

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Entwicklung und Prüfung von Ersatzstoffen für die Bestimmung des Energie-
verbrauchs bei gewerblichen Fritteusen nach DIN 18873-3

Bachelorarbeit

im Studiengang Ökotrophologie

vorgelegt von

Klysz, Nadine

Matrikelnummer: XXXXXXXXXX

Hamburg

am 30. August 2018

Gutachter: Prof. Dr. Jörg Andreä (HAW Hamburg)

Gutachter: Dipl.-Oec.troph. Andreas Helm (HKI)

Die Abschlussarbeit wurde betreut und erstellt in Zusammenarbeit mit dem
HKI Industrieverband Haus-, Heiz-, und Küchentechnik e.V.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	6
1 Einführung.....	8
1.1 Ziele der Bachelorarbeit.....	9
1.2 Vorstellung des Industrieverbands Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V.....	10
2 Theoretische Grundlagen.....	10
2.1 Kartoffeln: Rohstoff für Pommes frites.....	11
2.2 Ernährungsphysiologische Eigenschaften von Pommes Frites im Vergleich zu Kartoffeln 14	
2.2.1 Industrielle Herstellung von Pommes frites.....	15
2.2.2 Anforderungen an Pommes frites nach dem Leitsatz für Kartoffelerzeugnisse	17
2.3 Allgemeiner Aufbau und Funktionsweise von gewerblichen Fritteusen	18
2.4 Wärme- und Massentransfer beim Frittierprozess.....	19
2.4.1 Der TPM – Wert als Kriterium zur Beurteilung der Fettqualität	21
2.5 Zusammenfassung des Energiemessverfahrens nach DIN 18873-3	21
3 Theoretische Überlegung zu möglichen Ersatzstoffen	26
3.1 Anforderungen an den Ersatzstoff.....	26
3.2 Ideenfindung	27
3.2.1 Ergebnisse vorangegangener Abschlussarbeiten.....	27
3.3 Kartoffelstärke als mögliche Komponente eines Ersatzstoffes.....	30
3.3.1 Technologische Eigenschaften der Kartoffelstärke in Hinblick auf die Herstellung eines Ersatzstoffes.....	32
3.4 Kartoffelflocken als Proteinlieferant im Ersatzstoff zur Ausbildung einer Kruste	35
3.5 Überlegungen zu einer stabilisierenden Hülle	37
4 Vorgehensweise und Ergebnisdarstellung der praktischen Vorversuche zum Finden eines Ersatzstoffes.....	38
4.1 Überblick der Methodik zur Identifikation möglicher Ersatzstoffe.....	38
4.1.1 Verwendete (Mess-) Geräte und Datenerfassung in den Vorversuchen und für die Versuche nach DIN 18873-3	39
4.1.2 Verwendete Materialien und Lebensmittel	41
4.2 Vorversuche in der MKN Fritteuse London I.....	42
4.2.1 Verkleisterungstemperatur und Mischverhältnis von Stärke und Wasser	43
4.2.2 Versuchsbeschreibung der Vorversuche zum Gewichtsverlust und Frittierverhalten 44	

4.2.3	Ergebnisse der Vorversuche verschiedener Rezepturen aus Stärke, Flocken, Kartoffelprotein und Wasser.....	46
4.3	Herstellung der Silikonformen zur Formung der Stäbchen.....	55
4.3.1	Vorversuch zum Vergleich der Frittiereigenschaften und Gewichtsverlust der Pyramidenform und der Stäbchenform	57
4.4	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Vorversuchen und Ausblick auf die Versuche nach DIN 18873-3.....	59
5	Energieverbrauchsmessungen nach DIN 18873-3 und Untersuchungen der Zusammensetzung des Gewichtsverlustes.....	61
5.1	Versuchsbeschreibung und Ergebnisse des Vorheiz- und Warmhaltezyklus nach DIN 18873-3 in der MKN Fritteuse London I.....	61
5.1.1	Vergleich der Ergebnisse des Vorheiz- und Warmhaltezyklus mit den vorangegangenen Messwerten aus der Masterthesis von Frau König.....	69
5.2	Vorgehensweise bei den Versuchen zum Frittierzyklus nach DIN 18873-3 und Methodik zur Bestimmung der Wasserverdampfung und Fettaufnahme durch den Frittierprozess.....	71
5.3	Betrachtung von Abmessungen, Volumina und Oberflächen der Pommes frites und der Stäbchenform für die Ersatzstoffe	77
5.4	Ergebnisse des Frittierzyklus nach DIN 18873-3 von McCain und Base Culinar Pommes frites als Referenzwerte	78
5.5	Versuchsergebnisse beim Ersetzen der Pommes frites durch mögliche Ersatzstoffe im Frittierzyklus nach DIN 18873-3	84
6	Ergebnisdiskussion der untersuchten Ersatzstoffe im Hinblick auf die Eignung zum Ersetzen der Pommes frites in der DIN 18873-3	93
	Zusammenfassung.....	96
	Abstract	98
7	Literaturverzeichnis.....	100
8	Eidesstaatliche Erklärung	103
9	Anhang	104

Abkürzungsverzeichnis

<i>c</i>	spezifische Wärmekapazität
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DGF	Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaften
DGH	Deutsche Gesellschaft für Hauswirtschaft e.V.
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN EN	Deutsche und europäische Ausgabe einer Norm
DLMBK	Deutsche Lebensmittelbuch Kommission
<i>E</i>	Energieverbrauch
HKI	Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V.
h, min und s / t	Stunden, Minuten, Sekunden / Zeit
IFS	International Food Standard
ISO	International Organization for Standardization
Kcal und kJ	Kilokalorien und Kilojoule
KfSW	Bezeichnung einer Rezeptur aus Kartoffelflocken, Stärke und Wasser
KfW	Bezeichnung einer Rezeptur aus Kartoffelflocken und Wasser
kg, bzw. g	Kilogramm, bzw. Gramm
kWh, bzw. Wh	Kilowattstunden, bzw. Wattstunden
MKN	Maschinenfabrik Kurt Neubauer GmbH
Δm	Gewichtsdifferenz
mm, mm ² , mm ³	Millimeter, Quadratmillimeter und Kubikmillimeter
NAPE	Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz
η	Energieeffizienz oder Wirkungsgrad
<i>Q</i>	Wärmeenergie
SW	Bezeichnung einer Rezeptur aus Stärke und Wasser
SWP	Bezeichnung einer Rezeptur aus Stärke, Wasser und Proteinpulver
SWPF	Bezeichnung einer Rezeptur aus Stärke, Wasser, Proteinpulver und Fett
TPM	Total Polar Materials

T und ΔT

Temperatur und Temperaturdifferenz

VDGS

Verband Deutscher Getreideverarbeiter und Stärkehersteller e.V.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema einer Kartoffelpflanze, Quelle: (Fuchs, o.J.)	11
Abbildung 2: Strukturformel der Stärkebausteine Amylose und Amylopektin, Quelle: (Clark, Moore, & Vodopich, 1998).....	13
Abbildung 3 Wärme- und Massentransfer beim Frittieren, Quelle: (Gertz & Matthäus, 2012, S. 5).	20
Abbildung 4: Industrieller Herstellungsprozess von Kartoffelstärke, Quelle: (AVEBE, o.J.).....	31
Abbildung 5 Nährwertangabe der Kartoffelstärke von MCC Trading Deutschland GmbH.....	34
Abbildung 6: Kartoffelflocken von der Bäckerei Spiegelhauer als Zutat in der Rezeptur für Ersatzstoffe.....	35
Abbildung 7: Bedienelemente und Fettablauf der Fritteuse London I von MKN	39
Abbildung 8: Eiswürfelform für die Vorversuche, Ansicht der umgedrehten Form	43
Abbildung 9 Verkleisterung von 40% Stärkeanteil bei 60°C	44
Abbildung 10: Diagramm zur Frittierzeit auf 36 % Gewichtsverlust möglicher Ersatzstoffe in Eiswürfelform.....	49
Abbildung 11 Von oben nach unten: SW (20 min), KfSW 2 erhitzt (10:00 min) und KfSW 1 (06:30 min)	51
Abbildung 12 Von oben nach unten: SW (25 min), KfSW 2 erhitzt (09:00 min) und KfSW 1 (07:00 min)	51
Abbildung 13: Frittierte KfW Rezeptur, von links: 04:30, 06:00, 03:30 und 10:00 min Frittierzeit, einige Pyramiden sind exemplarisch aufgebrochen worden.....	52
Abbildung 14: Direkt nach dem Hineingeben der SPW-Pyramiden in das Frittieröl	53
Abbildung 15: an die Oberfläche geschwommene SPW-Pyramiden nach 06:00 min	53
Abbildung 16: 07:00 min frittierte SPW-Pyramiden mit leichter Krustenausbildung und leicht gebräunt.....	54
Abbildung 17: Vergleich der frittierten Pyramiden, links die Rezeptur SWP ohne Fett, rechts SWPF mit Fett.....	54
Abbildung 18: Herstellen der Silikonformen: links die fertige Form, rechte Form härtet bei Raumtemperatur aus	56
Abbildung 19: Mit SW Rezeptur befüllte Silikonformen.....	57
Abbildung 20: Angerührte und bei 58 °C erhitzte SWPF-Mischung.....	57
Abbildung 21: Befüllung mit der Mindestfüllmenge laut Herstellerangabe von 6,5 l Öl, was unterhalb der Minimal-Markierung des Füllbeckens liegt.....	62
Abbildung 22: Diagramm zum Vorheizzyklus, exemplarisch	64
Abbildung 23: Diagramm zum Warmhaltezyklus, exemplarisch	67
Abbildung 24: Eine 600 g Charge der McCain Pommes frites beim Abtropfen für 10 min in einem gelochten GN.....	74
Abbildung 25: Ergebnis der Probe eines tiefgekühlten SW-Stäbchens mit einem Wasseranteil von 71,60 %.....	76
Abbildung 26: Exemplarische tiefgefrorene McCain Pommes frites nach Länge sortiert aus der Verkaufsverpackung mit der Losnummer L11022018 09:20 F	77
Abbildung 27: Diagramm Frittierzyklus McCain Pommes in 600 g Chargen für 06:20 min	80
Abbildung 28: Diagramm zur Zusammensetzung des Gewichtsverlusts von McCain Pommes frites (600 g Chargen mit jeweiliger Frittierzeit von 06:20 min) und Base Culinar (König, 2015, S. 73) (800 g Chargen mit jeweiliger Frittierzeit von 04:30 min) und möglichen Ersatzstoffen (600 g Chargen mit jeweiliger Frittierzeit von 06:00 min).....	86

Abbildung 29: Diagramm zum Frittierzyklus der SW-Stäbchen nach DIN 18873-3	87
Abbildung 30: Frittieren einer 600 g Charge SW-Stäbchen 04:40 min nach Frittierbeginn	88
Abbildung 31: 600 g Charge SW-Stäbchen nach einer Frittierzeit von 06:00 min	88
Abbildung 32: Frittierzyklus der SWPF-Stäbchen nach DIN 18873-3.....	89
Abbildung 33: Anhaftende Reste (vor Entfernung) der 600 g Charge SWPF-Stäbchen nach 06:00 min Frittierzeit,.....	90
Abbildung 34: Frittieren einer 600 g SWPF-Charge 05:00 min nach Beginn.....	91
Abbildung 35: Frittierte 600 g SWPF-Charge nach einer Frittierzeit von 06:00 min.....	91
Abbildung 36: Diagramm zum Frittierzyklus der KfSW-Stäbchen nach DIN 18873-3	91
Abbildung 37: Frittierte 600 g KfSW-Stäbchen nach 06:00 min Frittierzeit.....	92
Abbildung 38: Aufgebrochenes KfSW-Stäbchen	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nährwerte auf 100 g von Kartoffeln, Quelle: (Biesalski P. D.-K., 2005, S. 2) und McCain Pommes frites, Quelle: (McCain GmbH, o.J.) im Vergleich	14
Tabelle 2: Gegenüberstellung von Standard und Extra-Qualität von vorfrittierten Pommes frites, Quelle: (Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission, 2010, S. 4-5).....	18
Tabelle 3: Angabe der Nährwerte von 100 g Kartoffelflocken, hergestellt von der Bäckerei Spiegelhauer.....	36
Tabelle 4: Verwendete Messgeräte für die Vorversuche und für die Versuche nach DIN 18873-3	40
Tabelle 5: Verwendete Materialien und Lebensmittel in den Vorversuchen und Versuche nach DIN 18873-3	41
Tabelle 6: Übersicht aller durchgeführten Vorversuche	42
Tabelle 7: Messwerte des Ersatzstoffs aus Stärke, Protein und Wasser in Eiswürfelförmchen	45
Tabelle 8: Rezeptur und Herstellung der möglichen Ersatzstoffe.....	47
Tabelle 9: Ausgewählte Messergebnisse nach dem Kriterium $36 \pm 2 \%$ erreicht zu haben, oder wenn nicht einen annähernden Messwert / m_2 in g Anfangsgewicht, m_3 Endgewicht nach dem Frittieren und Δm als Gewichtsverlust.....	48
Tabelle 10: Vergleich der Dimensionen der Pyramidenform und Stäbchenform.....	55
Tabelle 11: Ergebnisse des Versuchs SWPF-Stäbchen und Vergleich der Gewichtsverluste der verschiedenen Formen / Δm in % der Pyramiden bezieht sich auf den Gewichtsverlust der SWPF-Pyramiden, Differenz der Gewichtsverluste stellt die Abweichung der Messwerte von SWPF-Stäbchen und SWPF-Pyramiden dar	58
Tabelle 12: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Vorversuche, fett hervorgehobene Rezepturen werden in den Versuchen nach DIN 18873-3 weiterverfolgt.....	59
Tabelle 13: Ergebnisse der Messungen zum Vorheizzyklus nach DIN 18873-3	65
Tabelle 14: Berechnung nach DIN 18873-3 von Wärmeenergie und Energieeffizienz	66
Tabelle 15: Ergebnisse der Messungen der Warmhaltezyklen	68
Tabelle 16: Berechnung aus den Messwerten des Warmhaltezyklus nach DIN 18873-3.....	69
Tabelle 17: Vergleich des gemessenen Energieverbrauchs aus der Masterthesis von Frau König (König, 2015, S. 56) und der aktuellen Messwerte	69
Tabelle 18: Rezeptur und Zusammensetzung von Pommes frites und verwendeten Ersatzstoffen, Base Culinar Pommes von Frau König (König, 2015, S. 40).....	71

Tabelle 19: Berechnung der Fettaufnahme während des Frittierprozesses ($\%M_{TK}$ entspricht dem Wassergehalt im tiefgefrorenen Frittiergut in % und $\%M_F$ im frittierten Zustand / m_2 in g Anfangsgewicht vor dem Frittieren, m_3 in g Endgewicht nach Frittieren).....	75
Tabelle 20: Vergleich der Abmessungen, Volumen und Oberfläche von Pommes frites und Ersatzstoffen, Werte für die Base Culinar Pommes frites von Frau König aus der Masterthesis übernommen (König, 2015, S. 39-40).	77
Tabelle 21: Ergebnisse der Frittierzyklen nach Norm, $T_{min(2)}$ Minimaltemperatur und $T_{max(2)}$ Maximaltemperatur während des Frittierens / Ergebnisse der Base Culinar Pommes frites: (König, 2015, S. 56, 87).....	79
Tabelle 22: Zusammensetzung des Gewichtsverlusts der Base Culinar (König, 2015, S. 73, 92) und McCain Pommes frites 1) Berechnete Werte beruhen auf dem Mittelwert 31,6 % der Gewichtsverlust von 06:15 und 06:20 min Frittierzeit der McCain Pommes frites.....	81
Tabelle 23: Vergleich der Ergebnisse des Frittierzyklus mit Base Culinar (König, 2015, S. 56, 87) / McCainPommes frites und möglicher Ersatzstoffe / Δm Gewichtsverlust, SD Standardabweichung, $T_{min(2)}$ Minimale Öltemperatur, $T_{max(2)}$ maximale Öltemperatur	84

1 Einführung

Die Nachfrage nach energieeffizienten Geräten steigt, für Verbraucher ist der Kauf energieeffizienter Geräten lohnend, da ein Gerät der Energieeffizienz-Klasse A+++ 50 % weniger Energie verbraucht als ein Gerät der Klasse A+ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie). Die Bundesregierung hat die Forderung nach mehr Energieeffizienz in Form der Energiewende aufgegriffen. Das Konzept wurde 2010 eingeführt mit der zentralen Überlegung den Energieverbrauch aller Sektoren, sei es im Privathaushalt oder in gewerblichen Bereichen, zu reduzieren, da die sauberste Energie die sei, die gar nicht erst erzeugt, transportiert oder gespeichert werden müsse (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017, S. 8).

2014 folgte dann der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz NAPE. Ein Ziel der Bundesregierung ist es, die Primärenergie von 2008 bis 2050 um 50 % zu senken (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie). Im Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungsbereich lässt sich bereits ein stetiger Rückgang an Endenergieverbrauch erkennen, von 1990 bis 2015 um 17 % (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017, S. 20). Zudem ist das Verwenden energieeffizienter Großküchengeräten in Großküchen neben Umweltaspekten z.B. das Vermeiden der Verbrennung fossiler Brennstoffe, im Hinblick auf die Reduzierung der betrieblichen Kosten von Bedeutung. Die Anschaffung eines Induktionsherdes, der einen Wirkungsgrad von rund 90 % aufweist und somit einen Elektroherd mit Gusseisenplatten mit einem Wirkungsgrad von 60 % ersetzen könnte, könnte unter Betrachtung der Kosteneinsparung durch weniger Energieverbrauch lohnend sein. Auch Schulung des Küchenpersonals zu energiesparendem Verhalten ist unerlässlich, Beispiele wären das Verwenden von Kochgeschirr mit passendem Volumen und Durchmesser, was bis zu 60 % Einsparpotenzial beim Kochen bringt oder, dass Lüftungsöffnungen von Kühlschränken nicht verstellt werden, was etwa 10 % Energie einsparen würde (Fachausschuss Haushaltstechnik der DGH, 2005, S. 12 -13).

1.1 Ziele der Bachelorarbeit

Die DIN-Norm Reihe 18873 beschäftigt sich mit Energieverbrauchsmessungen zu Großküchengeräten. Für einige Geräte wie z.B. Heißluftdämpfer gibt es bereits Lebensmittelerersatzstoffe wie in Wasser getränkte genormte Ziegelsteine, der so einen Braten simulieren soll, der während des Garvorgangs Wasser verliert (Normenausschuss Heiz-, Koch- und Wärmegeräte, 2012, S. 8-9). Bei Fritteusen wird mit Tiefkühl-Pommes Frites gemessen, was keine validen Ergebnisse liefert, weil der Wassergehalt Schwankungen unterliegt, da Pommes frites aus Kartoffeln als natürliches Lebensmittel hergestellt werden. Ziel dieser Bachelor-Arbeit ist es, einen geeigneten Ersatzstoff für tiefgefrorene Pommes frites zu finden, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, die mit denen von Pommes frites übereinstimmen. Außerdem wäre das Ersetzen der Lebensmittel durch geeignete Ersatzstoffe ein erster Schritt in die Richtung, die deutsche Norm in eine europäische DIN EN Norm umzuwandeln.

Des Weiteren stellt die Verwendung von Pommes frites Lebensmittelverschwendung dar, bei den Messungen mit der London I Fritteuse von MKN müssten beim Frittierzyklus mit geforderten fünf Messreihen mit je drei 600 g Chargen insgesamt 9,0 kg Pommes frites frittiert werden. Mit dem Finden eines geeigneten Ersatzstoffs könnte dies verhindert werden und einen kleinen Beitrag zur Reduzierung der in Deutschland jährlich weggeworfenen 11 Millionen Tonnen Lebensmittel leisten (Verbraucherzentrale NRW e.V., 2018).

Diese Bachelorarbeit ist eine Weiterführung vorangegangener Arbeiten aus 2015 von Frau König und aus 2017 von Frau Krüger mit ähnlicher Thematik.

Die Ersatzstoffe sollen unter Betrachtung des Energieverbrauchs beim Frittierprozess untersucht werden, sowie einer genauen Zusammensetzung der Wasserverdampfung und Fettaufnahme während des Frittierens analysiert werden.

1.2 Vorstellung des Industrieverbands Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V.

Der Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V. (HKI) ist eine Interessensvertretung für Großküchengerätehersteller sowie wie für Hersteller von Heiz- und Kochgeräten für den privaten Gebrauch. Diese beiden Bereiche sind in separaten Fachverbänden organisiert, die sich in gerätespezifischen Fachabteilungen gliedern. Der Verein hat etwa 200 Mitglieder und ist in Frankfurt am Main ansässig. Der HKI vertritt die Interessen seiner Mitglieder in der Öffentlichkeit, z.B. auf Messen oder Tagungen und beobachtet den Markt. Auch steht der HKI seinen Mitgliedern beratend zur Seite und gibt Fortbildungen. Auch im Bereich Normung ist der HKI tätig (Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V.).

Eine weitere Leistung des HKI ist die Bereitstellung der HKI CERT-Datenbank u.a. für Großküchentechnik, die den Energieverbrauch von Geräten wie Fritteusen, Heißgetränkemischer oder Kochzonen beinhaltet. Ziel ist es, einen „Beitrag zur Sicherung hochwertiger, energieeffizienter Großküchengeräte voranzutreiben“. (Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V., 2016, S. 4).

Die Bachelorarbeit wird in Kooperation mit dem HKI angefertigt.

