich eine kompakte Eisbank gebildet hat (s. auch **Abbildung 10**). Eine hohe Menge Energie wird dabei als Eis bei 0°C gespeichert. Durch die Phasenumwandlungsenthalpie des Eises, weist dieses eine ca. 80-fach höhere Energiedichte als flüssiges Wasser auf. Zum Vergleich: $c_{p,w} = 4,19 \text{ kJ/kgK}$, $\Delta h_E = 333,4 \text{ kJ/kg}$ [18], so kann jederzeit sichergestellt werden, dass die Schüttwassertemperatur konstant bleibt.

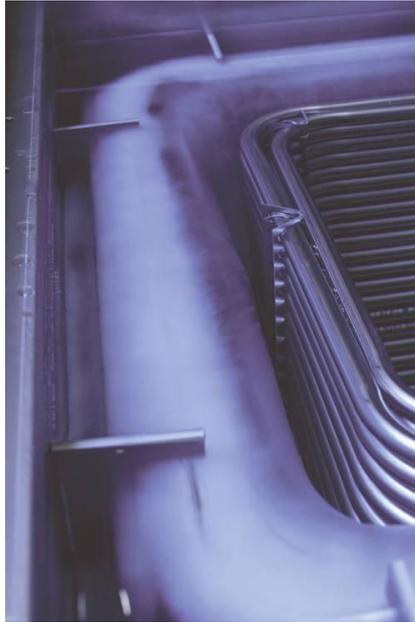


Abbildung 10: Eiswasseranlage Eisschicht an Kühlkreislauf [17]

Abbildung 10 zeigt die Anlage in Betrieb. An der Verdampferrohrschlange des komplett mit Wasser gefüllten Systems hat sich ein Eispanzer bzw. eine Eisbank gebildet. Am warmen Teil der Anlage (Trinkwasserdurchlaufkühler) ist kein Eispanzer zu sehen. Das System eignet sich für Betriebe, die einen höheren Automatisierungsgrad aufweisen. So wird die Eiswasseranlage bspw. in eine automatische Wassermisch- und Dosieranlage eingebunden und kann über computergestützte Rezepturen sicherstellen, dass immer eine exakt gleiche Teigtemperatur und somit Gebäckqualität erreicht wird. Für einen weitgehend automatisierten Betrieb, bzw. industrielle Produktion, für die gleichbleibende Teigeigenschaften zur besseren Maschinengängigkeit essentiell sind, stellt dies eine gute Lösung dar. Dieses System arbeitet dabei immer mit flüssigem Wasser als Schüttflüssigkeit zur Teigbereitung. Damit ist gewährleistet, dass 100 % der zur Verquellung notwendigen Flüssigkeitsmenge zur Verfügung stehen. Scherbeneisanlagen haben hier einen entscheidenden Nachteil. Die einbringbare Energiemenge ist allerdings auf die Energiemenge des flüssigen Wassers begrenzt, da lediglich die spezifische Wärmekapazität des Eiswassers genutzt werden kann. Ein höherer Wärmeentzug durch den Phasenübergang von Eis zu Wasser lässt sich dadurch nicht nutzen. Dieses System ist für die Herstellung wasserfreier Teige (Mürbeteige/Hartkeksproduktion) ungeeignet. Eine nachträgliche, bzw. fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur kann mit dieser Art der Teigkühlung nicht vorgenommen werden, da die Zugabe der Schüttflüssigkeit vor Knetbeginn erfolgen muss.

Tabelle 4 stellt die physikalisch/chemischen und qualitativen Eigenschaften von Eiswasseranlagen noch einmal übersichtlich dar:

Tabelle 4: Eigenschaften von Eiswasser (eigene Darstellung)

Temperatur [°C]	Wärme- kapazität [kJ/Kg*K]	Phasenumwand- lungsenthalpie [kJ/Kg]	Qualitative Eigenschaften
ca. 2 bis 3 °C	Wasser 4,186	keine	<ul style="list-style-type: none"> - nur flüssiges Wasser zur Verquellung vorhanden - keine Anpassung der Knetzeiten notwendig - keine Verschlechterung der rheologischen Teigeigenschaften - niedrigere Kühlwirkung, da keine Phasenumwandlung, lediglich Nutzung der Wärmekapazität möglich - pumpfähig, automatisch dosierbar - Nicht für wasserfreie Teige nutzbar - keine fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur während des Knetprozesses möglich

2.3.3 Salzsole

Da die Wassertemperatur bei Eiswasser durch den Gefrierpunkt des Wassers limitiert ist, kann dieser durch die Zugabe von Additiven gesenkt werden. Bei der sogenannten Salzsole oder auch unterkühlte Sole, wird Kochsalz (NaCl) in Wasser gelöst und über Wärmeaustauscher herabgekühlt. Je nach Konzentration des Salzes, bspw. 15 % im Wasser lassen sich Temperaturen von ca. -9°C und weniger erreichen [18].

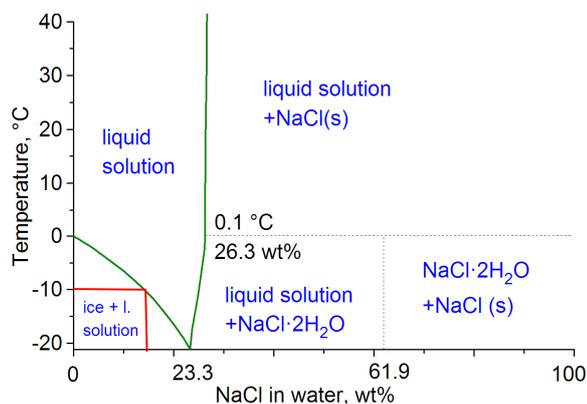


Abbildung 11: Temperatur-Zusammensetzungsdiagramm für Salz und Wasser [19]

Abbildung 11 zeigt den Zusammenhang im Temperatur-Zusammensetzungs-Diagramm. Der eutektische Punkt des Gemisches liegt bei 23,3 % Kochsalz, bzw. Natriumchlorid in Wasser, wobei sich an jenem Punkt die beiden Liquiduslinien schneiden. Die eingezeichneten roten Linien kennzeichnen dabei den Betriebspunkt mit 15 % Kochsalz gelöst in Wasser und einer erreichbaren Temperatur von ca. -9 bis -10°C . Über die linke Liquiduslinie des Diagramms kann die Zusammensetzung und damit die Absenkung des Gefrierpunkts frei gewählt werden.

Bei diesem System wird die weitestgehend flüssige Phase der Salzlösung bevorzugt, eine Bildung von Eis oder Eispartikeln wird nicht angestrebt. Da hier keine totale oder teilweise Erstarrung des Wassers zustande kommt, kann die Phasenumwandlungsenthalpie nicht genutzt werden. Das bedeutet, dass die Energie, die zur Kühlung des Teiges zur Verfügung steht, geringer ist als bei Systemen mit Eis bzw. mit Eispartikeln. Daraus folgt zudem, dass die Vorratsbehältnisse größer dimensioniert werden müssen, um im Vergleich zu Systemen mit Eis dieselbe Kühlwirkung zu erzielen. Ein nicht zu vernachlässigender Vorteil ist jedoch, dass bei der Teigbereitung immer 100 % der Schüttwassermenge als flüssiges Wasser zur Verfügung steht. Dies beeinflusst die Quell- und Kleberbildungsvorgänge im Teiggerüst positiv. Eine Änderung der Knetzeiten, z. B. die Verlängerung der Quellknetung wie es bei eisbasierten Systemen teilweise der Fall ist, ist damit nicht notwendig. Nachfolgende **Abbildung 12** zeigt das Salzsolesystem „daxSol“ der Fa. Daxner. Hierbei werden Kochsalz (NaCl) und Wasser in einem Mischbehälter verrührt und mittels Förderpumpe und Wärmetauscher abgekühlt. Die nun kalte Salzsole wird in einem Behälter mit Rührereinrichtung vorrätig gehalten und kann jederzeit für die Zugabe zu Teigen entnommen werden.



Abbildung 12: Salzsolesystem "daxSol" der Fa. Daxner [20]

Salzsole lässt sich zudem auch durch seine Pumpfähigkeit automatisch dosieren und kann in bestehende Wassermisch- und Dosieranlagen eingebunden werden. Für die Bereitung wasserfreier Teige, wie z. B. die Hartkeksproduktion, ist dieses System nicht geeignet. Eine nachträgliche, bzw. fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur kann mit dieser Art der Teigkühlung nicht vorgenommen werden, da die Zugabe der Schüttflüssigkeit vor Knetbeginn erfolgen muss. Salzsole kann somit auch als ein Produkt das zwischen Eiswasser und Eisbrei steht angesehen werden. Die Sole verbindet die positiven Eigenschaften des Eiswassers einer vollständigen Verfügbarkeit von flüssigem Wasser und der niedrigen Schüttwassertemperatur von Eisbrei, wobei die Sole wesentlich niedrigere Temperaturen erreicht.

Das vorher in Wasser gelöste Salz kann zu einer Verbesserung der Gebäckqualität beitragen, denn es tritt der sogenannte Einsalzeffekt auf, der auch von der Herstellung von Fleisch- und Wurstwaren bekannt ist. Dieser hat zur Folge, dass Proteine besser Quellen und mehr Wasser binden können. Exakt dieses Verhalten ist bei der Vernetzung von Gliadin und Glutenin, den beiden Proteinen die das Gluten bilden, gewünscht. Die Proteine sollen während des Knetprozesses das Wasser aufnehmen, sodass es im späteren Backprozess abgegeben und von den Stärkepartikeln aufgenommen und gebunden werden kann. Der Effekt beruht auf der Zurückdrängung der Aggregation bzw. Assoziation der Proteinmoleküle indem diese niedermolekulare Gegenionen anlagern und dadurch vergrößerte Kapillare entstehen, die eine höhere Wasserbindung ermöglichen. Es werden bevorzugt die Anionen (Cl^-) des Kochsalzes angelagert, wodurch sich der isoelektrische Punkt auf kleinere pH-Werte verschiebt. Infolge dessen erhöht sich die Wasserbindung der ungesalzenen Proteine in Gegenwart von Salzen oberhalb des Isoelektrischen Punktes [1]. Da durch den Einsalzeffekt auch die Ausbildung des Klebgerüsts positiv beeinflusst wird, steigt dadurch die Gärstabilität, also das Gashaltevermögens des Teiges, und somit auch die Gärtoleranz. Die positiven Eigenschaften, die durch gelöstes Kochsalz auftreten, können dazu beitragen, dass Backhilfsmittel, die diese Aufgaben in der Regel ansonsten übernommen hätten, obsolet werden. Die Ausgaben für die Backmittel können folglich reduziert werden. Dass dieser Effekt eher zum Tragen kommt wenn das Natriumchlorid vorher bereits in Wasser gelöst wurde, mag daher kommen, dass Wasser hier als Lösungsmittel fungiert und die Kochsalzionen hydratisiert werden können. Die Bereitstellung von Anionen wird dadurch erleichtert. Wird das Kochsalz ohne vorherige Lösung in Wasser einem Teig zugegeben, so liegt es als Feststoff in seiner Kristallstruktur vor. Da der Teig aus einer Suspension von Mehl und Wasser besteht und ein Teil des Wassers durch das Mehl bereits gebunden wird, steht folglich weniger freies Wasser für die Hydratisierung des Kochsalzes zur Verfügung.

Durch den hohen Salzgehalt der Sole muss bei der Teigbereitung der Kochsalzanteil angepasst werden, da dieses bereits in der Sole zu ca. 15 Gewichtsprozent vorliegt. Der gesamte Kochsalzanteil innerhalb der Gebäcke sollte 2,5 % bezogen auf die verwendete Mehlmenge bzw. 3,3 % je Liter Zuguss bzw. Schüttflüssigkeit nicht überschreiten, es treten dann sowohl geschmackliche wie verarbeitungstechnische Nachteile auf, die schlussendlich in Gebäckfehlern münden. [4]

Tabelle 5 stellt die physikalisch/chemischen und qualitativen Eigenschaften von Salzsole noch einmal übersichtlich dar:

Tabelle 5: Eigenschaften von Salzsole (eigene Darstellung)

Temperatur [°C]	Wärme- kapazität [kJ/Kg*K]	Phasenumwand- lungsenthalpie [kJ/Kg]	Qualitative Eigenschaften
ca. -9°C, je nach Salzge- halt	Entspricht in etwa der von Wasser (4,186) durch die Salzzuga- be verändert sich die Wär- mekapazität nur minimal	keine	<ul style="list-style-type: none"> - nur flüssiges Wasser zur Ver- quellung vorhanden - keine Anpassung der Knet- zeiten notwendig - keine Verschlechterung der rheologischen Teigeigenschaf- ten, eher Verbesserung durch gelöstes Kochsalz - Anpassung der Rezeptur hin- sichtlich des Kochsalzgehaltes notwendig - niedrigere Kühlwirkung, da keine Phasenumwandlung, lediglich Nutzung der Wärme- kapazität möglich - pumpfähig, automatisch do- sierbar - Nicht für wasserfreie Teige nutzbar - keine fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur während des Knetprozesses möglich

2.3.4 Binäreis/Quelleis ®/Slurryeis/Eisbrei

Binäreis, Quelleis ®, Slurryeis oder Eisbrei sind verschiedene Begriffe für dasselbe System. Es handelt sich dabei immer um eine wässrige Suspension mit kleinsten Eispartikeln zwischen <0,1 mm bis 1 mm. Um den Erstarrungspunkt zu senken, können verschiedene Additive eingesetzt werden. Dies können sowohl anorganische Stoffe (wie Natriumchlorid, Magnesiumchlorid, Kalziumchlorid oder Kaliumcarbonat) sein, wie auch organischen Stoffe (Ethanol, Methanol, Ethylenglykol und Propylenglykol). [21] Bei dem System Quelleis ®, entwickelt von der Fa. Hubert Langheinz GmbH, wird zunächst Kochsalz in Wasser gelöst und als 2%-ige Lösung unterkühlt, um somit den Eisbrei zu erzeugen. Dieses Quelleis ® kann hernach direkt dem Teig zugegeben werden, da die

Kochsalzlösung dem Lebensmittelstandards entspricht [16]. **Abbildung 13** zeigt die Funktionsweise der Quelleisanlage der Fa. Langheinz:



Abbildung 13: Quelleisanlage Schema [16]

Aufgelöstes Flüssigsalz und Frischwasser werden dabei im Quelleisgenerator zu Quelleis[®] gefroren, welches dann direkt über ein Dosiergerät dem Teig zugegeben werden kann. Im Quelleisgenerator dreht sich ein Schaber, welcher die Eiskristalle vom Verdampferkörper abschabt und in der wässrigen Suspension in Bewegung hält. Das Kältemittel verdampft also im Generator und die entstehenden Eiskristalle werden außen abgeschabt. Theoretisch können mit diesem System Temperaturen des Eisbreis von -10 bis -15°C erreicht werden, Quelleis[®] wird mit einer Temperatur von -2 bis 0°C vorgehalten. Mit einem Eisanteil von ca. 40 % ist die Eis-Wasser-Mischung noch pumpfähig. [21] Dies stellt einen Vorteil in der Teigbereitung dar, da der Eisbrei unmittelbar dem Teig über Misch- und Dosiergeräte zugegeben werden kann. Bei festem Eis (bspw. Scherbenis/Eispellets) ist die Pumpfähigkeit nicht gegeben. Weiterhin kann es zu Beschädigungen an der Knetmaschine kommen, sollten die Eisbrocken zu hart und fest sein. Ein nicht zu vernachlässigender Vorzug gegenüber festem Eis ist die Tatsache, dass mehr freies bzw. flüssiges Wasser zur Verfügung steht, dass zur sofortigen Verquellung der Mehlbestandteile beitragen kann. Je größer die Eispartikel sind, desto weniger flüssiges Wasser steht der Verquellung zur Verfügung. Dies äußert sich beispielsweise in klumpigen, nicht vollkommen glatt gekneteten Teigen. Da teilweise die Knetzeiten bei größeren Eispartikeln verlängert werden müssen, bis sich alle Eisbestandteile vollständig gelöst

haben, kann es im Teiggerüst zu einem Ungleichgewicht zwischen vollständig und unvollständig ausgebildeten Klebergerüst kommen. Weiterhin sind dadurch auch Teile des Mehls unverquollen. Durch den Einsatz von Eisbrei ist ferner eine gleichmäßigere Verteilung der Kälteenergie im Teig gewährleistet und ein punktuell Auftreten kalter Stellen im Teig kann dadurch nahezu vollständig vermieden werden. Dieses System verbindet somit die besten Eigenschaften aus festem Eis, also die hohe Energiedichte durch die Phasenumwandlungsenthalpie, wie z. B. bei Scherbeneis und einem hohen Anteil an flüssigem Wasser (Eiswasser). Gleichzeitig kann die Eisbreianlage als Energiespeicher dienen, indem der Eisbreigenerator, ähnlich wie bei der Eiswasseranlage, über die Kältemaschine mit Quelleis[®] aufgeladen wird. Die Pumpfähigkeit des Eisbreis gewährleistet auch, dass die Anlage in Betrieben sowohl hoher, wie niedriger Automatisierung eingesetzt werden kann, bspw. durch die Einbindung in bestehende Wassermisch- und Dosieranlage oder aber durch die Möglichkeit manueller Entnahme wie bei Scherbeneis. Für die Hartkeksproduktion ist dieses System nicht geeignet. Eine nachträgliche, bzw. fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur kann mit dieser Art der Teigkühlung nicht vorgenommen werden, da die Zugabe der Schüttflüssigkeit vor Knetbeginn erfolgen muss. Dieses System stellt das aktuell Neueste auf dem Markt dar, das Patent wurde im Jahr 2017 erteilt.

Auch mit diesem System lässt sich der Einsalzeffekt, wie er unter **Kapitel 2.3.3** beschrieben wurde, nutzen. Weiterhin gelten weitestgehend dieselben Punkte bezogen auf das Kochsalz wie in o. g. Kapitel bereits beschrieben.

Tabelle 6 stellt die physikalisch/chemischen und qualitativen Eigenschaften von Binäreisanlagen noch einmal übersichtlich dar:

Tabelle 6: Eigenschaften von Quelleis/Eisbrei/Binäreis (eigene Darstellung)

Temperatur [°C]	Wärme- kapazität [kJ/Kg*K]	Phasenumwand- lungsenthalpie [kJ/Kg]	Qualitative Eigenschaften
ca. -2 bis 0 °C, je nach Salzge- halt	Wasser 4,186 Eis 2,100	333,4	<ul style="list-style-type: none"> - flüssiges Wasser zur Verquellung vorhanden - keine Anpassung der Knetzeiten notwendig - keine Verschlechterung der rheologischen Teigeigenschaften, eher Verbesserung durch gelöstes Kochsalz - Anpassung der Rezeptur hinsichtlich des Kochsalzgehaltes notwendig

- höhere Kühlwirkung, da Phasenumwandlungsenthalpie nutzbar
 - pumpfähig, automatisch dosierbar
 - Nicht für wasserfreie Teige nutzbar
 - keine fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur während des Knetprozesses möglich
-

2.3.5 Kühlung durch kryogene Gase

Allgemein wird unter dem Begriff kryogenes Gas im Rahmen dieser Arbeit verstanden, dass ein zunächst flüssiger oder fester Stoff bei Normaldruck und Raumtemperatur entspannt wird und in den gasförmigen Zustand übergeht. Durch die Expansion wird der Umgebung dabei Wärme entzogen. Beim Einsatz von Gas, bzw. Trockeneis (festes CO₂) können mehrere Möglichkeiten angewendet werden. Zunächst kann direkt das Mehl gekühlt werden, indem bei silogelagertem Mehl kalte Luft oder tiefkalte Gase als Wirbelschicht eingeblasen wird. Dies erlaubt einen schonenden Wärmeübergang und eine gleichmäßige Temperaturverteilung, wodurch sich auch größere Mengen an Mehl gezielt kühlen lassen. [6] Das Einblasen von kalter Luft oder tiefkalter Gase in einer Art Wirbelschicht erlaubt auch einen besseren Austrag des Mehls aus dem Silo, da die Brückenbildung des Mehls im Silo unterbunden wird. Wird das Mehl über eine Rohrförderanlage aus dem Silo entnommen, so kann ein kälteerzeugendes Gas wie CO₂ oder N₂ eingedüst werden, dass das Mehl abkühlt [6]. Beide Systeme setzen bereits im Vorfeld vor der Teigbereitung an, erlauben allerdings keine nachträgliche Korrektur zu Knetbeginn.

Soll der Teig gekühlt werden, so kann CO₂ entweder gasförmig in den Knetraum entspannt, flüssig zugegeben oder aber in fester Form als Trockeneis hinzugefügt werden. Diese Möglichkeiten bergen große Gefahren: Trockeneis hat eine Temperatur von -78,5°C [22] und wird in Form von Pellets eingebracht. Bis es zum vollständigen Aufschmelzen, bzw. zur Sublimation kommt, ist punktuell mit einer starken Unterkühlung zu rechnen. Dies führt zu lokalem Gefrierbrand innerhalb des Teiges, was einem erheblichen Qualitätsverlust gleichkommt. Eine direkte Entspannung von CO₂ in den Knetraum sowie der Einsatz von Trockeneis können zu einer für Menschen gefährlichen Gasatmosphäre im Knetkessel führen. Dies könnte wiederum zu gesundheits- oder lebensgefährlichen Situationen für Mitarbeiter, die an der Knetmaschine arbeiten, führen, da durch den negativen Einfluss auf das Atmungssystem lebensnotwendiger Sauerstoff vom CO₂ verdrängt wird. [6] Dieses System ist daher nur unter hohen Sicherheitsauflagen anzuwenden. Eine zu große CO₂-Last im Teig kann zudem den Gärprozess hemmen, da die Veratmung der Hefen unter Sauerstoffentzug (Verdrängung durch CO₂) gestört ist. Auch die Ausbildung des Klebergerüsts wird durch die erhöhte CO₂-Konzentration gehemmt, da Sauerstoff verdrängt wird und dadurch die oxidative Bildung der Schwefelbrücken durch die Kleberproteine gehemmt wird. [6] Vorteil dieser Art der Teigkühlung ist aller-

dings, dass an der Rezeptur keine Anpassung durchgeführt werden muss, da der Schüttflüssigkeitsanteil und damit die TA gleich bleiben. Die Zugabe von flüssigem CO₂ hat einen ganz entscheidenden Vorteil gegenüber allen vorgenannten Systemen: Werden Teige hergestellt, die keine Flüssigkeit enthalten sollen, aber trotzdem kühl sein müssen, z. B. Keksteig, so kann keine Zugabe von Eis, Eiswasser o. ä. erfolgen. Es muss zwangsläufig eine Kühlung über die Zutaten erfolgen, oder falls dies nicht weiter möglich ist, über ein kryogenes Gas. Flüssiges CO₂ stellt in diesem Zusammenhang das Mittel der Wahl dar. [8] Diese Art der Kühlung benötigt einen separaten Vorrat an kryogenem Gas, wie z. B. CO₂, und entsprechende Rohrinstallationen.

Aktuell am Markt verfügbare Systeme verwenden sogenannte CO₂-Schnee-Injektoren, die auf dem Knetkessel montiert werden. Dabei wird flüssiges CO₂ entspannt und der dabei entstehende CO₂-Schnee (feines Trockeneis) direkt in den Knetkessel geleitet. Das dabei entstehende aber unerwünschte CO₂-Gas wird über Saugsysteme abgezogen. Aus flüssigem Kohlenstoffdioxid erhält man ca. 50 Massenprozent Schnee, respektive Trockeneis und 50 Massenprozent Gas. Die Sublimationsenergie des Trockeneises bewirkt dabei die hauptsächliche Kühlleistung. Eine Steuerungseinheit mit angeschlossener Infrarot-Temperatursonde überwacht während des Knetprozesses die Teigtemperatur und sorgt dafür, dass ggf. CO₂ zur Kühlung injiziert wird. Somit kann gewährleistet werden, dass die Teigtemperatur während des Knetprozesses konstant bleibt. [6] Die nachfolgenden Abbildungen zeigen dabei jeweils den Aufbau der Lanze/des Injektors in Zusammenhang mit der Positionierung und Funktionsweise an der Knetmaschine.

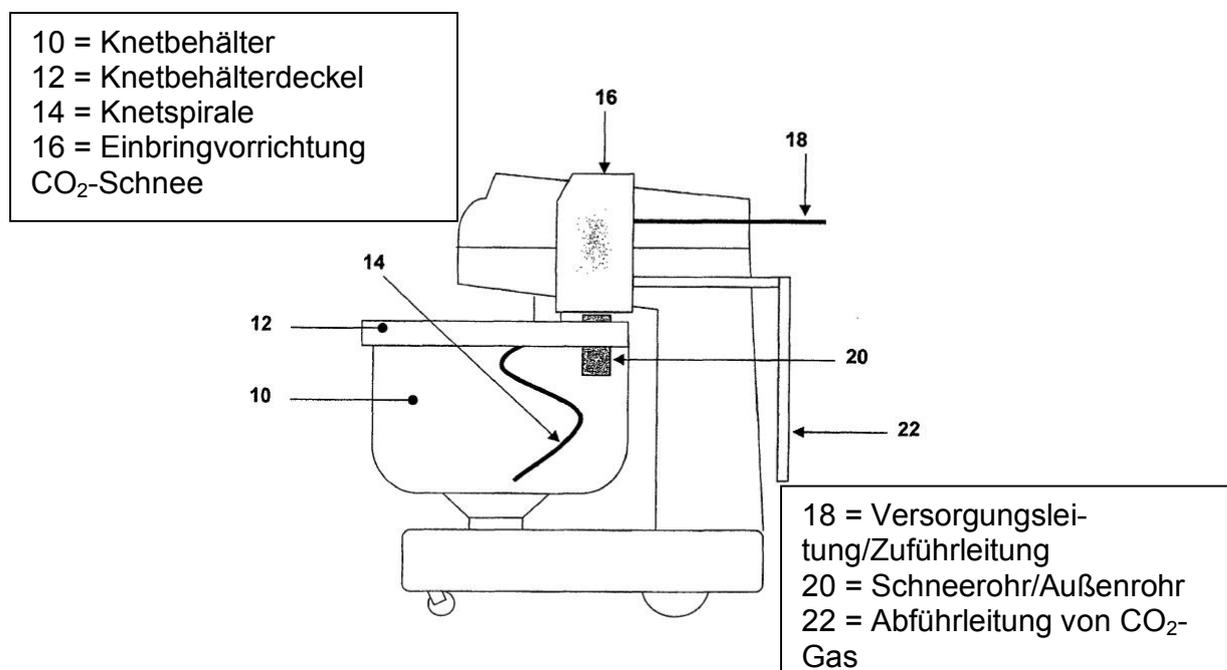


Abbildung 14: Gesamtaufbau mit Positionierung der Schneelanze auf der Knetmaschine [15]

Abbildung 14 zeigt den generellen Aufbau mit der Positionierung des CO₂-Schneeinjektors an der Knetmaschine. Das Schneerohr ragt dabei durch den Knetkes-

seldeckel in den Knetkessel und wird über eine Zuführleitung mit CO₂ versorgt. Das gasförmige, abzusaugende CO₂ wird über eine Abführleitung aus dem Knetkessel entfernt.