2 Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel dient dazu theoretische Grundlagen über energetisch relevante Vorgänge beim Frittieren zu vermitteln. Pommes frites als Frittiergut wird auch ein Schwerpunkt dieses Kapitels sein. Dazu werden allgemeine Informationen über Kartoffeln und deren Verarbeitung zu Pommes frites gegeben, sowie gesetzliche Anforderungen an das Produkt Pommes frites erläutert. Ergänzt wird dies mit ernährungsphysiologischen Betrachtungen der frischen Kartoffel im Vergleich zu Pommes frites. Im direkten Bezug zum Frittieren wird der allgemeine Aufbau und die Funktionsweise gewerblicher Fritteusen beschrieben. Der Vorgang des Frittierens wird im Detail dargestellt.

Auch der Inhalt der DIN 18873-3 über die Energieverbrauchsmessung bei gewerblichen Fritteusen wird wiedergegeben.

2.1 Kartoffeln: Rohstoff für Pommes frites

Ursprünglich stammen Kartoffeln aus den Anden in Südamerika, wo sie ganzjährig angebaut werden. In Deutschland gibt es etwa 180 rechtlich zugelassene Sorten, von denen allerdings keine frostbeständig ist, wodurch der Erntezeitraum auf Mai bis Oktober limitiert ist. Je nach Zeitpunkt der Ernte werden Kartoffeln in sehr frühe, frühe, mittelfrühe, mittelspäte und sehr späte Reifegruppen eingeteilt (Ternes, 2008, S. 1011).

Der Kartoffelverzehr frischer Kartoffeln ist in Deutschland rückläufig, in den 70er Jahren lag der Pro-Kopf Verzehr bei 70 Kilogramm. Heute sind es noch 57 Kilogramm. (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, 2018). Beim Verwendungszweck wird zwischen Speisesorte und Industriesorte unterschieden. Für den Endverbraucher ist die Unterscheidung in verschiedene Kochtypen wichtig. Festkochende Kartoffeln eignen sich hervorragend für Kartoffelsalate, vorwiegend festkochende Kartoffeln werden hauptsächlich für Salz-, Pell- oder Bratkartoffeln verwendet. Aus mehligkochenden Sorten werden Kartoffelpüree, -puffer oder Eintöpfe gekocht (Ternes, 2008, S. 1011).



Abbildung 1: Schema einer Kartoffelpflanze, Quelle: (Fuchs, o.J.)

Kartoffeln zählen zu den Nachtschattengewächsen. Überirdisch sind das Kraut und die Blüten, die weiß oder violett gefärbt sind, zu sehen. Unterirdisch wachsen die Knollen, welche die Energiespeicher der Kartoffelpflanze sind (s. Abb. 1). Die in ihnen enthaltene

Stärke dient als Energieträger für neu auskeimende Kartoffeln, die aus der Mutterknolle entstehen. (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, 2018). Wie andere Nachtschattengewächse auch, z.B. Tomaten oder Auberginen, enthalten Kartoffeln Glykoalkaloide, die ein natürliches Toxin gegen Fressfeinde sind. In der Kartoffel ist das am meisten vertretene Glykoalkaloid das Solanin (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V., 2010). Das für den Menschen schädliche Solanin kommt zu ca. 0,006 % in der Kartoffel vor und wird in den grünen Teilen der Kartoffelknolle gebildet. Es kommt in Schale, Sprossen und Kartoffelaugen (den Auskeimzentren der Kartoffel) vor. Auch bei falscher Lagerung bei zu hohen Temperaturen kann sich der Solaningehalt erhöhen (Ternes, 2008, S. 1012 - 1019). Der Solaningehalt reduziert sich durch Erhitzen nicht, daher ist es ratsam die Kartoffel vor dem Verzehr zu schälen und grüne Stellen großzügig herauszuschneiden (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V., 2010).

Kartoffeln weisen eine hohe Nährstoffdichte auf, sind dabei aber energiearm. Ihre sättigende Stärke und das biologisch sehr hochwertige Protein machen sie zu einem wertvollen Lebensmittel (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V., 2010). Kartoffeln zählen beim Ernährungskreis der Deutschen Gesellschaft für Ernährung zu der Gruppe Getreide, Getreideprodukte und Kartoffeln. Der tägliche Bedarf eines Erwachsenen an Kohlenhydraten kann mit 200 bis 250 Gramm Kartoffeln gedeckt werden (DGE e.V., 2018).

Kartoffeln bestehen zu etwa 75 % aus Wasser (Ternes, 2008, S. 1012). Durch den hohen Wasseranteil sind Kartoffeln ein energiearmes Lebensmittel, zudem enthalten sie nur 0,1 % Fett. Kartoffelprotein weist eine ausgewogene Verteilung der essentiellen Aminosäuren auf und ist in der Kartoffel zu 2 % enthalten. (Ternes, 2008, S. 1012, 1019). Im Bereich der Mikronährstoffe sind in Kartoffeln rund 0,03 % Vitamine und 0,1 % Mineralstoffe zu finden (Ternes, 2008, S. 1011f). Die wichtigsten Vitamine sind Vitamin C und B. Ein wichtiger Mineralstoff ist Kalium, der für den osmotischen Druck der Zellen wichtig ist. Zudem wird das Ruhepotenzial einer Zelle durch das Ausströmen von Kalium bestimmt. In Kombination mit Natrium werden durch die Potenzialänderungen viele Funktionen der Zelle gesteuert (Rösch, Frühschütz, & Icking, Kartoffeln: Gesund essen, 2018) und (Biesalski, Grimm, & Nowitzki-Grimm, 2015, S. 234).

Energieträger der Kartoffel sind Kohlenhydrate in Form von Stärke. Sie ist zu ca. 15% in Kartoffeln enthalten, macht beim Trockengewicht aber rund 65 – 80 % aus. (Ternes, 2008,

S. 1012f). Stärke ist ein Homopolysaccharid und besteht aus zwei Bestandteilen, Amylose und Amylopektin (s. Abb. 2), die jeweils nur aus einem Monomerbaustein aufgebaut sind. Amylose besteht aus Glucose, die linear über eine 1,4-glycosidische Bindung verknüpft ist. Die lineare Molekülkette ist zu einer spiralförmigen Helix gewunden (Ternes, 2008, S. 154).

Amylopektin besteht auch aus Glucosebausteinen, die als Ketten vorkommen, in denen 20 bis 25 Glucoseeinheiten linear über 1,4-glycosidische Bindungen verknüpft sind. Die einzelnen Ketten sind miteinander über Verzweigungstellen verbunden, die als α -1,6-Verknüpfung vorliegen (Ternes, 2008, S. 154).

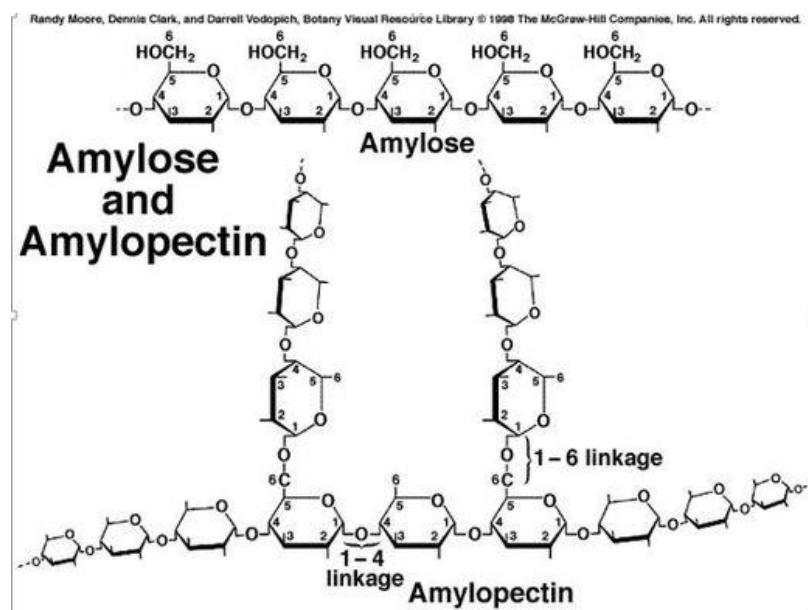


Abbildung 2: Strukturformel der Stärkebausteine Amylose und Amylopektin, Quelle: (Clark, Moore, & Vodopich, 1998)

Stärke liegt in der Kartoffel in einem Verhältnis von Amylose zu Amylopektin von 3:1 bis 4:1 vor, prozentual macht die Amylose also 20 bis 27 % aus. (Ternes, 2008, S. 165, 1012f).

Zu 0,7 % sind Rohfasern als Zell- und Gerüstsubstanzen der Kartoffel enthalten. Sie bestehen größtenteils aus Pektinen, Cellulose und Lignin, sowie Proteine und Hemicellulosen. Diese geben der Kartoffel ihre Festigkeit und Pektin tragen zum Garprozess bei, da sie bei Temperaturen ab 70 °C Zellbestandteile denaturieren, wodurch die Zellmembran permeabel wird (Ternes, 2008, S. 1012, 1014, 1019).

Für die Farbgebung der Kartoffel sind u.a. Carotinoide verantwortlich. Sie sind in höherer Konzentration in besonders gelbfleischigen Sorten zu finden (0,06 – 0,25 mg auf 100 g).

Weitere enthaltene Stoffe in der Kartoffel sind Wachstumsstoffe, organische Säuren oder Fermente.

2.2 Ernährungsphysiologische Eigenschaften von Pommes Frites im Vergleich zu Kartoffeln

Pommes frites sind ein Veredelungsprodukt von Kartoffeln mit einer hohen Verarbeitungsstufe, da sie als vorfrittiertes Produkt nur noch gegart und serviert werden müssen. Während Kartoffeln 0,72 Kilokalorien pro Gramm haben, weisen rohe Pommes frites mit einem Fettgehalt von 5 % eine Energiedichte von 1,24 kcal/g auf. Die Nährwerte auf 100 g von Pommes frites und frischen Kartoffeln im Vergleich in Tab. 1 zeigen die höhere Energiedichte von Pommes frites, bedingt durch einen vierfach höheren Fettanteil. Auch die anderen Makronährstoffe (Kohlenhydrate und Proteine) sind bei Pommes frites höher als bei frischen Kartoffeln. Pommes frites liefern etwa zweimal so viel Energie wie die gleiche Portion frische Kartoffeln. Während des Zubereitens in der Fritteuse erhöht sich der Fettanteil in Pommes frites durch Aufnahme von Frittieröl und die Energiedichte steigt an.

Nährwerte pro 100 g	Kartoffeln	Pommes frites
Energie	297 kJ	606 kJ
	71 kcal	144 kcal
Fett, davon:	0,1 g	4,0 g
gesättigte Fettsäuren (FS)	-	0,4 g
einfach ungesättigte FS	-	1,6 g
mehrfach ungesättigte FS	-	2,0 g
Kohlenhydrate	14,8 g	23,0 g
davon Zucker	-	0,5 g
Ballaststoffe	2,3 g	2,0 g
Eiweiß	2,0 g	3,0 g
Salz		0,1 g

Tabelle 1: Nährwerte auf 100 g von Kartoffeln, Quelle: (Biesalski P. D.-K., 2005, S. 2) und McCain Pommes frites, Quelle: (McCain GmbH, o.J.) im Vergleich

Gleichzeitig ist die Nährstoffdichte von Vitaminen bei Pommes frites geringer als die von frischen Kartoffeln. Mineralstoffe wie Eisen, Magnesium oder Kupfer überstehen den Verarbeitungsprozess zu Pommes frites weitestgehend unbeschadet. (Wegner, Graf, Schneider, Zern, & Ellrott, 2010, S. 184-186).

2.2.1 Industrielle Herstellung von Pommes frites

Im Folgenden ist der Herstellungsprozess des international agierenden Unternehmens Lutosa SA dargestellt. Das belgische Unternehmen Lutosa SA wurde als Quelle gewählt, da so eine praxisnahe Herstellung von Pommes frites geschildert werden kann. Das Unternehmen ist u.a. nach dem International Food Standard (IFS), sowie nach den Energie- und Umweltmanagement Normen ISO 50001 und ISO 14001 zertifiziert. Das Herstellungsverfahren von Pommes frites der Lutosa AG kann aufgrund der internationalen Produktvermarktung und aufgrund der hohen Qualitätsstandards als ausreichend repräsentativ angesehen werden. Zudem gehört Lutosa SA seit 2013 zu dem kanadischen Unternehmen McCain GmbH, das Pommes frites der Marke McCain vertreibt, die im Rahmen dieser Arbeit für die Energieverbrauchsmessung nach DIN 18873-3 verwendet werden (Lutosa SA, o. J.) und (McCain GmbH, o.J.).

Vorbehandlung

Im ersten Schritt erfolgt das Waschen der rohen Kartoffeln. Anschließend werden die Kartoffeln mit Hilfe von Wasserdampf geschält und ein zweites Mal gewaschen. Ein Laser erkennt Fremdstoffe wie Kraut oder Steine, sowie beschädigte Kartoffeln. Per Druckluft werden die unerwünschten Kartoffeln eliminiert.

Der zweite Schritt beinhaltet das Schneiden und Kalibrieren der Kartoffeln. Schneiden erfolgt entweder über ein Gitter, auf das die Kartoffeln mit hoher Geschwindigkeit geschleudert werden oder über rotierende Schneidmaschinen. Das Kalibrieren bedeutet, dass unförmige oder zu dünne Kartoffeln aussortiert werden. Der Ausschuss wird für die Weiterverarbeitung zu anderen Kartoffelerzeugnissen genutzt.

Im dritten Schritt werden die zugeschnittenen Kartoffeln optisch von Kameras kontrolliert, um Stücke, die z.B. schwarze Flecken aufweisen, aussortieren zu können.

Garen

Im vierten Schritt werden die Kartoffelstücke mit heißem Wasser und Wasserdampf blanchiert. Ziele des Blanchierens sind die Inaktivierung von Enzymen, das partielle

Verkleistern der Stärke, sowie die Homogenisierung der Farbe durch Herauslösen reduzierenden Zuckers.

Der fünfte Schritt ist die Trocknung in einem warmen Luftstrom. Dieses verbessert die spätere Knusprigkeit und verhindert eine zu hohe Fettaufnahme. In der darauffolgenden Ruhephase soll sich die Feuchtigkeit im Produkt ausgleichen, um eine Homogenisierung der Konsistenz zu erzielen.

Der sechste Schritt der Gewürzummantelung ist optional und wird nur bei besonderen Pommes frites wie „Spicy Wedges“ durchgeführt. Das Produkt wird in eine in Stärke gelöste Gewürzmischung getaucht.

Im siebten Schritt erfolgt das Garen in 160 bis 170 °C heißem Sonnenblumenöl für 1 bis 1,5 Minuten, das endgültige Garen durch Frittieren oder Erhitzen im Backofen erfolgt beim Verbraucher. Heißluft oder heißes Wasser entfettet die Pommes frites anschließend wieder.

Abkühlen und Verpacken

Nach dem Garen und Entfetten durchlaufen die Pommes frites im achten Schritt verschiedene Kühlzonen, in denen sie auf 0°C heruntergekühlt werden. Danach werden sie zum Einfrieren im -40 °C kaltem Tiefkühltunnel auf -18 °C abgekühlt.

Der neunte Schritt ist eine weitere Kontrolle des Endprodukts. Laser erkennen beschädigte Pommes frites und Fremdkörper, sowie Pommes frites, die den Anforderungen der Abmessungen nicht entsprechen. Der Rest wird gewogen und anschließend verpackt.

Der zehnte Schritt ist das voll automatisierte Verpacken in Polyethylenbeutel, die wiederum in Recyclingkartons gelegt werden. Beim Verpacken sind ein Metalldetektor und ein Detektor für schlecht verpackte Beutel aktiv. Die Beutel werden anschließend bedruckt. Schritt 11 umfasst das Abpacken und Etikettieren von Paletten. Schritt 12 beschreibt das Lagern bei -20 °C.

Werden anstatt tiefgefrorener Pommes frites gekühlte Pommes frites hergestellt, entfällt der Tiefkühltunnel aus Schritt 8 und sie werden dann gekühlt unter Schutzatmosphäre verpackt (Lutosa SA, o. J.).

2.2.2 Anforderungen an Pommes frites nach dem Leitsatz für Kartoffelerzeugnisse

Die Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission DLMBK erarbeitet in acht Fachausschüssen das Deutsche Lebensmittelbuch, das Leitsätze für verschiedene Lebensmittelkategorien enthält. Die Fachausschüsse bestehen aus Verbrauchern, Beamte der Lebensmittelüberwachung, Interessenvertretung aus der Wirtschaft und Wissenschaftlern. Diese erarbeiten Anforderungen an die Lebensmittelkategorien, um Verbraucher vor Irreführung und Täuschung zu schützen (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft).

Anforderungen an Pommes frites finden sich im Leitsatz zu Kartoffelerzeugnissen. Das erste Kapitel des Leitsatzes für Kartoffelerzeugnisse stellt allgemeine Anforderungen an die Rohware für alle Kartoffelerzeugnisse, sie muss z.B. sortenrein, sauber, ganz, fest und frei von fremden Geruch oder Geschmack sein. Auch welche Herstellungs- und Haltbarmachungsprozesse erlaubt sind und welche Zutaten verwendet werden dürfen, sind dort festgelegt. Für Pommes frites sind z.B. Schälen, Schneiden, Blanchieren und Frittieren als Verarbeitungsschritte vorgegeben und zur Haltbarmachung Gefrieren oder Kühlen (Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission, 2010, S. 1f).

Damit ein Produkt die Verkehrsbezeichnung *Pommes frites* oder *vorfrittierte Pommes frites* tragen darf, müssen bestimmte Kriterien erfüllt sein. Sie sind folgendermaßen definiert: „Pommes frites, vorfrittierte Pommes frites sind vorfrittierte, möglichst gleichmäßige und formgerechte Kartoffelstreifen. Sie kommen in gekühlter oder tiefgefrorener Form in den Verkehr und sind dazu bestimmt, vor dem Verzehr durch Frittieren zubereitet zu werden.“ (Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission, 2010, S. 4). Pommes frites müssen aus ganzen, geschälten Kartoffeln hergestellt sein, das Speiseöl darf beim Vorfrittieren 180 °C nicht überschreiten (Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission, 2010, S. 4).

Auch gibt es Vorgaben zum Wasser- und Fettgehalt von Pommes frites nach dem Herstellungsprozess. Tiefgefrorene Pommes frites dürfen nicht mehr als 70 % Wasser enthalten und der Fettgehalt muss unter 8 % liegen. Bei gekühlten Pommes darf der Wasseranteil 67 % nicht überschreiten und Fett darf zu maximal 8,5 % enthalten sein (Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission, 2010, S. 4f).

Es gibt bei Pommes frites eine Standard-Qualität, die bei allen Pommes frites zu erwarten ist und zusätzlich kann ein Produkt auch der Extra-Qualität entsprechen. Tabelle 2 stellt die Anforderungen der beiden Qualitäten zur besseren Übersicht dar.

Qualitätsmerkmal	Standard-Qualität	Extra-Qualität
Farbe	gleichmäßig, nicht grau	
Geruch / Geschmack	arteigen, kein Fremdgeruch	
Textur	krosse Oberfläche im verzehrfertigem Zustand	
Länge der Streifen	Mindestlänge: 20 mm	Mindestlänge: 30 mm
	< 20 mm maximal 5 %	< 30 mm maximal 3 %
	normale Streifen > 40 mm mindestens 50 %	normale Streifen > 50 mm mindestens 60 %
Mängel / Toleranzen	dunkle Stellen mit $\varnothing > 3$ mm, max. 4 %	dunkle Stellen mit $\varnothing > 3$ mm, max. 3 %
	Schmalstücke mit < 60 % des \varnothing -Querschnitt max. 4 %	Schmalstücke mit < 60 % des \varnothing -Querschnitt max. 3 %

Tabelle 2: Gegenüberstellung von Standard und Extra-Qualität von vorfrittierten Pommes frites, Quelle: (Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission, 2010, S. 4-5)

2.3 Allgemeiner Aufbau und Funktionsweise von gewerblichen Fritteusen

Fritteusen bestehen aus einem Fettbehälter, der von außen thermisch isoliert ist. In den Fettbehälter kann man den Frittierkorb einsenken. Unterhalb des Frittierkorbs liegen die Heizelemente und Temperaturfühler. Typisch für Fritteusen ist die Kaltzone. Sie befindet sich unter den Heizelementen. Das Frittieröl weist in der Kaltzone geringere Temperaturen von maximal 80 °C auf. Bratreste, die dorthin absinken, werden nicht weiter erhitzt, damit keine gesundheitsschädlichen Stoffe entstehen. Zudem sammeln sich Bratreste in der Kaltzone und bleiben nicht am Frittiergut haften. (Fachausschuss Haushaltstechnik der DGH, 2005, S. 55).

Wichtig ist auch der Temperaturfühler, der dabei hilft, die gewünschte Fetttemperatur einzustellen. Ein weiterer verhindert, dass Temperaturen von mehr als 230 °C auftreten, da ab 230 °C der Rauchpunkt beginnt und sich Rauch über dem Frittieröl bildet, was eine Brandgefahr darstellt. Der Temperaturbegrenzer schaltet dann die Heizleistung aus, um

die Sicherheit des Gerätes zu gewährleisten. (Fachausschuss Haushaltstechnik der DGH, 2005, S. 55).

Frittiergeräte gibt es elektrisch betrieben, aber auch gasbeheizt. Wichtig ist, dass die flächenbezogene Heizleistung nicht zu hoch ist. Aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Fettbades würden bei zu großer Leistung zu hohe Temperaturen an den Heizelementen auftreten. Dies kann zu frühzeitigem Fettverderb führen. Daher beträgt die maximale Heizleistung 5 Watt pro Quadratcentimeter. Bei einigen Gerätemodellen sind zusätzlich auf die Rohrheizkörper Wärmeübertragungsbleche geschoben, die verhindern sollen, dass die maximale Heizleistung von 5 W/cm^2 überschritten wird. Bei neueren Modellen gibt es auch eine Fettschmelzstufe, in der das Fett mit verringerter Leistung aufgewärmt werden kann. (Fachausschuss Haushaltstechnik der DGH, 2005, S. 55). Die Wärmeübertragung erfolgt in der Fritteuse hauptsächlich über Konvektion, die Wärme wird über das heiße Öl direkt an das Lebensmittel abgegeben, dadurch entstehen kurze Garzeiten. Bei der Konvektion handelt es sich bei einer ruhenden Fritteuse um freie Konvektion. Wird Frittiergut hineingegeben, entsteht auch erzwungene Konvektion, da sich die Wasserbläschen im Fett bewegen und das Fett infolgedessen sprudelt.

2.4 Wärme- und Massentransfer beim Frittierprozess

Frittieren ist als Garprozess definiert, bei dem das wasserhaltige Lebensmittel vollständig in 140 bis 180 °C heißes Speiseöl oder-fett getaucht wird. Eine dünne Kruste bildet sich an der Oberfläche des Lebensmittels aus. Außerdem entsteht an der Oberfläche des Lebensmittels eine Verdampfungszone. Das Wasser aus dem Inneren des Lebensmittels gelangt zu den Randschichten und verdampft dort. Während des Massentransfers des Wassers sind mehrere Zonen im Lebensmittel zu beobachten. Das flüssige Wasser im Zentrum des Lebensmittels weist 75 °C auf und erwärmt sich auf dem Weg zur Randzone auf 100 °C auf. Sobald es eine Temperatur von 100 °C erreicht hat, beginnt die Migrationsphase, die in die Verdampfungszone von 100 bis 103 °C übergeht. Die äußerste Schicht, die Randzone oder Kruste, weist eine Temperatur von 103 bis 150 °C auf. Das verdampfende Wasser gelangt in das Frittieröl. Sobald kein Wasser mehr verdampft, fangen die

Temperaturen im Inneren des Lebensmittels auf über 100 °C anzusteigen (s Abb. 3). Die Temperatur in der Kruste sollte dabei auf nicht mehr als 120 °C ansteigen, da sonst die Gefahr der Bildung von gesundheitsschädlichem Acrylamid stattfinden kann (Gertz & Matthäus, 2012, S. 5).

Durch die poröse Oberfläche von Pommes frites gelangt nicht nur der Wasserdampf nach außen, sondern auch Frittieröl in die Pommes frites hinein, daher ist es wichtig, dass in der ersten Phase schon die Kruste ausgebildet wird. Diese verhindert eine zu hohe Fettaufnahme. Auch darf die Temperatur des Frittieröls nicht zu sehr absinken. Je niedriger die Frittieröltemperatur ist, desto mehr Fett saugt das Frittiertgut auf. (Ternes, 2008, S. 77). Pommes frites nehmen während und nach dem Frittieren etwa 6 bis 12 % Fett auf, zusätzlich zu dem Fett, das in tiefgekühlten Pommes frites durch den Herstellungsprozess schon enthalten ist. Ein Großteil der Fettaufnahme im Frittiertgut geschieht dabei nach Ende des Garprozesses. Das anhaftende Fett wird beim Abtropfen und Auskühlen ins Lebensmittel aufgesogen. Die Kapillaren, durch die das Wasser vorher verdampft wurde, härten beim Abkühlen aus und es entsteht ein Vakuum, das das an der Oberfläche haftende Fett ins Lebensmittel aufsaugt. Ein Abtropfen bei warmen Temperaturen ist daher sehr wichtig, um die Fettaufnahme zu reduzieren. (Gertz & Matthäus, 2012, S. 7).

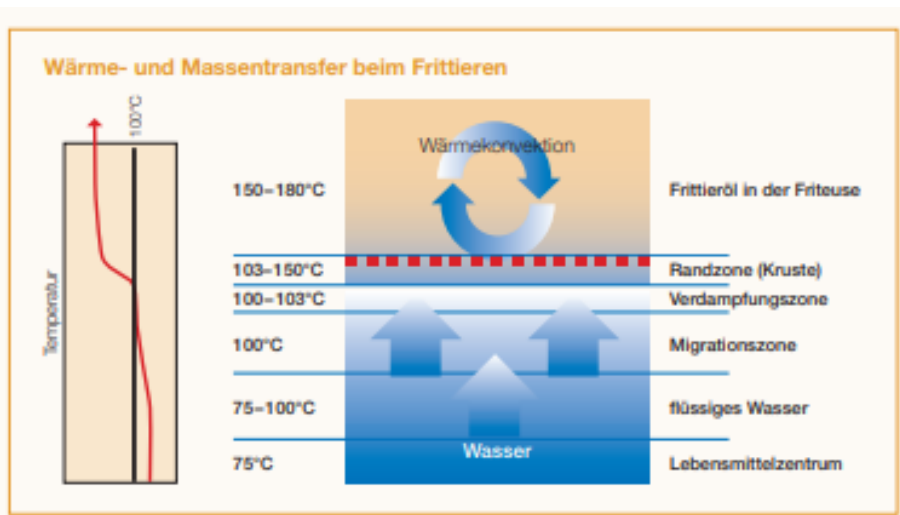


Abbildung 3 Wärme- und Massentransfer beim Frittieren, Quelle: (Gertz & Matthäus, 2012, S. 5).

2.4.1 Der TPM – Wert als Kriterium zur Beurteilung der Fettqualität

Die Fettqualität in der Fritteuse wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst: Der Sauerstoff in der Luft ruft oxidative Veränderungen hervor, die Temperatur und der Wassergehalt verändern das Öl oder Fett ebenso. Frittieremperaturen bis 180 °C fördern die Bildung von Zersetzungsprodukten im Frittieröl. Unter Einfluss von Luftsauerstoff reagieren die Zersetzungsprodukte zu Hydroperoxiden, die wiederum in Aldehyde, Ketone oder Säuren verfallen. Steigt die Konzentration der Zersetzungsprodukte an, können die Veränderungen geruchlich und geschmacklich wahrgenommen werden. Optisch ist eine dunkle, im Fett gelöste Verfärbung zu erkennen, zudem kann das Frittieröl anfangen zu rauchen, wenn die Anzahl flüchtiger Zersetzungsprodukte hoch genug wird. Auch die Viskosität des Öles nimmt zu. Die Fettqualität lässt sich z.B. mit Messen des Rauchpunktes überprüfen. Bei Frittieröl mit 0,1 % freier Fettsäuren beginnt sich schon bei 200 °C Rauch zu bilden, bei frischem Fett liegt der Rauchpunkt bei etwa 230 °C. Auch kann die Säurezahl bestimmt werden, die bei höheren Gehalten an freien Fettsäuren ansteigt. Eine weitere Methode dies zu messen, ist die Bestimmung der polaren Anteile (Total Polar Materials, TPM). Bei steigendem Oxidationsgrad, erhöht sich auch der Anteil an polaren Stoffen im Frittieröl, wodurch sich Aussagen zur Fettqualität treffen lassen (Ternes, 2008, S. 77-80).

2.5 Zusammenfassung des Energiemessverfahrens nach DIN 18873-3

Die folgenden Angaben dieses Kapitels stammen alle aus der DIN 18873 Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten – Teil 3: Fritteusen. Es ist eine Zusammenfassung des Messverfahrens bei gewerblichen Fritteusen zur Bestimmung des Energieverbrauchs. Die zitierte Ausgabe der DIN 18873-3 ist von Februar 2018.

Die Normenreihe DIN 18873 befasst sich mit den Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten, es gibt insgesamt 20 Teile verschiedener Gerätekategorien, z.B. Heißluftdämpfer, Kipp- und Standbratpfannen, Kochzonen, aber auch Eismaschinen oder Durchlaufkühler für Getränkeschankanlagen (DIN 18873-2:2018-02, S. 4f).

Der dritte Teil der Norm DIN 18873-3:2018-02 beschäftigt sich mit Fritteusen und wurde vom DIN-Normenausschuss Heiz- Koch- und Wärmegeräte ausgearbeitet. Der Anwendungsbereich bezieht sich ausschließlich auf gewerbliche Fritteusen in lebensmittelverarbeitenden Betrieben wie Großküchen, nicht auf Haushaltsfritteusen.

Der Energieverbrauch wird in drei Zyklen gemessen: Vorheizen, Warmhalten und Frittieren. Die drei Zyklen bilden eine Messreihe, von der mindestens fünf Wiederholungen gefordert sind.

Vorheizzyklus

Ziel des Vorheizzyklus ist die Ermittlung des Energieverbrauchs beim Vorheizen vom Ruhezustand bei einer Umgebungstemperatur von $23 \pm 3 \text{ °C}$ auf die in der Norm vorgegebene Betriebstemperatur des Frittieröls von $175 \pm 5 \text{ °C}$ aufweist, die Fritteuse wird dabei mit Mindestfüllmenge Öl befüllt. Gemessen wird die Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Betriebstemperatur, die Gesamtfüllmenge des Frittieröls, sowie Anfangs- und Endtemperatur des Öls, die Differenz daraus und der Energieverbrauch.

Im Anschluss sind mit Hilfe der gemessenen Werte die Wärmeenergie und die Energieeffizienz zu berechnen.

Die theoretische Wärmeenergie wird als Produkt aus der Gesamtfüllmenge, der spezifischen Wärmekapazität und der Temperaturdifferenz des Frittieröles berechnet.

$$Q = m_1 \cdot c \cdot \Delta T$$

Dabei gilt: Wärmeenergie Q in kWh, Gesamtfüllmenge des Frittieröles m_1 in kg, spezifische Wärmekapazität c des Frittieröles bei 20 °C : $1,9 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ und die Temperaturdifferenz ΔT in K

Weiterführend wird aus der theoretischen Wärmeenergie Q und dem Energieverbrauch E_1 beim Vorheizen die Energieeffizienz berechnet.

$$\eta = \frac{Q}{E_1} \cdot 100\%$$

Dabei gilt: Energieeffizienz η in %, Wärmeenergie Q in kWh und der Energieverbrauch im Vorheizzyklus E_1 in kWh

Warmhaltezyklus

Die Messung des Energieverbrauchs während des Warmhaltens des Frittieröls bei Betriebstemperatur schließt direkt an den Vorheizzyklus an. Zwei Stunden wird die Temperatur des Frittieröls bei 175 ± 5 °C gehalten und der Temperaturverlauf kontinuierlich gemessen, um die minimale und maximale Temperatur zu ermitteln.

Anschließend wird der Energieverbrauch je Stunde und der Energieverbrauch je Kilogramm Frittieröl berechnet.

Um den Energieverbrauch je Stunde zu berechnen wird der Gesamtenergieverbrauch während der zwei Stunden durch zwei dividiert.

$$E_h = \frac{E_2}{2}$$

Dabei gilt: Energieverbrauch je Stunde E_h in kWh und Gesamtenergieverbrauch des Warmhaltezyklus E_2 in kWh

Zur Berechnung des Energieverbrauchs je Kilogramm Frittieröl wird der Gesamtenergieverbrauch durch die Masse des Frittieröls dividiert.

$$E_{kg(\text{öl})} = \frac{E_2}{2}$$

Dabei gilt: Energieverbrauch je Kilogramm Frittieröl $E_{kg(\text{öl})}$ in kWh und Gesamtenergieverbrauch des Warmhaltezyklus E_2 in kWh

Frittierzyklus

Der dritte Zyklus der Messreihe erfolgt im Anschluss an den Warmhaltezyklus bei der Betriebstemperatur von 175 ± 5 °C. Ziel dieses Versuches ist das Frittieren drei Chargen tiefgekühlter Pommes frites bis zu einem Gewichtsverlust von je 36 ± 2 %, bezogen auf das

Ausgangsgewicht. Die Temperatur darf dabei nicht unter 145 °C sinken, daher sind Vorversuche zur Chargengröße und Frittierzeit zu ermitteln.

Die drei Chargen werden nacheinander frittiert. Nach Entnahme der Charge, soll das Frittieröl die Betriebstemperatur von 175 ± 5 °C erreichen. Daraufhin wird die nächste Charge eingetaucht. Nach Frittieren der letzten Charge, endet der Frittierzyklus, sobald wieder die Betriebstemperatur erreicht wird.

Gemessen wird der Start- und Endzeitpunkt des Frittierzyklus, Ausgangs- und Endgewicht der jeweiligen Chargen Pommes frites und die Differenz daraus. Die Temperatur des Frittieröles wird kontinuierlich gemessen und die minimale und maximale Temperatur wird angegeben.

Darauffolgend wird die Gewichts-differenz der Pommes frites, die Zeitspanne des kompletten Frittierzyklus und das Gesamtgewicht der Pommes frites ermittelt. Auch die Produktionsmenge je Stunde, der Energieverbrauch je Kilogramm Pommes frites werden berechnet.

Die Gewichts-differenz wird in Prozent angegeben.

$$\Delta m = 100 - \left(\frac{m_3 \cdot 100}{m_2} \right)$$

Dabei gilt: Gewichts-differenz Δm in %, Endgewicht der Pommes frites nach dem Frittieren m_3 in kg und Ausgangsgewicht der tiefgekühlten Pommes frites m_2 in kg

Die Zeitspanne t_4 des gesamten Frittierzyklus wird in Stunden angegeben und aus der Subtraktion des Startzeitpunktes vom Endzeitpunkt berechnet.

Das Gesamtgewicht M der tiefgekühlten Pommes frites ist die Summe der Massen m_2 der drei Chargen.

Aus der Zeitspanne und dem Gesamtgewicht wird die Produktionsmenge je Stunde errechnet.

$$P = \frac{M}{t_4}$$

Dabei gilt: Die Produktionsmenge P in kg/h, Gesamtgewicht der tiefgekühlten Pommes M in kg und die Zeitspanne des gesamten Frittierzyklus t_4 in h

Als letztes wird noch der Energieverbrauch je Kilogramm Pommes frites errechnet.

$$E_{kg(1)} = \frac{E_3}{M}$$

Dabei gilt: Energieverbrauch je Kilogramm tiefgekühlter Pommes frites in kWh/kg, Gesamtenergieverbrauch Frittierzyklus E_3 in kWh und Gesamtgewicht der tiefgekühlten Pommes frites M in kg

Auswertung

In der Auswertung wird der spezifische Energieverbrauch berechnet, der einen Vergleichswert darstellt um verschiedene Fritteusen miteinander vergleichen zu können.

Zum einen wird der Gesamtenergieverbrauch angegeben und auch der Energieverbrauch je Kilogramm tiefgekühlter Pommes frites.

Bei der Formel für den Gesamtenergieverbrauch wird ein Nutzungsfaktor mit einbezogen, der den Frittierzyklus höher gewichtet als den Vorheiz- und Warmhaltezyklus.

$$E_4 = E_1 + E_2 + n \cdot E_3$$

Dabei gilt: Gesamtenergieverbrauch E_4 in kWh, Energieverbrauch während des Vorheizzyklus E_1 in kWh, Energieverbrauch während des Warmhaltezyklus E_2 in kWh, Energieverbrauch während des Frittierzyklus E_3 in kWh und Nutzungsfaktor zur Gewichtung des Frittierzyklus $n = 2$

Anders als beim für den Frittierzyklus errechneten Energieverbrauch je Kilogramm Pommes frites ($E_{kg(1)}$), wird nun der Energieverbrauch je Kilogramm tiefgekühlter Pommes auch unter Berücksichtigung des Verbrauchs beim Aufheizen und Warmhalten berechnet.

$$E_{kg} = \frac{E_4}{n \cdot M}$$

Dabei gilt: Energieverbrauch je Kilogramm tiefgekühlter Pommes frites E_{kg} in kWh/kg, Gesamtenergieverbrauch E_4 in kWh, Nutzungsfaktor zur Gewichtung des Frittierzyklus $n = 2$ und Gesamtgewicht der tiefgekühlten Pommes frites M in kg

Die DIN 18873-3 bildet die Grundlage für die Angabe des Energieverbrauchs von gewerblichen Fritteusen in der HKI CERT-Datenbank für Großküchentechnik, die zur besseren Vergleichbarkeit verschiedener Fritteusen dient.

Die Norm soll ebenso als Grundgerüst für die Methodik der Versuche dieser Bachelorarbeit verwendet werden (s. Kap. 5.1).

3 Theoretische Überlegung zu möglichen Ersatzstoffen

Die in der DIN 18873 geforderten tiefgekühlten Pommes frites sollen durch ein geeignetes Ersatzmedium ersetzt werden. Dabei stellen sich unterschiedliche Anforderungen an das Ersatzmedium. Es gibt bereits mehrere Abschlussarbeiten über verschiedene Ersatzstoffe, deren Ergebnisse zusammengefasst werden. Die Ideenfindung wird skizziert und als Zutaten für mögliche Ersatzstoffe werden Kartoffelmehl und Kartoffelflocken betrachtet. Es wird ein kurzer Überblick über die Herstellung von Kartoffelstärke und Kartoffelflocken gegeben, um die Standardisierung beurteilen zu können. Beim Kartoffelmehl wird noch ausführlich erläutert, welche technologischen Eigenschaften Kartoffelstärke besitzt, die für die Herstellung eines Ersatzstoffes nutzbar sind. Bei Kartoffelflocken wird auf die Maillard-Reaktion eingegangen, da diese für die Krustenbildung während des Frittierens verantwortlich ist.

3.1 Anforderungen an den Ersatzstoff

Die Herstellung des Ersatzstoffs erfordert eine Gefrierbeständigkeit bis -18 °C . Durch das Hineingeben des tiefgekühlten Ersatzstoffs in das heiße Frittieröl ist auch eine Temperaturwechselbeständigkeit wichtig. Auch sollte eine Hitzebeständigkeit im heißen Frittieröl bis 180 °C vorhanden sein, weil die DIN 18873-3 eine Frittieröltemperatur von $175 \pm 5\text{ °C}$

vorgibt. Während des Frittierens sollte der Ersatzstoff eine feste Form behalten. Es sollten sich keine Teile ablösen oder auseinanderfallen.

Da die Wasserverdampfung ein wesentlicher Bestandteil des Frittierens ist, sollte der Ersatzstoff eine Wasseraufnahme während der Herstellung garantieren und das Wasser muss beim Frittierprozess als Wasserdampf auch wieder kontinuierlich abgegeben werden, der Ersatzstoff sollte also eine poröse Oberfläche haben. Da auf Gewichtsverlust frittiert wird, sollte auch die Fettaufnahme nicht zu hoch sein, da sich der Masseverlust aus der Differenz zwischen Wasserabgabe und Fettabsorption ergibt.

Die Beschaffung des Ersatzstoffes sollte einfach und möglichst auch günstig sein. Die Herstellung muss praktikabel sein, eine leichte und schnelle Herstellung sollte möglich sein.

Zudem wäre eine ähnliche Oberfläche und ähnliche Form wie tiefgefrorene Pommes frites wünschenswert.

3.2 Ideenfindung

Die Grundidee ist es einen Ersatzstoff herzustellen, der eine Füllung mit einem definierten Wasseranteil besitzt. Die Füllung könnte aus Kartoffelstärke oder Kartoffelflocken bestehen. Falls die Mischung das Frittieren nicht unbeschadet überstehen wird, wäre noch eine Hülle nötig. Diese könnte aus Textil oder auch aus einem Gewebeschlauch bestehen. Das Herstellen könnte entweder das Gießen in ein Stärkebett sein, in eine andere Form oder das Abfüllen der Mischung in die Hülle.

3.2.1 Ergebnisse vorangegangener Abschlussarbeiten

Zu dem Thema über das Finden eines Ersatzstoffes für die Energieverbrauchsmessung nach DIN 18873-3 gibt es bereits eine Bachelorarbeit von Frau Glonner aus dem Jahr 2014. Ein Jahr später fertigte Frau König eine Masterthesis an und 2017 schrieb Frau Krüger eine weitere Bachelorarbeit.

Frau Glonner beschäftigte sich 2014 mit Filzstreifen und einem Verdampferkonstrukt, sowie einigen theoretischen Betrachtungen. So wurde z.B. überlegt, Öl zu gefrieren und ins Frittieröl zu geben, um Wärmeenergie zu entziehen. Das würde aber die Masse des Frittieröls beeinflussen und -18 °C würden nicht ausreichen. Das Schmelzen von anderen Stoffen wie Wachs wurde ebenfalls verworfen, da auch dies einen Einfluss auf die Masse hat. Als besonders gut aufsaugende Stoffe wurden Schwämme genannt. Naturschwämme weisen allerdings keine besondere Hitzebeständigkeit auf und auch bei Schwämmen aus Polyurethan könnte bei Temperaturen von 180 °C eine Zersetzung stattfinden. Kork ist sehr hitzestabil, ist allerdings wasserabweisend und somit nicht geeignet. Einige Holzsorten weisen ein gutes Quellvermögen von bis zu 55 % auf, aber auch diese Idee wurde verworfen, da das Holz natürlichen Schwankungen sowohl bei der Trockenmasse als auch bei der Holzfeuchte unterliegt. Außerdem würde ungefähr das Anderthalbfache an gewässertem Holz benötigt wie an Pommes frites, was Platzmangel in der Fritteuse zur Folge hätte. (Glonner, 2014, S. 43f).