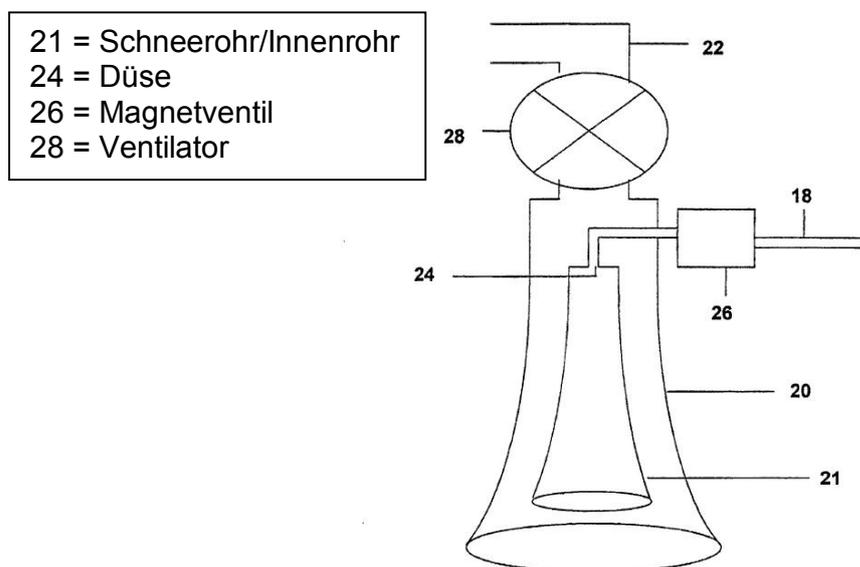


Abbildung 15: CO₂-Schneelanze Schema [15]

In **Abbildung 15** ist der Injektor in seinem prinzipiellen Aufbau zu sehen. Über das Innenrohr wird mittels eines Magnetschalters das flüssige CO₂ dosiert und über eine Düse in den Knetkessel entspannt. Dabei entstehen sowohl der CO₂-Schnee, sowie das CO₂-Gas, welches über das Außenrohr und einen Ventilator aus dem Kessel abgesaugt wird. **Abbildung 16** verdeutlicht hierbei das Prinzip, indem das Gas als schwarze Punkte und der Schnee als kleine weiße Eiskristalle schematisch dargestellt sind.

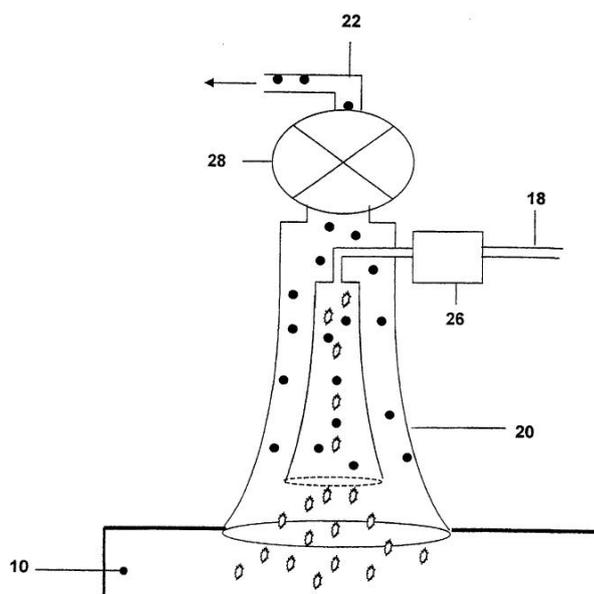


Abbildung 16: Eintrag des CO₂-Schnees mittels Injektor [15]

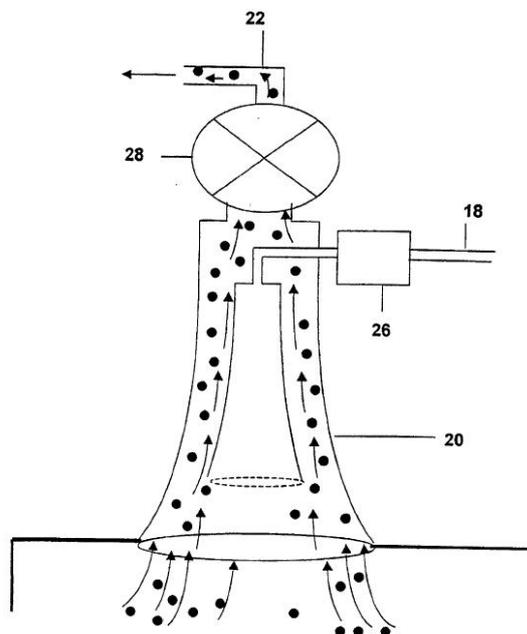


Abbildung 17: Absaugung gasförmiges CO₂ über Injektor [15]

Die Absaugung über das Außenrohr und den Ventilator kann in **Abbildung 17** ersehen werden.

19 = CO₂-Behälter

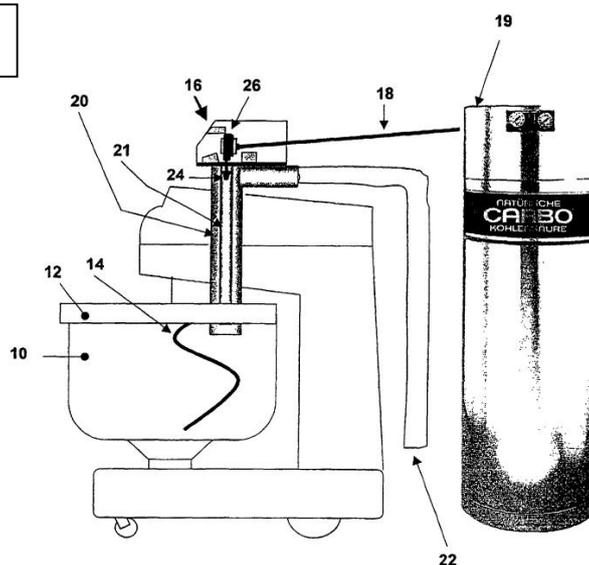


Abbildung 18: CO₂-Injektor auf Knetmaschine [15]

Abbildung 18 zeigt den Injektor in einer anderen Form. Hier, wie auch in **Abbildung 19** erkennbar ist die Steuerungseinheit. Über das Bedienfeld wird die angestrebte Soll-Temperatur im Knetkessel angegeben. Ein Temperatursensor am unteren Ende der Einheit gibt die Ist-Temperatur an die Steuereinheit weiter. Bei einem Überschreiten der Soll-Temperatur wird über die Steuereinheit das Magnetventil betätigt und CO₂ in den Knetkessel entspannt. Wird die Soll-Temperatur erreicht, schließt das Ventil und das unerwünschte CO₂-Gas wird mittels Ventilator aus dem Kessel abgesaugt.

30 = Schaltkasten
32 = Bedienfeld
34 = Temperatursensor

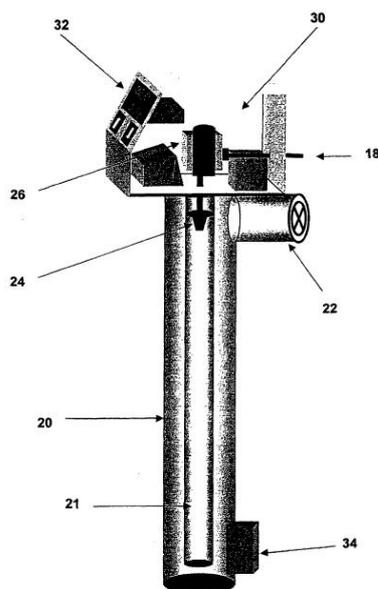


Abbildung 19: Zeichnung CO₂-Injektor [15]

In ein bestehendes System kann eine Teigkühlung über kryogene Gase nur bedingt eingebunden werden. Das System erlaubt allerdings eine hohe Automatisierung und eine nachträgliche Korrektur der Teigtemperatur im Knetkessel. Da CO₂ ein klima- und gesundheitsschädliches Gas darstellt, sind hier besondere Umwelt- und Sicherheitsauflagen zu erfüllen.

Tabelle 7 stellt die physikalisch/chemischen und qualitativen Eigenschaften der Kryogengaskühlung noch einmal übersichtlich dar:

Tabelle 7: Eigenschaften kryogener Gase (eigene Darstellung)

Temperatur [°C]	Wärme- kapazität [kJ/kgK]	Sublimations- enthalpie [kJ/Kg]	Qualitative Eigenschaften
ca. -78,5 °C bei CO ₂	0,8935 [kJ/kgK]	640 [kJ/kg]	<ul style="list-style-type: none"> - keine Anpassung der Knetzeiten notwendig - mögliche Verschlechterung der rheologischen Teigeigenschaften durch teilweisen Gefrierbrand - Hemmung der Gäraktivität durch Verdrängung von O₂ - Keine Anpassung der Rezeptur notwendig

-
- höhere Kühlwirkung, da Phasenumwandlungsenthalpie nutzbar
 - automatisch dosierbar
 - für wasserfreie Teige nutzbar
 - fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur während des Knetprozesses möglich
 - Nutzung zum Mehlaustrag möglich
 - mögliche Klimaschädlichkeit
 - mögliche Schädlichkeit für menschliche Gesundheit
 - spezielle Knetmaschinen notwendig
-

2.3.6 Gekühlte Knetmaschinen / Doppelmantelkühlung / Knetwerkzeugkühlung

„Bei der Doppelmantelkühlung wird die Kesselwand der Knetmaschine durch eine Kühlflüssigkeit temperiert. Dies ermöglicht eine Korrektur der Teigtemperatur während des Knetprozesses und eine günstige Temperaturbedingung beim Knetbeginn. Hohe Investivkosten, schlechter Wärmeübergang und aufwendige Konstruktion [...]“ [6] finden sich bei der Doppelmantelkühlung. Möglich ist auch, dass nicht der Mantel der Maschine gekühlt wird, sondern das Knetwerkzeug. Dies ermöglicht eine kontinuierliche Steuerung der Teigtemperatur während des Knetprozesses, insbesondere auch dann, wenn bspw. keine Schüttflüssigkeit eingesetzt wird, wie bei der Hartkeksproduktion. Diese Systeme finden in der Regel Einsatz in der Backwarenindustrie, vor allem bei kontinuierlich arbeitenden Knetsystemen. Handwerkliche Bäckereibetriebe weisen in der Regel ein vielfältiges und flexibles Produktionsprogramm auf, wohingegen spezialisierte Industriebetriebe meist einige wenige Produkte herstellen. Während handwerkliche Bäckereien z. B. an einem Produktionstag neben Kleingebäck (Brötchen, Brezeln) und Feinbackwaren (Plunder, Blätterteig), bei denen niedrige Teigtemperaturen gewünscht sind, auch Brote (z. B. Roggenbrote oder Mischbrote) mit höheren Teigtemperaturen herstellen, wäre der Energieverbrauch durch ein wiederkehrendes aufwärmen und abkühlen der Teiggessel aus energiewirtschaftlicher Sicht bedenklich. Bei Industriebetrieben die sich auf wenige oder auch nur einzelne Produkte spezialisiert haben, sind Prozessparameter für eine rationelle, maschinelle Weiterverarbeitung einzuhalten. Ein kontinuierliches Knetsystem mit Kühlung, wahlweise natürlich auch mit Wärmezufuhr falls notwendig, trägt durch Computerunterstützung und voreingestellte Sollwerte dazu bei. Daneben findet man im handwerklichen Bereich auch technische Hürden, die sich nicht einfach beseitigen lassen: In der Regel sind die Knetmaschinen so konstruiert, dass sich das Knetwerkzeug im Kessel

bewegt und der Kessel eine Drehbewegung ausführt, um eine optimale Vermischung zu gewährleisten. Sich bewegende Bauteile mit einem Kühlmedium zu beaufschlagen ist mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Gekühlte Knetmaschinen (Doppelmantel oder gekühltes Knetwerkzeug) sind daher auch mit hohen Anschaffungskosten verbunden. Es gilt weiterhin zu bedenken, dass der Wärmeübergang als nicht ideal anzusehen ist, da keine direkte Teigkühlung möglich ist, sondern lediglich eine Kühlung über die Kesselwand oder das Knetwerkzeug erfolgen kann. Die Kühlung wird daher nur an den Oberflächen des Werkzeugs oder des Kessels vollzogen. Als Kühlmedium kommt in der Regel Eiswasser oder ein Glykolegemisch zum Einsatz, welches im Doppelmantel zirkuliert.

Tabelle 8 stellt die physikalisch/chemischen und qualitativen Eigenschaften von doppel-mantelgekühlter Knetmaschinen noch einmal übersichtlich dar:

Tabelle 8: Eigenschaften doppelmantelgekühlter Knetmaschinen (eigene Darstellung)

Temperatur [°C]	Wärmekapazität [kJ/Kg*K]	Phasenum- wandlungs- enthalpie [kJ/Kg]	Qualitative Eigenschaften
Unterschiedlich, je nach Kühl- medium, Durch- flussmenge etc.	Unterschiedlich, keine direkte Nutzbarkeit, da lediglich Wär- meübergang am Knetma- schinenkessel	Unterschiedlich, je nach System kann bei Direkt- verdampfung die Phasenum- wandlung ge- nutzt werden	<ul style="list-style-type: none"> - keine Anpassung der Knetzeiten notwendig - automatisch steuerbar - für wasserfreie Teige nutzbar - fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur während des Knetprozesses möglich - spezielle Knetmaschinen notwendig - Industrieller Maßstab

3 Methodik und Vorgehensweise

3.1 Allgemein

Um hinsichtlich des Einsatzes und der Eignung verschiedener Teigkühlsysteme in der Bäckereibranche Informationen zu erhalten, wurde eine Marktuntersuchung durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurde eine Kombination aus qualitativer und quantitativer Forschungsmethodik gewählt. Zum einen soll damit gewährleistet werden einen Überblick über die Branche zu erhalten, Zum anderen sollen aber auch tiefere Einblicke in die praktische Handhabung der verschiedenen Systeme ermöglicht werden.

Der aktuellen Forschungsstand, bzw. die am Markt verfügbare Technik zur Teigkühlung wurde über eine intensive Literaturstudie ermittelt, deren Ergebnisse in **Kapitel 2** erfasst wurden. Um die Ergebnisse daraus zu festigen und weitere Informationen zu generieren werden Experteninterviews mit Bäckern, Bäckermeistern, Betriebsleitern- oder Inhabern und Produktionsleitern in Bäckereibetrieben geführt. Die Auswahl der Experten erfolgte zufällig unter Zuhilfenahme sozialer Netzwerke, Informationen der Bundesfachschulen des Bäckerhandwerks, der Bundesakademie deutsches Bäckerhandwerk in Weinheim, sowie auf Empfehlung von Herstellern der Teigkühlsysteme. In diesem Zusammenhang sollen Kenntnisse abgeleitet werden, die nur aus einer praktischen Tätigkeit und dem Umgang mit den einzelnen Systemen gewonnen werden können. Daraus lassen sich erste mögliche Markthemmnisse oder Chancen bestimmen, die die einzelnen Teigkühlsysteme mit sich bringen. Weiterhin werden dadurch Erkenntnisse aus dem Literaturstudium ergänzt und so mögliche Fragestellungen für die Fragebögen abgeleitet. Ziel der Zielgruppenbefragung mittels Fragebögen war es, einen Branchenüberblick und allgemeine Informationen zum Einsatz von Teigkühlsystemen und mögliche Marktchancen und -risiken zu erhalten.

3.2 Untersuchung und Befragung

Zunächst wurden Mitarbeiter aus Bäckereibetrieben befragt. Für die Befragung haben sich Herr Felix Remmele von der Bäckerei Luckscheiter in Ludwigsburg am 11.12.2017, siehe dazu **Anhang A** und Herr Lutz Leuchtges von der Bäckerei Müller und Egerer in Rastede am 14.12.2017, siehe **Anhang B**, bereiterklärt. Die Ergebnisse der Befragung stellen dabei die subjektiven Erfahrungen der Befragten dar und geben zugleich einen Einblick in die praktische Erfahrung mit den verschiedenen Systemen. Die Expertenbefragung wurde dabei jeweils als leitfragengestütztes Interview durchgeführt, woraus Informationen für die Erstellung des Fragebogens abgeleitet werden können. Das jeweilige Interview wird sinngemäß wiedergegeben. Anhand **Abbildung 20** lässt sich das Experteninterview mittels Zuordnung zu Kommunikationsform und Kommunikationsart einordnen.

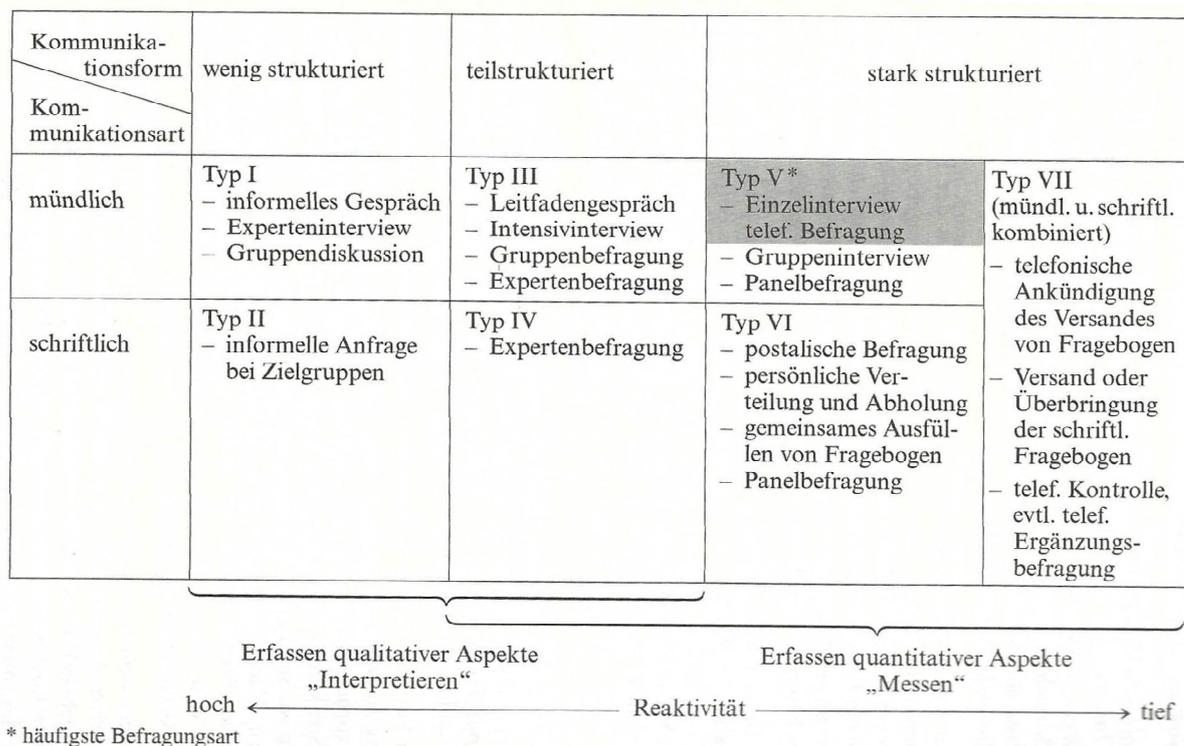


Abbildung 20: Typen der Befragung [23]

Es handelt sich dabei um eine mündliche, teilstrukturierte Form der Befragung (Typ III). Der Vorteil dieser Art der Befragung ist, dass die Abfolge der vorbereiteten und vorformulierten Fragen offen ist, es besteht also die Möglichkeit, Fragen innerhalb des Gesprächs aufzunehmen, oder weitere Fragen die von gegebenen Antworten ausgehen zu verfolgen [23]. Einer stark strukturierten Befragung (Typ VII), egal ob schriftlich oder mündlich, sollte vorher immer eine wenig oder teilstrukturierte Befragung vorausgehen. Da hiernach ein Fragebogen erstellt wird, der zu den stark strukturieren Befragungsarten zählt bietet sich dieses Vorgehen an, weiterhin ist exaktes und sorgfältiges Vorgehen bei der Erstellung des Fragebogens erforderlich. Die Spielräume des Interviewers sind durch die starke Strukturierung entsprechend stark eingeschränkt. Fehler, die z. B. durch Verständnisprobleme auftreten können, können daher nicht mehr angesprochen oder beseitigt werden. Dies kann, wenn ein Fragebogen z. B. auf ein Leitfadengespräch aufgebaut wird, vermieden werden, indem vorher bereits Unklarheiten aus dem Weg geräumt werden können.

Auf das leitfragengestützte Experteninterview aufbauend wurde der Fragebogen erstellt, welcher über eine Onlineumfrage den Teilnehmern zugänglich gemacht wurde. Diese stark strukturierte, schriftliche Form der Befragung wurde gewählt, um quantitative Daten zu erhalten, die um qualitative Aussagen ergänzt werden können. Im Fragebogen wurden dazu geschlossene Fragen mit offenen Fragestellungen kombiniert. Vorteil dieser Art der Befragung ist, dass in kurzer Zeit eine relativ große Anzahl an Personen der Zielgruppe befragt werden können und der Aufwand für Interviewer und Befragten relativ gering ist. Dies wiederum kann in einer höheren Bereitschaft der Teilnahme an der Be-

fragung resultieren. Nachteilig ist, dass keine Kontrolle durch den Interviewer vorgenommen werden kann, es ist also möglich, dass die Antworten von Dritten beeinflusst werden könnten. Wie oben bereits erwähnt, müssen die Fragen auch eindeutig in Ihrer Verständlichkeit und in den Antwortmöglichkeiten definiert werden, um von vorneherein ausschließen zu können, dass Fragen wegen Unverständlichkeit nicht, nur zum Teil oder falsch beantwortet werden können. Da einfach formulierte Fragen zu beantworten sind, eignet sich die schriftliche Befragung hier in besonderem Maße. [23]

Der Fragebogen ist in drei Abschnitte gegliedert worden:

- Im ersten Abschnitt sind zum Einstieg in die Thematik Fragen zu beantworten die sich mit dem Bäckereibetrieb an sich und der Tätigkeit des Befragten auseinandersetzen. So sind beispielsweise Fragen zur Position des Befragten innerhalb des Betriebes, des Jahresumsatzes und des Energieverbrauchs gestellt worden. Ziel dieser Fragen ist es, ein Bild über die verschiedenen Betriebe zu bekommen und eine spätere Einteilung möglich zu machen, z. B. in handwerkliche Kleinbetriebe oder Industriebetriebe.
- Der zweite Abschnitt beschäftigt sich mit Teigkühlsystemen, also welche Systeme jeweils im Einsatz sind, wo Vor- und Nachteile zu sehen sind und welche Chancen und Risiken sich dadurch abzeichnen. Hintergrund ist, dass mit den Antworten dieses Fragenblocks die Informationen aus **Kapitel 2.3** ergänzt, bestätigt oder widerlegt werden können.
- Der letzte Abschnitt des Fragebogens soll darüber Auskunft geben, wie der Befragte die Branche in der er tätig ist einschätzt. So können mögliche Handlungsalternativen abgeleitet und prognostiziert werden.

Der genaue Aufbau des Fragebogens mit allen Fragestellungen ist **Anhang E** zu entnehmen.

Die Onlineumfrage wurde in der Zeit vom 15.04.2018 – 21.04.2018 durchgeführt und über das soziale Netzwerk Facebook sowie über die Bundesfachschulen, die Akademie des deutschen Bäckerhandwerks in Weinheim sowie über die Berufsvertretungen des Bäckerhandwerks, wie z. B. die Bäckerinnung oder den Zentralverband des deutschen Bäckerhandwerks, verteilt. Dadurch wird gewährleistet, dass die Zielgruppe definiert ist und eine hohe Anzahl an Teilnehmern innerhalb der Zielgruppe angesprochen werden kann.

3.3 Ermittlung von Markthemmnissen

Welche Hemmnisse am Markt bei den einzelnen Teigkühlsystemen auftreten, lässt sich sowohl aus den Einzelbefragungen bzw. den Experteninterviews wie auch aus den Informationen der Fragebögen ableiten. Da sich Fragen in den Fragebögen damit auseinandersetzen warum ein bestimmtes System bevorzugt oder vermieden wird, kann da-

durch ein direkter Bezug hergestellt werden, denn die Marktteilnehmer bzw. mögliche Kunden äußern sich direkt.

Darüber hinaus lassen sich Kenntnisse aus der Literaturrecherche ableiten. Insbesondere wenn die Qualität der Backwaren einen zu großen negativen Einfluss durch den Einsatz bestimmter Teigkühlsysteme erwarten lässt, werden diese in der Regel wenig oder gar nicht eingesetzt.

Auch die Tatsache, dass z. B. hohe Anschaffungskosten oder aber höhere laufende Kosten zu erwarten sind, kann dazu beitragen, dass Systeme nicht oder kaum nachgefragt werden. Erklärt werden kann dies anhand der Kapitalwertmethode, **Formel (3.1)**:

$$C_0 = -A + \sum_{t=0}^n (e_t - a_t) * \frac{1}{(1+i)^t} + R_n * \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3.1)$$

Mit:
C₀=Kapitalwert
A = Anfangsinvestition
e_t=Einzahlung in der Periode t
a_t=Auszahlung in der Periode t
i=Kalkulationszinssatz
R_n=Resterlös am Ende der Nutzungsdauer n

Stellt man zwei Investitionen gegenüber und ermittelt deren Kapitalwert, so ist grundsätzlich die Investition zu wählen, die nach einer bestimmten Laufzeit den höheren Kapitalwert erwirtschaftet. Davon ausgehend, dass zunächst die einzelnen Barwerte gleich bleiben, werden höhere Investitionssummen niedrigere Kapitalwerte erzeugen. Unterscheiden sich also zwei Investitionen lediglich in der Höhe der Investitionssumme, so wird der Investor sich für die Anlage entscheiden, die die niedrigere Investitionssumme und damit den höheren Kapitalwert aufweisen wird. Bleiben jedoch die Investitionsausgaben gleich, so wird der Investor jene Investition bevorzugen, die die niedrigeren laufenden Kosten, bzw. Ausgaben, aufweist. Der Kapitalwert wird dadurch höher.

3.4 Energetische Betrachtung der Systeme

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit hinsichtlich der Energiekosten einzelner Teigkühlsysteme werden mehrere Daten herangezogen. Zunächst muss zur Berechnung der Energiekosten eine Vereinheitlichung hinsichtlich des zu betrachtenden Teiges vorgenommen werden, da sich die physikalischen Eigenschaften je nach Zusammensetzung des Teiges, z. B. wegen des Anteils an Wasser, unterscheiden.

Mittels **Formel (3.2)** lässt sich die spezifische Wärmekapazität für den Fall einer gewünschten TA berechnen, in dem die einzelnen Komponenten gewichtet werden. Wobei

m jeweils für den Massenanteil steht und c für die spezifische Wärmekapazität. Die Indizierung 1 und 2 stehen dabei für die jeweiligen Komponenten.

$$\frac{m_1}{m_1 + m_2} * c_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} * c_2 \quad (3.2)$$

Mit den Daten aus **Tabelle 9** lassen sich nun für einen Teig mit einer TA 155 entsprechende Werte ermitteln.

Tabelle 9: Übersicht der physikalischen Kenndaten

Daten	Wert	Einheit
Spezifische Wärmekapazität Brötchenteig	2400	[J/kg*°C] [24]
Spezifische Wärmekapazität Mehl	1465	[J/kg*°C] [24]
Spezifische Wärmekapazität Wasser	4187	[J/kg*°C] [24]
Errechnete Wärmekapazität Brötchenteig bei einer von TA 155 mittels Formel (3.2):		
Spezifische Wärmekapazität Brötchenteig TA 155	2430	[J/kg*°C]
Spezifische Wärmekapazität Mehl	1,8-1,88	[kJ/kg*K] [25]
Spezifische Wärmekapazität Mehl	1,88	[kJ/kg*K] [25]
Errechnete Wärmekapazität Brötchenteig bei einer von TA 155 mittels Formel (3.2):		
Spezifische Wärmekapazität Brötchenteig TA 155	2,7	[kJ/kg*K]
Spezifische Wärmekapazität Mehl	1,5-1,9	[kJ/kg*K] [9]
Spezifische Wärmekapazität Teig	2,5-3,1	[kJ/kg*K] [9]
Errechnete Wärmekapazität Brötchenteig bei einer von TA 155 mittels Formel (3.2):		
Spezifische Wärmekapazität Brötchenteig TA 155	2,4-2,7	[kJ/kg*K]

Gemittelte spezifische Wärmekapazität Brötchenteig	2,3	[kJ/kg*K]
---	-----	-----------

Je nach Quelle unterscheiden sich die angegebenen Werte, aus diesem Grund wurden die spezifischen Wärmekapazitäten jeder Quelle arithmetisch gemittelt. Die gemittelte spezifische Wärmekapazität eines Brötchenteiges mit einer TA von 155 in Höhe von 2,3 kJ/kgK wurde für die weiteren Berechnungen angewendet.