Versuche wurden mit Filz und einem Verdampferkonstrukt durchgeführt. Filz weist ein besonders gutes Quellvermögen auf. Es ist temperaturbeständig und bei Verwendung von technischem Filz liegt eine Normung vor. Es weist ein ähnliches Frittierverhalten wie Pommes frites auf und die Fritteuse zeigt auch eine ähnliche Leistungsaufnahme. Frau Glonner kommt zu dem Ergebnis, Filz führe nicht zu aussagekräftigen Ergebnissen, sei aber reproduzierbarer als Pommes frites. Des Weiteren sei es teuer und maximal drei Mal wiederverwendbar unter hohem Reinigungsaufwand. Mehr Potenzial sieht Frau Glonner im Verdampferkonstrukt aus Metall, welches kontrolliert Wasser abgibt. Das Wasser ist nicht tiefgefroren. Das Verdampferkonstrukt sei reproduzierbar und wiederverwendbar. Es wäre eine optimale Lösung, sofern das Konstrukt an sich noch verbessert würde, denn es weist keinerlei Schwankungen auf wie Pommes frites. Allerdings bestehe bei den Versuchen Verbrennungsgefahr, zum einen am Konstrukt selbst, als auch durch Wasser, das ins Fett spritzt. (Glonner, 2014, S. 93-97).

Frau König untersuchte in ihrer Masterthesis die Eignung von verschiedenen Werkstoffen. Dazu wurden verschiedene Werkstoffwürfel von 20 mm Kantenlänge in Wasser getränkt und eingefroren. Alle Werkstoffe sind gefriertauglich. Cordierit weist eine maximale Frittierzeit von drei Minuten auf, dann ist das aufgenommene Wasser (61 %) vollständig

verdampft. Kalksandstein konnte aufgrund der zu geringen Wasseraufnahme von 11 % auch nicht überzeugen. Porenbeton kann 84 % Wasser aufnehmen und erinnert dadurch am stärksten an den Wassergehalt von Pommes frites, auch der Energieverbrauch beim Frittierzyklus ist mit dem von Pommes frites ähnlich. Auch der Isolierstein HIPOR 450 zeigt ähnliche Energieverbräuche. Die Wasseraufnahme lag bei 105 %. Frau König kommt zu dem Ergebnis, Porenbeton und HIPOR wären denkbare Ersatzstoffe, welche allerdings eine hohe Fettaufnahme aufweisen. Auch seien sie nicht wiederverwendbar und weitere Untersuchungen wären zur Validierung nötig. (König, 2015, S. 92f, 97-101).

Frau Krüger entwickelte das Verdampferkonstrukt weiter und führte Versuche mit Kartoffelpüree und -knödelpulver durch. Beim Verdampferkonstrukt änderte sie das Material, vorher wurde Metall benutzt, das eine hohe Wärmeleitfähigkeit besitzt. Dadurch entstanden keine optimalen Ergebnisse und der neue Ansatz ist ein Verdampferkonstrukt aus Reagenzgläsern, welche durch ihre niedrige Wärmeleitfähigkeit für Optimierung sorgen sollen. (Krüger, 2017, S. 19f). Theoretisch betrachtet käme es als Ersatzmedium in Frage, bei den praktischen Versuchen tauchen allerdings Fehlerquellen auf wie ein Zerbersten der Gläser oder Überkochen des Wassers. Kartoffelpüreepulver und Knödelpulver werden mit einem definierten Wasseranteil von 72 % frittiert und zeigen ähnliche Eigenschaften wie Pommes frites. Frau Krüger weist auf weiteren Forschungsbedarf bezüglich der Zusammensetzung, Verfügbarkeit und Anpassung der Form, da durch die Kugelform zwar die Oberfläche stimme, aber das Volumen zu groß sei. (Krüger, 2017, S. 74).

Auch inwieweit mit einer Berechnung der theoretische Energieverbrauch dargestellt werden könnte, wurde in der Bachelorarbeit aufgegriffen. Dafür müsste man lediglich den Warmhaltezyklus messen und könnte auf die Pommes frites, bzw. auf einen Ersatzstoff verzichten. Die errechneten Energieverbräuche liegen vier bis elf Prozent unter den gemessenen Werten und ähneln somit den tatsächlich gemessenen Werten, bilden sie aber nicht genau ab. (Krüger, 2017, S. 66-69).

Diese Bachelorarbeit ist eine Weiterführung der Ansätze von Frau Krüger. Zurückgegriffen wird nicht auf Knödel- oder Kartoffelpüreepulver, sondern auf andere kartoffelnahe Produkte wie Kartoffelflocken oder Kartoffelstärke. Die Zusammensetzung und die Form

sollen optimiert werden. Es wird an einer höheren Reproduzierbarkeit gearbeitet, der Ersatzstoff soll ein höheres Maß an Standardisierung aufweisen.

Des Weiteren werden die Messungen des Energieverbrauchs beim Vorheiz-, Warmhalte- und Frittierzyklus mit denen aus der Masterthesis von Frau König verglichen, da die gleiche Fritteuse des Modells London I von MKN verwendet wird.

3.3 Kartoffelstärke als mögliche Komponente eines Ersatzstoffes

Kartoffelstärke wird industriell aus Kartoffeln extrahiert. Die folgenden Informationen über den Herstellungsprozess stammen vom Verband der deutschen Getreideverarbeiter und Stärkehersteller VDGS e.V. und deren Mitglieder in der Fachsparte Kartoffelstärke, die aus drei Unternehmen der Stärkeindustrie besteht.

Das Grundprinzip der Stärkegewinnung nennt sich „Nassmüllerei“. Dieser Vorgang ist das Auswaschen der Stärke aus dem Zellgewebe. Der Rohstoff muss dafür zerkleinert vorliegen. (VDGS e.V., 2018). Stärkekartoffeln haben einen höheren Stärkegehalt als Speisekartoffeln. Der Gehalt muss mindestens bei 13 % liegen, sonst können sie nicht zur Stärkeproduktion verwendet werden. Zunächst erfolgen Waschen der Rohware und Entfernen von Kraut oder Steinen. Eine Hochleistungsreibe zerkleinert die gewaschenen Kartoffeln zu Brei. Die Extraktion der Rohfasern und des Kartoffelfruchtwassers aus dem Brei ist der nächste Schritt.

Im nächsten Schritt der „Nassmüllerei“, bzw. Raffination, wird die Stärkemilch aus dem Zwischenprodukt gewaschen. Hierzu werden restliche Feinfasern und gelöste Stoffe herausgetrennt (AVEBE, o.J.).

Die Stärkemilch wird anschließend entwässert und in einer Trocknungsanlage getrocknet. Kartoffelstärke enthält einen Restfeuchtegehalt von 20 %. (AVEBE, o.J.). Von den 20 % Wassergehalt in Kartoffelstärke liegt ein Drittel frei vor. Das adsorptiv gebundene Wasser ist über Wasserstoffbrücken an die Hydroxy-Gruppen der Stärke gebunden. Weitere 30 % des gebundenen Wassers wird durch Kapillarkräfte gebunden. (Ternes, 2008, S. 162).

Die Nebenprodukte der Stärkegewinnung können komplett weiterverarbeitet werden. So werden das Kartoffelfruchtwasser, die Rohfasern und das Nebenprodukt der Stärkeraffination zu Futtermitteln verarbeitet. Auch können die Rohfasern zu Paselli weiterverarbeitet werden, welche in der Lebensmittelindustrie Anwendung finden. (AVEBE, o.J.).

Zur Veranschaulichung zeigt die Abbildung 4 das Herstellungsschema.

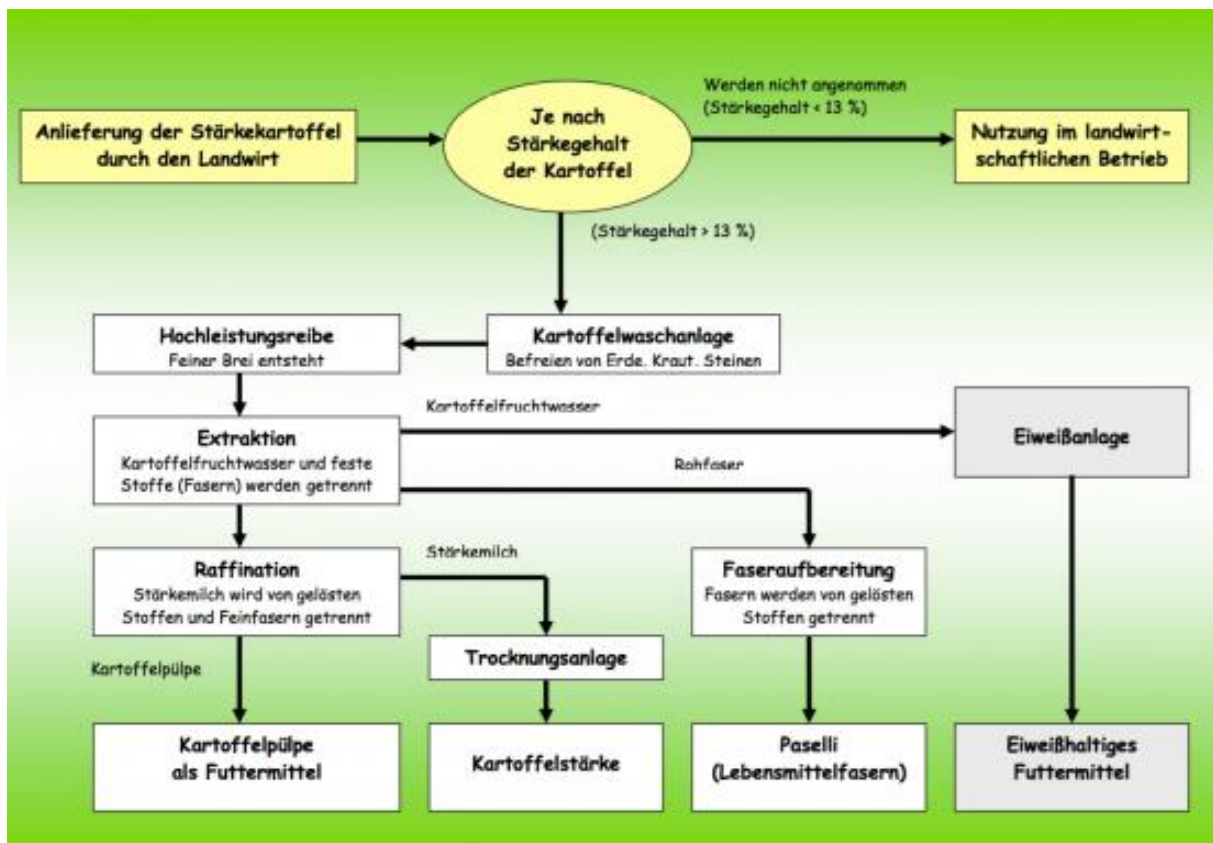


Abbildung 4: Industrieller Herstellungsprozess von Kartoffelstärke, Quelle: (AVEBE, o.J.).

Kartoffelstärke besteht nur aus einer Komponente, der extrahierten Stärke mit einem definierten Restfeuchteanteil von 20 %. Sie besitzt dadurch den Vorteil, dass im Ersatzstoff auch die Trockenmasse eindeutig definierbar wäre. Kleine Spuren von Verunreinigungen sind sicherlich nicht auszuschließen, trotzdem wäre die Standardisierung gegenüber Pommes frites als Veredelungsprodukt eines natürlichen Lebensmittels sehr viel höher einzustufen.

Kartoffelstärke wird nicht nur in der Lebensmittelindustrie verwendet, sondern findet auch im Nonfood Bereich Anwendung. So wird sie u.a. für die Papierherstellung, Klebstoffherstellung oder in der Textilbranche verwendet. Die Stärken, die in der Lebensmittelindustrie verarbeitet werden, unterscheiden sich in ihren Eigenschaften. Das

Unternehmen Südstärke GmbH bietet verschiedene native und physikalisch modifizierte Stärken an. So eignet sich *Kartoffelstärke Superior* vor allem für Babykost, Soßen oder Kuchenfertigmehle, weil sie eine hochviskose Lösung ergibt. *Kartoffelstärke Superior wasserarm* ist eine native Stärke, die weniger Wasser enthält und somit besonders gut Feuchtigkeit adsorbiert. Sie wird als Trennmittel oder Feuchtestabilisator in Trockenmischungen wie Backpulver oder Gewürzmischungen verwendet. *Bäckerstärke* hingegen eignet sich durch ihre hohe Rieselfähigkeit vor allem als Trennmittel bei der Ausformung von Brötchen. Die Südstärke GmbH bietet auch chemisch modifizierte Stärken an. So ist z.B. *Alimentamyl AC 2310* (auch E1414) säurestabil, gegenüber Scherkräfteinwirkung stabil und besonders hitzebeständig, sodass sie auch Sterilisationsprozesse übersteht. Zudem eignet sie sich zum Einfrieren und wird in Konserven und gefrierfähige Mayonnaisen, Milchprodukte oder Tiefkühlware verwendet. *Amylex N* (auch E1404) ergibt niedrigviskose Lösungen und wird daher als Trägersubstanz in Instantbrühpulvern oder Suppen zugesetzt. (Südstärke GmbH, 2018).

3.3.1 Technologische Eigenschaften der Kartoffelstärke in Hinblick auf die Herstellung eines Ersatzstoffes

Ziel ist es sich die funktionellen Eigenschaften der Kartoffelstärke für einen Ersatzstoff zunutze zu machen. Die Idee ist es, dass die Kartoffelstärke, vermischt mit einem definierten Wasseranteil, den Ersatzstoff darstellen soll. Im kalten, unverkleisterten Zustand wird das allerdings nicht funktionieren, da die Stärkekörner während des Gefrierprozesses absinken und eine heterogene Mischung entsteht, im unteren Teil die Stärke und im oberen Teil das gefrorene Wasser. Außerdem neigt unverkleisterte Stärke in Kartoffeln dazu bei Temperaturen unter 4°C in Monosaccharide zu zerfallen, wodurch die Gefahr besteht, dass es auch bei dem Stärke-Wasser Gemisch dazu kommt. (Rösch & Icking, 2016). Daher ist die Idee entstanden, die Stärke mit einem definierten Wasseranteil zu erhitzen, wodurch die Stärke verkleistert. Eine homogene Masse entsteht, die dann eingefroren wird.

Der Verkleisterungsprozess der Stärke läuft in drei Phasen ab: Die erste Phase ist die Zerstörung der Kornstruktur. Wasser lagert sich an die Stärkekettens an und es kommt zu

einer Erhöhung der Viskosität. Zudem lösen sich aufgrund der Wärmeeinwirkung die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Stärkemolekülen.

Die zweite Phase beginnt nach dem Verkleisterungsprozess. Die Wasserstoffbrückenbindungen werden zerstört, was ein weiteres Quellen der Stärke auslöst. Amylose löst sich aus dem Stärkekorn heraus und geht in die wässrige Lösung über, was zur Folge hat, dass die nun vermehrt aus Amylopektin bestehenden Stärkekörner in einer amylosereichen Lösung vorliegen. Bei weiterem Erhitzen wird die Viskosität bis zu einem konstanten Punkt wieder abnehmen. (Ternes, 2008, S. 165).

Die dritte Phase beschreibt die Textur der Stärke nach dem Abkühlen. Die Wasserstoffbrückenbindungen bilden sich neu aus. Maisstärke bildet z.B. stabile Gele. Kartoffelstärke hingegen ergibt ein zähes, schleimiges bis fadenziehendes Gel. Die Gelbildung erfolgt ab einer Stärkekonzentration von 4 %. Stärken mit hohem Amylopektinanteil bilden stabilere Gele. Amylopektin besitzt eine globuläre Struktur, die sich bei Hydratation stark ausdehnt. Die Seitenketten sorgen dann durch die räumliche Ausdehnung für eine Behinderung der gelösten Moleküle. Deshalb neigt Amylopektin auch nicht zur Retrogradation. (Ternes, 2008, S. 161). Retrogradation beschreibt den Prozess, dass die beim Erhitzen freigesetzten und zusammengelagerten Amyloseketten bei Abkühlung in Wechselwirkung treten. Die Amyloseketten liegen in der Lösung helixförmig vor. Diese strecken sich aus und lagern sich linear an, woraufhin eine Bildung Wasserstoffbrücken beginnt. Das Hydrationswasser wird dadurch verdrängt. Dieser Vorgang tritt besonders bei gefrorenen Produkten auf. (Ternes, 2008, S. 164-165). Dieser Vorgang ist für den Frittierprozess wünschenswert, da so das Wasser schneller verdampfen kann, wenn es frei vorliegt. Kartoffelstärke ist zur Retrogradation fähig, da eine Amylosekonzentration von 20 bis 27 % vorliegt. Allerdings ist die Retrogradation teilweise durch hohe Temperaturen reversibel. (Ternes, 2008, S. 165). Es müsste untersucht werden, ob das beim Frittieren des Stärke-Wasser Gemischs auftritt oder ob das freie Wasser schnell genug verdampfen kann und somit ein Frittieren auf Gewichtsverlust möglich ist.

Die Verkleisterungstemperatur von Kartoffelstärke liegt bei 58 °bis 66 °C. Die Viskosität und Festigkeit des Gels hängt von der Zusammensetzung und Konzentration der

Mineralien im Wasser ab. Der Grund hierfür ist der Austausch der Mineralien über die Phosphatgruppen des Amylopektins. Kartoffelstärke enthält 0,15 % Phosphat, was verglichen mit anderen Stärken hoch ist (Maisstärke enthält 0,05 %, Reis nur 0,015 % Phosphat). Kartoffelstärke hat ein hohes Quellvermögen, sie kann 1000fach aufquellen, was weit über dem Quellvermögen von anderen Stärken, wie z.B. Mais mit einem 24fachen Quellvermögen, liegt (Ternes, 2008, S. 164-165).

Die Herstellung der Stärke-Wasser Rezeptur (SW) orientiert sich vom Verhältnis her am Deutschen Leitsatz für Kartoffelerzeugnisse, der einen maximalen Wassergehalt von 70 % in Pommes frites fordert. (Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission, 2010, S. 4-5). Es werden Vorversuche zur genauen Zusammensetzung erfolgen und auch die am besten geeigneten Verkleisterungstemperatur folgen noch. Nach Herstellung der SW Rezeptur, erfolgt das Abfüllen in Formen, durch Gießen in ein Stärkebett oder eine feste Form, danach wird die Rezeptur bei -18 °C eingefroren.

Die für die Versuche verwendete Stärke wird von Metro Deutschland GmbH vertrieben. Das Produkt der Eigenmarke Aro trägt die Verkehrsbezeichnung Kartoffelmehl und besteht zu 100 % aus Kartoffelstärke. Hergestellt wurde sie von MCC Trading Deutschland GmbH.

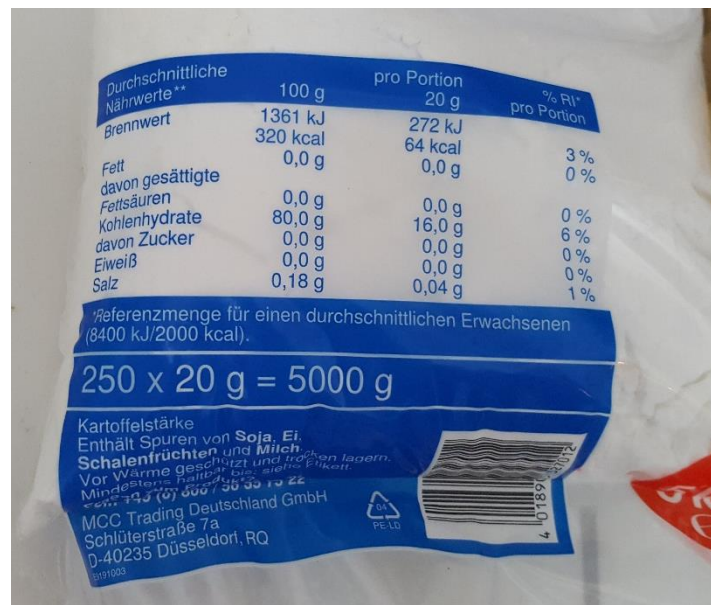


Abbildung 5 Nährwertangabe der Kartoffelstärke von MCC Trading Deutschland GmbH

3.4 Kartoffelflocken als Proteinlieferant im Ersatzstoff zur Ausbildung einer Kruste

Kartoffelflocken sind gekochte Kartoffeln, die zu Brei zerdrückt getrocknet werden. Die rohen Kartoffeln werden gewaschen, geschält und in 12 bis 20 mm dicke Scheiben geschnitten. Bei 70 bis 85 °C werden diese dann für 20 bis 30 Minuten vorgegart. Danach werden die Kartoffelscheiben wieder auf 20 °C heruntergekühlt und anschließend mit Wasserdampf bei Überdruck durchgegart. Es erfolgt das Zerdrücken zu Brei. Der Kartoffelbrei trocknet in einer dünnen Schicht auf einem Walzentrockner. Danach werden sie zu Flocken zerkleinert.

Kartoffelflocken bestehen aus getrockneten Kartoffelzellen. Durch den Herstellungsprozess liegen etwa 15 bis 25 % der Kartoffelzellen aufgebrochen vor, die darin enthaltene Stärke liegt frei vor und verkleistert durch die Hitzeeinwirkung.

Kartoffelflocken eignen sich z.B. als Backzutat. Kartoffelflocken können auch als Ausgangsmaterial für die Herstellung von verzehrfertigem Kartoffelpüree dienen, dem nur heißes Wasser oder Milch zugegeben werden muss. Auch können aus ihnen Trockenkartoffelerzeugnisse hergestellt werden, z.B. Fertigmischungen für Kartoffelknödel oder Kroketten. Ebenso können aus ihnen Kartoffelknabberartikel hergestellt werden. (Spektrum, 2001).



Abbildung 6: Kartoffelflocken von der Bäckerei Spiegelhauer als Zutat in der Rezeptur für Ersatzstoffe

Kartoffelflocken weisen einen geringeren Grad der Standardisierung auf als Kartoffelstärke, da frischen Kartoffeln lediglich der Wassergehalt durch Trocknung entzogen wurde. Die Trockenmasse im Ersatzstoff würde also natürlichen Schwankungen unterliegen, allerdings wäre der Wassergehalt in der Rezeptur des Ersatzstoffs zu kontrollieren, allerdings nicht die Trockenmasse, die ein natürliches Lebensmittel ist. Der Standardisierungsgrad ist allerdings etwas höher als bei Pulvern für Kartoffelknödel oder Kartoffelpüree, da hier nicht transparent ist, welche Stoffe vom Hersteller in welcher Konzentration hinzugefügt wurden. Kartoffelflocken stehen einen Verarbeitungsschritt vor den Fertigpulvern. Die verwendeten Kartoffelflocken (s. Abb. 6) bestehen zu 100 % aus Kartoffeln und werden von der Bio Bäckerei Spiegelhauer OHG hergestellt, ansässig in der Bahnhofstraße 17, 01796 Pirna. Die Nährwertangaben der 100 % Bio Kartoffelflocken sind in der Tab. 3 dargestellt.

Nährwerte pro 100 g	Bio-Kartoffelflocken (hergestellt von der Bäckerei Spiegelhauer)
Energie	1512 kJ
	359 kcal
Fett, davon:	0,3 g
gesättigte Fettsäuren (FS)	-
einfach ungesättigte FS	-
mehrfach ungesättigte FS	-
Kohlenhydrate	30,6 g
davon Zucker	0,47 g
Ballaststoffe	6,4 g
Eiweiß	8,6 g

Tab. 3: Angabe der Nährwerte von 100 g Kartoffelflocken, hergestellt von der Bäckerei Spiegelhauer

Bei Kartoffeln ist ein Faktor für die Festigkeit das Verhältnis zwischen Stärke und Protein. Je mehr Protein enthalten ist, desto besser halten die Randschichten beim Garen. Die Randschichten mehligere Kartoffeln hingegen können beim Garen zerplatzen, da mehr Stärke und weniger Eiweiß vorhanden ist. (Ternes, 2008, S. 1020). Die Kartoffelflocken haben mit 8,6 g Eiweiß auf 100 g Flocken einen wesentlich höheren Proteingehalt als das Kartoffelmehl, das mit 0,1 % kaum Eiweiß enthält. (Ternes, 2008, S. 162). Dadurch könnte ein besserer Zusammenhalt des Ersatzstoffs ermöglicht werden. Zum anderen kann so zur besseren Krustenausbildung die Maillard-Reaktion stattfinden, da nicht nur Kohlenhydrate wie im Stärke-Wasser Gemisch vorhanden ist, sondern auch Protein. Die Maillard-Reaktion ist eine nichtenzymatische Bräunungsreaktion. Sie tritt besonders bei

Temperaturen über 80 °C auf und findet zwischen reduzierenden Zuckern und Aminosäuren, Peptiden oder Proteinen statt. Grob betrachtet laufen zwei Phasen ab. In der ersten Phase bildet sich Glycosylamin, eine Bindung zwischen einer Aminosäure mit einer reduzierenden Hydroxylgruppe eines Zuckers. Das entstandene Glycosylamin ist instabil und lagert sich um. Der Ringschluss des Zuckers verschiebt sich dadurch. Nun bilden sich Dicarboxylverbindungen, die durch den Stickstoff aus der Aminosäure entstehen.

In der zweiten Phase gehen die entstandenen Produkte Folgereaktion ein, die z.B. zu Aromabildung führen. (Ternes, 2008, S. 295f).

Die Maillard-Reaktion würde zu einer Krustenbildung führen, die beim Frittieren bedeutend ist, da sie eine hohe Fettaufnahme verhindert. Dadurch könnte der Gewichtsverlust beim Frittieren schneller eintreten, da die Fettaufnahme geringer wäre, wodurch die Differenz zwischen Wasserverdampfung und Fettaufnahme größer wäre, was zu einem höheren Gewichtsverlust führt.

Ausprobiert werden verschiedene Rezepturen aus Kartoffelflocken, Stärke und Wasser. Nach dem Herstellungsprozess, der entweder über das Herstellen einer verkleisterten Stärke-Wasser Rezeptur und das spätere Hineinrühren von Kartoffelflocken erfolgen soll, erfolgt das Abfüllen in Formen oder in Hüllen und Einfrieren bei -18 °C. Es könnte auch probiert werden, ob mit den Kartoffelflocken das Erhitzen der Rezeptur überflüssig wäre und es einfach zu einer homogenen Masse vermischt wird.

3.5 Überlegungen zu einer stabilisierenden Hülle

Die Hülle soll der Stabilisierung des Ersatzstoffes dienen falls dieser ohne Hülle nicht in seiner Form bleibt und beim Frittierprozess zerbricht. Denkbar wären Gewebesläuche, die wasserdampfdurchlässig sind oder Textilsläuche, die durch Zusammennähen von hitzebeständigem Textil hergestellt werden.

4 Vorgehensweise und Ergebnisdarstellung der praktischen Vorversuche zum Finden eines Ersatzstoffes

Dieses Kapitel gibt den praktischen Teil der Arbeit wieder, mit dem Ziel geeignete Rezepturen für die Ersatzstoffe zu finden, die dann in den Hauptversuchen des Frittierzyklus nach DIN 18873-3 frittiert werden, um den Energieverbrauch zu ermitteln (Kap. 5).

Zunächst wird auf die Methodik und auf die verwendeten Messgeräte und Materialien eingegangen.

4.1 Überblick der Methodik zur Identifikation möglicher Ersatzstoffe

Zunächst sollen Vorversuche durchgeführt werden, die einen Aufschluss darüber geben welche Ersatzstoffe sich eignen, wie ihr Frittierverhalten aussieht und wie hoch der Gewichtsverlust ist. Die Vorversuche sollen geeignete Ersatzstoffe für die Hauptversuche des Frittierzyklus nach DIN 18873-3 aufzeigen, in denen dann auch die Zusammensetzung des Gewichtsverlusts aus Wasserverdampfung und Fettaufnahme detailliert untersucht wird, damit die Wasserverdampfung und Fettaufnahme von tiefgekühlten und vorfrittierten Pommes frites vor und nach dem Frittieren mit den möglichen Ersatzstoffen verglichen werden kann.

Als Referenzwert für die Beurteilung der Messergebnisse des Energieverbrauchs beim Frittierzyklus der Ersatzstoffe und als Vergleich mit dem Frittierzyklus mit Pommes frites, werden auch Pommes frites nach Norm frittiert (Kap. 5.4).

Auch der Energieverbrauch beim Vorheiz- und Warmhaltezyklus der Fritteuse MKN London I, befüllt mit Frittieröl bis zur Mindestfüllmenge, wird nach der DIN 18873-3 gemessen (Kap.5.1)

Die dazu verwendeten Messgeräte und Materialien sind in den folgenden zwei Unterkapiteln, 4.1.1 und 4.1.2, dargestellt.

4.1.1 Verwendete (Mess-) Geräte und Datenerfassung in den Vorversuchen und für die Versuche nach DIN 18873-3

Die Messgrößen Temperatur des Frittieröls, die Leistung der Fritteuse, Energieverbrauch, Spannung und Zeit werden in MCPS zusammengeführt, MCPS fungiert als Schnittstelle des MX100, das über Drahtthermoelemente die Frittieröltemperatur und die Raumtemperatur misst, und des Leistungsmessgeräts Yokogawa WT330, das Spannung, Energie und Leistung der dreiphasig angeschlossenen Fritteuse misst. Bei MCPS (Multi Channel Process System) wird die Version MCPS 7.0.8.1 von April 2017 verwendet. Hersteller der MCPS-Software ist die CAD Computer GmbH & Co. KG Germany.

Die Fritteuse, mit der die Versuche durchgeführt wurden, ist vom Hersteller MKN Maschinenfabrik Kurt Neubauer GmbH & Co. KG. Das Modell besitzt ein Becken und wird als London I bezeichnet, die Fritteuse trägt die Seriennummer 13212160. Sie wiegt nach Herstellerangabe 19 kg und fasst laut Bedienungsanleitung und Typenschild minimal 6,5 Liter und maximal 12,5 Liter. Die Fritteuse ist elektrisch betrieben, besitzt eine Leistungsaufnahme von 6,0 kW und hat einen dreiphasigen Anschluss mit einer Spannung von 400 V.



Abbildung 7: Bedienelemente und Fettablauf der Fritteuse London I von MKN

Die Bedienelemente der London I sind ein An-/ Ausschalter und einem Bedienelement zur Temperatureinstellung. Wenn die Fritteuse heizt, leuchtet eine weiße Lampe. Zudem gibt

es einen Fettauslauf, den man mit einem Vierkantschlüssel öffnen und schließen kann (MKN Maschinenfabrik Kurt Neubauer GmbH & Co. KG, 2012, S. 11-13).

In der Tabelle 4 sind alle verwendeten Messgeräte zusammengefasst.

Messparameter	Gerätetyp	Seriennummer	Messbereich	Messgenauigkeit	Hersteller
Leistung Spannung Energie	Yokogawa WT330	C2QB06012V Suffix: -F-C2/C7/EX2	Spannung: bis 300 V Stromstärke: bis 20 A	Leistung: $\pm 0,25\%$ des Messwerts Energie: $\pm 0,35\%$ d. Messwerts	Yokogawa Me- ters & Instru- ments Corpora- tion, Tokyo, Ja- pan 2014 hergestellt
Gewicht (Frittiergut)	Sartorius TE3102S	26705331	Bis 3100 g	$\pm 0,01$ g	Sartorius AG Germany
Gewicht (Frittieröl)	Sartorius Combics 1 CAW1S4- 150GF-I	32366515	Bis 150 kg	± 5 g	Sartorius Indus- trial Scales GmbH & Co. KG, Bovenden, Ger- many
Feuchte	Sartorius MA35M- 000230V1	32110671	Wägebereich max. 35 g Temperatur- einstellung: 40...160°C in 1°C Schritten	Waage: 1 mg Ab 1 g Ein- waage: $\pm 0,2\%$ Ab 5 g Ein- waage: $\pm 0,5\%$	Sartorius Weighing Tech- nology GmbH, Göttingen, Ger- many
Temperatur (Frittieröl)	Yokogawa MX100 -UNV-M10, Draht- thermo-ele- ment NiCr- Ni	91G548074 722	Max. 315°C	-	Yokogawa Me- ters & Instru- ments Corpora- tion, Tokyo, Ja- pan
Temperatur zur manuellen Messung	Tastotherm MP 2000, Type K NiCr- Ni	203154 Order No.: 3 740 300	-200 ... 1300 °C	-	Infrapoint Messtechnik GmbH, Ger- many
Zeit	2-Kanal Stoppuhr- Timer + MCPS	Modell: TR118, A802.1	[h]:[min]:[s] 99:59:59, in Sekunden- schritten	-	Carl Roth GmbH+Co. KG, Germany
TPM – Wert (s. Kapitel 2.4.1)	Testo 270	Gerät: 20590000 Fühler: 20588365	40 ... 200 °C 0 ... 40 % TPM	$\pm 1,5$ °C $\pm 2\%$ TPM	Testo SE & Co. KGaA, Lenzkirch, Ger- many
Füllvolumen	Messbecher	-	0...5000 ml, in 100 ml Schrit- ten	-	-

Tabelle 4: Verwendete Messgeräte für die Vorversuche und für die Versuche nach DIN 18873-3

4.1.2 Verwendete Materialien und Lebensmittel

Lebensmittel / Material	Produktbezeichnung / Identifikation	Hersteller
Kartoffelstärke	Kartoffelmehl	MCC Trading Deutschland GmbH Schlüterstr. 7 a D-40235 Düsseldorf
Bio Kartoffelflocken	Kartoffelflocken 1 kg aus 100 % Bio Kartoffeln Art.nr.: k.A.	Bio Bäckerei Spiegelhauer Bahnhofstr. 17 D-017696 Pirna
Kartoffelprotein	+Zero Potato Protein EAN: 4260283682171 Charge: 22012018	LSP Sporternährung GmbH, D-53111 Bonn
Rapsöl	Reines Rapsöl EAN: 4018905524947	MCC Trading Deutschland GmbH Schlüterstr. 7 a D-40235 Düsseldorf
Sonnenblumenöl	Long Life Frittieröl aus 100 % High Oleic Sonnenblumenöl EAN: 4018905504659 Losnr.: L180680933	MCC Trading Deutschland GmbH Schlüterstr. 7 a D-40235 Düsseldorf
Pommes frites	Pommes frites, in Sonnenblumenöl vorgebacken und tiefgefroren EAN: 87100438292418 Losnr.: L11022018, L02052018	McCain foods GmbH A-1200 Wien
Eiswürfelform	Eiswürfelbereiter Diamond freeze, Art.nr.: 17086.00096	Rotho Kunststoff AG CH-5303 Würenlingen
Silikon	TFC Silikon Kautschuk Typ 6 als Zweikomponenten-Mischung Art.nr.: TFC4063	Trollfactory Kaiserdamm 2 D-27339 Riede

Tabelle 5: Verwendete Materialien und Lebensmittel in den Vorversuchen und Versuche nach DIN 18873-3

Für die Rezepturen der Ersatzstoffe werden Kartoffelstärke, Kartoffelflocken, Kartoffelproteinpulver und Wasser verwendet. Die Eiswürfelbereiter werden für die Formgebung der Rezepturen in den Vorversuchen angewendet, das Silikon wird zur Herstellung einer Silikonform benutzt. Sonnenblumen- und Rapsöl wird als Ölmischung im Verhältnis 80:20 zur Befüllung der MKN Fritteuse London I verwendet.

4.2 Vorversuche in der MKN Fritteuse London I

Die Vorversuche werden in diesem Kapitel nicht vollständig wiedergegeben, um den Fokus auf die wesentlichen Ergebnisse zu legen und eine kompakte Darstellung zu gewährleisten. Tabelle 4 zeigt die Übersicht aller durchgeführten Versuche und die Rezepturen, deren Ergebnisse im Kapitel 4.2 nicht aufgeführt werden, sind kursiv dargestellt, die Messergebnisse werden aber im Anhang Kapitel 8 aufgeführt.

Datum	Vorversuch und Rezeptur des verwendeten Ersatzstoffs
03.07.18	Verkleisterungstemperatur und Mischverhältnis von Stärke (30-40%) und Wasser (60-70%)
10.07.18 + 02.08.18	Gewichtsverlust und Frittierverhalten von Mischungen aus Stärke und/oder Kartoffelflocken und Wasser: - 30% Stärke und 70% Wasser (SW) - 25% Flocken, 5% Stärke und 70% Wasser - 15% Flocken, 15% Stärke und 70% Wasser (KfSW) - 30% Flocken und 70% Wasser
16.07.18	Gewichtsverlust und Frittierverhalten von 27 %Stärke, 3% Kartoffelproteinpulver und 70% Wasser
17.07.8	<i>Anpassung der Rezeptur der Stärke-Protein-Wasser-Mischung: Erhöhung der Trockenmasse: 30% Stärke, 4% Protein und 66% Wasser Ergänzung von Öl: 25% Stärke, 3% Protein, 4% Fett und 68% Wasser</i>
19.07.+ 23.07.18	Gewichtsverlust der finalen Rezeptur (23% Stärke, 3% Protein, 4% Fett und 70% Wasser, SWPF) in Abhängigkeit der Zeit
25.07.18	Testung der hergestellten Stäbchen-Silikonform anhand der Stärke-Wasser-Protein-Fett-Mischung und Gewichtsverlust der SWPF-Stäbchen

Tabelle 6: Übersicht aller durchgeführten Vorversuche

Es werden mehrere Vorversuche durchgeführt, die zeigen sollen welche Rezepturen der möglichen Ersatzstoffe am besten für das Frittieren nach DIN 18873-3 geeignet sein könnten. Zuerst wurde ein Versuch zur Verkleisterungstemperatur von Kartoffelstärke durchgeführt, der Aufschluss darüber geben soll welche Verkleisterungstemperatur die beste Textur zum Weiterverarbeiten hervorbringt. Daraufhin folgen Versuche zur Frittierbarkeit, Frittierverhalten und Gewichtsverlust möglicher Ersatzstoffe wie in Tab. 6 aufgelistet.

Für die Vorversuche werden Eiswürfelförmchen verwendet, da die späteren Formen für die Stäbchen noch in der Herstellung sind und die Eiswürfelförmchen für die Vorversuche zur Beurteilung des Frittierverhaltens ausreichend sind, zudem waren sie schnell verfügbar. Für die späteren Versuche nach Norm wird die Stäbchenform verwendet, die Pommes frites ähnelt. Die Oberfläche der Eiswürfelförmchen liegt bei 1794 mm² und das

Volumen beträgt 11960 mm^3 . Die Eiswürfelförmchen haben die Form einer „achtseitigen Pyramide“ (s. Abb. 8), da die Grundfläche ein Oktaeder ist. Sie werden im Folgenden vereinfacht als Pyramide bezeichnet.



Abbildung 8: Eiswürfelform für die Vorversuche, Ansicht der umgedrehten Form

4.2.1 Verkleisterungstemperatur und Mischverhältnis von Stärke und Wasser

Es werden Temperaturen (58°C , 60°C und 65°C) im Temperaturbereich der beginnenden Verkleisterung von Kartoffelstärke zwischen 58°C bis 66°C (Ternes, 2008, S. 164) mit verschiedenen Stärkeanteilen von 30%, 35% und 40% ausprobiert und die Konsistenz der erhitzten Mischung subjektiv bewertet. Der Wasseranteil der Rezeptur orientiert sich am Leitsatz für Kartoffelerzeugnisse und soll 70 % nicht übersteigen. Probiert wurden 60%, 65% und 70% Wasseranteil in der Rezeptur. Die Herstellung der Rezeptur erfolgt zunächst durch Erhitzen des Wassers bis zum Erreichen der Temperatur, woraufhin die Stärke manuell mit einem Schneebesen ins Wasser eingerührt wird. Dabei entstehen allerdings unerwünschte Verklumpungen. Als mehr praktikabel erweist es sich, die Stärke bereits mit einem Schneebesen in das kalte Wasser zu rühren und es dann zu erhitzen. Dabei entsteht ein homogenes Gemisch. Die Temperatur darf die niedrigste Verkleisterungstemperatur von 58°C nicht übersteigen, da sich so zum Weiterverarbeiten eine Konsistenz mit einer für die Verarbeitung geeigneten Viskosität bildet: Die Stärke-Wasser Rezeptur ist dann schon zähflüssig und verkleistert, aber noch cremig und lässt sich umrühren und kann gut mit Löffeln in Formen abgefüllt werden. Ein Gießen in ein Stärkebett wird allerdings nicht funktionieren, da es dafür zu dickflüssig ist. Es werden feste Formen benötigt.

Wird der Stärkeanteil höher als 35 % gewählt, oder die Rezeptur auf mehr als 60°C erhitzt, entsteht ein zähes und klebriges Gel, das schwer zu handhaben und schwer formbar ist (s. Abb. 9).



Abbildung 9 Verkleisterung von 40% Stärkeanteil bei 60°C

Die Rezeptur mit 40 % Stärkegehalt ist zur Weiterverarbeitung in Förmchen zu zäh. 30 % Stärke und 70 % Wasser erweisen sich hingegen als geeignete Rezeptur, mit der in weiteren Versuchen gearbeitet wird (s. Kap. 4.3.3). Die bei Raumtemperatur vermengte Stärke-Wasser Rezeptur wird bis 58°C erhitzt und bei der Temperatur gehalten, bis es nach einigen Sekunden beginnt zu verkleistern und dickflüssig wird.

4.2.2 Versuchsbeschreibung der Vorversuche zum Gewichtsverlust und Frittierverhalten

Es werden mögliche Ersatzstoffe gesucht, die in späteren Versuchen nach der DIN 18873-3 als Stäbchen frittiert werden. Es werden als kleine Charge von neun Pyramiden, was je nach Rezeptur tiefgefroren etwa 63 bis 75 g entspricht, hergestellt und bei -18°C eingefroren. Die Chargen werden nacheinander bei Betriebstemperatur von 175 ± 5 °C frittiert, die Frittierzeit variiert je nach Versuch zwischen 04:00 und 25:00 min. Das Becken der Fritteuse London I von MKN ist bei allen Versuchen bis zur Mindestfüllmarkierung, was etwa 8,6 l entspricht, mit einer Frittierölmischung aus 20 % reinem Rapsöl und 80 % reinem Sonnenblumenöl befüllt. Die Vorversuche laufen in Anlehnung an die DIN 18873-3 ab: Vor dem Frittieren bei Betriebstemperatur von 175 ± 5 °C werden die Chargen mit der Waage Sartorius TE31102S gewogen (m_2 in g). Nach dem Frittieren tropft das Frittiergut wie in der Norm 10:00 min lang ab, danach wird das Gewicht notiert um den Gewichtsverlust bestimmen zu können (m_3 in g). Während des Frittierens kann die

Wasserverdampfung über die Waage Sartorius Combics 1, auf der die Fritteuse steht, beobachtet werden. Die Waage ist zur Bestimmung der Wasserverdampfung aufgrund einer Messgenauigkeit von ± 5 Gramm zu ungenau, aber die Anzeige ist eine Orientierungshilfe um die Zeit abzuschätzen, in der der mögliche Ersatzstoff den in der Norm geforderten Gewichtsverlust von 36 ± 2 % erreicht. Die Frittierzeit wird gestoppt (t in min). Die Temperatur wird in Hinblick auf die Soll-Temperatur des Frittieröls beobachtet. Das Absinken der Temperatur auf nicht mehr als 145°C ($T_{\min(1)}$ in $^\circ\text{C}$) ist bei den Vorversuchen mit Mengen von etwa 63 bis 75 g unkritisch, da die Mengen zu gering sind, um einen hohen Temperaturabfall hervorzurufen. Da die Fritteuse dementsprechend beim fehlenden Absinken der Temperatur nicht unbedingt für mehr Heizleistung nachtaktet wird, wie es bei einer großen Charge von z.B. 800 g Frittiergut der Fall wäre, wird der Energieverbrauch zwar gemessen, aber nicht weiter ausgewertet. Um diese Annahme zu untermauern, wird in Tabelle 7 ein Beispiel für die Messwerte des Energieverbrauchs bei kleinen Chargen von etwa 60 g gegeben.