Für die Berechnung der Energiekosten ist weiterhin die Kühllast zu ermitteln, darunter versteht man die einem Medium entzogene Wärme [18], in diesem Fall ist das Medium der Teig. Diese Kühllast setzt sich bei der Berechnung aus mehreren Wärmemengen zusammen, die die einzelnen Komponenten jeweils beitragen.

Zur Berechnung ist festzuhalten, dass der Teig jeweils aus den Komponenten Mehl, Wasser, Kühlmittel und Kneten besteht. Die jeweiligen Wärmeeinheiten sind entsprechend bezeichnet. Innerhalb des Systems Teig, darf sich die Wärmemenge nicht ändern, siehe dazu **Formel (3.3)**.

$$Q_{Mehl} + Q_{Wasser} + Q_{Kühl} + Q_{Knet} = 0 \quad (3.3)$$

Die Knet erwärmung während des Knetprozesses bildet **Formel (3.4)** ab, indem die eingebrachte Wärmemenge der Knet erwärmung über die Masse des Teiges, die spezifische Wärmekapazität des Teiges und die Temperaturerhöhung während des Knetprozesses abgebildet wird. Hierzu ist es allerdings notwendig die Knetzeit und das Knetsystem zu kennen um die entsprechende Temperaturerhöhung ableiten zu können.

$$Q_{Knet} = m_{Teig} * cp_{Teig} * \Delta T_{Knet erwärmung} \quad (3.4)$$

Um gemäß **Formel (3.3)** den statischen Zustand des Systems nicht zu gefährden, wird festgelegt, dass die Wärmemengen des Mehls, Wassers und des Kühlmittels (zuzüglich der Knet erwärmung) am Ende des Teigbereitungsprozesses gleich den Wärmemengen der jeweiligen Komponenten am Anfang des Knetprozesses sein müssen; **Formel (3.5)** bildet diesen Zustand ab.

$$\begin{aligned} & Q_{Mehl(End)} + Q_{Wasser(End)} + Q_{Kühl(End)} + Q_{(Knet)} \\ & = Q_{Mehl(Anf.)} + Q_{Wasser(Anf.)} + Q_{Kühl(Anf.)} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Hinzukommt, dass die Wärmemenge die durch den Knetprozess eingebracht wird, vollständig von dem eingesetzten Kühlmittel kompensiert werden muss, dies wird mit **Formel (3.6)** entsprechend berücksichtigt.

$$Q_{Kühl(Anf.)} = Q_{Kühl(End)} + Q_{Knet} \quad (3.6)$$

Die notwendige Kühlwirkung kann, je nach eingesetztem Medium, aus mehreren Komponenten bestehen, wenn beispielsweise ein Schmelzprozess oder Sublimation berücksichtigt werden muss. Es sei der Phasenübergang Eis zu flüssigem Wasser oder die Sublimationsenergie kryogener Gase genannt. Diese Kühlwirkung der einzelnen Aggregatzustände des Kühlmediums wird über **Formel (3.7)** beschrieben.

$$Q_{Kühl(End)} = Q_{Kühl(T < 0)} + Q_{Kühl(Schmelz / Sub)} + Q_{Kühl(T > 0)} \quad (3.7)$$

Schlussendlich ergibt sich somit für das gesamte System Teig eine Summe aus Wärmemengen, die im System über den Zeitraum der Teigbereitung konstant bleiben müssen (s. **Formel (3.8)**).

$$\begin{aligned} Q_{Mehl(End)} + Q_{Wasser(End)} + Q_{Kühl(T < 0)} + Q_{Kühl(Schmelz)} \\ + Q_{Kühl(T > 0)} + Q_{Knet} = Q_{Mehl(Anf.)} + Q_{Wasser(Anf.)} \\ + Q_{Kühl(T < 0)} + Q_{Kühl(Schmelz / Sub)} + Q_{Kühl(T > 0)} + Q_{Knet} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Innerhalb des Systems müssen die Massen von Mehl und Wasser konstant bleiben. Lediglich bei Wasser gibt es darüber hinaus die Möglichkeit, dass sich dieses aus der Menge flüssigen Wassers, bzw. Wassers als Schüttflüssigkeit, sowie des Kühlmediums zusammensetzt, wenn dieses aus Wasser besteht. Beispielsweise sei hier Eiswasser oder die Eis-Wasser-Suspension bei Eis-Slurries bzw. Eisbrei genannt. Es wird die Annahme getroffen, dass die Temperatur der Schüttflüssigkeit konstant bleibt, die des Kühlmediums allerdings nicht. Die Masse des Kühlmediums muss allerdings innerhalb des Systems konstant bleiben.

Annahmen:

$m = konst.$

→ Mehl geht mit Temperatur x ein (=konst.) und Masse m_{Mehl} ein (=konst.)

→ Wasser geht mit Temperatur y ein (=konst.) und Masse m_{Wasser} ein (=konst.), wobei

$$m_{Wasser} = m_{Wasser(Schüttflüssigkeit)} + m_{Kühl}$$

→ Kühlmedium geht mit Temperatur z ein (=nicht konst.) und Masse $m_{Kühl}$ ein (=konst.)

Für die Energiekostenermittlung (s. **Anhang F**) gelten folgende Erläuterungen: Zunächst wurde die Temperatur des Mehles in Schritten zu 1°C von 14-35°C aufgetragen um bei

einer gewünschten Teigtemperatur von z. B. 21°C bis 26°C die zugehörige Schüttwassertemperatur mittels **Formel (2.1)** ableiten zu können.

Die Berechnung erfolgte unter der Prämisse einer intensiven Knetung mittels Spiral-knetmaschine, die Daten für die Temperaturerhöhung des Knetprozesses wurden **Tabelle 1** entnommen. Die Mehltemperatur entspricht dabei der möglichen Lagertemperatur im Jahresgang. Wird nun eine Unterschreitung der Schüttwassertemperatur von 20°C ermittelt, ist davon auszugehen, dass eine Kühlung notwendig ist. Zwar kann die Temperatur des Leitungswassers zwischen 14 bis 18°C im Sommer betragen (s. dazu **Kapitel 2.1**), allerdings ist dies von baulichen Gegebenheiten abhängig und kann nicht als allgemeingültig angesehen werden. Eine Referenztemperatur von 20°C wurde daher festgelegt. Mit den ermittelten Daten kann nun die Wärmemenge Q in [kJ] ermittelt werden, die pro kg Teig abgeführt werden muss, hierbei sind die o. g. Formeln in Anwendung zu bringen.

Stellvertretend für die einzelnen Kühlsysteme wurden Maschinendaten einiger Hersteller übernommen, bzw. ermittelt, um daraus die Kühlleistung der einzelnen Teigkühlsysteme, bzw. deren Kühlmedien ableiten zu können. Damit kann nun errechnet werden, welche Menge eines Kühlmediums eingesetzt werden muss, um 1 kg eines Brötchenteiges mit einer TA 155 abzukühlen. Mit der nun bekannten notwendigen Menge des Kühlmediums und der Produktionsleistung des Kühlmediums pro Stunde des jeweiligen Kühlsystems, sowie deren Kälteleistung und der elektrischen Leistung, können nun die Kosten für den aufgewendeten elektrischen Strom ermittelt werden. Unberücksichtigt bleiben zunächst die Kosten für das Wasser des Kühlmediums und das Salz das zur Gefrierpunktserniedrigung benötigt wird, da diese als Schüttflüssigkeit und Zutat ohnehin dem Teig zugeführt werden müssen. Es unterscheidet sich dabei lediglich der Zeitpunkt der Zugabe, entweder direkt zum Teig oder indirekt über das Kühlmedium.

Zwei Sonderfälle sind in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen. Beim Einsatz kryogenen Gases das direkt in den Knetkessel entspannt wird, hier CO_2 , wird die Menge an Gas zur Kühlung benötigt, da die Sublimationsenergie zur direkten Kühlung verwendet wird.

Für die Berechnung der Doppelmantelkühlung ergibt sich die Schwierigkeit, dass diese Anlagen im Regelfall für eine kontinuierliche Produktion hergestellt werden und kundenindividuell angefertigt werden. Dadurch lassen sich schwerlich allgemeingültige Informationen ableiten. Da keine Informationen z. B. für die Fläche des inneren Mantels vorliegen, sowie die Durchflussmenge des jeweiligen Kühlmediums nicht bekannt ist, lässt sich keine genaue Berechnung anstellen. Anfragen bei den Herstellern dieser Systeme nach entsprechenden Daten waren erfolglos mit dem Hinweis auf die kundenindividuelle Nutzung und Herstellung der Anlagen. Leider bleibt auch der erfolgversprechende Hinweis mit Anlagennutzern darüber zu sprechen und technische Daten abzuklären ohne weitere Erkenntnisse, da die Bäckereien keine Daten zur Verfügung stellen wollten. Auf die weitere Berechnung für doppelmantelgekühlte Knetmaschinen bzw. kontinuierlich arbeitende Knetmaschinen wurde daher verzichtet.

Für andere Systeme, bei denen keine Anlagendaten vorlagen wurden ebenfalls entsprechende Annahmen unter Berücksichtigung des Standes der Technik getroffen. So ist zum Beispiel nicht immer bekannt, welche Arbeitszahl eine bestimmte Kältemaschine hat, oder wie hoch die Salzkonzentration in den Systemen ist, da diese auch kundenindividuell festgelegt werden können.

4 Ergebnisse und Diskussion

Aufgrund der Tatsache, dass nur wenige Experten bereit waren an einem Interview teilzunehmen und über Ihre Erfahrungen hinsichtlich Teigkühlsystemen zu berichten konnten hier nur wenige Erkenntnisse gewonnen werden. Dieser Trend setzte sich bei der Onlineumfrage fort.

Die Bundesakademien und Bundesfachschulen des deutschen Bäckerhandwerks, sowie die Berufsvertretungen der Bäcker, wie z. B. die deutsche Bäckerinnung oder der Zentralverband des deutschen Bäckerhandwerks haben trotz anfänglicher Zusage eine Zusammenarbeit hinsichtlich der Umfrage abgelehnt. Die damit ursprünglich anvisierte Zielgruppengröße von mehreren zehntausend möglichen Teilnehmern hat sich damit auf einige tausend Teilnehmer reduziert. Zu den Hintergründen teilten die o. g. Organisationen mit, dass diese keine Präzedenzfälle schaffen wollten für etwaige folgende Anfragen und daraus möglicherweise entstehende Werbemaßnahmen. Weiterhin wurden nach der Veröffentlichung der Umfrage Bedenken hinsichtlich der abgefragten Daten, z. B. des Jahresumsatzes, geäußert, weshalb die anfänglich zugesagte Unterstützung nicht verwirklicht wurde. Insgesamt wurden 1486 Antworten gegeben, von denen lediglich 15 vollständig waren, 1471 Antworten blieben unvollständig wodurch kein repräsentativer Schluss der Ergebnisse auf die gesamte Branche zulässig ist.

Aus den verwertbaren Antworten können folgende Informationen generiert werden: An der Onlineumfrage haben überwiegend Betriebsinhaber bzw. Eigentümer oder Geschäftsführer teilgenommen. **Abbildung 21** zeigt die Verteilung der einzelnen Umfrageteilnehmer nach Ihrer Position innerhalb des Unternehmens.

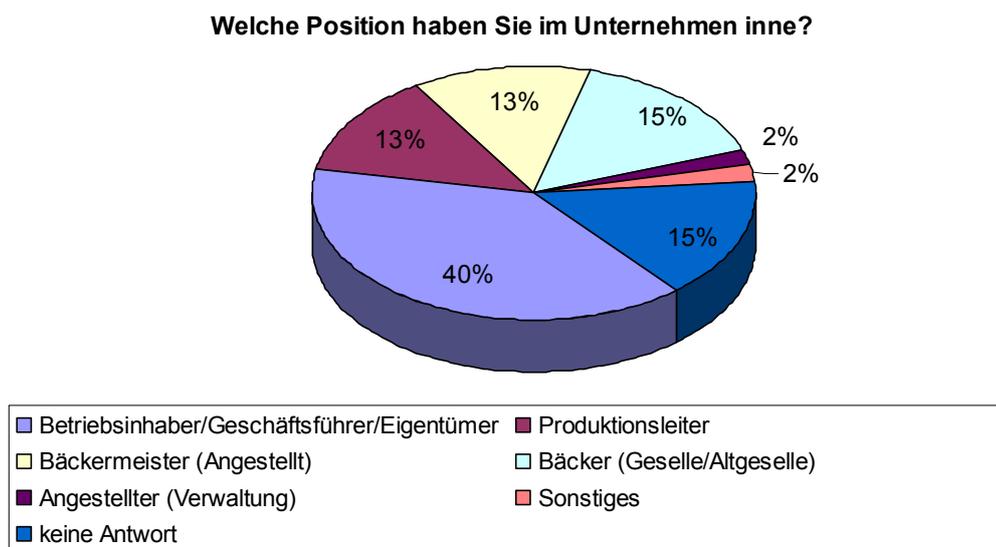


Abbildung 21: Position der Umfrageteilnehmer innerhalb des Unternehmens (eigene Darstellung)

Die Teilnehmer waren dabei überwiegend in Betrieben beschäftigt, die einen Jahresumsatz zwischen 500.000,00 € - 5 Millionen € erwirtschafteten. Damit konnten vornehmlich mittelständische Betriebe betrachtet werden. Mehr als ein Viertel der Befragten waren in

Kleinbetrieben beschäftigt und nur eine geringe Anzahl an Teilnehmern stammte aus Betrieben die Umsätze jenseits der 5 Millionen € Grenze erwirtschaften und somit als Großbetriebe anzusehen sind (s. **Abbildung 22**).

Wie hoch ist der Jahresumsatz des Betriebes in dem Sie beschäftigt sind?

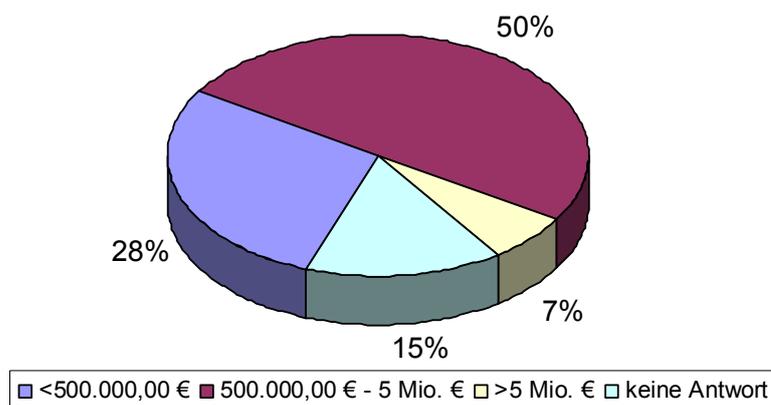


Abbildung 22: Jahresumsätze der betrachteten Betriebe (eigene Darstellung)

Dies bestätigt sich auch anhand der Mitarbeiterzahlen: Über 75 % der Teilnehmer gaben an, dass weniger als 200 Mitarbeiter in ihrem Betrieb beschäftigt sind. Der größte Anteil war dabei den mittelständischen Betrieben zuzuordnen, **Abbildung 23** zeigt diesen Zusammenhang. Im Mittel waren dabei ca. 23 % der Angestellten an 6 Tagen pro Woche in 1,44 Schichten pro Tag mit der Herstellung und Produktion von Backwaren betraut.

Wie viele Mitarbeiter werden in Ihrem Betrieb beschäftigt?

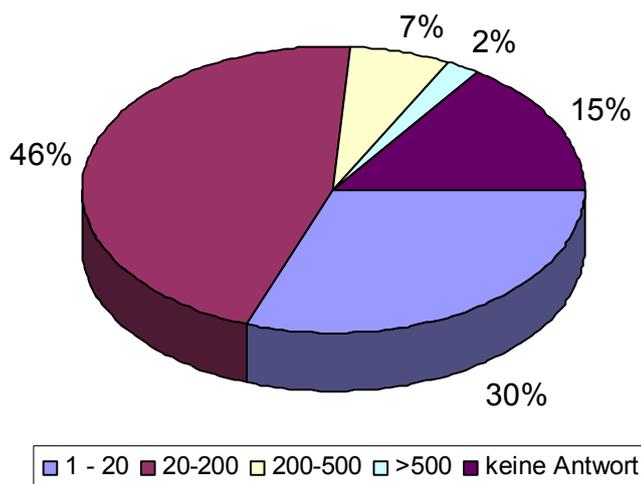


Abbildung 23: Anzahl der Mitarbeiter in den betrachteten Betrieben (eigene Darstellung)

Auch die Anzahl der Verkaufsstellen und Produktionsstandorte (s. **Abbildung 24**) zeigt an, dass es überwiegend klein- und mittelständische Betriebe sind, die an der Befragung

teilnahmen. Der überwiegende Anteil der Befragten gab an, dass Ihr Betrieb über weniger als 10 Verkaufsstätten und/oder zwischen 1-5 Produktionsstandorte verfügt.

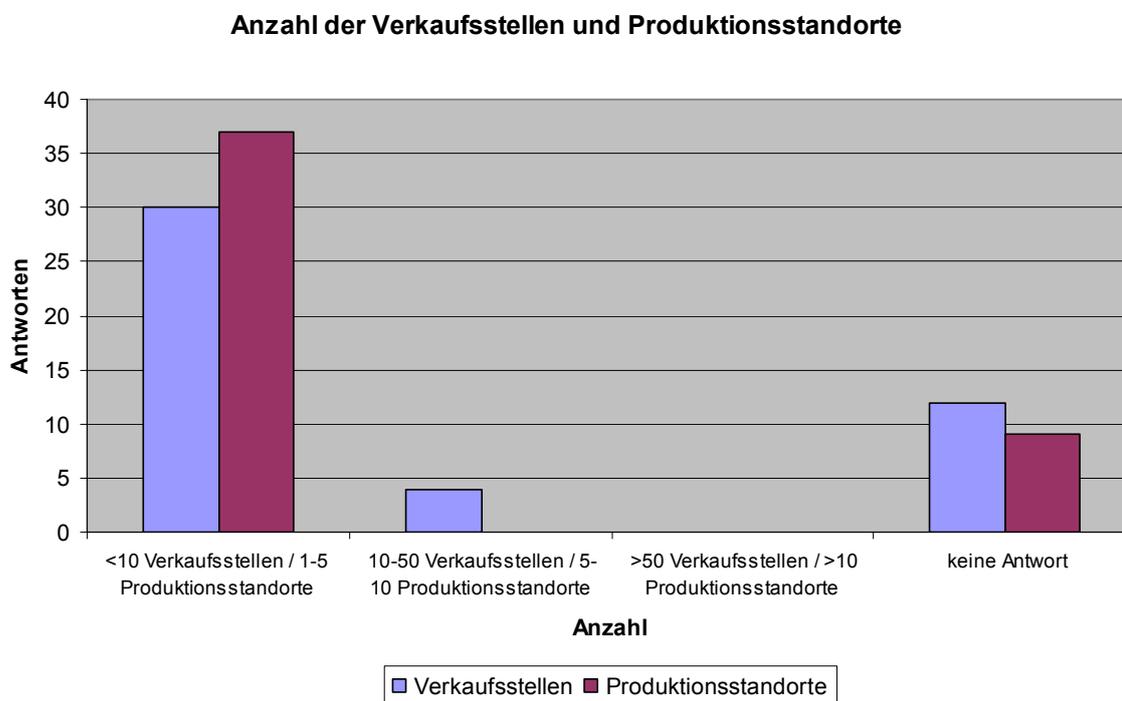


Abbildung 24: Anzahl der Verkaufsstellen und Produktionsstandorte (eigene Darstellung)

Betriebe mit mehr als 50 Verkaufsstellen oder mehr als 10 Produktionsstandorten nahmen nicht an der Befragung teil.

Bei der Frage zum Mehlerverbrauch und den produzierten Backwaren mussten die Ergebnisse kritisch hinterfragt werden. So wurde z. B. bei einer Bäckerei mit vergleichsweise niedrigem Jahresumsatz ein Mehlerverbrauch von 50.000 t/a angegeben. Es ist unter Umständen möglich, dass der Antwortengeber hier Tonnen mit Kilogramm verwechselt hat, denn dieser hohe Mehlerverbrauch, auch im Vergleich zu den übrigen gegebenen Antworten, ist nicht plausibel. Bereinigt man die Antworten um diesen Wert so ergibt sich ein durchschnittlicher Mehlerverbrauch von 48,56 t/a. Bei der Menge an produzierten Backwaren sind auch hier kritisch zu hinterfragende Daten angegeben worden. So wurde teilweise bei einem Jahresverbrauch an Mehl mit 15 oder 30 Tonnen eine Menge an Backwaren in Höhe von 250 – 450 Tonnen produziert. Dies ist technisch unmöglich und daher wenig plausibel. Ein Vergleich der übrigen Antworten zeigt, dass durchschnittlich mit einer bestimmten Menge Mehl in etwa die doppelte Menge an Backwaren produziert werden konnte. Es können also mit dem o. g. durchschnittlichen Mehlerverbrauch von 48,56 t/a in etwa 97,12 t/a an Backwaren produziert werden. In **Abbildung 25** zu sehen ist die Verteilung dieser Mengen nach den produzierten Backwaren.

Anteile an Backwaren

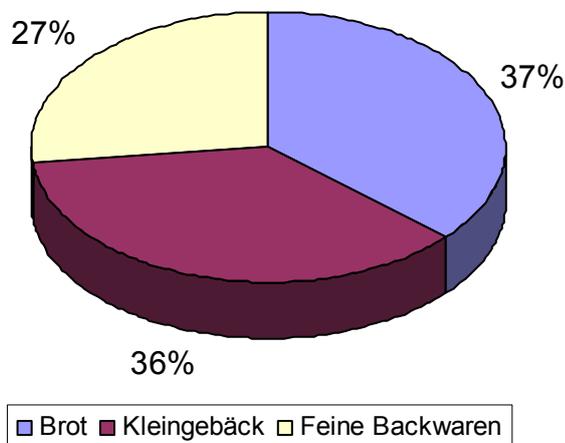


Abbildung 25: Anteile der produzierten Backwaren (eigene Darstellung)

Überwiegend wurde also Brot und Kleingebäck hergestellt, wobei sich die Anteile nur geringfügig unterscheiden. In wie weit diese Werte den in der Praxis vorherrschenden Anteilen entsprechen ist fraglich, da der Antwortenrücklauf sehr gering war.

Das zur Herstellung der Backwaren benötigte Mehl wird überwiegend mittels Silofahrzeugen angeliefert und in Silos gelagert (s. **Abbildung 26**). Einige Antwortgeber gaben an, dass sie sowohl Siloware wie Sackware beziehen. Eine mögliche Erklärung ist, dass z. B. Mehl, das in größeren Mengen verbraucht wird, in Silos gelagert wird und Spezialmehle für kleinere Chargen als Sackware geliefert werden. Da in Deutschland überwiegend Weizenmehl der Type 550 und Roggenmehl der Type 1150 ermahlen wird [26] ist dies plausibel. Die Durchschnittstemperatur des gelagerten Mehls beträgt dabei 16°C.

Bezug und Lagerung des Mehls

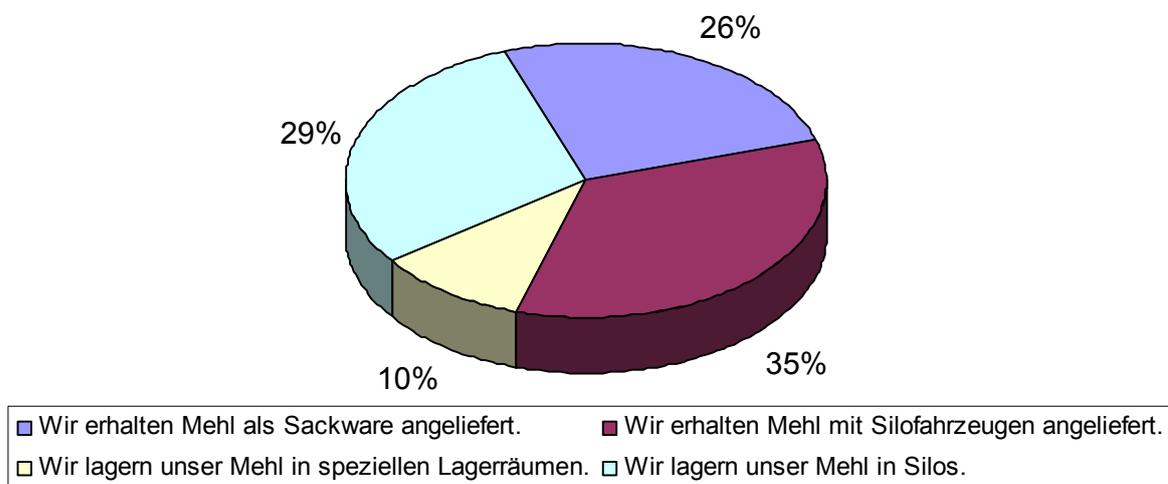


Abbildung 26: Bezug und Lagerung des Mehls (eigene Darstellung)

Zur Backwarenherstellung, kommen bei den befragten Betrieben verschiedene Knetssysteme zum Einsatz, dabei sind Spiralkneter bzw. Intensivkneter am häufigsten vertreten (s. **Abbildung 27**). Doppelkonuskneter, Wendelkneter und kontinuierliche Knetssysteme kamen bei den Befragten nicht zum Einsatz.

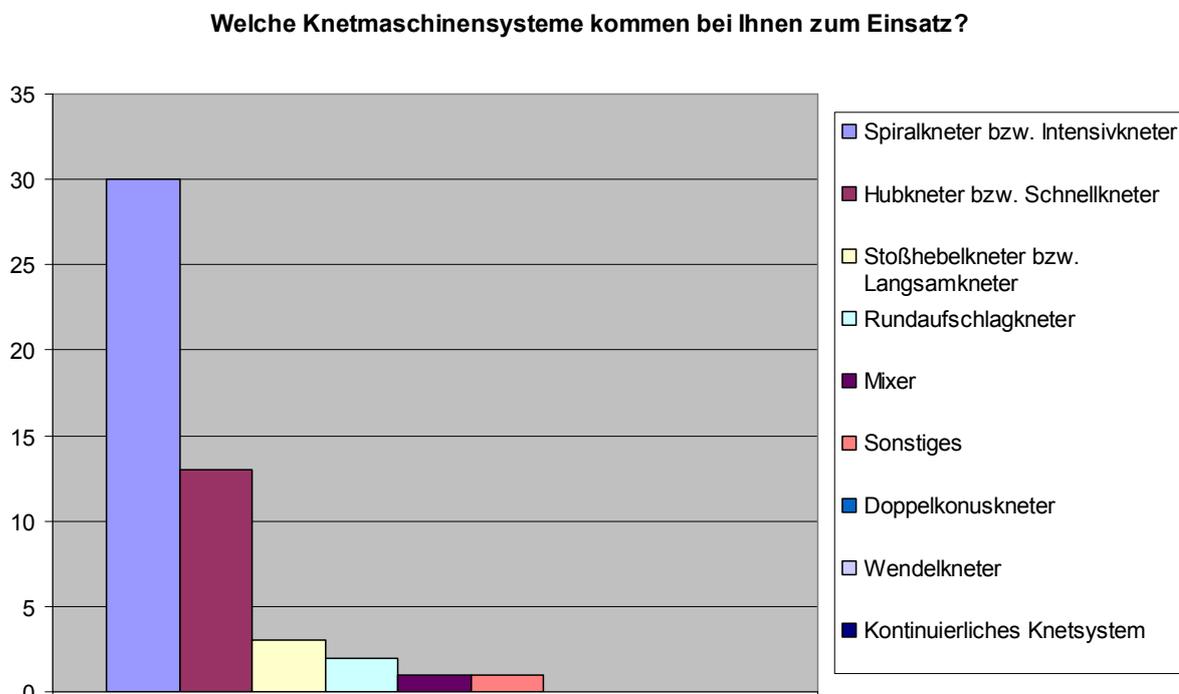


Abbildung 27: Einsatz der Knetmaschinensysteme (eigene Darstellung)

Der Großteil der Befragten (>80 %) gab an, bereits einmal von der optimalen Quelltemperatur gehört zu haben. Gleichzeitig gaben davon jedoch nur 52% an, diese auch zu messen. Die Teigtemperatur hingegen wird von ca. 87 % der Befragten regelmäßig gemessen. Die angestrebten Teigtemperaturen der verschiedenen Gebäcke sind nachfolgender **Abbildung 28** zu entnehmen.