Ersatzstoff	Lfd. Nr.	t in min	Δm in %	E_3 in Wh	$T_{\min(2)}$ in $^\circ\text{C}$	$T_{\max(2)}$ in $^\circ\text{C}$
27% Stärke, 3% Protein, 70% Wasser	1	06:00	31,8	94	156,5	174,6
	2	07:00	24,0	160	159,1	177,2
	3	07:00	27,1	97	169,1	186,0
	4	07:00	27,9	120	163,0	177,2
	5	09:00	26,4	88	161,6	182,3

Tabelle 7: Messwerte des Ersatzstoffs aus Stärke, Protein und Wasser in Eiswürfelförmchen

Bei dem Vorversuch mit der Rezeptur aus 27 % Stärke, 3 % Protein und 70 % Wasser wird auch der Energieverbrauch E_3 , Minimal- und Maximaltemperatur $T_{\min(2)}$ und $T_{\max(2)}$ des Frittieröls dargestellt. Dies ist das Beispiel dafür, dass die Energieverbräuche bei den kleinen Mengen von etwa 60 g keine hohe Aussagekraft haben. Der Energieverbrauch unter der laufenden Nummer 2 ist bei 07:00 min Frittierzeit fast doppelt so hoch wie bei 09:00 min Frittierzeit. Auch die Energieverbräuche der drei Messwerte zu 07:00 min variieren zwischen 97 und 160 Wh. Außerdem ist zu sehen, dass die Zugabe kleiner Mengen keine hohe Temperaturabnahme hervorrufen. Die Minimaltemperatur $T_{\min(1)}$ während des Frittierens liegt bei 157°C . Daher werden Energieverbräuche und Minimaltemperaturen bei den Messwerten aller Vorversuche vernachlässigt.

4.2.3 Ergebnisse der Vorversuche verschiedener Rezepturen aus Stärke, Flocken, Kartoffelprotein und Wasser

Der Wassergehalt beträgt bei allen Ersatzstoffen 70 %, um eine Vergleichbarkeit untereinander und zu Pommes frites zu gewährleisten.

Es wird zum einen die Rezeptur aus 30 % Stärke und 70 % Wasser verwendet. Eine Rezeptur KfSW 1, die den Proteingehalt von Kartoffeln abbilden soll, wird ebenfalls eingesetzt, basierend auf der Nährwertangabe des Herstellers der Kartoffelflocken von 8,6 g Protein auf 100 g Kartoffelflocken wird eine Mischung mit 2 % Proteingehalt hergestellt, was zu einer Rezeptur von 25 % Kartoffelflocken, 5 % Stärke und 70 % Wasser führt. Die Herstellung der Rezeptur KfSW 1 erfolgt durch das Einrühren der Stärke in das kalte Wasser und Erhitzen auf 58°C wie bei der Stärke-Wasser Rezeptur (s. Kap. 4.2.1). Danach werden die Kartoffelflocken eingerührt bis eine homogene Masse entsteht (s. Tab 8).

Eine weitere Rezeptur mit 15 % Flocken, 15 % Stärke und 70 % Wasser wird als KfSW 2 benannt und weist in der Trockenmasse gleiche Anteile von Kartoffelflocken und Stärke auf. Bei der Rezeptur KfSW 2 wird zum einen die Herstellung wie in KfSW 1 ausprobiert. Zusätzlich wird für die KfSW 2 auch eine andere Variante der Herstellung angewendet, die auf die Vermengung der Zutaten bei Raumtemperatur reduziert wird. Dies soll die Herstellung durch Weglassen eines Herstellungsschritts vereinfachen (s. Tab. 8).

Die Rezeptur KfW besteht in der Trockenmasse ausschließlich aus Kartoffelflocken, die Rezeptur setzt sich also aus 30 % Kartoffelflocken und 70 % Wasser zusammen. Hier werden die Zutaten bei Raumtemperatur vermengt, wie in Tab. 8 auf der folgenden Seite dargestellt.

Ersatzstoff	Rezeptur	Herstellung
SW	30 % Kartoffelstärke 70 % Wasser	Vermengt, auf 58 °C erhitzt, in Eiswürferform abgefüllt und bei -18 °C tiefgefroren
KfSW 1	25 % Kartoffelflocken 5 % Kartoffelstärke 70 % Wasser	Stärke und Wasser bei 58 °C erhitzt, einrühren der Flocken, abfüllen in Eiswürfelform und bei -18 °C tiefgefroren
KfSW 2	15 % Kartoffelflocken 15 % Kartoffelstärke 70 % Wasser	Stärke und Wasser bei 58 °C erhitzt, einrühren der Flocken, abfüllen in Eiswürfelform und bei -18 °C tiefgefroren
		Vermengt, in Eiswürfelform abgefüllt und bei -18 °C tiefgefroren
KfW	30 % Kartoffelflocken 70 % Wasser	Vermengt, in Eiswürfelform abgefüllt und bei -18 °C tiefgefroren
SWP	27 % Stärke 70 % Wasser 3 % Kartoffelprotein	Stärke und Wasser bei 58 °C erhitzt, einrühren des Proteinpulvers, abfüllen in Eiswürfelform und bei -18 °C tiefgefroren
SWPF	23 % Stärke 70 % Wasser 3 % Kartoffelprotein 4 % Ölmischung (20% Rapsöl und 80% Sonnenblumenöl)	Alle Zutaten bei 58 °C erhitzt, abfüllen in Eiswürfelform und bei -18 °C tiefgefroren

Tabelle 8: Rezeptur und Herstellungsprozess der möglichen Ersatzstoffe

Die Rezeptur SWP wird zuerst aus Stärke und Wasser hergestellt und auf 58 C erhitzt, dann wird das Proteinpulver eingerührt. Der Wasseranteil bleibt bei 70 %. Der Proteingehalt orientiert sich an Pommes frites, die 3 % Proteine enthalten und beträgt daher 3 %. Die restlichen 23 % sind Stärke.

Eine modifizierte Version der SWP Rezeptur ist eine Ergänzung von 4 % Ölmischung in der Rezeptur, was den Fettgehalt der McCain Pommes frites von 4 % abbildet. Die gesamte Rezeptur besteht also aus einem von vorher 27% auf 23 % reduzierten Stärkegehalt, aus den ergänzten 4 % Fett und der Proteingehalt von 3 %, sowie der Wassergehalt von 70 % bleiben unverändert. Der Herstellungsprozess der Rezeptur SWPF wird geändert, alle Zutaten werden bei Raumtemperatur vermengt und auf 58°C erhitzt. Dies ermöglicht durch Weglassen eines Herstellungsschrittes eine vereinfachte Herstellung.

Nach dem Herstellungsprozess werden alle Rezepturen in die Eiswürfelformen abgefüllt, entweder mit Hilfe von Teelöffeln oder bei KfW per Hand, weil KfW einem Knetteig ähnelt

und gut mit den Händen geformt werden kann. Danach werden alle Rezepturen bei -18 °C für mindestens 12 h eingefroren.

Bei den Versuchen stellt sich heraus, dass jede der Rezepturen (s. Tab. 8) in Pyramidenform frittierbar ist, es lösen sich keine Teile ab, die Pyramiden weisen nach dem Frittieren eine feste Form auf.

Tabelle 9 zeigt ausgewählte Messwerte der Vorversuche, die aufgrund des in der Norm geforderten Gewichtsverlusts Δm von $36 \pm 2\%$ gewählt werden, da sie ihn entweder abbilden (in Tab. 9 grün hinterlegt), oder falls die $36 \pm 2\%$ nicht erreicht werden, die annähernden Werte der verschiedenen Rezepturen aus Stärke und/oder Kartoffelflocken, sowie Protein und Fett mit 70 % Wassergehalt je Rezeptur. (Es wurden weitere Versuche durchgeführt, als hier aufgeführt werden, deren Messergebnisse sich im Anhang, Kapitel 8 finden.)

Ersatzstoff	t in min	m ₂ in g	m ₃ in g	Δm in %
SW	20:00	63,59	48,91	23,1
	25:00	63,74	46,46	27,1
KfSW 1: 2% Protein	06:30	70,27	47,09	33,0
	07:00	74,39	49,8	33,1
KfSW 2, erhitzt	10:00	69,62	42,32	39,2
	09:00	68,68	43,00	37,4
KfSW 2, vermengt	06:00	63,26	41,75	34,0
	06:30	61,49	38,84	36,8
	08:00	64,05	39,15	38,9
KfW	06:00	68,07	54,28	20,3
	10:00	68,80	48,74	29,2
SWP	07:00	56,95	41,50	27,1
	09:00	60,92	44,86	26,4
SWPF	06:00	64,09	45,1	29,6
	09:00	61,60	40,32	34,6

Tabelle 9: Ausgewählte Messergebnisse nach dem Kriterium $36 \pm 2\%$ erreicht zu haben, oder wenn nicht einen annähernden Messwert / m₂ in g Anfangsgewicht, m₃ Endgewicht nach dem Frittieren und Δm als Gewichtsverlust

Bei den SW-Pyramiden tritt auch nach langer Frittierzeit von über 20:00 min kein Gewichtsverlust von $36 \pm 2\%$ auf, lediglich 27,1 % werden nach 25:00 min erreicht. Die SW-Pyramiden schwimmen an die Oberfläche des Ölbad und dadurch ist nicht mehr die

ganze Pyramidenoberfläche vom Frittieröl bedeckt und das Sprudeln des Öls und Bläschenbildung im Öl als Folge des austretenden Wasserdampfes reduziert sich deutlich.

Die SW-Pyramiden werden nicht gebräunt, nur partiell bildet sich eine dünne Kruste aus und sie sind nach dem zehnmütigen Abtropfen noch sehr fetthaltig.

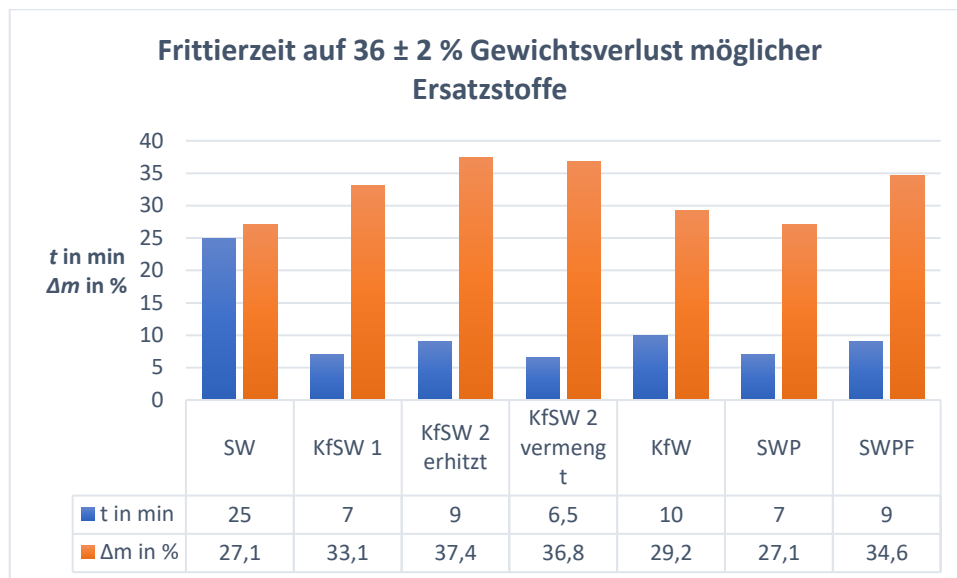


Abbildung 10: Diagramm zur Frittierzeit auf 36 % Gewichtsverlust möglicher Ersatzstoffe in Eiswürfelform

Zur besseren Übersicht ist im Diagramm der Abb. 10 je Ersatzstoff ein ausgewählter Messwert aus Tab. 9 dargestellt, der den Gewichtsverlust von dem in der Norm geforderten 36 ± 2 % Gewichtsverlust erreicht, bzw. im Falle, dass der geforderte Gewichtsverlust nicht erreicht wird, den Messwert, der dem Gewichtsverlust Δm von 36 ± 2 % am nächsten ist.

KfSW 1 müsste wahrscheinlich noch ein wenig länger frittiert werden und könnte dann vielleicht nach schätzungsweise 08:00 bis 09:00 min 34 % erreichen, wobei zwischen 06:30 und 07:00 min frittieren kein wesentlicher Unterschied im Gewichtsverlust liegt. Um dort ein aussagekräftiges Ergebnis zu erlangen wären weitere Versuche nötig, welche aber nicht weiterverfolgt werden, weil KfSW 2 vermengt die untere Grenze des Gewichtsverlusts von 34 % in kürzerer Zeit von 06:00 min erreicht und somit mehr Potenzial als Ersatzstoff aufweist, weil es näher an der Frittierzeit für 04:30 min von Pommes frites liegt wie Frau König in ihrer Masterthesis angibt (König, 2015, S. 56).

KfSW 2, erhitzt, wird etwas zu lange frittiert, sodass nach 10:00 min Frittierzeit mit etwa 39 % Gewichtsverlust das Ziel überschritten wird. Eine Frittierzeit von 09:00 min bringt

einen Gewichtsverlust von ca. 37 % hervor. KfSW 2, erhitzt, ist also fähig die 36 ± 2 % Gewichtsverlust zu erreichen, schätzungsweise nach etwa 07:30 bis 08:00 min.

Die Rezeptur KfSW 2, die nur vermengt wird, erreicht nach 06:00 min einen Gewichtsverlust von etwa 34 % und nach 06:30 min einen Gewichtsverlust von ca. 36 %. Das Vermischen bei Raumtemperatur ohne ein Erhitzen und somit ohne Verkleistern der Stärke während der Herstellung wirkt sich positiv auf den Gewichtsverlust aus. KfSW 2, nur vermengt, erzielt schon nach 06:30 min einen ähnlichen Gewichtsverlust (36,8 %) wie die erhitzte Rezeptur KfSW 2 nach 09:00 min mit 37,4 % (siehe Abb. 10).

KfW aus 30 % Kartoffelflocken und 70 % Wasser erreicht den geforderten Gewichtsverlust nicht. Nach 10:00 min frittieren kommen die Pyramiden auf rund 29 % Gewichtsverlust. Die Rezepturen mit Trockenmasse aus Stärke und Flocken sind also geeigneter als eine Trockenmasse ausschließlich aus Kartoffelflocken.

Die Pyramiden aus den Rezepturen KfSW 1 und 2, sowie KfW sind während des Frittierens untergetaucht. Sie schwimmen zwar nach 03:00 bis 05:00 min an die Oberfläche, aber sie treiben knapp unterhalb der Oberfläche, sodass durchgängig Wasserverdampfung während des Frittierprozesses stattfinden kann, die sich in sprudelndem Frittieröl und einer sichtbaren Bläschenbildung im umgebenden Frittieröl zeigt.



Abbildung 11 Von oben nach unten: SW (20 min), KfSW 2 erhitzt (10:00 min) und KfSW 1 (06:30 min)



Abbildung 12 Von oben nach unten: SW (25 min), KfSW 2 erhitzt (09:00 min) und KfSW 1 (07:00 min)

Die Rezepturen mit Kartoffelflocken (KfSW 1 und 2, KfW) bilden im Gegensatz zu den SW-Pyramiden eine Kruste aus. KfSW 1 (in den Abb. 11 + 12 unten dargestellt) enthält anteilig mehr Kartoffelflocken als KfSW 2 (in den Abb. 11 + 12 in der Mitte dargestellt) und weist eine stärkere Krustenbildung und Bräunung auf als KfSW 2 erhitzt.

Beide KfSW 2 Rezepturen haben im frittierten Zustand eine helle Bräunung und eine ausgebildete Kruste, es gibt durch die unterschiedliche Herstellung (s. Tab. 8) keinen Unterschied im Bräunungsgrad oder Krustenausbildung.

Die Abb. 13 zeigt deutlich den unterschiedlichen Bräunungsgrad zwischen den unterschiedlichen Frittierzeiten von links 04:30 min, 06:00, 03:30 und 10:00 min der KfW-Pyramiden mit ausschließlich Kartoffelflocken in der Trockenmasse. Die Kartoffelflocken-Wasser-Pyramiden sind nach 10:00 min frittieren sehr dunkel gebräunt.



Abbildung 13: Frittierte KfW Rezeptur, von links: 04:30, 06:00, 08:30 und 10:00 min Frittierzeit, einige Pyramiden sind exemplarisch aufgebrochen worden

Das Innere der KfW-Pyramiden ist vollständig gegart wie ein natürliches Lebensmittel, was beim synthetischen Ersatzstoff aus Stärke und Wasser nicht der Fall ist. Dessen Inneres ist klebrig und zäh. Die Pyramiden aus KfW mit ausschließlich Kartoffelflocken in der Trockenmasse sind zudem stärker gebräunt als die KfSW 2 (s. zum Vergleich Abb. 11+12).

Bei den Rezepturen mit Kartoffelflockenanteil (KfSW 1 und 2, sowie KfW) wird eine deutlich bessere Krustenbildung als bei den reinen SW-Pyramiden festgestellt, was an der Maillard-Reaktion liegt, die hier ablaufen kann, da zusätzlich zu den Kohlenhydraten genügend Proteine vorhanden sind. Daraus entstand die Idee den Ersatzstoff aus Stärke und Wasser mit Proteinpulver zu ergänzen. Ziel ist ein höheres Maß der Standardisierung als bei Kartoffelflocken zu erreichen, bei denen nur der Wassergehalt genau festzulegen ist. In der Trockenmasse, die aus einem natürlichem Lebensmittel entsteht, dem lediglich das Wasser entzogen wurde, treten Schwankungen auf. Es wird reines Kartoffelproteinpulver von LSP Sporternährung GmbH in Bonn eingesetzt, welches 93 % Kartoffelprotein enthält. Es wird die Kartoffelsorte Solanic 300 zum Extrahieren des Proteins verwendet.

Bei der Rezeptur SWP aus 23 % Stärke, 3 % Protein und 70 % Wasser ist ein Gewichtsverlust von 36 ± 2 % in einer Frittierzeit von 09:00 min nicht erreichbar, nach 07:00 min werden 27,1 % und in 09:00 min 26,4 % erreicht. Zudem tritt das Problem auf, dass die SWP-Pyramiden an die Oberfläche des Ölbad schwimmen (siehe Abb. 15). Sobald dies geschieht, verringert sich die Wasserverdampfung sichtbar durch reduzierte Bläschenbildung im Frittieröl. Abbildung 14 zeigt zum Vergleich die SPW-Pyramiden direkt nach

Hineingeben ins Frittieröl, das Frittieröl sprudelt stark, eine starke Bläschenbildung liegt vor. In Abbildung 15 ist nach etwa 06:00 min kaum noch Bläschenbildung vorhanden und somit findet nur sehr reduziert Wasserverdampfung statt, daher entsteht bei 02:00 min längerer Frittierzeit kein deutlich höherer Gewichtsverlust, der sich mit 27,1 % nach 07:00 min und 26,4% nach 09:00 min nicht wesentlich unterscheidet (s. Tab. 9). Der vermutete Grund für das Aufschwimmen an die Oberfläche des Ölbad ist ein zufälliges Aufplatzen der Pyramiden, bei dem sich das Innere nach außen kehrt, sich aber nicht von der Form ablöst (s. Abb. 17).



Abbildung 14: Direkt nach dem Hineingeben der SPW-Pyramiden in das Frittieröl



Abbildung 15: an die Oberfläche geschwommene SPW-Pyramiden nach 06:00 min

Es hat sich bei der SWP Rezeptur eine Kruste ausgebildet, mit einem geringen Bräunungsgrad, was ein Hinweis auf die Maillard-Reaktion ist, Die Bräunung ist allerdings nicht so stark wie bei den Rezepturen KfSW 1 und 2, sowie KfW, die Kartoffelflocken enthalten. Die frittierten SPW-Pyramiden sind nach dem Abtropfen an der Oberfläche geringer fett-haltig wie die Rezeptur SW, bei denen wegen fehlender Proteine keine Maillard-Reaktion stattfinden konnte.



Abbildung 16: 07:00 min frittierte SPW-Pyramiden mit leichter Krustenausbildung und leicht gebräunt

Um das Problem des Aufschwimmens zu beheben, damit ein höherer Gewichtsverlust durch mehr Wasserverdampfung erreicht werden kann, finden weitere Versuche mit modifizierten Versionen der SWP Rezeptur statt. Ziel ist es eine Mischung zu finden, die nicht an die Oberfläche des Ölbad schwimmt. Es wird versucht die Rezeptur näher an Pommes frites anzupassen: Pommes frites enthalten neben 3 % Proteinen auch 4 % Fett. Eine mögliche Modifizierung wäre somit ein Ergänzen von 4 % Fett, das wie das Frittieröl aus 20 % Rapsöl und 80 % Sonnenblumenöl besteht.

Die Version mit zusätzlichem Fett in der Rezeptur erreicht den geforderten Gewichtsverlust von 36 ± 2 % mit einem gemessenen Gewichtsverlust von 34,6 % nach 09:00 min. Bei 06:00 min Fritterzeit werden 29,6 % erreicht (s. Tab. 9).



Abbildung 17: Vergleich der frittierten Pyramiden, links die Rezeptur SWP ohne Fett, rechts SWPF mit Fett

Die beobachtete Deformation und Aufplatzen der Pyramiden tritt bei den SWP-Pyramiden häufiger auf als bei denjenigen, die 4 % Fett enthalten. Zudem sind die Deformationen

bei den SWP-Pyramiden stärker ausgeprägt als bei den SWPF-Pyramiden. Der Bräunungsgrad der Pyramiden mit Fett ist etwas höher als der Bräunungsgrad der Pyramiden ohne Fett (s. Abb. 17).

Das Frittierverhalten der SWPF-Pyramiden mit Fettanteil zeigt sich besser als das derjenigen ohne Fett. Ein Aufschwimmen an die Oberfläche des Ölbad wird frühestens in der dritten Minute nach Frittierbeginn beobachtet. In den folgenden Minuten schwimmen einige an die Oberfläche, einige kleben am Frittierkorb fest. Insgesamt lässt sich beobachten, dass 05:00 min nach Frittierbeginn etwa ein Drittel der Pyramiden oben schwimmt. Die Ergänzung von Fett scheint das Frittierverhalten zu verbessern, das Schwimmen an die Oberfläche wird hinausgezögert und es betrifft nicht mehr alle Pyramiden, sondern nur rund ein Drittel. Zudem erreicht die SWPF Rezeptur nach 09:00 min Frittierzeit 34,6 % Gewichtsverlust, was eine deutliche Steigerung von ca. 8 % gegenüber der SWP Rezeptur ist, die nach 09:00 min lediglich 26,4 % Gewichtsverlust aufweist.

4.3 Herstellung der Silikonformen zur Formung der Stäbchen

Um eine Pommes frites ähnliche Form für die Versuche nach DIN 18873-3 verwenden zu können, die laut Norm eine Schnittfläche von 9 x 9 mm besitzen sollen und annähernd quaderförmig sind mit unterschiedlichen Längen, werden zwei Silikonformen selbst hergestellt, die Stäbchen der Länge 50 mm mit einer Schnittfläche von 15 x 15 mm formen.

Merkmal	Pyramidenform	Stäbchenform
Oberfläche in mm ²	1800	10500
Volumen in mm ³	12000	11300

Tabelle 10: Vergleich der Dimensionen der Pyramidenform und Stäbchenform

Die Pyramiden haben eine Oberfläche von etwa 1800 mm², die Stäbchen eine Oberfläche von 10500 mm², was fast der sechsfachen Oberfläche der Pyramiden entspricht. Gleichzeitig weicht das Volumen der Stäbchenform mit ca. 6 % weniger Volumen als die Pyramidenform nicht stark von den Pyramiden ab (s. Tab. 10). Die Stäbchen haben so für das Frittieren ein günstigeres Verhältnis zwischen Volumen und Oberfläche als die Pyramiden, da die ähnlichen Volumina, aber die sehr viel größere Oberfläche der Stäbchen die Wasserverdampfung begünstigen könnte.

Angefertigt wird die Form mit Silikon Kautschuk der Firma Trollfactory, welches aus zwei Komponenten angemischt wird. Das flüssige Silikon kann dann innerhalb von fünf Minuten in eine beliebige Form gegossen werden. Auf einer Metallplatte wird ein Boden aus Knetmasse bestehend aus herkömmlicher Bastelknete mit einem Teigroller ausgerollt. Darauf wird ein Rahmen aus Legosteinen gebaut und dient als Form für das Silikon. Für die Stäbchenformen werden 10 Aluminium-Quader mit den Abmessungen 15 x 15x 50 mm auf den Boden der Knetmasse gelegt. In diese Negativform wird das Silikon gegossen.

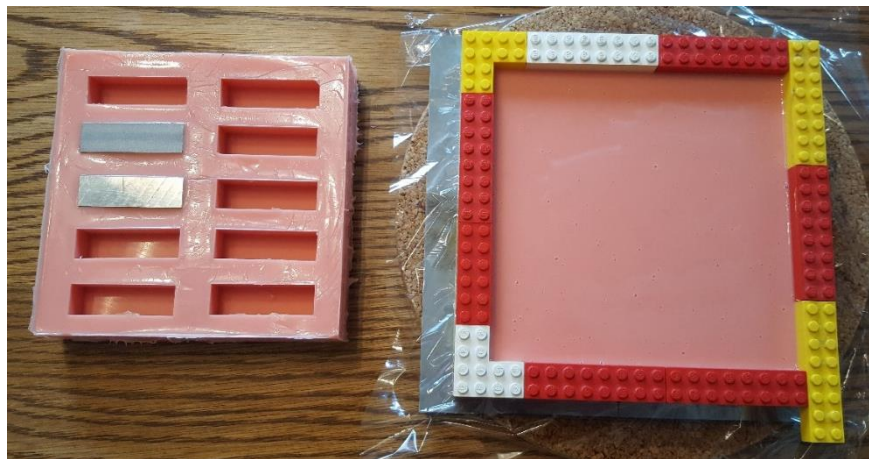


Abbildung 18: Herstellen der Silikonformen: links die fertige Form, rechte Form härtet bei Raumtemperatur aus

Nach dem Aushärten der Silikonformen bei Raumtemperatur in ca. 3 bis 4 Stunden, sind die Silikonformen fest, sodass die verschiedenen Rezepturen der möglichen Ersatzstoffe schnell in die Form abgefüllt werden können. Danach werden die befüllten Formen bei -18 °C eingefroren, was das Silikon ohne Veränderungen oder Beschädigung übersteht. Die Silikonformen sind trotz der Festigkeit beweglich, was ein von Vorteil für das Herausnehmen der tiefgefrorenen Stäbchen ist, da sie durch Biegen der Form einfach zu entnehmen sind.

Abb. 19 zeigt das Abfüllen der SW Rezeptur nach Erhitzen und Verkleistern bei 58 °C in die Silikonformen, die danach bei -18 °C eingefroren werden.

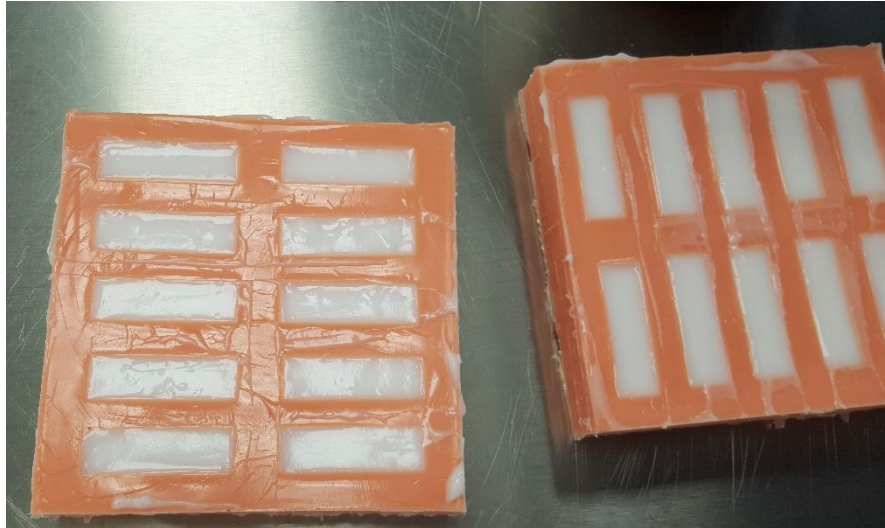


Abbildung 19: Mit SW Rezeptur befüllte Silikonformen

4.3.1 Vorversuch zum Vergleich der Frittier Eigenschaften und Gewichtsverlust der Pyramidenform und der Stäbchenform

Mit diesem Vorversuch soll untersucht werden, ob die Stäbchenform mit der SWPF Rezeptur gut zu frittieren ist und ob sich der Gewichtsverlust von dem der in Pyramidenform frittierten SWPF Rezeptur unterscheidet.

Es werden kleine Mengen von ca. 115 g (entspricht 10 Stäbchen) mit verschiedenen Zeiten zwischen 04:30 und 08:00 min frittiert. Abb. 20 zeigt die angerührte und bei 58 °C verkleisterte zähflüssige SWPF Rezeptur.



Abbildung 20: Angerührte und bei 58 °C erhitzte SWPF-Mischung

In der Stäbchenform bleibt das Frittiergut in seiner Form, ohne, dass Teile des Stäbchens abbrechen, das Volumen vergrößert sich um etwa ein Drittel. Der Bräunungsgrad und die Krustenbildung entspricht im Wesentlichen der Pyramidenform, auch bei der Stäbchenform tritt ein zufälliges an die Oberfläche treiben auf. Dies geschieht allerdings erst etwa eine min später, in der 4. bis 5. Minute nach Frittierbeginn. Auch hier tritt ein Zerplatzen als Grund für das Schwimmen an die Oberfläche auf. Teilweise kleben auch einige Stäbchen am Frittierkorb fest.

lfd. Nr.	m ₂ in g	t in min	m ₃ in g	Δm in %	Anmerkungen	Δm in % Pyramiden	Differenz der Gewichtsverluste in %
1	115,1	4:00	93,35	18,9	untergetaucht	21,9	3
2	113,71	4:30	89,65	21,2	untergetaucht	-	-
3	114,05	5:00	84,15	26,2	schwimmen oben	23,7	2,5
4	113,56	6:00	89,09	21,5	schwimmen knapp unter der Oberfläche, ab 4. Minute ganz oben	30,5	9
5	116,48	6:00	91,91	21,1	schwimmen oben		9,4
6	113,67	8:00	75,25	33,8	festgeklebt am Boden des Korbs	33,9	0,1

Tabelle 11: Ergebnisse des Versuchs SWPF-Stäbchen und Vergleich der Gewichtsverluste der verschiedenen Formen / Δm in % der Pyramiden bezieht sich auf den Gewichtsverlust der SWPF-Pyramiden, Differenz der Gewichtsverluste stellt die Abweichung der Messwerte von SWPF-Stäbchen und SWPF-Pyramiden dar

Tab. 11 zeigt die Ergebnisse des Vorversuch zum Frittierverhalten und Gewichtsverlust der SWPF Rezeptur in Stäbchenform . Auffällig ist der Messwert von 26,2 % Gewichtsverlust bei einer Frittierzeit von 5:00 min, da dieser ca. 5 % höher als die Messwerte von etwa 21 % bei 6:00 min liegt, welche dem gemessenen Gewichtsverlust von 21,2 % bei 04:30 min entspricht. Daher wurde eine zweite Messung durchgeführt, um das erste Messergebnis zu überprüfen. Die Messwerte bei 06:00 min weichen mit 9,4 % auch stark von den Messwerten der Pyramidenform ab (in Tab. 11 als Δm in % Pyramiden), was auffällig viel Abweichung im Vergleich zu den anderen Differenzen von 0,1 bis 3 % ist (siehe Tab. 11). Abgesehen von den Messwerten bei 06:00 min ähnelt sich der Gewichtsverlust der beiden Formen.

4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Vorversuchen und Ausblick auf die Versuche nach DIN 18873-3

Ersatzstoff	t in min	Δm in %	Vorteile	Nachteile
SW: 30% Stärke, 70% Wasser	25:00	27,1	hohe Standardisierung	Kein Erreichen von 34% Gewichtsverlust auch bei langer Frittierzeit, sehr fettig
KfSW 1 (2% Proteingehalt): 25% Flokken, 5% Stärke, 70% Wasser	07:00	33,1	könnte evtl. auf 34% kommen, Kruste und Bräunung	Durch Verwenden der Flokken als natürliches Lebensmittel geringeres Maß an Standardisierung
KfSW 2 erhitzt: 15% Flokken, 15% Stärke, 70% Wasser	09:00	37,4	Kommt auf 36% Gewichtsverlust, Kruste und Bräunung	
KfSW 2 vermischt: 15% Flokken, 15% Stärke, 70% Wasser	06:30	36,8	erreicht schneller den Gewichtsverlust als B erhitzt, Kruste und Bräunung, einfache Herstellung	
KfW: 30% Flokken, 70% Wasser	10:00	29,2	Kruste und Bräunung, einfache Herstellung	
SWP: 27% Stärke, 3% Protein und 70% Wasser	06:00	31,8	hohe Standardisierung	schwimmen an die Oberfläche, sodass Wasserverdampfung reduziert wird und somit kein Erreichen der 34% Gewichtsverlust
SWPF: 23% Stärke, 4% Fett, 3% Protein, 70% Wasser	09:00	34,5	hohe Standardisierung, erreichen von 34 und 36% möglich, leichte Krustenausbildung und leichte Bräunung	partielles Schwimmen an die Oberfläche durch zufälliges Aufplatzen
SWPF 2-Stäbchen: 23% Stärke, 4% Fett, 3% Protein, 70% Wasser	08:00	33,8		

Tabelle 12: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Vorversuche, fett hervorgehobene Rezepturen werden in den Versuchen nach DIN 18873-3 weiterverfolgt

Die Stärke-Wasser-Pyramiden erreichen nach 25:00 min frittieren lediglich einen Gewichtsverlust von 27,1 %. Da hier aber ein hohes Maß an Standardisierung vorliegt, dadurch, dass aufgrund der reinen Kartoffelstärke als einziger Bestandteil der Trockenmasse keine großen Schwankungen in der Trockenmasse auftreten, wird diese Rezeptur

als möglicher Ersatzstoff bei der Versuchsreihe nach der DIN 18873-3 weiterverfolgt. Die SW-Pyramiden nehmen sensorisch beurteilt durch geringe Krustenausbildung sehr viel Fett auf. Möglicherweise verdampfen sie dennoch genügend Wasser und der geringe Gewichtsverlust könnte durch die hohe Fettaufnahme stark reduziert sein. Dies gilt es mit Hilfe von Feuchtemessungen detaillierter zu untersuchen. Bei möglichen Ersatzstoffen mit Kartoffelflocken in der Trockenmasse erweist sich die KfSW 2 vermengt als geeigneter Ersatzstoff für die Versuche nach DIN 18873-3 mit einem einfachen Herstellungsprozess, da keine Erhitzung stattfindet und die Masse einem Knetteig ähnelt und so während des Formens gut handzuhaben ist. Nach einer Frittierdauer von 06:30 min wird ein Gewichtsverlust von 36 % erreicht. Besonders positiv ist hier die Krustenausbildung, die eine hohe Fettaufnahme verhindert in Verbindung mit einer Bräunung, die an Pommes frites erinnert. Die Frittierzeit könnte noch weiter gesenkt werden um auf die untere Grenze von 34 % zu kommen, damit beim Frittierzyklus weniger Energie verbraucht würde, da der Energieverbrauch hauptsächlich durch die Wasserverdampfung entsteht, welche anteilig im Gewichtsverlust Δm , der um 2 % reduziert werden könnte, steckt.

Die Rezeptur aus SWPF wird in der Rezeptur 23% Stärke, 70 % Wasser, 3 % Proteinpulver und 4 % Fett (bestehend aus 20% Rapsöl und 80% Sonnenblumenöl) nach der DIN 18873-3 frittiert. Ein Erreichen der unteren Grenze von 34 % Gewichtsverlust ist in einer Frittierzeit von 08:00 bis 09:00 min möglich. Das einzige Problem, was hier in den Vorversuchen auftrat, war das Schwimmen an die Oberfläche, das durch zufälliges Aufplatzen frühestens in der 3. Minute nach Frittierbeginn auftritt. Durch die Modifizierung der Rezeptur konnte es auf ein Drittel reduziert, aber nicht vollständig gelöst werden.

Da sich die Vorversuche in der Stäbchenform als günstig erwiesen, wird die Stäbchenform für alle möglichen Ersatzstoffe verwendet.

5 Energieverbrauchsmessungen nach DIN 18873-3 und Untersuchungen der Zusammensetzung des Gewichtsverlustes

Zunächst wird der Vorheiz- und Warmhaltezyklus der Fritteuse London I von MKN, die bis zur Mindestfüllmarkierung mit ca. 7,6 kg Fritteröl (20% reines Rapsöl und 80% reines Sonnenblumenöl) befüllt ist, durchgeführt. Der Vorheizzyklus gilt aus dem Ruhezustand bei Raumtemperatur heraus bis zum Erreichen der Betriebstemperatur von 175 ± 5 °C. Der Warmhaltzyklus über 2 Stunden wird direkt im Anschluss an den Vorheizzyklus gemessen. Die ermittelten Werten werden mit den aus Frau Königs Masterthesis verglichen, da Frau König mit der gleichen MKN Fritteuse London I arbeitete.

Die Versuche zum Frittierzyklus gliedern sich zum einen in die Messung des Energieverbrauchs und des Gewichtsverlusts nach der DIN 18873-3 und zum anderen in begleitende Feuchtemessungen mit dem Gerät MA35 von Sartorius, die Aufschluss darüber geben sollen wie viel Wasseranteil im tiefgekühlten Zustand und wie viel Wassergehalt nach dem Frittieren in den Ersatzstoffen und in Pommes frites enthalten sind und daraus resultierend wie hoch die Fettaufnahme durch das Frittieren ist.

5.1 Versuchsbeschreibung und Ergebnisse des Vorheiz- und Warmhaltezyklus nach DIN 18873-3 in der MKN Fritteuse London I

Die Fritteuse wird, wie in der DIN 18873-3 gefordert, mit der Mindestfüllmenge befüllt und vom Ruhezustand bei einer Umgebungstemperatur von 23 ± 3 °C auf Betriebstemperatur von 175 ± 5 °C erhitzt. Im Frittierkorb ist mittig platziert eine zylinderförmige Drahtgeflechtkonstruktion, welche 5 mm breite Öffnungen, die eine freie Fläche von 30 % der Gesamtfläche zulassen und einen Durchmesser von 30 mm hat, in welcher der Temperaturfühler eingeflochten wird. Der Frittierkorb befindet sich in der nicht abgedeckten Fritteuse (Deutsches Institut für Normung, 2018, S. 9). Der Frittierkorb wird von Frau König übernommen, die ihn für ihre Masterthesis nach den Vorgaben der Norm anfertigen ließ.

Die Befüllung mit der Mindestfüllmenge an Frittieröl, zusammengesetzt aus 20 % reinem Rapsöl und 80 % reinem Sonnenblumenöl, erweist sich als nicht übereinstimmend mit der

Herstellerangabe von 6,5 l in der Bedienungsanleitung. Die Befüllung erfolgt fünfmal bis zur Minimal-Markierung im Frittierbecken, wobei durchschnittlich 8,6 l mit Messbechern gemessen wurden und 7,6 kg mit der Waage Combics 1 gewogen werden (Messwerte im Anh. Kap. 8). Die tatsächliche Mindestfüllmenge beträgt also etwa 2 l mehr als die Herstellerangabe von 6,5 l.

Zur Überprüfung wird die angegebene Mindestfüllmenge von 6,5 l in die Fritteuse eingefüllt (s. Abb. 21). Bei einer Befüllung der MKN Fritteuse London I mit 6,5 l als angegebene Mindestfüllmenge, liegt der Ölspiegel unterhalb der Minimal-Markierung im Becken. Wird der Frittierkorb in die Fritteuse eingehängt, ist der Korbboden auf Höhe der Oberfläche des Ölbad, ein Frittieren ist so nicht möglich, weil das Frittiergut nicht ins Ölbad eintauchen kann. Daher wird mit der bis zur Minimal-Markierung eingefüllten Mindestfüllmenge von 8,6 l bzw. 7,6 kg gearbeitet.



Abbildung 21: Befüllung mit der Mindestfüllmenge laut Herstellerangabe von 6,5 l Öl, was unterhalb der Minimal-Markierung des Füllbeckens liegt

Während des Vorheizens werden laut Norm die Zeit t_1 bis zum Erreichen der Betriebstemperatur von 175 ± 5 °C, die Mindestfüllmenge m_1 in kg, der TPM-Wert in % (als Beurteilungsmaßstab für die Fettqualität), Anfangstemperatur T_1 und Endtemperatur T_2 in °C, sowie deren Differenz ΔT in K und der Energieverbrauch E_1 in kWh gemessen. Aus den Messwerten wird die Wärmeenergie und Energieeffizienz, wie in Kapitel 2.5 bereits geschildert, berechnet.

Nachdem der Vorheizzyklus abgeschlossen ist, beginnt der Warmhaltezyklus über 2 h. Der Frittierkorb bleibt in der nicht abgedeckten Fritteuse und die Fritteuse London I wird im Leerzustand, weiterhin mit der Mindestfüllmenge Öl befüllt, 2 h bei Betriebstemperatur von $175 \pm 5 \text{ °C}$ gehalten. Dabei ist die minimale Frittieröltemperatur $T_{min(1)}$ in °C, die maximale Frittieröltemperatur $T_{max(1)}$ in °C und der Energieverbrauch des Warmhaltezyklus E_2 in kWh zu bestimmen. Aus den Messwerten wird mit den Formeln der DIN 18873-3 der Energieverbrauch je Stunde und der Energieverbrauch je Kilogramm Frittieröl berechnet (s. Kap. 2.5).

Es werden insgesamt vier Vorheiz- und Warmhaltezyklen gemessen, einer der gemessenen Vorheizzyklen ist exemplarisch als Diagramm auf der nächsten Seite in Abb. 22 dargestellt.