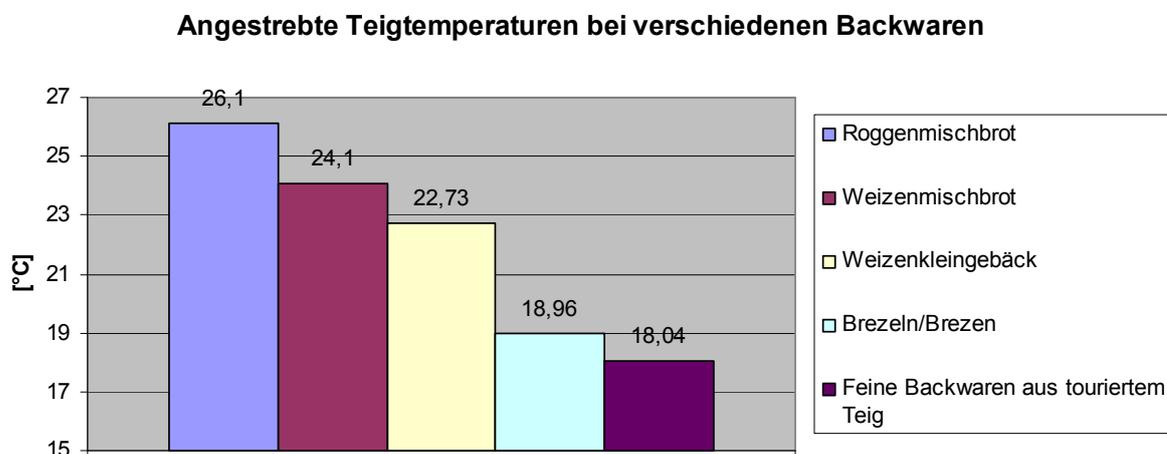


Abbildung 28: Angestrebte Teigtemperaturen bei verschiedenen Backwaren (eigene Darstellung)

Der durchschnittliche Energieaufwand für Strom in den Bäckereien wurde nach eigenen Angaben mit ca. 90.000 kWh/a beziffert. Davon entfallen knapp 42 % auf die Kältetechnik. 64,5 % der Befragten arbeiten dabei mit Gärverzögerung, 80,6 % mit Gärunterbrechung und 54,8 % produzierten Tiefkühlbackwaren, wobei Mehrfachnennungen möglich waren.

Um diese Temperaturen bei gleichzeitig intensiver Knetung zu erreichen wurden die Teilnehmer zu den Teigkühlsystemen befragt. Die bekanntesten Teigkühlsysteme waren demnach Scherbeneis und Eiswasser (s. **Abbildung 29**).

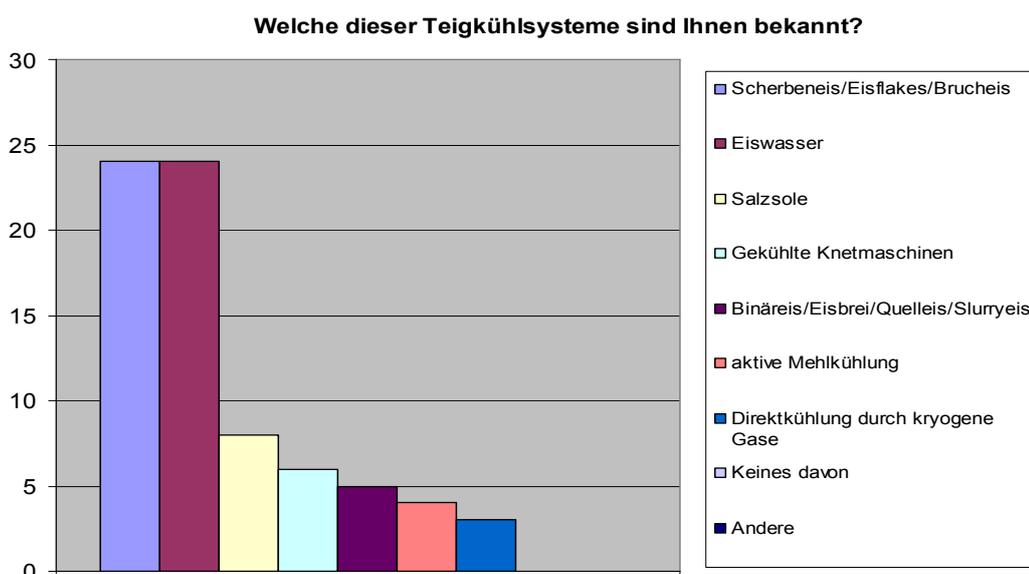


Abbildung 29: Bekanntheit der Teigkühlsysteme (eigene Darstellung)

In den Betrieben wurden auch überwiegend Scherbeneis und Eiswasser angewendet. Interessant in diesem Zusammenhang ist die Tatsache, dass im Regelfall immer eine Kombination aus Scherbeneis und Eiswasser vorliegt. In den wenigsten Fällen wurde Scherbeis oder Eiswasser allein eingesetzt. Einige Bäckereien benutzten darüber hinaus auch gar kein Teigkühlsystem (s. **Abbildung 30**). Zusammenfassend ist somit in den Bäckereien also die Kombination aus Scherbeneis und Eiswasser am häufigsten vertreten.

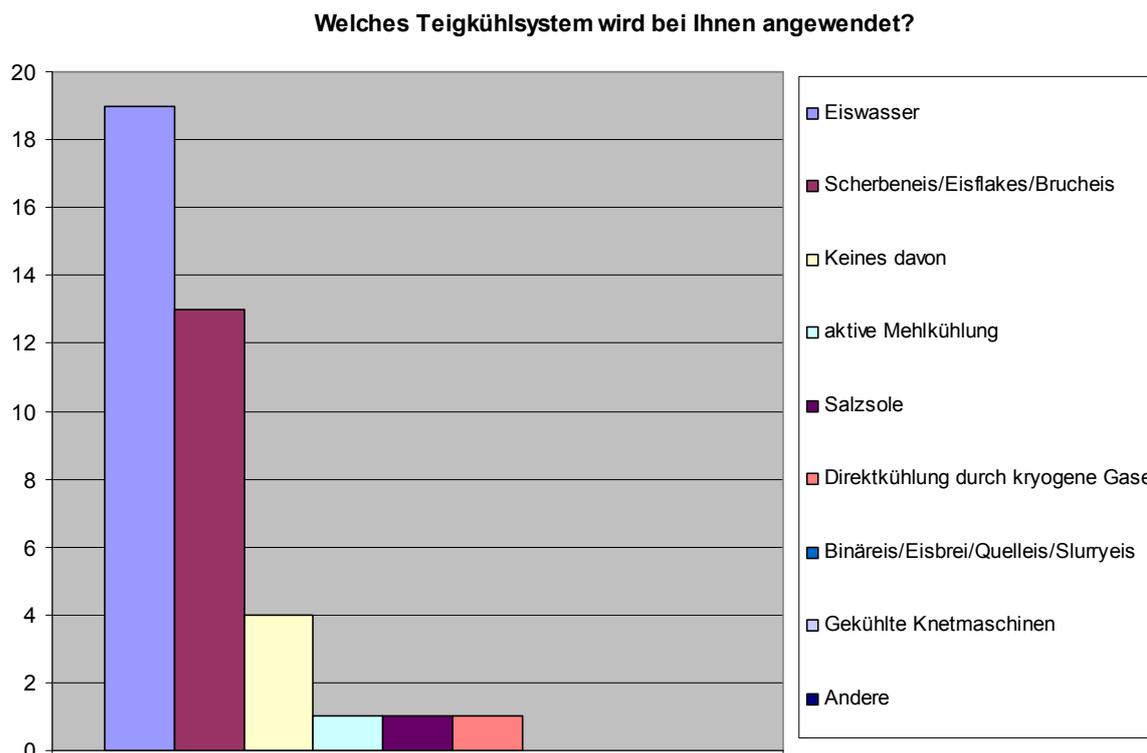


Abbildung 30: Anwendung der Teigkühlsysteme in den Bäckereien (eigene Darstellung)

Die Gründe die für den Einsatz des gewählten Teigkühlsystems sprechen sind mannigfaltig. Am häufigsten wurde angegeben, dass sich alle gewünschten Teigtemperaturen erreichen lassen, keine Anpassung der Knetzeit erforderlich ist, die Rezepturen nicht angepasst werden müssen, die Investitions- und laufenden Kosten niedrig sind, das System einfach anzuwenden ist und die Gärstabilität besser sei. Bei der Frage nach Gründen, die gegen den Einsatz des gegenwärtigen Systems sprechen wurde in allen Fällen angegeben, dass man sehr zufrieden sei und daher das System weiterhin nutzen wolle. Teilweise wurde darüber hinaus jedoch angemerkt, dass die Reinigung und Pflege Schwierigkeiten bereite, der Energieverbrauch zu hoch oder die automatische Dosierbarkeit nicht gegeben sei.

Im Durchschnitt waren die verwendeten Systeme bei den Teilnehmern 10 Jahre im Einsatz und liefen ca. 1153 Betriebsstunden/Jahr. Die Angaben zur Kälteleistung und elektrischen Leistung der Teigkühlsysteme konnten nicht verarbeitet werden, da zu wenige Angaben gemacht wurden. Es kann dadurch keine Aussage getroffen werden.

Auf die Frage, wenn ein neues Teigkühlsystem angeschafft werden würde und welches antworteten die meisten Teilnehmer keines davon zu wählen, oder wieder eine Kombination aus Scherbeneis und Eiswasser einzusetzen (s. **Abbildung 31**).

Auch hier wurden die Teilnehmer wieder nach den Gründen gefragt, die für den Einsatz des von Ihnen gewählten Teigkühlsystems sprechen. Die Antworten ergaben in etwa das gleiche Bild wie bei der Frage nach den bereits eingesetzten Teigkühlsystemen. Ergänzt

wurden die Antworten lediglich hinsichtlich der besseren automatischen Dosierbarkeit, höheren Hygienestandards und der verbesserten Teig rheologie.

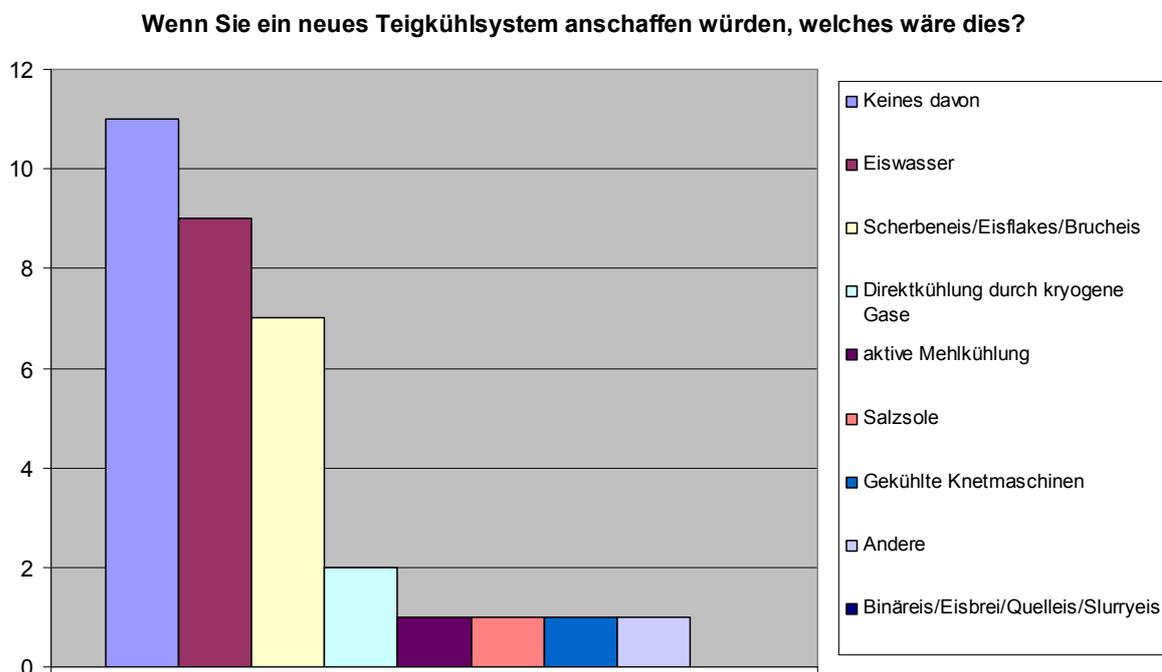


Abbildung 31: Betrachtung bei Anschaffung eines neuen Teigkühlsystems (eigene Darstellung)

Falls ein Teilnehmer ein bestimmtes System nicht gewählt hat, so wurde im Anschluss nach den entsprechenden Gründen gefragt. Die nachfolgenden Antworten geben entsprechend eine Auswahl wider:

Bei Scherbeneis:

- Eis muss vorproduziert und zwischengelagert werden, was sehr zeitintensiv ist
- Verschlechterte Kleberbildung
- Umständliche Handhabung, da manuell abgewogen werden muss
- Temperatursteuerung schwierig
- Hygieneproblematik
- Messung der Schüttwassertemperatur in Kombination mit Eis schwierig
- Mögliche Unterkühlung des Teiges bei nicht richtiger Handhabung

Bei Eiswasser:

- Bisweilen kann nicht genug kaltes Wasser erzeugt werden, wenn es benötigt wird

Bei Salzsole:

- Rezept muss umgestellt werden und die Berechnung der Salzzugabe erweist sich darüber hinaus als schwierig
- Erhöhter Salzverbrauch

Bei Binäreis/Eisbrei/Quelleis/Slurryeis antworteten alle Teilnehmer keinerlei Erfahrung mit dem System zu haben oder das System nicht zu kennen.

Bei direkter Kryogengaskühlung:

- Technisch zu aufwendig
- Zu hohe Investitions- und Betriebskosten
- Bedenken wegen der Gefährlichkeit des eingesetzten Gases hinsichtlich der Gesundheit

Bei gekühlten Knetmaschinen/Doppelmantelkühlung/Knetwerkzeugkühlung:

- allgemein zu aufwendig und teuer in der Anschaffung
- hoher Energieverbrauch und dadurch unwirtschaftlich

Bei Mehlkühlung:

- Mehl als schlechter Wärmeleiter benötigt zu viel Energie zur Kühlung
- Veränderung des Mehls in seinen Eigenschaften
- Hoher Aufwand
- Teuer

Abschließend wurden die Teilnehmer im letzten Fragenblock zu der Situation des Bäckerhandwerks in Deutschland allgemein befragt. Die Befragten gaben an, dass die Herstellung von Backwaren zu Lasten der handwerklichen Herstellung hin zu einer industriellen Großproduktion verlagert werden wird. In diesem Zusammenhang wird von den Teilnehmern angenommen, dass die Produktion zentraler gestaltet werden wird und der Verkauf der Backwaren dezentraler. Überwiegend wurde angegeben, dass sich die Qualität der Backwaren durch den Einsatz der entsprechenden Teigkühlsysteme beeinflussen lässt und dabei der richtigen Teigtemperatur ein hohes Maß beigemessen wird. Die Bedeutung der Quelltemperatur in diesem Zusammenhang sei zwar wichtig, allerdings nicht in dem Maße wie es bei der Teigtemperatur der Fall sei. Investitionen in Teigkühlsysteme sind wichtig und sinnvoll, die Kosten für die Kühlung der Teige wurden allgemein als nicht-unerheblich eingestuft. Inwieweit der Einsatz bestimmter Knetmaschinenteknik gleichzeitig den Einsatz spezieller Teigkühlsysteme beeinflusst, wurde von den Teilnehmern nicht mit einer eindeutigen Präferenz beantwortet. Die Befragten gaben

weiterhin an, dass sich Teigruhezeiten, Knetzeiten usw. nicht wesentlich verändern werden, also sich eine schnellere Herstellung von Backwaren nicht abzeichnen wird. Was die Verbrauchererwartungen anbelangt waren sich die Teilnehmer darüber einig, dass ein höherer Stellenwert auf die Qualität der Backwaren als auf den Preis gelegt werden sollte. Weiterhin gab zwar der überwiegende Teil der Befragten an, dass der Betrieb in dem sie beschäftigt sind gut für die Zukunft vorbereitet sei, allerdings macht sich ein großer Teil darüber Sorgen, ob deren Arbeitsplatz zukünftig noch sicher sei.

Aus der Energiekostenermittlung (s. **Anhang F**) lässt sich feststellen, dass je niedriger die gewünschte Teigtemperatur und je höher die vorherige Mehltemperatur ist umso höher der Aufwand der Kühlung werden muss. Allerdings zeigt sich, dass nicht alle Systeme die erforderlichen Kühlleistungen über das Kühlmedium erzeugen können. Bei niedrigen Teigtemperaturen ($<24^{\circ}\text{C}$) können die Systeme Salzsole, Eiswasser und Scherbeneis nicht die erforderliche Kälteleistung bei einer begrenzten Zugabemenge bereitstellen. Für die Salzsole und das Eiswasser ist dies nicht verwunderlich, da hier keine Phasenübergangsenthalpie nutzbar gemacht werden kann. Bei Scherbeneis liegt die Begrenzung in der Tatsache begründet, dass maximal 20 % Eis dem Teig zugegeben werden sollten, um die rheologischen Teigeigenschaften und die Ausbildung des Klebgerüsts nicht zu gefährden sowie lokalen Gefrierbrand zu vermeiden. Siehe dazu auch die Informationen aus **Kapitel 2.3.1**.

Die niedrigsten Energiekosten (s. **Abbildung 32**) in $\text{€}/\text{kg}_{\text{Teig}}$ verursacht dabei die Salzsole gefolgt von Eiswasser. Scherbeneis und Eisbrei bzw. Quelleis sind im mittleren Segment angesiedelt. Mit großem Abstand die höchsten Kosten für die Kühlung von Teig werden durch den Einsatz kryogenen Gases erzeugt. Ursächlich ist, dass das einzusetzende Gas verbraucht wird und somit nicht regenerierbar ist. Weiterhin sind die Bezugskosten für CO_2 als kryogenes Gas mit ca. $8\text{€}/\text{kg}_{\text{Gas}}$ relativ hoch (s. **Anhang F**).

Eine Betrachtung der CO_2 Emissionen der jeweiligen Systeme zeigt folgendes Bild (s. **Abbildung 34**): Das kostenintensive kryogene Gas CO_2 erzeugt auch die höchsten CO_2 Emissionen, obwohl die Menge des zu verwendenden CO_2 zur Erreichung einer definierten Kühlwirkung relativ gering ist. Bei den übrigen Systemen wird jeweils eine Kompressionskältemaschine zur Wärmeabfuhr eingesetzt, deren Antriebsenergie Strom ist. Die Emissionen sind hier relativ moderat. Der niedrigste Emittent, jener Systeme die mit einer Kompressionskältemaschine betrieben werden, ist Salzsole. Eiswasser und Eisbrei sind hier im mittleren Segment angesiedelt und unterscheiden sich nur unwesentlich voneinander. Scherbeneis verursacht davon im Vergleich die höchsten CO_2 -Emissionen mit steigendem ΔT in [K] von Schüttflüssigkeitstemperatur zu Leitungsbezug. Weit abgeschlagen davon bleibt aber nach wie vor die Direktkryogengaskühlung.

Der zunächst augenscheinlich lineare Verlauf der Geraden in der Grafik für die Kosten und den CO_2 -Ausstoß rührt daher, dass wenn die berechnete Schüttwassertemperatur über 20°C liegt lediglich die Knetwärmung zu kompensieren ist. Die Temperatur des Leitungswassers wurde im Vorfeld auf 20°C festgelegt.

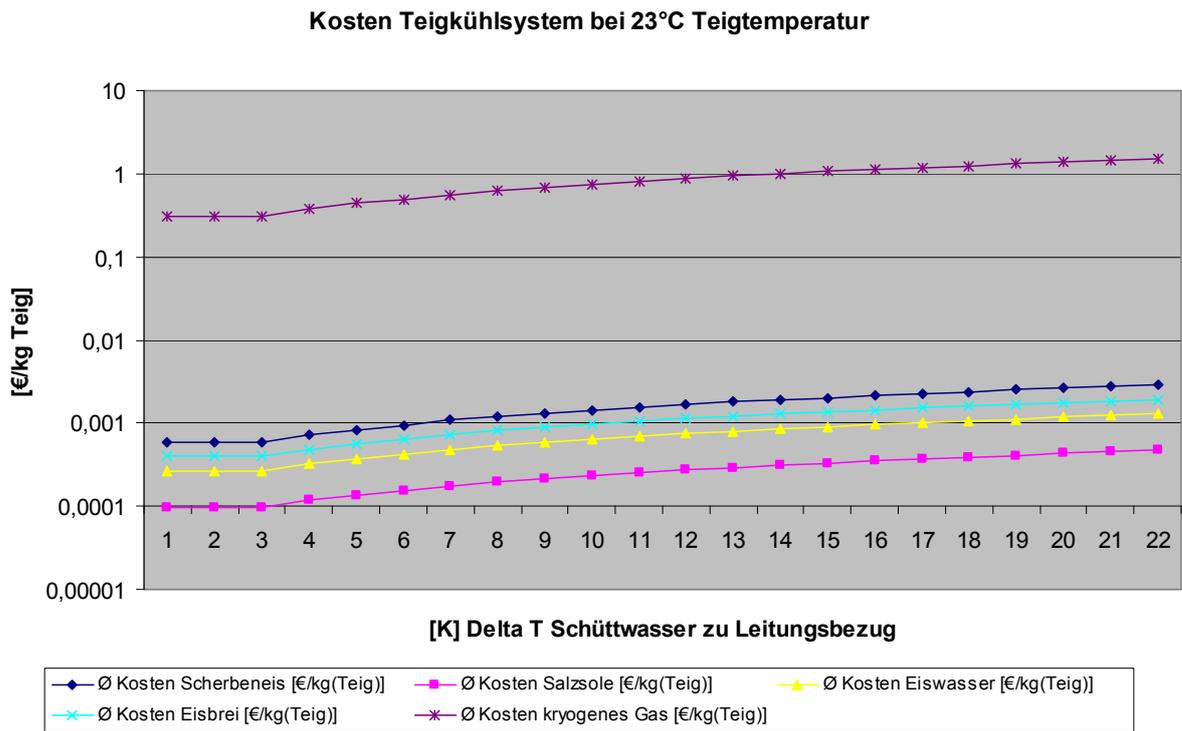


Abbildung 32: Kosten der Teigkühlsysteme bei 23°C Teigtemperatur (eigene Darstellung)

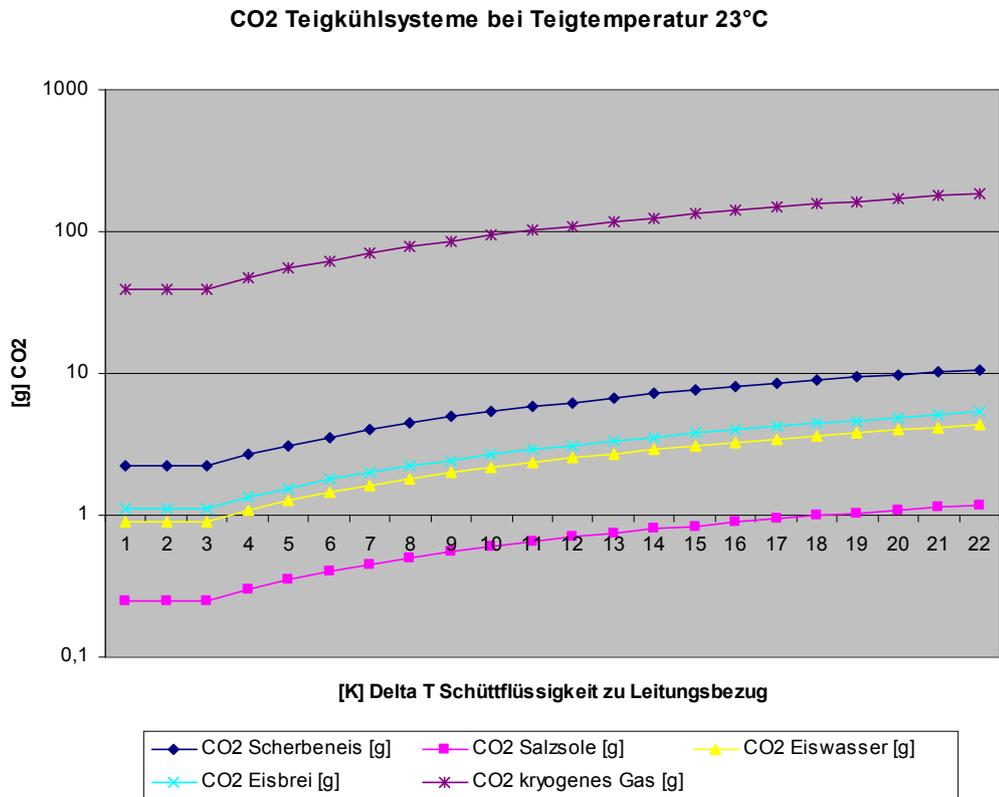


Abbildung 33: Kohlenstoffdioxidemissionen verschiedener Teigkühlsysteme bei einer Teigtemperatur von 23°C (eigene Darstellung)

Betrachtet man die Umwandlungsverluste und den CO₂-Anteil am deutschen Strommix für 1 kWh Strom, kann die Abweichung zwischen den Systemen erklärt werden. Derzeit werden für 1 kWh Strom aus dem deutschen Strommix 580g CO₂ fällig, s. hierzu auch nachfolgende **Abbildung 34**.

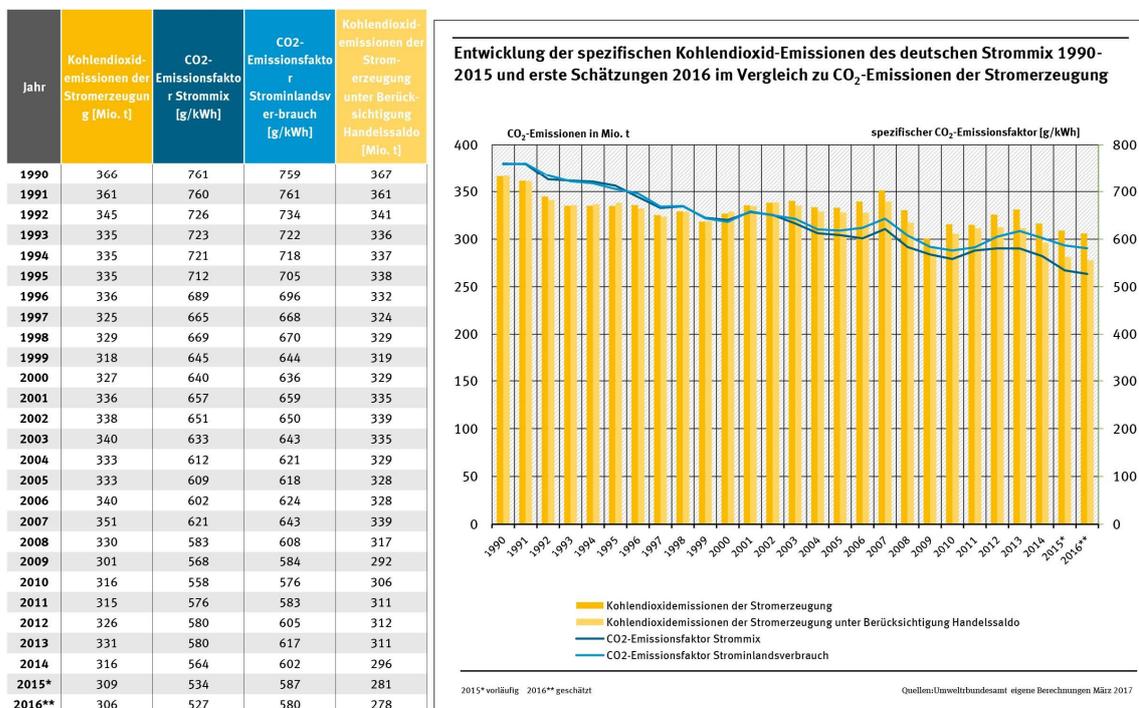


Abbildung 34: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix [27]

Mit den gewonnenen Daten aus der Onlineumfrage wurde die energetische Betrachtung für einen speziellen Fall vorgenommen. Aus den Angaben ist bekannt, dass die durchschnittliche Teigtemperatur für Weizenkleingebäck bei ca. 23°C, bei einer gleichzeitigen durchschnittlichen Mehlmtemperatur von 16°C liegt. Die überwiegende Zahl der Betriebe verwendet Intensivkneter zur Teigknetung, damit wird die Kneterwärmung vorgegeben. Durchschnittlich werden pro Jahr 97,12 t Backwaren produziert, wovon 36 % auf Kleingebäck entfallen. Dies entspricht ca. 35 t/a oder 96 kg pro Tag. Bei einem Brötchengewicht, in diesem Fall die Teigeinlage, von durchschnittlich 60 g ergibt sich damit eine durchschnittliche tägliche Produktionsmenge von 1.600 Brötchen pro Tag. Wird davon ausgegangen, dass die Teigkühlsysteme eine jährliche Betriebsstundenzahl von ca. 1153 h/a aufweisen und im Schnitt Anlagen installiert sind die eine Leistungsaufnahme von 1,428 kW haben, so werden pro Jahr 1648,48 kWh an Strom aufgewendet. Mit einem Strompreis für gewerbliche Kunden von 0,217 €/kWh ergeben sich durchschnittliche jährliche Kosten für den Betrieb der Teigkühlsysteme in Höhe von 357,28 € (ausgenommen CO₂-Gaskühlung).

Im Vergleich dazu kann die tatsächlich benötigte Menge des jeweiligen Kühlmediums über die erzeugten Produkte und deren Kosten für die Teigkühlung in Relation gesetzt werden. Mit den o. g. Daten ergibt sich z. B. für das Scherbeneis ein Kostenfaktor von

20,95 €/a, für Eiswasser 9,39 €/a, für Salzsole 3,40 €/a, für Eisbrei 13,98 €/a und weit abgeschlagen für Direktkryogengaskühlung mit CO₂ 10.927,92 €. In **Anhang G** sind die entsprechenden Rechnungen nachzuvollziehen und in **Abbildung 35** die Daten in Form eines Diagramms.

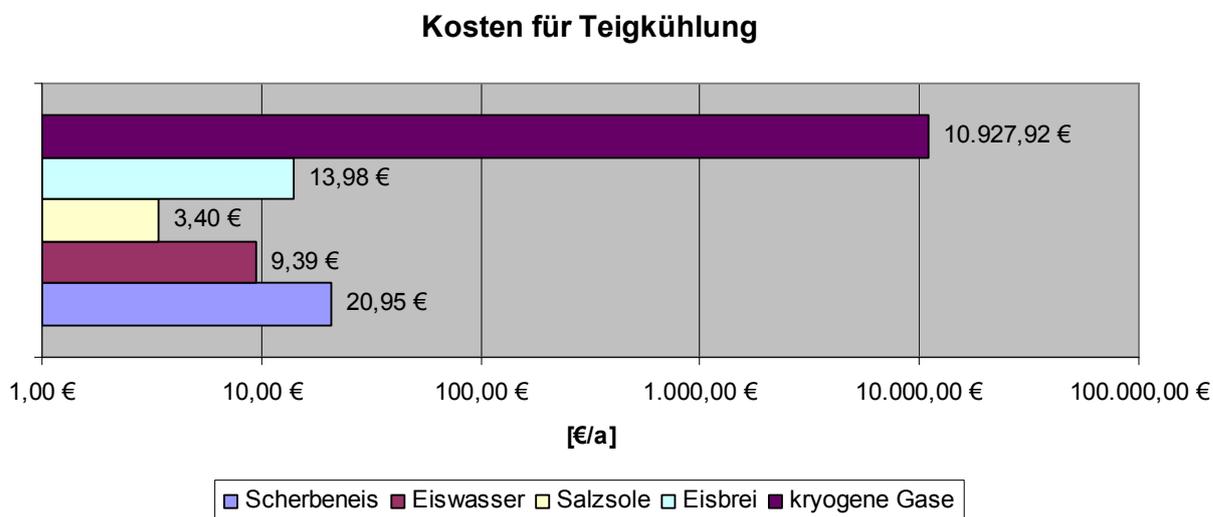


Abbildung 35: Kosten für die Teigkühlung des jeweiligen Systems pro Jahr (eigene Darstellung)

Augenscheinlich passen die Daten zunächst nicht zueinander, allerdings ist zu beachten, dass die Anlagen vorproduzieren müssen, um genügend Kühlmedium im Bedarfsfall bereitstellen zu können. Da manche Systeme zudem als Vorrat und Speicher angesehen werden können, sind die Kosten für das Vorrätighalten des Kühlmediums zu berücksichtigen. Weiterhin gilt es zu bedenken, dass die Anlagen teilweise überdimensioniert sind, also überwiegend im Teillastbereich arbeiten. Da die Vollast nur an wenigen Tagen im Jahr abgerufen wird, wenn in den Sommermonaten die Temperaturen stark steigen, somit also auch die Temperatur des Mehls und die Backstubentemperatur und in kurzer Zeit viel Kühlmaterial benötigt wird, nämlich immer dann, wenn gerade produziert wird, können diese Kostendifferenzen erklärt werden. Für die Direktkryogengaskühlung ist der ermittelte Wert plausibel, denn es wird zwar wenig Gas zur Kühlung benötigt, dieses ist allerdings im Vergleich sehr teuer.

Mit diesen Daten kann nun die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Systeme in Bezug zueinander gesetzt werden. Der Vergleich ergibt, dass Salzsole für die Produktion am günstigsten ist, gefolgt von Eiswasser, Eisbrei und Scherbeneis. Die Direktkryogengaskühlung mit CO₂ ist vom kostenrechnerischen Standpunkt aus in keiner Weise konkurrenzfähig gegenüber den anderen Systemen.

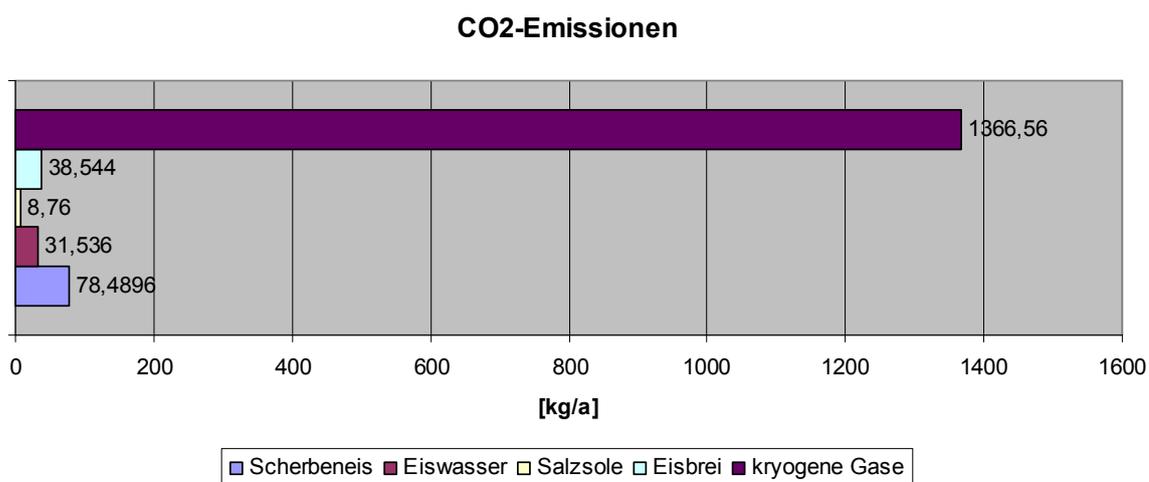


Abbildung 36: Kohlenstoffdioxidemissionen pro Jahr nach den einzelnen Teigkühlssystemen (eigene Darstellung)

Die Kohlenstoffdioxidemissionen auf ein Jahr betrachtet ergeben, dass die Schwankungen zwischen den Systemen enorm sind. Die Salzsolekühlung trägt dabei den geringsten Anteil an CO₂ bei, die Kryogengaskühlung dagegen den höchsten (s. **Abbildung 36**).

Um sowohl die Kosten, wie auch die spezifischen Kohlenstoffdioxidemissionen gering zu halten, kann zunächst die Empfehlung ausgesprochen werden eine Salzsoleanlage einzusetzen. Wird jedoch die Tatsache betrachtet, dass Eiswasser, Scherbeneis und Salzsole bei niedrigen Teigtemperaturen die erforderliche Kühlleistung nicht erbringen können, kann nur der Einsatz von Eisbrei bzw. Quelleis als einzusetzendes Medium präferiert werden.

Ein zu betrachtender Punkt in diesem Zusammenhang ist, dass im Rahmen der Befragung angegeben wurde, dass überwiegend die Kombination aus Scherbeneis und Eiswasser verwendet wird. Die Bäcker sind sich also bewusst, dass aus der Kombination Eis und Wasser die höchste Kühlwirkung zu erzielen ist. Womöglich werden die Anlagen auch so eingesetzt, dass das Eiswasser den Großteil des Jahres über die Kälteleistung deckt und Scherbeneis für Spitzenlasteinsätze unterstützend hinzugezogen wird. Ob dies tatsächlich der Fall ist, lässt sich jedoch nicht nachvollziehen, dies entspricht lediglich einem logischen Schluss. Da diese Herausforderung allerdings bekannt zu sein scheint, stellt sich die Frage, weshalb dann kein System eingesetzt wird, das beide Eigenschaften miteinander verbindet, so z. B. das Quelleissystem. Richtig dimensioniert könnte es das ganze Jahr hindurch bei moderaten Kosten und CO₂-Emissionen betrieben werden. Hintergrund könnte sein, dass das System neu ist und sich am Markt noch nicht etabliert hat. Quelleis hätte demnach bei höherem Bekanntheitsgrad ein hohes Marktpotential. Darüber hinaus könnte es auch in anderen Branchen Anwendung finden, wie in Metzgerei- oder Fischereibetrieben wo auch Scherbeneis eingesetzt wird, wobei dann die Salzwirkung zu untersuchen ist und ggf. mit anderen Additiven gearbeitet werden sollte.

In diesem Zusammenhang sei abschließend darauf hingewiesen, dass wenige Herstellerangaben bekannt sind, bzw. die Hersteller auf Anfrage keine Auskunft geben konnten, und so entsprechende Annahmen getroffen werden mussten. Diese bilden die Realität nicht korrekt ab, wodurch sich die Ergebnisse dieser Arbeit von den tatsächlichen Werten signifikant unterscheiden können.

5 Fazit und Ausblick

Es existieren in Bäckereien einige Möglichkeiten Teige während der Produktion zu kühlen und damit eine gleichbleibende Gebäckqualität zu erreichen, worauf auch die Verbraucher einen hohen Wert legen. Diese Systeme stehen dabei nicht im direkten Fokus der Betrachtung, oft wird anderen Aspekten mehr Gewicht beigemessen oder die Qualität der Backwaren über andere Stellschrauben beeinflusst. Manch Teigkühlsystem hat sich noch nicht am Markt etabliert, es ist bei den Bäckern quasi unbekannt oder sie haben sich damit noch nicht auseinandergesetzt. Allerdings können Systeme zur Teigkühlung Potentiale liefern, die eventuell zunächst nicht bedacht wurden. Wo bisweilen zwei Systeme in Kombination eingesetzt wurden um ein Ziel zu erreichen, könnte nun ein einziges System ausreichen.

Die Kühlung von Teig spielt dabei umso mehr eine Rolle, je mehr Weizenteige in einem Betrieb verarbeitet werden und je mehr Energie zur Knetung dieser Teige aufgewendet werden muss. Es existiert demnach ein direkter Zusammenhang aus Produktportfolio, Knetmaschinenteknik und Teigkühlung.

Die richtige Auswahl des Systems zur Teigkühlung legt im Vorfeld fest, wie sich Teige während des Knetprozesses entwickeln, ob das Glutengerüst beispielsweise besser ausgebildet werden kann als bei anderen Systemen. Als Folge daraus kann die Gärstabilität verbessert werden und ein möglicher Verzicht auf Backmittel kann dabei angestrebt werden. Hier würde sich auch ein direkter Vergleich anbieten, der im Rahmen dieser Masterarbeit leider nicht möglich war. Bspw. sollte untersucht werden, ob der Einsatz gelösten Salzes den Einsatz von Backmitteln welche die Gärstabilität beeinflussen komplett überflüssig macht. Die Folge wären erhebliche Einsparmöglichkeiten in den Bäckereien, deklarationsfreundliche Produkte und dadurch Anerkennung durch den Verbraucher. In diesem Zusammenhang sollte den Quellprozessen wieder mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. In der Branche sind optimale Quelltemperaturen bekannt, werden aber überwiegend nicht gemessen, der Fokus liegt auf der schlussendlichen Teigtemperatur. Kann im Vorfeld die Verquellung positiv beeinflusst werden, wie eben auch die Glutenbildung, so geht dies mit einer Verbesserung des Gebäcks einher, der Energieaufwand den die Knetmaschinen einbringen müssen lässt sich ggf. reduzieren.

Die Gärtätigkeit kann ebenfalls direkt über das Teigkühlsystem beeinflusst werden. Manche Systeme sorgen dafür, dass Teige unbewusst unterkühlt werden und den Hefezellen die Lebensgrundlage entzogen wird, sodass die Gärung verspätet einsetzt oder gar zum Erliegen kommt oder durch deren Einsatz wird die Kleberbildung geschwächt. In Folge dessen verändert sich die Taktung der Produktionsprozesse. Hier wiederum ist es zum Teil notwendig menschliche Fehler auszumerzen, indem die Teigkühlung überwiegend automatisiert dosierbar gestaltet wird. Manche Systeme lassen dies nicht oder nur zum Teil zu.

Da viele Betriebe mit Gärverzögerung, Gärunterbrechung arbeiten oder Tiefkühlbackwaren produzieren, sollten die dafür produzierten Teiglinge im Vorfeld richtig temperiert

werden können, um den Energieaufwand in den Kühlkammern der Bäckereien möglichst gering zu halten. Diese Betrachtung wird in Zukunft noch an Bedeutung zulegen, denn der Trend weg von kleinen Handwerksbetrieben bei denen Produktion und Verkauf in einem Gebäude verortet sind hin zu mehreren Filialen mit zentraler Produktion wird sich fortsetzen. Um in den Filialen dann laufend frische Ware anbieten zu können werden dort vermehrt Ladenbacköfen bzw. Backstationen eingesetzt, die für das Ausbacken herangezogen werden. Der Lebensmitteleinzelhandel spielt hier ebenso eine nicht zu vernachlässigende Rolle, ganz im Gegenteil sogar. Die Backstationen in der Nähe des Eingangs der Geschäfte sind mittlerweile zum vertrauten Bild geworden.

Im Rahmen dieser Arbeit konnten nicht alle Aspekte betrachtet werden. Großindustrielle Knetmaschinen mit Doppelmantelkühlung oder Knetwerkzeugkühlung sollten darüber hinaus intensiv untersucht werden. Grund dafür ist, dass diese Systeme für den größten Anteil der produzierten Backwaren in Deutschland eingesetzt werden. Die Einsparungen in diesem Bereich bieten ein sehr großes Potential, hinsichtlich des Energieverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes. Auch der Einfluss gelösten Salzes auf die Herstellung von Backwaren kann ein enormes Potential darstellen, welches hier als Forschungsanregung genannt wird. Darüber hinaus sollten die Lastgänge in Bezug auf den Einsatz von Teigkühlsystemen gemessen und untersucht werden, um daraus weitere Handlungsalternativen generieren zu können.

Insgesamt sind noch viele Fragen offengeblieben, die beantwortet werden sollten. Diese Masterarbeit sollte dabei als erster Schritt angesehen werden.

6 Literaturangaben

- [1] Ternes, W.: Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung. Hamburg: Behr 2011
- [2] Belitz, H.-D., Grosch, W. u. Schieberle, P.: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Mit 481 Abbildungen, 923 Formeln und 634 Tabellen. Springer-Lehrbuch. Berlin [u.a.]: Springer 2008
- [3] Roth, K.: Unser tägliches Brot. Zum Erntedank. Chemie in unserer Zeit 41 (2007) 5, S. 400–409
- [4] Schünemann, C., Treu, G., Creutz, S. u. Meißner, M.: Technologie der Backwarenherstellung. Fachkundliches Lehrbuch für Bäcker und Bäckerinnen
- [5] Loderbauer, J.: Das Bäckerbuch. Grund- und Fachstufe in Lernfeldern. Hamburg: Büchner, Handwerk und Technik 2006
- [6] Lösche, K.: Kältetechnologie in der Bäckerei. Hamburg: Behr 2004
- [7] Dr. E. Fritsch und Mitarbeiter: Der praktische Bäcker. Stuttgart: Hugo Matthäes Verlag 1964
- [8] CO₂ als Temperaturkiller bei der Teigbereitung. Brot und Backwaren (2004) 1+2, S. 24–25
- [9] Klingler, R. W.: Grundlagen der Getreidetechnologie. Hamburg: Behr 1995
- [10] Franz Pusch: Das Bäckerbuch. Ein praktisches Handbuch der Bäckerei aller Länder. Stuttgart: Felix Kraus Verlag 1901
- [11] Képtár - Kategória: A sütökemencék története.
http://www.sutoipariegysules.hu/index.php?view=category&catid=24&page=6&catpage=1&option=com_joomgallery#category, abgerufen am: 03.03.2018
- [12] Historic Photos. <http://joyofgluten.weebly.com/historic-photos.html>, abgerufen am: 03.03.2018
- [13] Zentralverband des deutschen Bäckerhandwerks e. V.: Zahlen und Fakten 2015. 2016
- [14] Herstellung von MAJA-Scherbeneis | MAJA-Maschinenfabrik.
<http://www.maja.de/de/produkte/herstellung-von-maja-scherbeneis/?tab=dl&play=10901>, abgerufen am: 30.11.2017
- [15] VORRICHTUNG ZUM EINBRINGEN VON CO₂-SCHNEE IN BEHÄLTER ZUR KÜHLUNG DES BEHÄLTERINHALTES ORDER DES BEHÄLTERS - European Patent Office - EP 1076798 B1
- [16] Langheinz Kältetechnik Quelleisanlage. <http://www.langheinz.com/quelleisanlagen/>, abgerufen am: 28.11.2017
- [17] bak-tec GmbH: Eiswasseranlage L 60. <http://www.bak-tec.eu/maschinen/det2/article/eiswasseranl-3/211.html>, abgerufen am: 29.11.2017
- [18] Thermodynamik Der Klätanlagen Und Wrädepumpen. Grundlagen Und Anwendungen Der Klätetechnik. Vieweg + Teubner Verlag 2016
- [19] Hans-Jürgen Sussan Geschäftsführer daxner Germany GmbH: Anfrage bzgl. DaxSol System. E-Mail. Lauda-Königstein 2018

[20]daxSol Datenblatt

[21]Urbanek, T.: Kältespeicher. Grundlagen, Technik, Anwendung

[22]Eigenschaften | Linde Gas GmbH Österreich. http://www.linde-gas.at/de/produkte/trockeneis/te_eigenschaften/index.html, abgerufen am: 29.11.2017

[23]Atteslander, P. u. Cromm, J.: Methoden der empirischen Sozialforschung. ESV basics. Berlin: Erich Schmidt 2010

[24]Benz, F., Lausterer, P., Mühlhäuser, H., Odenthal, A. u. Schepermann, B.: Backwarenherstellung. Fachkunde für Bäcker. Hannover: Schroedel Schulbuchverlag 1994

[25]Physikalische Daten von Kühlgütern, 2002.

http://www.containerhandbuch.de/chb/wild/images/09_anhang/wild_09_05_03_01_01_tab1.gif, abgerufen am: 15.01.2018

[26]Scharping: Verband deutscher Mühlen - Daten und Fakten 2012

[27]Umweltbundesamt: "Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix", abgerufen am: 12.04.2018

Anhang

Anhang A

Interview mit Herrn Felix Remmele, Bäckermeister (Bäckerei Luckscheiter, Ludwigsburg) vom 11.12.2017:

Informationen zum Betrieb:

Die Bäckerei und Konditorei Luckscheiter hat 9 Filialen in der Umgebung von Ludwigsburg, es sind derzeit 6 Mitarbeiter in der Backstube beschäftigt. Die Bäckerei-Konditorei Luckscheiter produziert hauptsächlich Kleingebäck. Die Produktion ist in einem alten Bankgebäude untergebracht, das über einen Atombunker verfügt, in dem das Mehl in Silos gelagert wird.

Informationen zur Mehllagerung:

Die durchschnittliche Jahrestemperatur im Bunker und den Mehlsilos beträgt 16-18°C. Das Mehl wird über Luft, bzw. ein Unterdruckgebläse aus den Silos ausgetragen und der Produktion zur Verfügung gestellt. Es erfolgt keine zusätzliche Mehlkühlung.

Welche Knetmaschinen sind im Einsatz?

Überwiegend Spiralkneter sowie ein Hubkneter für Roggenteige

Welches System zur Teigkühlung wird aktuell benutzt?

Derzeit wird das Quelleissystem der Fa. Langheinz verwendet. Das Quelleis wird dabei überwiegend in der Bäckerei für Kleingebäck verwendet. Ein Einsatz im Bereich der Konditorei für feine Backwaren (*Anm.: Plunder, Blätterteig*) wäre sinnvoll, kann aber aufgrund der räumlichen Trennung von Bäckerei und Konditorei derzeit nicht ermöglicht werden.

Wird das eingesetzte Teigkühlsystem von Ihnen das ganze Jahr hindurch benötigt, oder verwenden Sie es Jahreszeitabhängig?

Das Teigkühlsystem wird das ganze Jahr hindurch eingesetzt. Im Sommer wird es jahreszeitbedingt noch etwas mehr eingesetzt, als im Rest des Jahres. Hintergrund ist, dass die Backwaren das ganze Jahr hindurch relativ kalt gefahren werden. Für die Produktion von Brezeln ist eine Teigtemperatur von 23°C angesetzt, jedoch nicht kühler um eine optimale Wasseraufnahme zu gewährleisten. Weiterhin wird das Kleingebäck überwiegend mit Übernachtgare (*Anm.: Übernachtgare = Gebäck wird i. d. R. mit verringerter Hefemenge bei ca. 5°C über Nacht während der Stückgare zur Gärreife gebracht. Am nächsten Produktionstag werden die Teiglinge dann direkt aus der Kühlung kommend, abgebacken. Das System entspricht der Gärverzögerung*) hergestellt, wodurch kühlere Teige, aus energetischer Sicht, sinnvoller sind.

Wird die Teigtemperatur regelmäßig gemessen?

Nein. Dies wird dem Gefühl und der Erfahrung des Bäckermeisters überlassen.

Welche Größe hat die eingesetzte Teigkühlanlage, bzw. wie viel Quelleis wird in diesem Fall täglich verbraucht?

Es wird die Quelleisanlage QE60 eingesetzt. In der Regel werden ca. 150 kg Quelleis pro Tag verbraucht, in Spitzenzeiten können dies aber auch 200-250 kg sein.

Warum haben Sie sich ausgerechnet für dieses System entschieden? Gab es Überlegungen hinsichtlich anderer Teigkühlsysteme?

Ein reines Eiswassersystem reicht in unserem Fall nicht für die Erreichung der Teigtemperatur bei Brezeln aus. Eine Variante mit dem Einsatz von Scherbeneis haben wir abgelehnt, da die optimale Verquellung des Mehls nicht gegeben ist. Unterkühlte Sole haben wir in diesem Zusammenhang nicht weiter nachverfolgt. Außerdem hatten wir vorher bereits ein kleineres Quelleissystem zu Testzwecken eingesetzt und waren sehr zufrieden damit. Daneben lässt sich das Quelleis für die größeren Maschinen viel einfacher dosieren (*Anm.: Automatische Dosierung*). Der Einsatz von CO₂ bzw. von CO₂-Schneelanzen war für uns einfach zu teuer. Dies hätte neue Maschinen bedeutet und einen ständigen Kostenfaktor für verbrauchtes CO₂. Doppelmantelgekühlte Knetmaschinen kommen für uns, bzw. die handwerkliche Produktion, nicht in Frage. Es gibt keine Speichermöglichkeit und wir produzieren sehr flexibel. So kann in einer Knetmaschine zunächst ein Brötchenteig mit 24°C, dann ein kühler Brezelteig mit 22-23°C und anschließend ein Roggenbrotteig mit 27-28°C Teigtemperatur direkt hintereinander in derselben Maschine produziert werden. Das wäre energetisch gesehen unsinnig, ständig den Kessel zu kühlen und dann wieder zu heizen. Davon abgesehen sind die dafür notwendigen Knetmaschinen für einen Handwerksbetrieb nahezu unerschwinglich. Für Industriebetriebe mag das sinnvoll sein, da diese immer dieselben Teige über die Anlagen fahren mit definierten Parametern, für einen handwerklichen Betrieb macht dies keinen Sinn.

Welches System zur Teigkühlung wurde vorher eingesetzt?

Zuvor wurde Eiswasser und Scherbeneis eingesetzt, aber dies war auch mit Hygieneproblemen verbunden, da die Scherbeneisanlage sehr schwer zu reinigen war.

Waren Veränderungen zum vorherigen System feststellbar, wenn ja an was wurde dies festgestellt (Qualität der Backwaren z. B.?)

Ja wir konnten eine Veränderung feststellen, die Gärstabilität der Backwaren konnte verbessert werden und wir können nun weitaus tiefere Temperaturen fahren, als vorher. Bei der Eiswasseranlage war bei 0°C einfach Schluss, mit dem Zusatz von Scherbeneis haben wir zunehmend Probleme bei der Verquellung gehabt. Nun können wir Schüttflüssigkeit mit -3,2°C verwenden.

Wie lange nutzen Sie das System bereits?

2-3 Jahre ungefähr.

Würden Sie sich noch einmal für dieses System entscheiden, oder eher für ein anderes?

Ich würde mich wieder dafür entscheiden, auch wenn es ab und zu etwas hakt. Manchmal ist die Zuverlässigkeit dieses Systems noch nicht so groß, wie wir uns dies gerne wünschen würden.

Gibt es in Ihrer Bäckerei Informationen zum allgemeinen Energieverbrauch (Kälte, Wärme, Strom etc.)

Nein, dazu kann ich nichts sagen.

Anhang B

Interview mit Herrn Lutz Leuchtges, stellvertretender Betriebsleiter (Bäckerei Müller und Egerer in Rastede) vom 14.12.2017:

Informationen zum Betrieb:

Wir haben 55 Filialen und produzieren größtenteils Schnittbrötchen, täglich zwischen 30.000-34.000 Stück

Informationen zur Mehllagerung:

Unser Mehl wird in Silos gelagert in einem unklimatisierten Raum, der meistens um die 20°C aufweist. Wir betreiben keine aktive Mehlkühlung

Welche Knetmaschinen sind im Einsatz?

Spiralkneter

Welches System zur Teigkühlung wird aktuell benutzt?

Wir verwenden Quelleis.

Wird das eingesetzte Teigkühlsystem von Ihnen das ganze Jahr hindurch benötigt, oder verwenden Sie es Jahreszeitabhängig?

Aufgrund der hohen Produktionsmenge verwenden wir das System das ganze Jahr hindurch.

Wird die Teigtemperatur regelmäßig gemessen?

Anm.: Dazu wurde keine Angabe gemacht

Welche Größe hat die eingesetzte Teigkühlanlage, bzw. wie viel Quelleis wird in diesem Fall täglich verbraucht?

Wir verwenden die 80 kg Anlage und verbrauchen pro Tag ca. 500 kg Quelleis.

Warum haben Sie sich ausgerechnet für dieses System entschieden? Gab es Überlegungen hinsichtlich anderer Teigkühlssysteme?

Wir verwenden noch Rückteige, also wenn Teig von der Brötchenproduktion übrig geblieben ist, wird er gekühlt und kommt am nächsten Tag wieder in den neuen Brötchenteig.

Anm.: Dazu wurden keine weiteren Angaben gemacht

Welches System zur Teigkühlung wurde vorher eingesetzt?

Zuvor haben wir mit Scherbeneis gearbeitet.

Waren Veränderungen zum vorherigen System feststellbar, wenn ja an was wurde dies festgestellt (Qualität der Backwaren z. B.?)

Wir verwenden das Quelleis zusätzlich mit Eiswasser und Scherbeneis. Bei einer Zugabe von über 50% Quelleis als Schüttflüssigkeit müssen wir zusätzlich Scherbeneis einsetzen, dies ist insbesondere bei feinen Backwaren der Fall die eine Teigtemperatur von 18°C benötigen, da das Quelleis nicht kalt genug ist. Insgesamt haben wir durch den Einsatz dieser Systeme eine längere Quellphase und eine kürzere Schnellknetphase. Was wir feststellen konnten ist, dass wir insgesamt eine bessere Verquellung und wolligere Teige haben. Diese sind wesentlich verarbeitungsfreudiger und die fertigen Backwaren weisen durch das aufgelöste Salz eine feinere Bräunung in der Kruste auf und sind saftiger. Die angestrebte Teigtemperatur bei den Brötchen beträgt dabei 24°C. Wir haben allerdings auch festgestellt, dass wir nicht mehr als 50% Quelleis zum Teig geben sollten, da dieser sonst bockig wird. Intern haben wir uns also auf eine maximale Zugabemenge von 50% der Schüttflüssigkeit geeinigt. Der Rest wird wie gesagt über Eiswasser und Scherbeneis reguliert.

Wie lange nutzen Sie das System bereits?

Wir verwenden die Systeme so jetzt seit 2 Jahren.

Würden Sie sich noch einmal für dieses System entscheiden, oder eher für ein anderes?

Also manchmal haben wir ein Problem mit zu stark schwankenden Temperaturen des Quelleises wenn wir eine zu hohe Entnahme haben. Da kann es vorkommen, dass die Temperatur von -3 bis -2°C schwankt und es gibt manchmal Probleme bei der Salzzugabe. *Anm.: Zur restlichen Frage, bzgl. des erneuten Einsatzes wurden keine Angaben gemacht.*

Gibt es in Ihrer Bäckerei Informationen zum allgemeinen Energieverbrauch (Kälte, Wärme, Strom etc.)

Anm.: Dazu wurde keine Angabe gemacht.

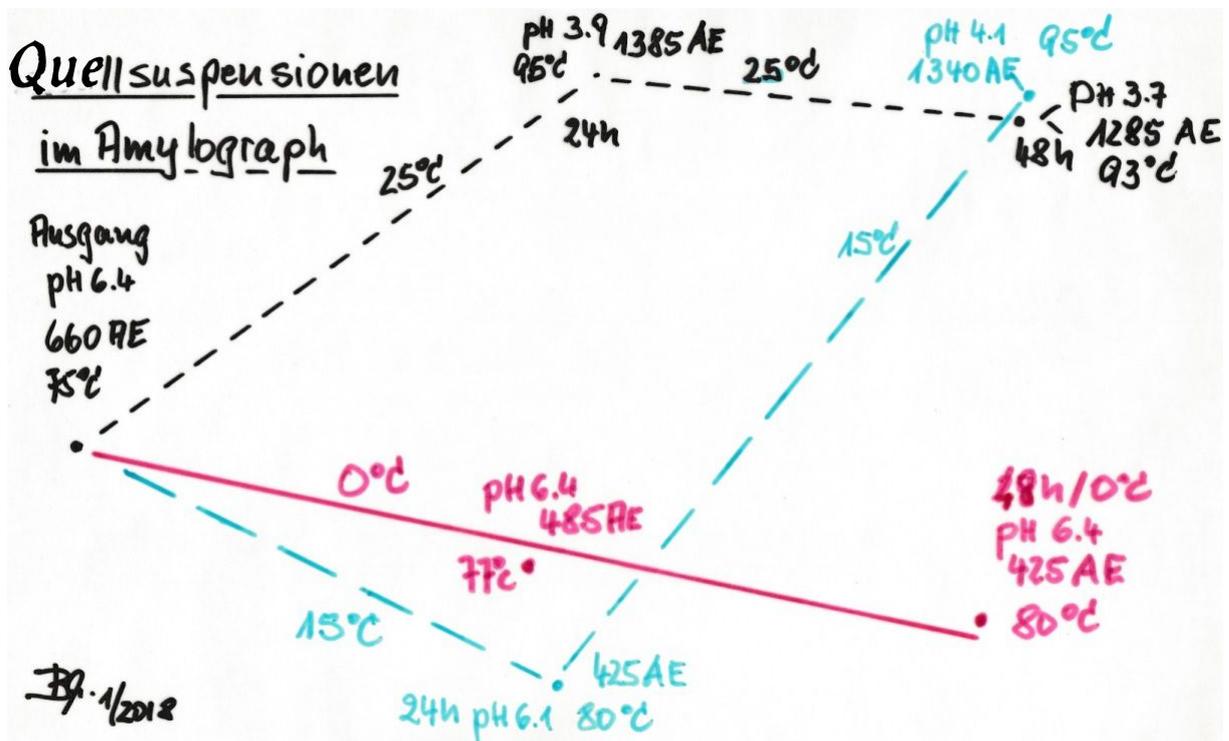
Anhang C

iCloud Mail

https://www.icloud.com/applications/mail/current/de-de/index.html?ro...

29. Januar 2018 um 17:02
 Von Juergen-Michael Bruemmer
 An stefan.heins@icloud.com
 Quellsuspension.jpg 217,57 KB

Sehr geehrter Herr Heins,
 die Suche war schwerer als ich gedacht habe. Über Weizen-Vorteige mit Backhefe u./o. Sauerteig- Zusätzen gibt es viel, aber nicht über nur Quellansätze ohne Starter. In meinen alten Unterlagen fand ich noch etwas. (s. Abb.)
 Im Amylograph wurden Rg-T 997 Mehlsuspensionen zur Quellung untersucht. Die Ausgangswerte wurden lt. Standardbestimmung bei 30°C - TA ca 660 ermittelt. In Teigen werden sich die gleichen Tendenzen, wegen der geringeren TA's aber ev. etwas verzögert einstellen.
 Bei Lagerungen bei 0°C wird der Ansatz etwas verflüssigt. Eine Fremd gärung wird sich noch nicht zeigen.
 Bei einer Lagertemperatur von 15°C werden diese günstigen Zustände wohl nur bis 24h herrschen, danach ist stark mit sensorischen Nachteilen (Fehlgerüche durch Spontan-Gärung) zu rechnen.
 Die Erweichung bei 15°C ist auch schon deutlicher, was ebenfalls auf eine Säurebildung und somit Löslichkeitserhöhung der Inhaltsstoffe deutet. Brotvolumen werden wohl deutlich reduziert sein, die Porung gröber.
 Eine Lagertemperatur von 25°C ist schon für einen Tag zu hoch. Fremd gärung, starke Abbauvorgänge, die selbst bei diesen TA's hier schon zu hoher Viskosität führen. Dies verwundert nicht, denn bei Raumtemperaturen sind erfahrungsgemäß schon 6 Std. Quellung und mehr bedenklich.
 Dies also an Roggenmehl T997; Weizenmehle T550 bis 1050 werden sich ähnlich verhalten, Vollkornmahlerzeugnisse des Roggens und Weizens sind in der Gefahr spontaner Säuerung mit ihren sensorischen und auch stofflichen Veränderungen noch exponierter.
 Ich hoffe, das hilft etwas weiter. Natürlich können Sie mich auch noch anrufen (Tel. 05231 47341). Quellvorgänge habe ich auch intensiv in meinem Buch: Brotroggen - Roggenbrot, Verlag Moritz-Schäfer, Dietmold ISBN-Nr. 978-3-87696-158-3 behandelt.
 Mit freundlichen Grüßen
 J.-M. Brümmer



Anhang D

Technikerarbeit

**Einfluss der Anfangstemperatur des
Mehl-Wasser-Zutaten-Gemisches
am Beginn der Teigknetung auf die
Teigentwicklung und
Gebäckeigenschaften bei
unterschiedlichen Knetzeiten**

an der Emil Fischer Schule Berlin

Schuljahr 2005 / 06

Verfasst von:
Florian Wunderlich
Klemkestraße 45
13409 Berlin

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort	3
2. Ziele der Arbeit	4
2.1 Zielgruppendefinition.....	4
2.2 Spezifikation der Arbeitsziele.....	4
3. Technische Grundlagen der Teigbereitung	5
3.1 Theorie der Teigbereitung	5
3.2 Technik der maschinellen Teigbereitung	6
3.2.1 Knetverfahren	6
3.3 Teigkühlverfahren	7
3.3.1 Wassertemperierung	7
3.3.2 Mehltemperierung.....	7
3.4 Mehlanalytik.....	8
3.4.1 Feuchtigkeitsgehalt (ICC-Standard Nr. 110/1)	8
3.4.2 Amylogramm (ICC-Standard Nr. 126/1).....	9
3.4.3 Farinogramm (ICC-Standard Nr. 115/1).....	9
3.4.4 Extensogramm (ICC-Standard Nr. 114/1).....	10
4. Versuchsaufbau und Durchführung	11
4.1 Rahmenbedingungen der Versuchsreihen	11
4.2 Verwendete Geräte / Maschinen	13
4.3 Versuchsreihendefinitionen	13
4.3.1 Versuchsreihe A.....	13
4.3.2 Versuchsreihe B.....	14
4.4 Prozessbeschreibungen der Versuchsdurchführung.....	14
5 Ergebnisse	16
5.1 Ergebniszusammenfassungen.....	16
5.1.1 Versuchsreihe A.....	16
5.1.2 Versuchsreihe B.....	21
6. Resümee	25
6.1 Schlussfolgerung	25
6.2 Zusammenfassung der Ergebnisse	26
6.3 Summary	27
7. Literaturverzeichnis	30
8. Eidesstattliche Erklärung	31

1. Vorwort

Diese Arbeit untersucht verschiedene Einflussfaktoren bei der Teigbereitung. Es soll Aufschluss darüber geben, wie die Teige richtig geknetet werden bzw. wie die Einstellung der Teigtemperatur am sinnvollsten ist, über das Mehl oder das Wasser.

Auf die Einflussfaktoren der Knetzeit und die der Mehltemperierung wird speziell eingegangen. Die Knetzeit hat den wohl größten Einfluss auf die Teigbereitung, bei der die dreidimensionale Bildung des Klebnetzes die Voraussetzung für die weitere Teigbearbeitung ist. In der Arbeit wird untersucht, welchen Einfluss die Knetzeit auf die Teig- und Gebäckeseigenschaften hat. Zudem spielt bei der Teigbereitung die Mehltemperatur eine große Rolle, welche auch untersucht wurde. Hier wurden verschieden temperierte Mehle verwendet und dessen Auswirkungen auf verschiedene Teige analysiert.

Der Anlass, dieses Thema zu wählen, ergab sich aus der Bedeutsamkeit der Teigmatrix für die Weiterverarbeitung, sowie für das fertige Endprodukt. Aufgrund der immer höher werdenden Anforderungen der Kunden, muss die Teigqualität, sowie die daraus resultierende Gebäckqualität, dauerhaft auf einem hohen Standard gehalten werden. Um dieses zu gewährleisten, müssen die verschiedenen Einflussfaktoren bekannt sein und entsprechend mit ihnen umgegangen werden.

Diese Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit BakeMark Deutschland erstellt. Mein besonderer Dank gilt daher der Niederlassung BIB UlmerSpatz in Bingen.

2. Ziele der Arbeit

2.1 Zielgruppendefinition

Diese Arbeit soll eine Hilfestellung für Fachleute sein, die hauptsächlich in die Teigbereitung involviert sind. Ebenso können Fachkräfte der Qualitätssicherung diese Arbeit in ihren täglichen Ablauf mit einbeziehen.

2.2 Spezifikation der Arbeitsziele

Da viele Bäckereibetriebe ihre Schüttflüssigkeit in Abhängigkeit der Außentemperatur temperieren, stand die Überlegung an, ob die Teigeigenschaften sowohl bei kalter wie bei warmer Schütttemperatur die gleichen sind. Auf diesen Grundlagen wurden dann komplexe Versuchsreihen aufgebaut, die auch durch laboranalytische Untersuchungen bestätigt wurden. Aufgrund dessen, dass der Kleber bei kalten Temperaturen schlechter Wasser aufnimmt bzw. quillt, liegt die Vermutung nahe, dass die Betriebe im Sommer bzw. bei einer höheren Außentemperatur, ihre Teige unterkneten, was bedeutet, dass diese nicht richtig entwickelt sind und somit einen negativen Einfluss auf das fertige Gebäck darstellt. Eine große Fragestellung ist auch, wann und bei welcher Anfangstemperatur die Teige eine optimale Entwicklung aufweisen und welche Teigeigenschaften für ein optimales Endprodukt benötigt werden. Zudem muss die Abhängigkeit der Zutatentemperatur im Bezug auf Teigbereitung beachtet werden.

3. Technische Grundlagen der Teigbereitung

3.1 Theorie der Teigbereitung

Die Teigbereitung unterteilt sich in drei Phasen:

- | | |
|-----------------|---|
| Mischphase: | Dies beinhaltet das Mischen von Mehl, Wasser und der übrigen Teigzutaten. Die wasserlöslichen Bestandteile werden gelöst und die Oberfläche der Feststoffteilchen wird benetzt. |
| Quellungsphase: | Das im Teig eingebrachte Wasser wird durch das quellen und einlagern über Klebereiweiß und den Pentosanen gebunden. |
| Teigbildung: | Aufgrund der eingebrachten Knetenergie kommt es zu einer Auffaltung und Streckung der gequollenen Peptidketten durch das Aufbrechen der Schwefelbrücken. Diese strecken sich und gleiten übereinander. Dies führt zur Ausbildung neuer Schwefelbrückenbindungen zwischen den Peptidketten. Dieses dreidimensionale Netzwerk wird Gluten (Kleber) genannt. |

Knetenergie, Teigeigenschaften und Gebäckvolumen hängen zusammen. Für jeden Teig durchläuft das Gebäckvolumen in Abhängigkeit der zugeführten Knetenergie ein Maximum, das bei einem kleberschwachen Mehl niedriger liegt, als bei einem kleberstarken. Auch kann es durch Zusätze zur Mehlverbesserung beeinflusst werden. Geht die Knetung über das Maximum hinaus, so wird der Teig feuchter und beginnt an der Wand des Knetbottichs zu kleben, dass Gashaltevermögen lässt daher nach.

3.2 Technik der maschinellen Teigbereitung

3.2.1 Knetverfahren

In allen durchgeführten Versuchen wurde mit einem DIOSNA Spiralknetter-System SPV 40 gearbeitet.

Als Spiralknetanlage ist dieses System für Rohstoffqualitätsanalysen sowie zur Durchführung der Vergleichs-Versuche (z. B. verschiedene Mehlsorten) bei Qualitätsbestimmung und Produktentwicklung geeignet. Die ermittelten Prozessparameter sind übertragbar für praktische Produktionsbedingungen, was ein wesentlicher Vorteil gegenüber standardisierten Labormethoden ist, deren Ergebnisse nur bedingt für die Praxis verwendbar sind.

Das System ermöglicht eine computergestützte Steuerung, Prozesskontrolle und damit verbundene Qualitätssicherung. Da es sich um eine Modulbauweise handelt, kann das System beliebig um neue Bausteine (Maschinen, Software, Hardware) erweitert werden.

Alle Knetter in diesem System haben gleiche Laufeigenschaften. Sie wurden aufeinander abgestimmt.

3.3 Teigkühlverfahren

3.3.1 Wassertemperierung

In diesen Versuchreihen wurde die Wassertemperatur über Zugabe von Scherbeneis in die Schüttflüssigkeit eingestellt.

3.3.2 Mehltemperierung

Die Mehltemperierung im Zusammenhang mit dieser Arbeit ist ausschließlich über Frosteranlagen geschehen. In diesen wurde das Mehl über Nacht auf die gewünschte Temperatur abgekühlt.

3.4 Mehlanalytik

Neben der Knetzeit hat auch die Rohstoffauswahl, insbesondere die Mehqualität einen entscheidenden Einfluss. Folgende Methoden dienen der Qualitätsanalyse.

3.4.1 Feuchtigkeitsgehalt (ICC-Standard Nr. 110/1)

Die Lagerfähigkeit eines Mehles steht im engen Zusammenhang mit seiner Feuchtigkeit.

Untersuchungsmethode:

Zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes eines Mehles wird in der Regel die Trockenschränkmethod angewendet. Dabei wird eine genau abgewogene Menge Mehl einer bestimmten Trocknungszeit und Trocknungstemperatur ausgesetzt. Aus dem Trocknungsverlust, der durch Wägung bestimmt wird, ergibt sich der Feuchtigkeitsgehalt des Mehles (in Prozent).

Praktische Aussage:

Hohe Feuchtigkeitsgehalte verkürzen die Lagerzeit eines Mehles und vermindern seine Teigausbeute. Mehle mit hohem Feuchtigkeitsgehalt neigen zum Verklumpen. Der Feuchtigkeitsgehalt eines Mehles sollte daher nicht höher als 15 % sein.

3.4.2 Amylogramm (ICC-Standard Nr. 126/1)

Amylographische Untersuchungen dienen zur Feststellung des Quellungsverhaltens und der Verkleisterungseigenschaften eines Mehles. Sie werden überwiegend zur Beurteilung der Roggenbackfähigkeit eingesetzt.

Untersuchungsmethode:

In dem rotierenden Messtopf des Amylographen wird ein Mehl-Wasser-Gemisch, bestehend aus 80 g Mehl mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 14 % und 450 ml destilliertem Wasser, kontinuierlich von 30°C auf über 90°C erwärmt. Der Viskositätsverlauf der Suspension, d.h. ihr Zähigkeitsverlauf, wird dabei in Form eines Amylogramms aufgezeichnet. Seine höchste Viskosität ist das Amylogramm-Maximum, angegeben in Amylogramm-Einheiten [AE]. Die Angabe der zugehörigen Maximum-Temperatur erfolgt in °C.

Praktische Aussage:

Der Temperaturanstieg in dem Mehl-Wasser-Gemisch ist in etwa vergleichbar mit dem Temperaturverlauf im Inneren der Brotkrume während des Backens. Das Amylogramm lässt daher Rückschlüsse auf die Backeigenschaften des Mehles zu.

3.4.3 Farinogramm (ICC-Standard Nr. 115/1)

Die Qualität eines Weizenmehles wird nur in beschränktem Maße durch seine chemischen Analysendaten charakterisiert, dafür viel mehr durch seine teigphysikalischen Eigenschaften. Diese können u. a. mit einem speziell dafür vorgesehenen Knetsystem, dem Farinographen, ermittelt werden.

Untersuchungsmethode:

Zur Bestimmung der Wasseraufnahme und Kneteigenschaften eines Mehles werden 50 bzw. 300 g in den Farinographen eingegeben und unter Zufuhr von Wasser geknetet. Der Widerstand des sich bildenden Teiges gegenüber der mechanischen Beanspruchung wird in einem Kraft-Zeit-Diagramm, dem Farinogramm, festgehalten.

Praktische Aussage:

Farinographische Untersuchungen beziehen sich auf die Wasseraufnahmefähigkeit und die Kneteigenschaften des eingesetzten Weizenmehles.

3.4.4 Extensogramm (ICC-Standard Nr. 114/1)

Weitere teigphysikalische Eigenschaften beschreibt das Extensogramm.

Untersuchungsmethode:

Ein im Farinographen hergestellter Weizenmehlteig wird zunächst zu einer Teigkugel geformt und anschließend langgewirkt und für eine Ruhezeit von 45 Minuten in die Gärkammer des Extensographen eingebracht. Anschließend wird der Teig mit dem Dehnungshaken des Extensographen zum ersten Mal bis zum Zerreißen gedehnt. Die Teigstücke werden erneut zu einer Teigkugel geformt, langgewirkt und nach weiteren 45 Minuten zum zweiten Mal gedehnt. Ein drittes Extensogramm wird erneut nach weiteren 45 Minuten aufgezeichnet. Insgesamt wird also derselbe Teig nach 45, 90 und 135 Minuten gedehnt.

Untersuchungsmethode:

Zur Bestimmung der Wasseraufnahme und Kneteigenschaften eines Mehles werden 50 bzw. 300 g in den Farinographen eingegeben und unter Zufuhr von Wasser geknetet. Der Widerstand des sich bildenden Teiges gegenüber der mechanischen Beanspruchung wird in einem Kraft-Zeit-Diagramm, dem Farinogramm, festgehalten.

Praktische Aussage:

Farinographische Untersuchungen beziehen sich auf die Wasseraufnahmefähigkeit und die Kneteigenschaften des eingesetzten Weizenmehles.

3.4.4 Extensogramm (ICC-Standard Nr. 114/1)

Weitere teigphysikalische Eigenschaften beschreibt das Extensogramm.

Untersuchungsmethode:

Ein im Farinographen hergestellter Weizenmehlteig wird zunächst zu einer Teigkugel geformt und anschließend langgewirkt und für eine Ruhezeit von 45 Minuten in die Gärkammer des Extensographen eingebracht. Anschließend wird der Teig mit dem Dehnungshaken des Extensographen zum ersten Mal bis zum Zerreißen gedehnt. Die Teigstücke werden erneut zu einer Teigkugel geformt, langgewirkt und nach weiteren 45 Minuten zum zweiten Mal gedehnt. Ein drittes Extensogramm wird erneut nach weiteren 45 Minuten aufgezeichnet. Insgesamt wird also derselbe Teig nach 45, 90 und 135 Minuten gedehnt.

Praktische Aussage:

Das Extensogramm gibt Auskunft über die Dehnungseigenschaften des Weizenteiges, sein Verhalten auf Gare und über das zu erwartende Gebäckvolumen.

4. Versuchsaufbau und Durchführung

4.1 Rahmenbedingungen der Versuchsreihen

Rezeptdaten:

Mehl [%]	100
Wasser [%]	59
Hefe [%]	3
Salz [%]	2
Backmittel WB 24 [%]	3

Fixe Faktoren:

Teigeinlage [g]	600
Teigausbeute	159
Maschinentyp	Spiralkneter
Teigruhe [min]	10
Zwischengare [min]	15
Gärraum [°C / rel. F. %]	22 / 85
Stückgare [min]	100
Backzeit [min]	30
Backtemperatur [°C]	235

Variable Faktoren:

Teigtemperatur [°C]	10 - 36
Mehltemperatur [°C]	0 - 24
Wassertemperatur [°C]	0 - 23
Knetzeit [min]	2 + 2, 2 + 4, 2 + 6, 2 + 8, 2 + 10, 2 + 12

Mehldaten:**Muster:** Type 550 / KW 30

Mehlfuchtigkeit: 13,7 [%]

Datum: 08. Aug 05

Amylogramm

Verkleisterungsbeginn	59,5	[°C]
Verkleisterungstemperatur	91,0	[°C]
Verkleisterungsmaximum	818	[AE]

Farinogramm 500

(Auswertung nach ICC Standard 115/1)

Wasseraufnahme (korr. 500 BE)	61,4	[%]
Wasseraufnahme / Basis 14% H ₂ O	61,1	[%]
Konsistenz	498	[FE]
Teigentwicklungszeit	1,5	[Min]
Stabilität	3,1	[Min]
Teigerweichung	58	[FE]
Farinograph Qualitätszahl	32	

Extensogramm

	45 Min.	90 Min.	135 Min	
Energie	98	102	103	[cm ²]
Dehnwiderstand Dw50	406	487	629	[EE]
Dehnwiderstand Dw max.	486	584	690	[EE]
Dehnbarkeit	143	130	114	[mm]
Verhältniszahl Dw50/DB	2,8	3,8	5,5	
Verhältniszahl DwMax/DB	3,4	4,5	6,0	

4.2 Verwendete Geräte / Maschinen

- DIOSNA SPV 40 Knetmaschine	Zubereitung des Teiges
- Thermometer	Messen der Teigtemperatur sowie der Zutatentemperatur
- Waage	Wiegen der Teiglinge
- Gärautomaten	Kontrollierten Gare der Teiglinge
- Heuft Etagen-Thermoölofen	Backen der Versuche
- Volumenmessgerät	Feststellung des Gebäckvolumens

4.3 Versuchsreihendefinitionen

4.3.1 Versuchsreihe A

Die gewünschte Mischungstemperatur +/- 1°C wird unter Evaluierung der optimalen Temperatur der Bestandteilekombination von Mehl und Wasser erreicht, um die geforderte Mischtemperatur zu erzielen.

Diese Temperatur ist jeweils die Basis für die nachfolgenden Versuche mit verschiedenen Knetzeiten.

Durch Versuchsreihe A soll außerdem die ideale Knetzeit festgelegt bzw. herausgefunden werden.

4.3.2 Versuchsreihe B

Die gewünschte Mischungstemperatur +/- 1°C wird unter Festlegung einer fixen Temperatur (bei Mehl) und der variablen Temperatur von Wasser erreicht.

Die dabei erzeugte Mischungstemperatur ist jeweils die Basis für die nachfolgenden Versuche mit ebenfalls verschiedenen Knetzeiten.

Hierbei soll ermittelt werden, welche Zutatenkomponenten in temperierter Form zugegeben werden sollten.

4.4 Prozessbeschreibungen der Versuchsdurchführung

Teigherstellung nach „all in one“ – Verfahren	Hier werden alle Zutaten in den Knetkessel gegeben und vermischt.
Einstellung der Mischungstemperatur	Die Mischungstemperatur wird nach 1 Minute Langsamkneten gemessen. Sie darf der gewünschten Mischungstemperatur nicht mehr als 1°C abweichen.
Extensogramm	Um die Versuchsergebnisse zu bestätigen, wird von dem im Knetter zubereiteten Teig etwas abgenommen, um diesen analytisch im Extensogramm zu untersuchen.

Sensorische Teigbewertung	Diese erfolgt durch die eigene Person. Der Teig wird von einer Fachkraft nach Festigkeit und ähnlichen Parametern bewertet.
Teigruhe	Diese erfolgt auf dem Arbeitstisch: Der Teig wird mit einem Tuch abgedeckt und zum Entspannen liegen gelassen.
Abwiegen	Der Teig wird mit der Waage auf die gewünschte Menge abgewogen. Danach wird er gleich rundgewirkt.
Zwischengare	Vor dem Langwirken wird der Teig nochmals kurz zum Entspannen liegen gelassen.
Aufarbeiten	Nach der Zwischengare wird der Teig auf Toastbrotlänge langgewirkt und in Toastbrotkästen gelegt.
Gärraum	Die Toastbrotkästen kommen zur Teiggare in den Gärraum, in dem ein bestimmtes Klima herrscht.
Backen	Wenn die Gare abgeschlossen ist, werden die Kastenweißbrote ohne Deckel gebacken. Eine Dampfzugabe ist erforderlich.

Volumenmessung

Hier wird das Volumen des Toastbrottes nach dem Verdrängungsprinzip gemessen. Das Kastenweißbrot wird in ein bestimmtes Gefäß gelegt und eine gewisse Menge Rübsamen rieselt hinein. Die überlaufenden Körner stellen das Volumen des Weißbrottes dar.

Gebäckanalyse

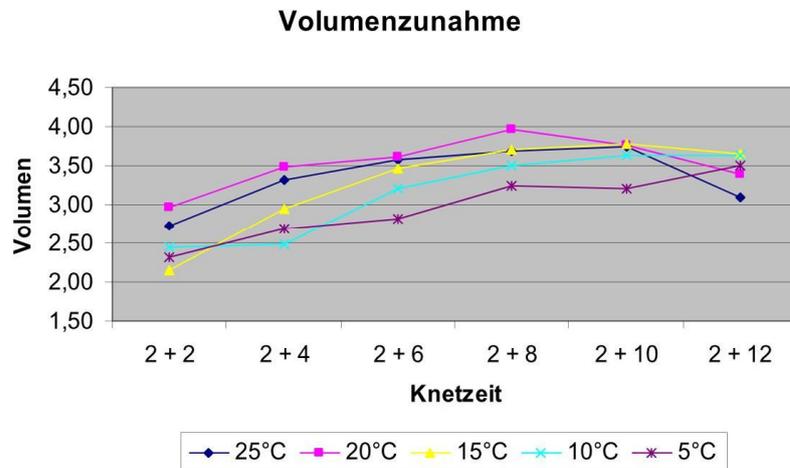
Das fertige Weißbrot wird nach der Beschaffenheit der Kruste und der Krume beurteilt.

5 Ergebnisse

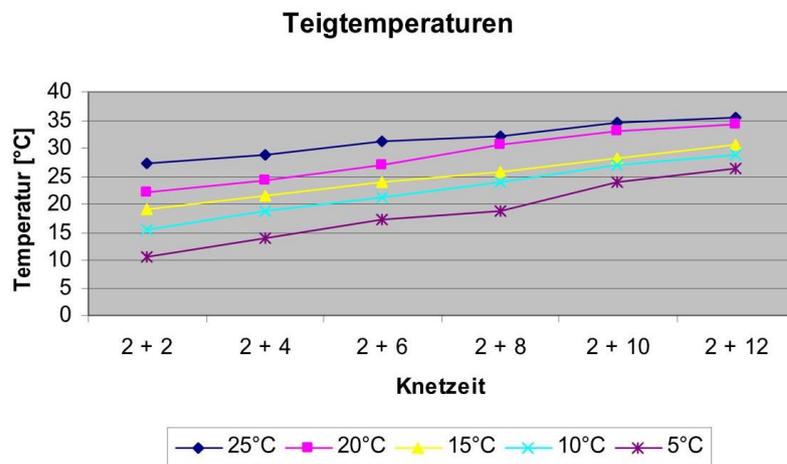
5.1 Ergebniszusammenfassungen

5.1.1 Versuchsreihe A

In den Versuchsreihen war deutlich zu erkennen, dass mit zunehmender Mischungstemperatur und Knetzeit das Volumen zunimmt. Das Volumen Maximum ist bei einer Knetzeit von 2 + 8 und einer Mischungstemperatur von 20°C erreicht. Bei einer längeren Knetzeit beginnt das Volumen wieder zu fallen. Dies wird auch durch das nächste Diagramm verdeutlicht.



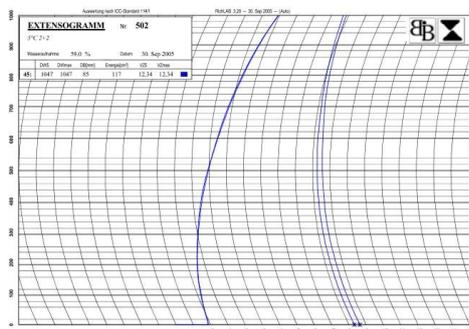
Die Volumenzunahme ist durch die eigentliche Temperaturzunahme beim Knetprozess zu erklären. Umso wärmer der Teig ist, desto schneller nimmt das Volumen beim Gärprozess zu. Im folgenden Diagramm sind die deutlichen Unterschiede der Teigtemperatur zu sehen.



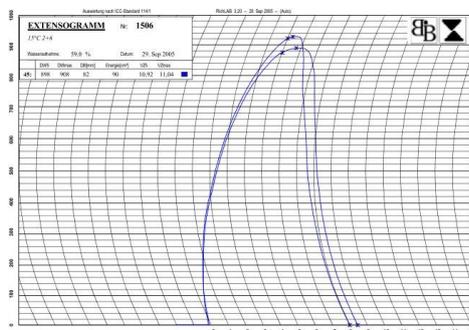
Die Knetzeit bzw. der Knetprozess spielt bei der Volumenzunahme die größte Rolle, denn Kneten bedeutet die Einarbeitung von Energie. Durch das Dehnen der Kleberstränge wird ein möglichst feines visko-elastisches Klebnetz mit eingelagerten Stärkekörnern im gesamten Teig erzeugt. An der Bildung von Weizenteigen sind vor allem Proteine, Stärke und in geringem Umfang Pentosane beteiligt. Bei der Teigbildung binden die Proteine Wasser, welches Voraussetzung für eine ausreichende Verkleisterung der Stärke während des Backvorgangs ist. Es wurde festgestellt, dass die Reserveproteine des Endospermgewebes in Form eines dreidimensionalen Gerüsts vorliegen, in das die Stärkekörner eingelagert sind. Beim Anteigen von Weizenmehl mit Wasser verkleben zunächst die Proteine der Teilchen und bilden im Verlauf der mechanischen Bearbeitung ein zusammenhängendes, dreidimensionales Klebnetzwerk. Während der Knetung werden die Proteinstränge gedehnt und zu Filmen auseinander gezogen. Dabei entstehen, beginnend an den Vernetzungspunkten der einzelnen Proteinstränge, übereinander liegende Schichten bzw. Membrane. In der Regel, hat Starker Kleber einen höheren Gehalt an Disulfidbindungen als ein schwacher und ein größeres SS/SH-Verhältnis. Ein großes SS/SH-Verhältnis bewirkt kurze Teigeigenschaften, d. h. Teige mit geringer Dehnbarkeit und großem Dehnwiderstand. Mehle mit schwachem Kleber weisen ein vergleichsweise kleines SS/SH-Verhältnis auf. Der Kleber bzw. dessen Ausbildung ist wegen seines enormen Wasserbindungsvermögens und seiner visko-elastischen Eigenschaften das wohl wichtigste Kriterium bei diesen Versuchsreihen.

Die nachfolgenden Extensogrammuntersuchungen verdeutlichen, dass von sehr kurzem und unterkneteten Teig, über einen normalen Teig, bis hin zum zu stark ausgekneteten Teig, Versuche gemacht wurden. Die Teige sind nach dem Standardrezept von Punkt 4.2 hergestellt. Somit können die Extensogrammwerte nicht den ICC Standardmethoden entsprechen.

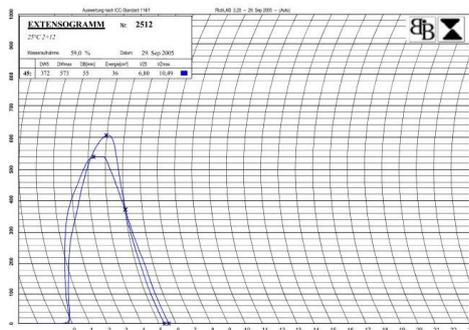
Hier liegt ein Extensogramm eines Teiges von 5°C Mischungstemperatur vor, mit einer Knetzeit von 2 + 2. Es ist deutlich zu sehen, dass der Teig sehr kurz ist. Er weist eine Unterknetung auf. Die Teigtemperatur war hier 10,5°C. (Energie 117)



Hier liegt ein Extensogramm eines Teiges von 15°C Mischungstemperatur und einer Teigtemperatur von 23,8°C vor, mit einer Knetzeit von 2 + 6. Im Gegensatz zum ersten Extensogramm kann man hier deutlich erkennen, dass der Teig gut entwickelt ist. (Energie 90)



Hier liegt ein Extensogramm eines Teiges von 25°C Mischungstemperatur vor, mit einer Knetzeit von 2 + 12. Hier erkennt man deutlich, dass der Teig sehr kurz ist und schon durchaus eine Überknetung aufweist. Hier war die Teigtemperatur 35,4°C. (Energie 36)



Der Teig mit einer Knetzeit von 2 Minuten langsam und 6 Minuten schnell und einer Mischungstemperatur von 15°C wies die besten Teigeigenschaften, sowie die besten Gebäckeeigenschaften auf. Zudem ist die Mischungstemperatur bei 15°C die Temperatur, bei der die Teige am stabilsten sind. Beim Kneten kann bei dieser Temperatur eine Schnellknetphase von 6 bis 8 Minuten gewählt werden, bei der die Einflüsse nur relativ geringfügig sind. Bei anderen Mischungstemperaturen würde es sofort auffallen, wenn die Knetzeit 2 Minuten von der optimalen Knetzeit abweicht. Es wurde somit bestätigt, dass eine Mischungstemperatur von 15°C die besten Teig- und Gebäckeeigenschaften aufweist. Die Knetzeit von 2 + 6 bis 2 + 8 ist die Knetzeit, durch welche die Teige am Besten ausgeknetet und entwickelt sind.

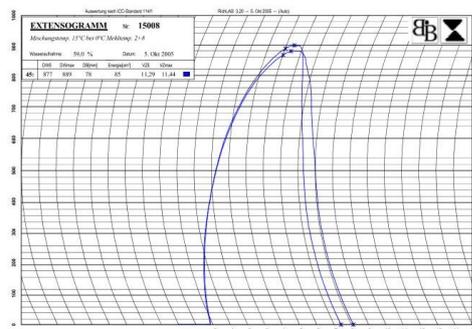
5.1.2 Versuchsreihe B

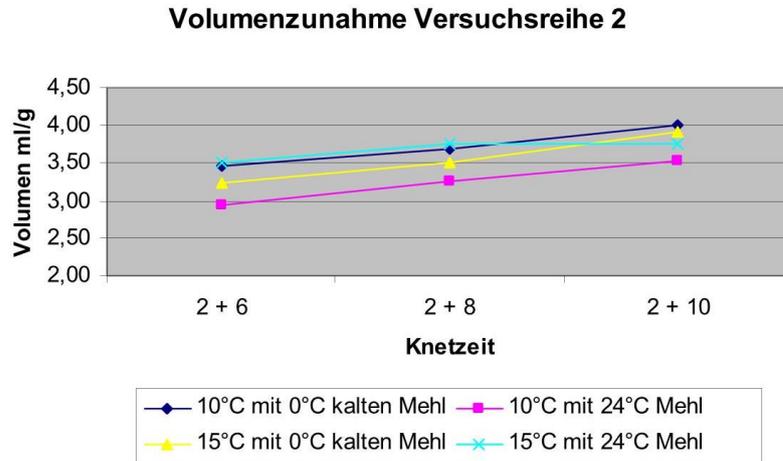
Aus Versuchsreihen mit verschiedener Mehltemperatur kann man entnehmen, dass sich kalt temperiertes Mehl nicht so gut verarbeiten lässt, wie Mehl auf Raumtemperatur. Dies ist durch verschiedene Eigenschaften zu erklären. Zum einen stellte ich die Vermutung auf, dass der a_w - Wert im Teig bei zu kaltem Mehl wesentlich höher ist als bei warmem Mehl. Dies bestätigte sich dadurch, dass sich die eigentliche Kleberausbildung bei kaltem Mehl erst später eingestellt hat. Daraus kann man erkennen, dass die Quellungsphase länger dauerte, da das Mehl erst eine gewisse Temperatur erreichen musste, um diese Phase ausführen zu können.

Der wohl dominierendste Grund ist bei der Eiszugabe und kaltem Mehl erkennbar gewesen. Da sich durch das kalte Mehl das Eis länger im Teig gehalten hat, dauerte es auch hier länger, bis sich der Kleber gebildet hat, was sich somit negativ auf die Teigentwicklung und die Teigstabilität bei gleicher Knetzeit auswirkte.

In den Extensogrammkurven ist gut zu sehen, dass Teige mit kaltem Mehl kürzer sind. Daraus kann man auf eine schlechtere Verarbeitung schließen.

Hier sieht man ein Extensogramm, dass bei einer Knetzeit von 2 + 8 und einer Mehltemperatur von ursprünglich 0°C bereitet wurde. Die Teigentwicklung ist hier etwas kurz und nicht als optimal zu bezeichnen. Dies ist auf das kalte Mehl zurück zu führen. Bei diesem Teig wurde eine Teigtemperatur von 26,3°C erreicht. (Energie 85)





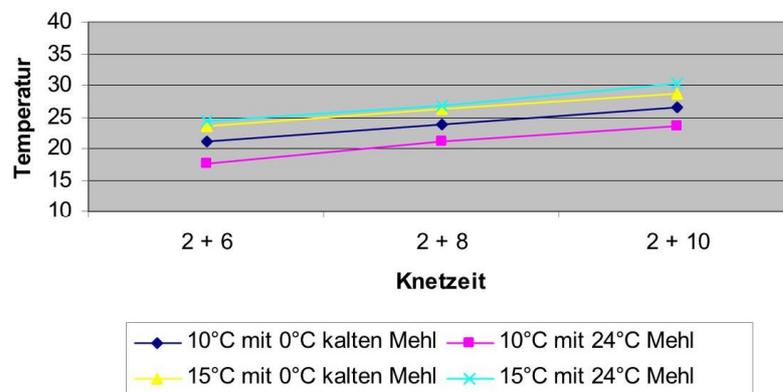
Das größere Volumen bei dem Teig mit 10°C Mischungstemperatur und kaltem Mehl, gegenüber dem Teig mit warmem Mehl ist durch die Eiszugabe zu erklären. Bei dem Teig mit warmem Mehl musste Eis zugegeben werden, um die Mischungstemperatur von 10°C zu erreichen. Da das Eis bei der Teigbereitung länger braucht um zum Schmelzen, als das kalte Mehl, um sich zu erwärmen, waren die Teige, die mit Eis bereitet wurden kälter. Dies führte trotz des warmen Mehls zu einem geringeren Volumen.

Mit dem Teig bei einer Mischungstemperatur von 15°C und warmem Mehl wurde bis zu einer Knetzeit von 2 + 8 das größte Volumen erreicht. Ab einer Knetzeit von 2 + 10 hat der Teig mit einer Mischungstemperatur von 10°C und kaltem Mehl ein höheres Volumen erreicht. Das liegt an der Knetzeit. Bei dem Teig mit einer Mischungstemperatur von 15°C und warmem Mehl ist die Knetzeit von 2 + 8 das Maximum für die Teigmatrix. Wenn man hier den Teig noch länger knetet, weist er eine Überknetung auf und bleibt gleich bzw. nimmt ab im Volumen. Bei der kalten Mischungstemperatur mit kaltem Mehl braucht der Teig eine längere Knetzeit, um auf das gleiche Volumen zu kommen, wie der Teig mit warmem Mehl bei geringerer Knetzeit.

Die Teigtemperaturunterschiede zwischen den mit 10°C Mischungstemperatur hergestellten Teigen betragen maximal 3°C, was einen nicht so großen Unterschied in der Volumenzunahme ausmacht.

Die Teigtemperaturen der mit 15°C Mischungstemperatur hergestellten Teige ist bis auf 0,8°C dieselbe, was in den Diagramm gut zu sehen ist. Je kälter der Teig ist, desto länger muss geknetet werde. Die Unterschiede zwischen kaltem und warmem Mehl sind relativ gering, aber es ist wirtschaftlicher, die Teigtemperatur über die Wassertemperatur zu erreichen, als über die Mehltemperatur.

Temperaturveränderung



6. Resümee

6.1 Schlussfolgerung

Bei der Teigbereitung ist es wichtig, dass die optimale Knetzeit bekannt ist. Diese korreliert signifikant mit der Teigmatrix. Einen großen Einfluss stellt auch die Temperierung der Zutaten dar.

Bei der Herstellung von Teigen sollte man vorher wissen, welches die optimale Knetzeit für die einzelnen Teige ist. Diese ist bei vielen Teigen unterschiedlich. Verwendet man kaltes Mehl oder gibt man Eis zu, muss die Knetzeit verlängert werden.

Man sollte nur eine geringe Menge an Eis zugeben. Eis beeinflusst die Teigmatrix negativ bei gleich bleibender Knetzeit und führt zu Qualitätsverlusten. Auch die Temperierung von Mehl ist nicht empfehlenswert. Wird diese vorgenommen, verlängert sich die Quellungsphase und es kommt auch hier zu Qualitätsverlusten. Die besten Ergebnisse werden durch die Temperierung mit Wasser erreicht. Zudem ist dies auch die einfachste und wirtschaftlichste Methode.

Für Kastenweißbrot mit dem hier genannten Standardrezept empfehle ich eine Knetzeit von 2 min langsam und 8 min schnell, bei einer Mischungstemperatur von 15°C.

6.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei Versuchsreihe A war bei allen Teigen festzustellen, dass die optimale Knetzeit 2 Minuten langsam und zwischen 6 und 8 Minuten schnell beträgt. Nach dieser Knetzeit ist das Klebernetzwerk zwischen Gliadin und Glutenin am Besten ausgeprägt. Knetet man länger, weist der Teig Eigenschaften auf, die darauf schließen lassen, dass der Teig überknetet ist. Bei kürzerer Knetzeit weist der Teig Eigenschaften eines unterkneteten Teiges auf.

Bei den Mischungstemperaturen ist festzustellen, dass mit einer Mischungstemperatur von 15°C die besten Ergebnisse in diesen Versuchsreihen erzielt wurden. Da sich beim Kneten der Teig erwärmt, ist das erreichte Ergebnis an der Quellung zu erklären. Eine intensive Quellung des Klebers fängt bei einer Temperatur von 15 bis 20°C an. Diese Temperaturspanne wird am Besten bei 15°C Mischungstemperatur und einer Knetzeit von 2 + 6 erreicht. Unterhalb dieser Temperatur ist der Kleber zu schwach gequollen und über einer Mischungstemperatur von 15°C besteht die Gefahr, dass der Teig überknetet wird und das dreidimensionale Klebernetzwerk sich überdehnt und reißt.

Bei Versuchsreihe B war die Überlegung, ob es besser ist über die Mehltemperatur, oder die Wassertemperatur die Mischungstemperatur einzustellen.

Nachweislich ist es wirtschaftlicher, die gewünschte Mischtemperatur über das Wasser einzustellen. Wenn dies durch Mehl geschieht, ist anzunehmen, dass das Mehl zu kalt und bei weitem nicht so quellfähig wie das Mehl bei Raumtemperatur ist. Außerdem liegt die Vermutung nahe, dass der a_w -Wert bei Teigen, die mit kaltem Mehl geknetet worden sind, wesentlich höher ist. Dies ist auf die schlechte Wasseraufnahmefähigkeit des kalten Mehls zurück zu führen.

6.3 Summery

The aim of this test series is to find out the optimal mixture temperature, kneading time and temperature of ingredients to prepare the wheat paste in order to ensure a lasting result of the processed pastes and thus to guarantee the demanded quality.

The task was to define the initial temperature of the flour-water-ingredients-mixture and its influence on the paste preparation phase with different kneading times.

Therefore, a recommendation shall be given, at which kneading time and initial temperature the optimum paste and pastry characteristics can be achieved.

As mechanical equipment the following machines and measuring instruments were used: DIOSNA laboratory kneading plant SPV40, MIWE fermenting automat, HEUFT thermal oil floor baking-oven, digital thermometer, volume measuring instrument and a Barbender Extensograph. The basic conditions were specified by fixed factors and variable ones. Fixed factors were defined by Weizenmehl, water, yeast, salt, baking products, paste peace, intermediate refine, paste insert, fermenting ambient temperature and humidity, piece-refine, baking time, as well as baking temperature.

The variables factors are mixture temperature, paste temperature, kneading time, paste condition and the pastry volume.

The procedure of the tests is divided into 12 individual steps. At first the paste was manufactured according to "all in one" procedures. During the paste production it was essential that the mixture temperature was correct. The mixture temperature was measured after having mixed all the ingredients for one minute. The necessary quantity for the Extensogramm test is removed from the finished paste. A sensory paste evaluation follows concerning its firmness, elasticity and other factors. Afterwards the paste has to go through a paste dwell phase. Having finished this, the paste can be brought to the desired weight, in this case 600 g, as well as round-worked.

After a short intermediate refine the paste brought in toast form by rolling. The toast bread boxes must refine 100 minutes in the gaerraum and are then baked at 235°C in the furnace for 30 minutes. Subsequently, volume measurements and pastry analysis are accomplished.

The test series was split up into two single tests. In test series A the aim was to find out the optimal mixture temperature as well as the optimal kneading time. In test series B the mixture temperature was defined, under the condition of the fixed factor flour. By this it should become clear whether it is better to use cold or warm flour.

In test series A it was to be stated with all pastes that the optimal kneading time amount is 2 minutes of fast kneading and between 6 and 8 minutes of slow kneading. After this kneading time the adhesive network between Gliadin and Glutenin is at the best pronounced. If one kneads longer, the paste shows characteristics, which suggest that the paste is over-kneaded. With shorter kneading time the paste shows characteristics of an under-kneaded paste. As for the mixture temperatures it is to be stated that with a mixture temperature by 15°C the best results in this test series were obtained. Since kneading the paste warms it up, the reached result – adhesive swelling - is explained. An intensive swelling of the adhesive begins at a temperature from 15 to 20°C. This temperature breakdown is reached best with 15°C mixture temperature and a kneading time of 2 + 6. Below this temperature the adhesive poured too weakly and additionally there is the danger that the paste is over-kneaded and the three-dimensional adhesive network again develops backwards.

With test series B the consideration was, whether it is better to adjust the mixture temperature by the flour or water temperature.

As proved it is more effective to adjust the desired mixture temperature by the water. If this is done by flour, it is to be accepted that the flour is by far too cold and less swelling than the flour at ambient temperature. In addition the assumption lies close that the aw-value is substantially higher with pastes, which were kneaded with cold flour. This is based on the bad water receptivity of cold flour.

According to these tests the following can be recommended: The adjustment of the paste temperature should be made entirely by the liquid temperature. Cold flour may not be used; ideal is a flour temperature of approx. 20°C. With cold pastes the kneading time must be extended, since only a mixture temperature of 15°C represents the basis of optimal paste production, in which the best kneading time is 6 minutes of fast kneading and 2 minutes of slow kneading.

7. Literaturverzeichnis

	Titel	Verfasser	Verlag	ISBN
1	Lehrbuch der Lebensmittelchemie	H. – D. Belitz, W. Grosch, P. Schieberle	Springer	3-540-41096-1
2	Bäckereitechnologie	Prof. Dr. Horst Skobranek	Handwerk und Technik	3-582-40101-4
3	Dem Mehl auf der Spur	Backforum Bingen	BIB-Ulmer Spatz	
4	Lebensmitteltechnologie	Rudolf Heiss	Springer	3-540-51737-5
5	Lebensmittelchemie	Werner Baltes	Springer	3-540-66525-0
6	Allgemeines Lehrbuch der Lebensmittelchemie	Claus Franzke	Behr's	3-86022-234-1
7	Der junge Bäcker	Egon Schild	Pfanneberg	3-8057-0524-7
8	Unterrichtsunterlagen	Michael Bohnau	LEFA - Berlin	
9	Unterrichtsunterlagen	Axel Juretko	LEFA - Berlin	

8. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Florian Wunderlich, dass ich die vorliegende
Technikerarbeit selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die
Angewendeten verwendet habe.

Berlin, 3 Mai 2006

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Wunderlich', written in a cursive style.

Florian Wunderlich

Anhang E

LimeSurvey Professional - Your online survey service - Untersuchung v... <https://teigkuehlung.limequery.com/admin/printablesurvey/sa/index/surv...>

Untersuchung von Teigkühlssystemen in Bäckereien

Mit dieser Umfrage soll im Rahmen einer Masterarbeit des Studiengangs Nachwachsende Rohstoffe (M. Sc.) der Technischen Universität München eine Untersuchung von Teigkühlssystemen in Bäckereien erfolgen.

Die Ergebnisse der Umfrage und damit der Masterarbeit sollen der gesamten Branche später von Nutzen sein, denn Ziel dieser Arbeit ist es die verschiedenen Systeme zur Teigkühlung einander gegenüber zu stellen, Vor- und Nachteile aufzuzeigen und energetische sowie umweltrelevante Themen zu beleuchten. Aus den Ergebnissen dieser Arbeit soll dann eine Handreichung für die Bäckerbranche generiert werden, besonders für Personen, die sich über Teigkühlssysteme informieren möchten oder über eine Neuanschaffung nachdenken.

Vielen Dank für die Teilnahme an der Umfrage zu Teigkühlssystemen in Bäckereien.

Im Rahmen dieser Umfrage werden Ihnen Fragen zum Betrieb in dem Sie tätig sind, sowie zu verschiedenen Teigkühlssystemen, die aktuell am Markt verfügbar sind gestellt. Bitte nehmen Sie sich etwas Zeit die Fragen zu beantworten und unterstützen Sie damit meine Masterarbeit. Die Bearbeitung der Umfrage sollte **nicht länger als 15 Minuten** in Anspruch nehmen.

Ihre Antworten werden selbstverständlich vertraulich behandelt, es werden keine personenbezogenen Daten erhoben.

Die Umfrage ist aktiv vom 15.04.2018-21.04.2018. Sie können in dieser Zeit an der Umfrage teilnehmen. Sollten Sie die Umfrage unterbrechen wollen, können Sie diese innerhalb dieses Zeitraums jeder Zeit wieder fortsetzen.

Sollten Sie Fragen haben, können Sie sich gerne per e-Mail an stefan.heins@tum.de wenden.

In dieser Umfrage sind 41 Fragen enthalten.

Welche Position haben Sie im Unternehmen inne?

*

📌 Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Betriebsinhaber/Geschäftsführer/Eigentümer
- Produktionsleiter
- Bäckermeister (Angestellt)
- Bäcker (Geselle/Altgeselle)
- Angestellter (Verwaltung)
- Sonstige

Wie hoch ist der Jahresumsatz des Betriebes in dem Sie beschäftigt sind?

*

📌 Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- <500.000,00 €
- 500.000,00 € - 5 Mio. €
- >5 Mio. €

Wie viele Mitarbeiter werden in Ihrem Betrieb beschäftigt?

*

📌 Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1 - 20
- 20-200
- 200-500
- >500

Wie viel % der Mitarbeiter sind mit der Herstellung und Produktion von Backwaren betraut?

- ❗ Nur Zahlen dürfen in diese Felder eingegeben werden.
 - ❗ Jede Antwort muss zwischen 0 und 100 sein
- Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

Prozentsatz der Mitarbeiter an der gesamten Belegschaft, die mit der Herstellung und Produktion von Backwaren betraut sind.

In wie vielen Schichten pro Arbeitstag werden bei Ihnen Backwaren produziert?

- ❗ Ihre Antwort muss zwischen 1 und 3 liegen.
 - ❗ In diesem Feld darf nur ein ganzzahliger Wert eingetragen werden.
- Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Eine Schicht umfasst dabei 8 Zeitstunden an einem normalen Arbeitstag.

Wird in nur einer Schicht gearbeitet, so entspricht dies einem normalen Arbeitstag mit 8 Zeitstunden. Sollte länger als 8 Zeitstunden gearbeitet werden, dies allerdings nur in einer Schicht, geben Sie bitte 1 (=eine Schicht) ein.

An wie vielen Tagen pro Woche werden bei Ihnen Backwaren produziert?

- ❗ Ihre Antwort muss zwischen 1 und 7 liegen.
 - ❗ In diesem Feld darf nur ein ganzzahliger Wert eingetragen werden.
- Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Wie viele Verkaufsstellen hat Ihr Betrieb?

📌 Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- <10
 10-50
 >50

Wie viele Produktionsstandorte hat Ihr Betrieb?

📌 Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1-5
 5-10
 >10

Bitte geben Sie Informationen zu Ihrem Betrieb an.

*

📌 Nur Zahlen dürfen in diese Felder eingegeben werden.

Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

Bitte geben Sie den jährlichen
Mehlverbrauch in Tonnen an.

Bitte geben Sie die jährlich
produzierte Menge an

Backwaren in Tonnen an.

Sollten Ihnen keine Informationen vorliegen, tragen Sie bitte eine 0 ("Null") ein.

Falls Sie keine genauen Daten kennen, können Sie hier auch eine Schätzung abgeben.

Bitte geben Sie den Anteil der jeweiligen Backwaren am gesamten Sortiment an.

*

❗ Nur Zahlen dürfen in diese Felder eingegeben werden.

❗ Die Summe muss gleich 100 sein

❗ Jede Antwort muss zwischen 0 und 100 sein

Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

Bitte geben Sie an, wie hoch der Anteil (in %) an Brot an den produzierten Backwaren beträgt.

Bitte geben Sie an, wie hoch der Anteil (in %) an Kleingebäck an den produzierten Backwaren beträgt.

Bitte geben Sie an, wie hoch der Anteil (in %) an feinen Backwaren an den produzierten Backwaren beträgt.

Bitte beantworten Sie Fragen zum Energieverbrauch im Betrieb.

*

❗ Nur Zahlen dürfen in diese Felder eingegeben werden.

Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

Wie viele kWh Strom wird pro Jahr durchschnittlich im Betrieb verbraucht?

Bitte geben Sie die Menge an verbrauchtem Heizöl in Litern pro Jahr an.

Bitte geben Sie die Menge an verbrauchtem Erdgas in Kubikmetern pro Jahr an.

Bitte geben Sie den Anteil (in %) an Energie an, der für Kältetechnik in Ihrem Betrieb pro Jahr aufgewendet wird.

Sollten Ihnen keine Informationen vorliegen, tragen Sie bitte eine 0 ("Null") ein.

Falls Ihnen keine genauen Daten vorliegen, können Sie auch eine Schätzung abgeben.

Bitte beantworten Sie Fragen zur Lagerung und zum Bezug des Mehls.

*

❗ Bitte wählen Sie einen oder mehrere Punkte aus der Liste aus.

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- Wir erhalten Mehl als Sackware angeliefert.
- Wir erhalten Mehl mit Silofahrzeugen angeliefert.
- Wir lagern unser Mehl in speziellen Lagerräumen.
- Wir lagern unser Mehl in Silos.

Sonstiges:

Bitte geben Sie die Durchschnittstemperatur des bei Ihnen vorrätigen Mehls im Lagerraum/Silo an.

❗ Ihre Antwort muss zwischen 0 und 50 liegen.

❗ In diesem Feld darf nur ein ganzzahliger Wert eingetragen werden.

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Sollten Ihnen dazu keine Daten vorliegen, tragen Sie bitte eine **Null ("0")** ein, oder Schätzen Sie die Temperatur ab.

Welche Knetmaschinensysteme kommen bei Ihnen zum Einsatz?

*

❗ Bitte wählen Sie einen oder mehrere Punkte aus der Liste aus.

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- Stoßhebelknetter bzw. Langsamknetter
- Hubknetter bzw. Schnellknetter
- Doppelkonusknetter
- Spiralknetter bzw. Intensivknetter
- Wendelknetter
- Rundaufschlagknetter
- Mixer
- Kontinuierliches Knetsystem

Sonstiges:

Haben Sie schon einmal von einer optimalen Quelltemperatur gehört?

*

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
 Nein

Die Quelltemperatur ist jene Temperatur, die nach der ersten, langsamen Mischphase im Knetter am Teig gemessen werden kann. Sie sollte zwischen 15..20°C betragen. Eine Einhaltung dieser Quelltemperatur, insbesondere für Weizenteige, sorgt für ein optimales Quellverhalten der Mehlbestandteile und eine bessere Ausbildung des Glutengerüsts.

Messen Sie die optimale Quelltemperatur regelmäßig im Betrieb?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war 'Ja' bei Frage '15 [Q006]' (Haben Sie schon einmal von einer optimalen Quelltemperatur gehört?)

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
 Nein

Die Messung erfolgt nach der Mischphase, bevor in die Knetphase übergegangen wird.

Messen Sie die Teigtemperatur regelmäßig im Betrieb?

*

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
 Nein

Die Teigtemperatur bezeichnet jene Temperatur, die im Teig nach dem Knetvorgang gemessen werden kann.

Bitte geben Sie die angestrebten Teigtemperaturen in Ihrem Betrieb für die jeweiligen Backwaren an.

❗ Nur Zahlen dürfen in diese Felder eingegeben werden.

❗ Jede Antwort muss zwischen 10 und 30 sein

Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

Roggen(misch)brote

Weizen(misch)brote

Weizenkleingebäck (Semmeln,
Brötchen, Schrippen etc.)

Brezeln, Brezen

Feine Backwaren aus touriertem
Teig (Plunderteig, Blätterteig)

Die Teigtemperatur bezeichnet jene Temperatur, die im Teig nach dem Knetvorgang gemessen werden kann.

Arbeiten Sie mit Gärverzögerung?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

Ja

Nein

Als Gärverzögerung oder "Übernachtgare" wird hier die Stückgare von Teiglingen bei einer Temperatur von -5..+5°C bezeichnet. Dadurch erfolgt die Absenkung der Gär- und Enzymtätigkeit auf ein Minimum.

Arbeiten Sie mit Gärunterbrechung?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

Ja

Nein

Als Gärunterbrechung wird hier das Lagern von gegarten Teiglingen bei einer Temperatur von -10..-18°C bezeichnet. Die Gär- und Enzymaktivität wird vollkommen eingestellt.

Produzieren Sie Tiefkühlbackwaren?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
 Nein

Als Tiefkühlbackwaren sind hier Backwaren zu verstehen, die entweder vorgebacken oder ungebacken, auf jeden Fall jedoch nicht fertig gebacken werden und anschließend bei -18°C tiefgefroren werden. Eine Abgabe an den Großhandel oder Endverbraucher ist möglich.

Welche dieser Teigkühlsysteme sind Ihnen bekannt?

*

i Bitte wählen Sie einen oder mehrere Punkte aus der Liste aus.

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- aktive Mehlkühlung (z. B. Siloaustrag mittels kälteerzeugender Gase wie Stickstoff oder Kohlendioxid, oder aktives Herabkühlen des Mehls durch Verbringung in Kühlräume))
- Scherbeneis/Eisflakes/Brucheis
- Eiswasser (kaltes Wasser mit einer Temperatur von $+2..+3^{\circ}\text{C}$)
- Salzsole (Wasser-Kochsalz-Gemisch, das auf eine Temperatur von ca. -9°C herabgekühlt wird, OHNE Bildung von Eiskristallen)
- Binäreis/Eisbrei/Quelleis/Slurryeis (Wasser-Kochsalzgemisch, das auf eine Temperatur von $-2..0^{\circ}\text{C}$ herabgekühlt wird, MIT Bildung von Eiskristallen)
- Kühlung durch kryogene Gase (direktes Entspannen von kälteerzeugendem Gas, z. B. CO_2 in den Knetkessel)
- Gekühlte Knetmaschinen/Doppelmantelkühlung/Knetwerkzeugkühlung
- Keines davon
- Andere

Da Sie bei der Frage, welche Teigkühlsysteme Ihnen bekannt seien "Andere" gewählt haben, welches ist Ihnen darüber hinaus bekannt?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war bei Frage '22 [Q012]' (Welche dieser Teigkühlsysteme sind Ihnen bekannt?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Welche dieser Teigkühlsysteme wird bei Ihnen angewendet?

*

🗳 Bitte wählen Sie einen oder mehrere Punkte aus der Liste aus.

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- aktive Mehlkühlung (z. B. Siloaustrag mittels kälteerzeugender Gase wie Stickstoff oder Kohlendioxid, oder aktives Herabkühlen des Mehls durch Verbringung in Kühlräume))
- Scherbeneis/Eisflakes/Brucheis
- Eiswasser (kaltes Wasser mit einer Temperatur von +2..+3°C)
- Salzsole (Wasser-Kochsalz-Gemisch, das auf eine Temperatur von ca. -9°C herabgekühlt wird, OHNE Bildung von Eiskristallen)
- Binäreis/Eisbrei/Quelleis/Slurryeis (Wasser-Kochsalzgemisch, das auf eine Temperatur von -2..0°C herabgekühlt wird, MIT Bildung von Eiskristallen)
- Kühlung durch kryogene Gase (direktes Entspannen von kälteerzeugendem Gas, z. B. CO₂ in den Knetkessel)
- Gekühlte Knetmaschinen/Doppelmantelkühlung/Knetwerkzeugkühlung
- Keines davon
- Andere

Eine Kombination ist möglich, wenn Sie eine Kombination aus Teigkühlsystemen verwenden. Ansonsten geben Sie bitte nur eine Antwortmöglichkeit.

Da Sie bei der Frage welche Teigkühlsysteme bei Ihnen eingesetzt werden "Andere" gewählt haben, welches wird bei Ihnen eingesetzt?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war bei Frage '24 [Q013]' (Welche dieser Teigkühlsysteme wird bei Ihnen angewendet?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Bitte geben Sie folgende Daten zu dem von Ihnen eingesetzten Teigkühlsystem an.

*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war 'Andere' oder 'Gekühlte Knetmaschinen/Doppelmantelkühlung/Knetwerkzeugkühlung' oder 'Kühlung durch kryogene Gase (direktes Entspannen von kälteerzeugendem Gas, z. B. CO₂ in den Knetkessel)' oder 'Binäreis/Eisbrei/Quelleis/Slurryeis (Wasser-Kochsalzgemisch, das auf eine Temperatur von -2..0°C herabgekühlt wird, MIT Bildung von Eiskristallen)' oder 'Salzsole (Wasser-Kochsalz-Gemisch, das auf eine Temperatur von ca. -9°C herabgekühlt wird, OHNE Bildung von Eiskristallen)' oder 'Eiswasser (kaltes Wasser mit einer Temperatur von +2..+3°C)' oder 'Schereneis/Eisflakes/Brucheis' oder 'aktive Mehlkühlung (z. B. Siloaustrag mittels kälteerzeugender Gase wie Stickstoff oder Kohlstoffdioxid, oder aktives herabkühlen des Mehls durch Verbringung in Kühlräume))' bei Frage '24 [Q013]' (Welche dieser Teigkühlsysteme wird bei Ihnen angewendet?)

🗨 Nur Zahlen dürfen in diese Felder eingegeben werden.

Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

Kälteleistung der Kältemaschine
in KW

Elektrische Leistung der
Kältemaschine in KW

Betriebsstunden pro Jahr

Wie viele Jahre ist das System
bei Ihnen bereits in Einsatz?

Falls Ihnen keine Daten bekannt sind, geben Sie bitte 0 ein!

Insofern Sie mehrere Teigkühlsysteme in Kombination einsetzen, geben Sie die Daten bitte für jenes System ein, dass Sie überwiegend einsetzen (höhere jährliche Betriebsstundenzahl).

Warum haben Sie sich für dieses Teigkühlsystem entschieden?

*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war 'Andere' oder 'Gekühlte Knetmaschinen/Doppelmantelkühlung/Knetwerkzeugkühlung' oder 'Kühlung durch kryogene Gase (direktes Entspannen von kälteerzeugendem Gas, z. B. CO₂ in den Knetkessel)' oder 'Binäreis/Eisbrei/Quelleis/Slurryeis (Wasser-Kochsalzgemisch, das auf eine Temperatur von -2..0°C herabgekühlt wird, MIT Bildung von Eiskristallen)' oder 'Salzsole (Wasser-Kochsalz-Gemisch, das auf eine Temperatur von ca. -9°C herabgekühlt wird, OHNE Bildung von Eiskristallen)' oder 'Eiswasser (kaltes Wasser mit einer Temperatur von +2..+3°C)' oder 'Scherbeneis/Eislakes/Brucheis' oder 'aktive Mehlkühlung (z. B. Siloaustrag mittels kälteerzeugender Gase wie Stickstoff oder Kohlstoffdioxid, oder aktives herabkühlen des Mehls durch Verbringung in Kühlräume))' bei Frage '24 [Q013]' (Welche dieser Teigkühlsysteme wird bei Ihnen angewendet?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Ja	Unsicher	Nein
Damit lassen sich alle gewünschten Teigtemperaturen erreichen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eine Anpassung der Knetzeiten ist nicht notwendig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die rheologischen Teigeigenschaften sind optimal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die bestehende Rezeptur muss in keinem Punkt angepasst werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Höhere Kühlwirkung als andere Systeme	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Niedriger Energieverbrauch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Automatische Dosierbarkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur im Verlauf des Knetprozesses möglich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Niedrige Investitionskosten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Höhere Hygienestandards	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bessere Gärstabilität	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbesserte Kleberbildung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Niedrige laufende Kosten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Ja	Unsicher	Nein
Einfache Anwendbarkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das System war bereits im Betrieb vorhanden und wurde vom Vorbesitzer übernommen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Notwendig, da kein anderes Teigkühlsystem einsetzbar (z. B. bei Produktion wasserfreier Teige)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Andere	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Da Sie bei der Frage nach den Gründen für den Einsatz eines bestimmten Teigkühlsystems "Andere" gewählt haben, welche Gründe liegen vor?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war 'Ja' bei Frage '27 [Q014]' (Warum haben Sie sich für dieses Teigkühlsystem entschieden? (Andere))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Bitte benennen Sie Gründe die dagegen sprechen das bisher verwendete Teigkühlsystem weiter zu benutzen.

*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war 'Andere' oder 'Gekühlte Knetmaschinen/Doppelmantelkühlung/Knetwerkzeugkühlung' oder 'Kühlung durch kryogene Gase (direktes Entspannen von kälteerzeugendem Gas, z. B. CO2 in den Knetkessel)' oder 'Binäreis/Eisbrei/Quelleis/Slurryeis (Wasser-Kochsalzgemisch, das auf eine Temperatur von -2..0°C herabgekühlt wird, MIT Bildung von Eiskristallen)' oder 'Salzsole (Wasser-Kochsalz-Gemisch, das auf eine Temperatur von ca. -9°C herabgekühlt wird, OHNE Bildung von Eiskristallen)' oder 'Eiswasser (kaltes Wasser mit einer Temperatur von +2..+3°C)' oder 'Scherbeneis/Eisflakes/Brucheis' oder 'aktive Mehlkühlung (z. B. Siloaustrag mittels kälteerzeugender Gase wie Stickstoff oder Kohlstoffdioxid, oder aktives herabkühlen des Mehls durch Verbringung in Kühlräume))' bei Frage '24 [Q013]' (Welche dieser Teigkühlsysteme wird bei Ihnen angewendet?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Wenn Sie ein neues Teigkühlsystem anschaffen würden, welches wäre dies?

*

i Bitte wählen Sie einen oder mehrere Punkte aus der Liste aus.

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- aktive Mehlkühlung (z. B. Siloaustrag mittels kälteerzeugender Gase wie Stickstoff oder Kohlstoffdioxid, oder aktives herabkühlen des Mehls durch Verbringung in Kühlräume))
- Scherbeneis/Eisflakes/Brucheis
- Eiswasser (kaltes Wasser mit einer Temperatur von +2..+3°C)
- Salzsole (Wasser-Kochsalz-Gemisch, das auf eine Temperatur von ca. -9°C herabgekühlt wird, OHNE Bildung von Eiskristallen)
- Binäreis/Eisbrei/Quelleis/Slurryeis (Wasser-Kochsalzgemisch, das auf eine Temperatur von -2..0°C herabgekühlt wird, MIT Bildung von Eiskristallen)
- Kühlung durch kryogene Gase (direktes Entspannen von kälteerzeugendem Gas, z. B. CO2 in den Knetkessel)
- Gekühlte Knetmaschinen/Doppelmantelkühlung/Knetwerkzeugkühlung
- Keines davon
- Andere

Da Sie bei der Frage nach dem Einsatz eines neuen Teigkühlsystems "Andere" gewählt haben, welches andere Teigkühlsystem würden Sie einsetzen?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war bei Frage '30 [Q015]' (Wenn Sie ein neues Teigkühlsystem anschaffen würden, welches wäre dies?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Warum haben Sie sich für dieses neue Teigkühlsystem entschieden?

*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war 'Andere' oder 'Gekühlte Knetmaschinen/Doppelmantelkühlung/Knetwerkzeugkühlung' oder 'Kühlung durch kryogene Gase (direktes Entspannen von kälteerzeugendem Gas, z. B. CO₂ in den Knetkessel)' oder 'Binäreis/Eisbrei/Quelleis/Slurryeis (Wasser-Kochsalzgemisch, das auf eine Temperatur von -2..0°C herabgekühlt wird, MIT Bildung von Eiskristallen)' oder 'Salzsole (Wasser-Kochsalz-Gemisch, das auf eine Temperatur von ca. -9°C herabgekühlt wird, OHNE Bildung von Eiskristallen)' oder 'Eiswasser (kaltes Wasser mit einer Temperatur von +2..+3°C)' oder 'Schereneis/Eislakes/Brucheis' oder 'aktive Mehlkühlung (z. B. Siloaustrag mittels kälteerzeugender Gase wie Stickstoff oder Kohlstoffdioxid, oder aktives herabkühlen des Mehls durch Verbringung in Kühlräume))' bei Frage '30 [Q015]' (Wenn Sie ein neues Teigkühlsystem anschaffen würden, welches wäre dies?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Ja	Unsicher	Nein
Damit lassen sich alle gewünschten Teigtemperaturen erreichen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eine Anpassung der Knetzeiten ist nicht notwendig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die rheologischen Teigeigenschaften sind optimal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die bestehende Rezeptur muss in keinem Punkt angepasst werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Höhere Kühlwirkung als andere Systeme	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Niedriger Energieverbrauch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Automatische Dosierbarkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fortlaufende Anpassung der Teigtemperatur im Verlauf des Knetprozesses möglich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Niedrige Investitionskosten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Höhere Hygienestandards	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bessere Gärstabilität	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verbesserte Kleberbildung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Niedrige laufende Kosten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Ja	Unsicher	Nein
Einfache Anwendbarkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das System war bereits im Betrieb vorhanden und wurde vom Vorbesitzer übernommen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Notwendig, da kein anderes Teigkühlssystem einsetzbar (z. B. bei Produktion wasserfreier Teige)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Andere	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Da Sie bei der Frage nach den Gründen für ein bestimmtes Teigkühlssystem "Andere" gewählt haben, welche Gründe liegen vor?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war 'Ja' bei Frage '32 [Q016]' (Warum haben Sie sich für dieses neue Teigkühlssystem entschieden? (Andere))

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Was spricht Ihrer Ansicht nach gegen den Einsatz von Scherbeneis/Eisflakes/Brucheis zur Teigkühlung?

*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war bei Frage '30 [Q015]' (Wenn Sie ein neues Teigkühlssystem anschaffen würden, welches wäre dies?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Was spricht Ihrer Ansicht nach gegen den Einsatz von Eiswasser zur Teigkühlung?

*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war bei Frage '30 [Q015]' (Wenn Sie ein neues Teigkühlsystem anschaffen würden, welches wäre dies?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Was spricht Ihrer Ansicht nach gegen den Einsatz von Salzsole zur Teigkühlung?

*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war bei Frage '30 [Q015]' (Wenn Sie ein neues Teigkühlsystem anschaffen würden, welches wäre dies?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Was spricht Ihrer Ansicht nach gegen den Einsatz von Binäreis/Eisbrei/Quelleis/Slurryeis zur Teigkühlung?

*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war bei Frage '30 [Q015]' (Wenn Sie ein neues Teigkühlsystem anschaffen würden, welches wäre dies?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Was spricht Ihrer Ansicht nach gegen den Einsatz von kryogenen Gasen zur Teigkühlung?

*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war bei Frage '30 [Q015]' (Wenn Sie ein neues Teigkühlsystem anschaffen würden, welches wäre dies?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Was spricht Ihrer Ansicht nach gegen den Einsatz von gekühlten Knetmaschinen/Doppelmantelkühlung /Knetwerkzeugkühlung zur Teigkühlung?

*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war bei Frage '30 [Q015]' (Wenn Sie ein neues Teigkühlsystem anschaffen würden, welches wäre dies?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Was spricht Ihrer Ansicht nach gegen den Einsatz von aktiver Mehlkühlung zur Teigkühlung?

*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Antwort war bei Frage '30 [Q015]' (Wenn Sie ein neues Teigkühlsystem anschaffen würden, welches wäre dies?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Wie schätzen Sie Ihrer Ansicht nach folgende Aussagen ein?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	trifft voll zu	trifft eher zu	teils-teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
Die handwerkliche Produktion von Backwaren in Bäckereien wird in Zukunft sinken.	<input type="radio"/>				
Die industrielle oder großtechnische Produktion von Backwaren wird in Zukunft steigen.	<input type="radio"/>				
Die Qualität der Backwaren lässt sich durch den Einsatz von Teigkühlssystemen steuern	<input type="radio"/>				
Die Bedeutung der richtigen Quelltemperatur wird zukünftig noch steigen.	<input type="radio"/>				
Die Bedeutung der richtigen Teigtemperatur wird zukünftig noch steigen.	<input type="radio"/>				
Die Investition in neue Teigkühlssysteme ist wichtig und sinnvoll.	<input type="radio"/>				
Die Kosten um Teig zu kühlen sind unerheblich.	<input type="radio"/>				
Die Kosten um Teig zu kühlen sind erheblich.	<input type="radio"/>				
Der Einsatz bestimmter Knetmaschinenteknik bedingt den Einsatz bestimmter Teigkühlssysteme	<input type="radio"/>				
Backwaren werden zukünftig schneller hergestellt werden, Teigruhezeiten, Knetzeiten etc. verkürzen sich.	<input type="radio"/>				
Backwaren werden zukünftig zentral hergestellt und dezentral verkauft werden.	<input type="radio"/>				

LimeSurvey Professional - Your online survey service - Untersuchung v... <https://teigkuehlung.limequery.com/admin/printablesurvey/sa/index/surv...>

	trifft voll zu	trifft eher zu	teils-teils	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
Verbraucher legen mehr Wert auf Qualität als auf den Preis von Backwaren.	<input type="radio"/>				
Verbraucher legen mehr wert auf den Preis als auf die Qualität von Backwaren.	<input type="radio"/>				
Unser Betrieb ist für die Zukunft gut gerüstet und vorbereitet.	<input type="radio"/>				
Ich mache mir Sorgen darüber, ob mein Arbeitsplatz in Zukunft noch sicher ist.	<input type="radio"/>				

21.04.2018 – 23:59

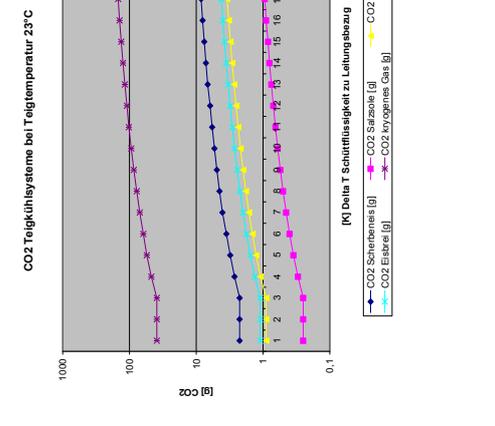
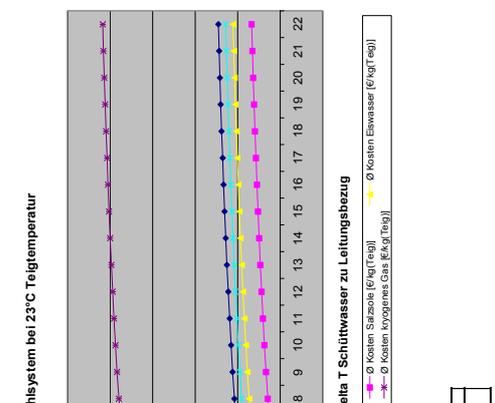
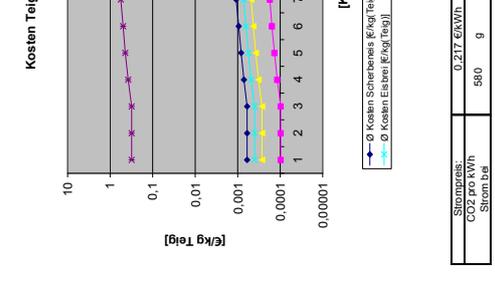
Übermittlung Ihres ausgefüllten Fragebogens:
Vielen Dank für die Beantwortung des Fragebogens.

Anhang F

Energiekostenermittlung

T in °C des Mehlis	T in °C des Schüttwassers	Kühlung notwendig?	ΔT von Schüttwasser zu Leihwasser	cp Teig [kJ/kgK]	cp Mehl [kJ/kgK]	ΔT _{me} [K]	cp Eis [kJ/kgK]	cp Salzsäure [kJ/kgK]	cp Wasser [kJ/kgK]	Sublimationsenthalpie CO ₂ [kJ/kgK] bei ΔT = 78,025°C, 0°C	cp CO ₂ [kJ/kgK]	CO ₂ Gas:						
												CO ₂ Salzsäure [kg/Teig]	CO ₂ Eis [kg/Teig]					
14	22	NEIN	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
15	21	NEIN	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
16	20	NEIN	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
17	19	JA	1	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
18	18	JA	1	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
19	17	JA	1	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
20	16	JA	4	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
21	15	JA	5	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
22	14	JA	5	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
23	13	JA	5	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
24	12	JA	6	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
25	11	JA	6	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
26	10	JA	10	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
27	9	JA	11	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
28	8	JA	12	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
29	7	JA	12	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
30	6	JA	14	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
31	5	JA	15	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
32	4	JA	16	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
33	3	JA	17	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
34	2	JA	18	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
35	1	JA	18	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5

Kälteleistung [kW]	Elektrische Leistung [kW]	Kühlmittel pro Stunde [kg/h]	Kosten [€/kg]	Q _{Kühl} pro kg Teig [kJ]	Q _{Krienerwärmung} pro kg Teig [kJ]	ΔT _{me} [K]	cp Mehl [kJ/kgK]	cp Wasser [kJ/kgK]	Sublimationsenthalpie CO ₂ [kJ/kgK] bei ΔT = 78,025°C, 0°C	cp CO ₂ [kJ/kgK]											
1,74	0,95	3,54	0,058	444,378	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
2,97	0,99	7,08	0,059	444,378	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
5,08	0,70	416,07	0,052	444,378	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
2,50	0,70	5,31	0,053	444,378	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,013	0,575	50	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	60	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	70	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	80	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	90	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	100	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	110	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	120	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	130	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	140	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	150	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	160	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	170	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	180	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	190	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	200	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	210	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5
1,189	0,575	220	0,002	85,813	0	0	11,5	0,26	2,24	0,000598	0,097	0,25	0,000207	0,134	0,9	0,000268	1,1	0,000399	0,039	0,31187	11,5



CO ₂ Schmelze [g]	0,00073
CO ₂ Salzsäure [g]	0,00073
CO ₂ Eis [g]	0,00073
CO ₂ kryogenes Gas [g]	0,00073
Strompreis: CO ₂ pro kWh	0,217 €/kWh
Strom bei	580 g

Anhang G

Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Teigkühlsysteme

Allgemein:	Teigtemperatur [°C]	Gewicht Brötchen [g]	Stückzahl Brötchen pro Tag	Teigmenge [g]	Mehltemperatur [°C]
	23	60	1600	96000	16
	Wassertemperatur Leitung [°C]	Zinssatz	Laufzeit in Jahren	Annuitätenfaktor	
	20	0,03	10	0,117230507	

System	Scherbeneis	Eiswasser	Salzsole	Eisbrei	kryogene Gase
Betriebskosten variabel					
Kosten für Kühlung Mehl/Wasser/Knetter in [€/kgTeig]	0,0005980 €	0,0002680 €	0,0000970 €	0,0003990 €	0,3118700 €
Kosten für Kühlung pro Brötchen	0,0000359 €	0,0000161 €	0,0000058 €	0,0000239 €	0,0187122 €
Kosten für Kühlung pro Tag	0,06 €	0,03 €	0,01 €	0,04 €	29,94 €
Kosten für Kühlung pro Jahr	20,95 €	9,39 €	3,40 €	13,98 €	10.927,92 €
Betriebskosten fix Kapitalkosten					
Ak je System	6.000,00 €	4.909,83 €	3.500,00 €	3.500,00 €	15.000,00 €
kalk. Zins	90,00 €	73,65 €	52,50 €	52,50 €	225,00 €
kalk. Abschreibung	600,00 €	490,98 €	350,00 €	350,00 €	1.500,00 €
Summe	6.710,95 €	5.483,85 €	3.905,90 €	3.916,48 €	27.652,92 €
Gewinn pro Brötchen [€/St.]	0,06 €	0,06 €	0,06 €	0,06 €	0,06 €
Stückzahl an Brötchen bis zur Amortisation	111916	91422	65105	65301	669760
Tage bis zur Amortisation	70	57	41	41	419
Kohlenstoffdioxidemissionen					
in [g] pro [kgTeig]	2,24	0,9	0,25	1,1	39
Gesamt in [kg/a]	78,4896	31,536	8,76	38,544	1366,56