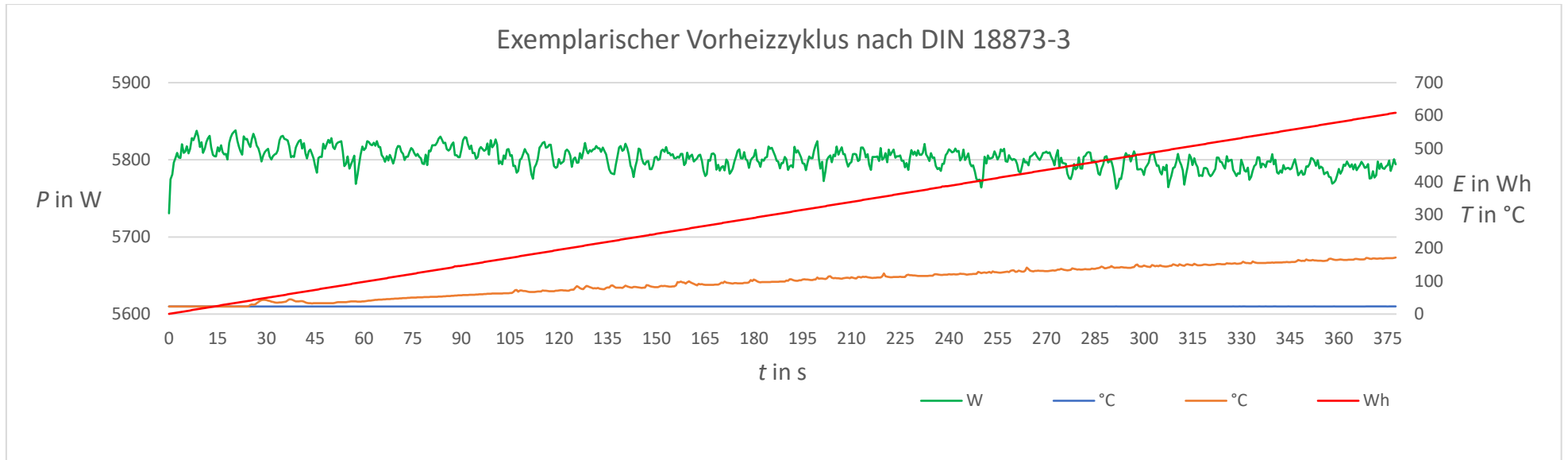


Abbildung 22: Diagramm zum Vorheizzyklus, exemplarisch

Das Vorheizen dauert bei der MKN Fritteuse London I durchschnittlich $374 \pm 3,08$ s, wobei eine Temperaturdifferenz ΔT von durchschnittlich $147,2 \pm 1,86$ K zwischen Anfangstemperatur T_1 und Endtemperatur T_2 entsteht. Während des gesamten Vorheizzyklus heizt die Fritteuse mit ca. 5800 W Leistung (s. Abb. 22), die angegebene Maximalleistung der Fritteuse sind 6000 W. Als Temperatureinstellung wird 180 °C gewählt, was knapp unterhalb der maximalen Temperatureinstellung von 185 °C liegt. Der Temperaturverlauf des Frittieröls zeigt sich in den ersten 30 s nach Beginn zunächst stagnierend bei der Umgebungstemperatur, danach erfolgt bis ca. 60 s nach Beginn ein unregelmäßiger Anstieg der Frittieröltemperatur auf etwa 40 °C. Nach der ersten Minute steigt die Temperatur annähernd linear auf 170 °C an. Kurz vor Erreichen der Betriebstemperatur von 175 ± 5 °C wird der Temperaturregler auf 175 °C heruntergedreht. Als ausschlaggebende Endtemperatur T_2 wird die untere von der Norm vorgegebene Grenze von 170 bis 171 °C gewählt. Der Vorheizzyklus verbraucht im Durchschnitt $0,60 \pm 0,01$ kWh Energie (s. Tab. 13). In Tab. 13 sind die Messwerte, die von den Anforderungen der Norm abweichen, farblich (orange) markiert. Bei Versuch 2 überschreitet die Anfangstemperatur T_1 die obere Grenze um $0,2$ °C und bei den Versuchen 1 bis 3 liegt der TPM-Wert, der laut Norm 15 ± 5 % betragen soll, um bis zu 5 % unterhalb der Grenze. Die abweichenden Messwerte der Anfangstemperatur, bzw. des TPM-Werts scheinen aber keinen Einfluss auf den Energieverbrauch E_1 zu haben, der sich bei allen vier Versuchen mit Messwerten zwischen $0,59$ und $0,61$ kWh Energieverbrauch nur leicht unterscheidet (s. Tab. 11). In Abb. 22 steigt der Energieverbrauch kontinuierlich von 0 auf rund 600 Wh linear an.

Versuch	T_1 in °C	T_2 in °C	ΔT in K	t in s	E_1 in kWh	TPM in %
1	23,2	170,9	147,7	374	0,60	5,0
2	26,2	170,3	144,1	369	0,59	7,0
3	22,9	171,9	149,0	376	0,61	9,5
4	22,9	171,0	148,1	377	0,61	10,5
Mittelwerte	23,8	171,0	147,2	374	0,60	-
Standardabweichung	1,39	0,57	1,86	3,08	0,01	-

Tabelle 13: Ergebnisse der Messungen zum Vorheizzyklus nach DIN 18873-3

Aus den Messwerten des Vorheizzyklus werden nach den Formeln der DIN 18873-3 die Wärmeenergie und die Energieeffizienz berechnet.

Berechnung von	Formel	Einheit	Wert
Wärmeenergie	$Q = m_1 \cdot c \cdot \Delta T$	kJ	2126
Wärmeenergie	$Q = m_1 \cdot c \cdot \Delta T$	kWh	0,6
Energieeffizienz	$\eta = Q / E_1 \cdot 100$	%	98,8

Tabelle 14: Berechnung nach DIN 18873-3 von Wärmeenergie und Energieeffizienz

Für die Berechnung der Wärmeenergie wird die Mindestfüllmenge m_1 , welche 7,6 kg beträgt, die spezifische Wärmekapazität c des Frittieröls, die in der Norm mit 1,9 kJ/(kg·K) angegeben ist und die Temperaturdifferenz ΔT von 147,2 K benötigt. Die theoretische Wärmeenergie bei der MKN Fritteuse London I liegt bei 2126 kJ, bzw. 0,6 kWh, was den tatsächlich gemessenen Werten von ca. 0,6 kWh entspricht. Diese Übereinstimmung hat eine hohe Energieeffizienz zur Folge: Die Energieeffizienz oder Wirkungsgrad der Fritteuse beim Vorheizzyklus wird aus der theoretischen Wärmeenergie und dem gemessenen Energieverbrauch E_1 berechnet und ist mit einer Energieeffizienz von 98,8 % hoch. Die hohe Energieeffizienz liegt vermutlich daran, dass die Heizelemente direkt im Ölbad platziert sind und die Wärmeenergie somit ohne starke Verluste in das Frittieröl übertragen wird. Im Vorheizzyklus treten auch noch keine hohen Verluste an die Umgebung auf, da es länger als die Vorheizzeit von etwa 06:14 min dauert bis sich das Gehäuse der Fritteuse aufheizt. Direkt nach dem Vorheizen ist die äußere Verkleidung der Fritteuse noch fühlbar kalt. Während des Warmhaltezyklus über 2 h wärmt sich dann auch das Gehäuse der Fritteuse auf.

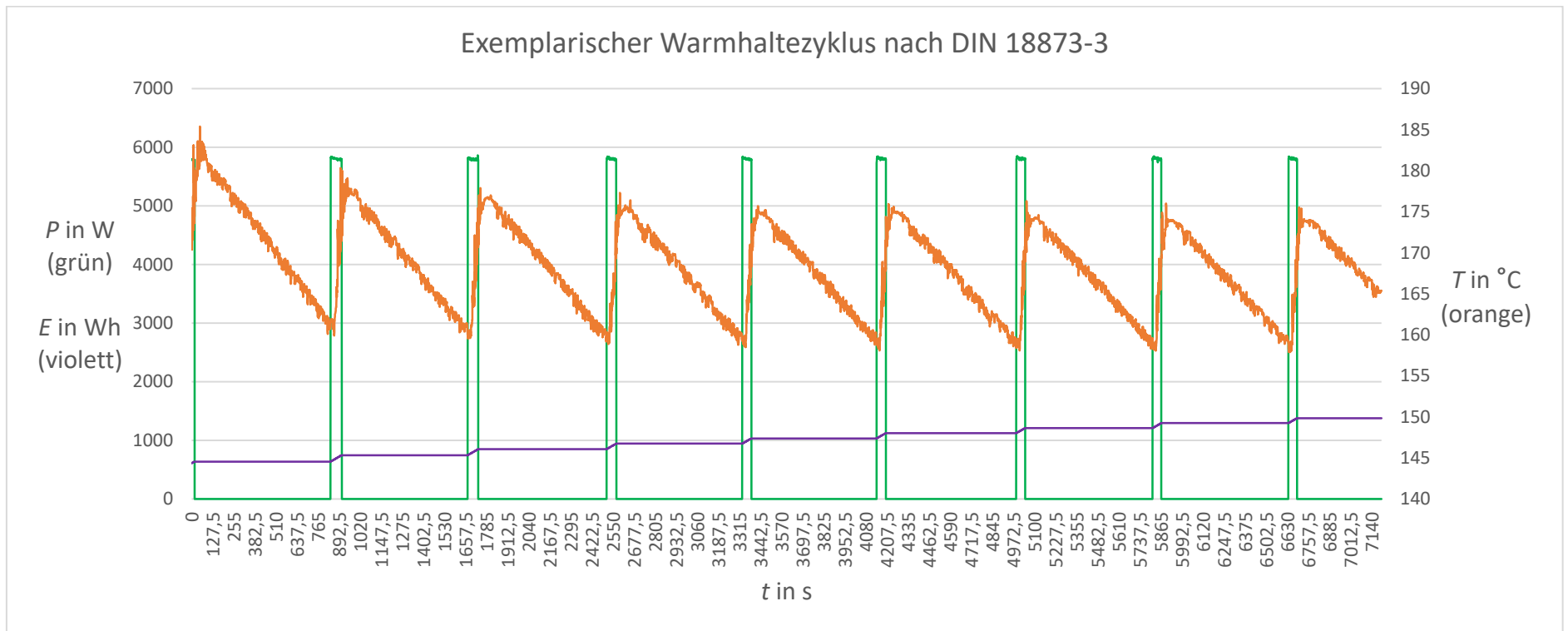


Abbildung 23: Diagramm zum Warmhaltezyklus, exemplarisch

Der Warmhaltezyklus beginnt direkt im Anschluss an den Vorheizzyklus, dadurch lässt sich am Anfang des Warmhaltezyklus ein hoher Temperaturanstieg auf teilweise über 180 °C beobachten, was darauf zurückzuführen ist, dass die Fritteuse bei Erreichen der eingestellten Temperatur von 175 °C am Temperaturregler zwar das Heizen beendet, aber die Temperatur durch die Trägheit des Frittieröls und der Heizstäbe noch weiter auf über 180 °C ansteigt, in Tab. 15 als $T_{max(1)}$ dargestellt, der höchste gemessene Wert liegt bei 187,8 °C. Durch das Ansteigen der Frittieröltemperatur auf über 180 °C nach Beenden des Vorheizens ist die erste Ruhephase des Warmhaltezyklus, in der die Fritteuse nicht heizt, mit einer Dauer von rund 13:30 min länger als die darauffolgenden sieben bis acht Ruhephasen von etwa 12:00 min, in denen die Frittieröltemperatur von ca. 175 °C auf rund 158 °C absinkt. Die Minimaltemperaturen $T_{min(1)}$ geben die Temperatur an, bei der die Fritteuse anfängt zu takten um das Frittieröl nachzuheizen und liegen wie schon in Abb. 23 ersichtlich bei durchschnittlich $158,3 \pm 1,61$ °C (Tab. 15). Bei den durchgeführten Warmhaltezyklen treten bei der MKN Fritteuse London I acht bis neun Taktungen aufgrund des Absinkens der Frittieröltemperatur auf etwa 158 °C auf, die jeweils zwischen 50 und 60 s andauern und in denen die Leistung etwa 5800 W beträgt. Während der Taktungen steigt der Energieverbrauch an bis er nach der letzten Taktung etwa 800 Wh beträgt, im Diagramm beginnt die Kurve des Energieverbrauchs zum Zeitpunkt 0 s des Warmhaltezyklus bei 600 Wh, die aus dem vorangegangenen Vorheizzyklus stammen (s. Abb. 22+23).

Versuch	$T_{min(1)}$ in °C	$T_{max(1)}$ in °C	E_2 in kWh
1	156,0	179,9	0,82
2	158,6	185,7	0,83
3	160,5	187,8	0,87
4	157,9	185,4	0,77
Mittelwerte	158,3	184,7	0,83
Standardabweichung	1,61	2,92	0,04

Tabelle 15: Ergebnisse der Messungen der Warmhaltezyklen

Der Energieverbrauch des Warmhaltezyklus E_2 liegt im Durchschnitt bei $0,83 \pm 0,04$ kWh in 2 h Warmhalten und damit in Bezug zur Zyklusdauer deutlich unter dem Energieverbrauch des Vorheizzyklus, in dem nach 06:14 min 0,6 kWh durch konstantes Heizen mit 5800 W Leistung gemessen wurden.

Berechnung von:	Formel	Einheit	Wert
Energieverbrauch je Stunde	$E_h = E_2 / 2$	kWh	0,41
Energieverbrauch je Kilogramm Frittieröl	$E_{kg(\text{Öl})} = E_2 / m_1$	kWh/kg	0,11

Tabelle 16: Berechnung aus den Messwerten des Warmhaltezyklus nach DIN 18873-3

Der Energieverbrauch je Stunde wird durch Dividieren des gemessenen Energieverbrauchs E_2 über 2 h durch zwei berechnet und beträgt 0,41 kWh.

Wird der gemessene Energieverbrauchs E_2 durch die Mindestfüllmenge m_1 von 7,6 kg dividiert, erhält man den Energieverbrauch je kg Frittieröl, was bei der MKN Fritteuse 0,11 kWh/kg sind (s. Tab. 16).

5.1.1 Vergleich der Ergebnisse des Vorheiz- und Warmhaltezyklus mit den vorangegangenen Messwerten aus der Masterthesis von Frau König

In der vorangegangenen Masterthesis von Frau König aus 2015 wurde die gleiche Elektro-Fritteuse London I von MKN verwendet, daher wird zur Verifikation ein Vergleich der Messwerte des Energieverbrauchs aus dem Vorheiz- und Warmhaltezyklus durchgeführt.

Energieverbrauch der MKN London I Fritteuse im:	Messwerte von Frau König (2015)	Aktuelle Messwerte (2018)
Vorheizzyklus E_1 in kWh	$0,672 \pm 0,030$	$0,60 \pm 0,01$
Warmhaltezyklus E_2 in kWh	$0,811 \pm 0,020$	$0,83 \pm 0,04$

Tabelle 17: Vergleich des gemessenen Energieverbrauchs aus der Masterthesis von Frau König (König, 2015, S. 56) und der aktuellen Messwerte

Frau König ermittelte einen durchschnittlichen Energieverbrauch im Vorheizzyklus E_1 von 0,672 kWh, was im Vergleich zum aktuell gemessenen durchschnittlichen Energieverbrauch E_1 von 0,60 kWh im Vorheizzyklus 0,072 kWh mehr Energie verbrauchte. Dies liegt vermutlich daran, dass Frau König die in der Norm vorgegebene Betriebstemperatur von 175 °C als Endtemperatur für den Vorheizzyklus wählte, während der Vorheizzyklus dieser Bachelorarbeit bei der unteren Grenze der Norm von 170 °C endet. Dies führt zu einer 34 s kürzeren Dauer des Vorheizzyklus von 06:14 min als der gemessene Vorheizzyklus von Frau König, der nach 06:48 min endete und auch eine höhere Temperaturdifferenz ΔT

von 152 K aufwies (König, 2015, S. 55), die 5 K über der Temperaturdifferenz ΔT von ca. 147 K des aktuell gemessenen Vorheizzyklus liegt (s. Tab. 13). Durch die 34 s kürzere Dauer und der 5 K geringeren Temperaturdifferenz beträgt der aktuell gemessene Energieverbrauch des Vorheizzyklus E_1 0,60 kWh und der von Frau König gemessene Vorheizzyklus wies im Vergleich einen leicht erhöhten Energieverbrauch von 0,672 kWh auf (s. Tab. 17).

Der aktuell gemessene Energieverbrauch des Warmhaltezyklus E_2 von 0,83 kWh stimmt in etwa mit dem von Frau König ermittelten Energieverbrauch von 0,811 kWh überein, sie beobachtete 9 Heizphasen von je ca. 65 s Dauer und eine Frittieröltemperatur von 143 °C als Beginn für die Heizphasen (König, 2015, S. 55). Im aktuell gemessenen Warmhaltezyklus liegt die Dauer der Heizphasen mit 50 bis 60 s bis zu 15 s unterhalb der von Frau König beobachteten Heizphasen von 65 s. Die Frittieröltemperatur von 143 °C, auf der ein Nachtakten der Fritteuse erfolgt, stellt im Vergleich zur aktuell gemessenen Frittieröltemperatur vor der beginnenden Heizphase von ca. 158 °C, eine Differenz von 15 K dar.

Die Messwerte des Vorheiz- und Warmhaltezyklus aus 2015 stimmen also in etwa mit den aktuellen Messwerten überein und die Abweichungen sind durch unterschiedliche Temperatureinstellung beim Warmhaltezyklus, bzw. unterschiedliche Auslegung der Grenze des Erreichens der Betriebstemperatur von 175 ± 5 °C des Vorheizzyklus entstanden.

5.2 Vorgehensweise bei den Versuchen zum Frittierzyklus nach DIN 18873-3 und Methodik zur Bestimmung der Wasserverdampfung und Fettaufnahme durch den Frittierprozess

Wie in den Vorversuchen aus Kap. 4.3 ermittelt, werden als mögliche Ersatzstoffe für den Frittierzyklus der DIN 18873-3 die Rezepturen 30 % Stärke und 70 % Wasser (SW), Stärke-Wasser-Protein-Fett (SWPF) im Verhältnis 23:70:3:4 und Kartoffelflocken-Stärke-Wasser (KfSW) mit 70 % Wasseranteil mit 30 % Trockenmasse aus gleichen Teilen Stärke und Flokken, eingesetzt. Zur besseren Übersicht in Tabelle 18 dargestellt.

Frittiergut	Rezeptur	Vorbehandlung / Herstellung
Base Culinar Pommes frites (Frau König)	3,9% Fettgehalt	Blanchiert, tiefgefroren
McCain Pommes frites	96% Kartoffeln 4% Sonnenblumenöl	Blanchiert, vorfrittiert und tiefgefroren bei -20°C
SW - Stäbchen	30% Kartoffelstärke 70% Wasser	Vermengt bei Raumtemperatur von 23°C, auf 58°C erhitzt, abgefüllt in Silikon-Stäbchenform und tiefgefroren bei -18°C
SWPF - Stäbchen	23% Kartoffelstärke 70% Wasser 3% Kartoffelproteinpulver 4% Ölmischung (20% Rapsöl und 80% Sonnenblumenöl)	Vermengt bei Raumtemperatur von 23°C, erhitzt auf 58°C, in Silikon-Stäbchenform abgefüllt und bei -18°C tiefgefroren
KfSW - Stäbchen	15% Kartoffelflocken 15% Kartoffelstärke 70% Wasser	Bei Raumtemperatur von 23°C vermengt, in Silikon-Stäbchenform abgefüllt und bei -18°C tiefgefroren

Tabelle 18: Rezeptur und Zusammensetzung von Pommes frites und verwendeten Ersatzstoffen, Base Culinar Pommes von Frau König (König, 2015, S. 40)

Als Referenz dienen zum einen die blanchierten tiefgefrorenen Base Culinar Pommes frites, die von Frau König in 800 g Chargen 04:30 min frittiert wurden (König, 2015, S. 54-56), und zum anderen werden als Referenz vorfrittierte tiefgefrorene Pommes frites von McCain untersucht, die ebenfalls wie bei Frau König in 800 g Chargen bei 04:30 min frittiert werden, zusätzlich auch mit einer Chargengröße von 600 g bei einer Frittierzeit von 06:15 min und 06:20 min.

Das Vorbereiten der Chargen besteht aus der Herstellung (s. Tab. 18) der Ersatzstoffe und Abfüllen in die Silikonformen, die Stäbchen mit einer Länge von 50 mm formt und deren Abmessungen der Schnittfläche 15 x 15 mm beträgt.

Sie werden bei -18 °C eingefroren und danach als 600 g Chargen mit der Sartorius Waage TE3102S, ebenso die Pommes frites zu 800 g und 600 g Chargen, abgewogen und das Gewicht der Chargen als m_2 in g notiert. Die kleinere Chargengröße von 600 g anstatt 800 g wird gewählt, weil bei den Ersatzstoffen (SW und SWPF) während des Frittierens eine Volumenvergrößerung um etwa ein Drittel stattfindet. Und um zu gewährleisten, dass die Charge kein Platzmangel im Frittierkorb entsteht, sodass alle Stäbchen im Ölbad untergetaucht sind, wird die Chargengröße 600 g gewählt. Die Pommes frites werden zum einen als 800 g Charge abgewogen und bei einer Frittierzeit von 04:30 min frittiert als Vergleich zu den Versuchen von Frau König mit Base Culinar Pommes frites, aber auch als 600 g Chargen um den Energieverbrauch mit den Ersatzstoffen SW und SWPF vergleichen zu können. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird auch die Chargengröße des Ersatzstoffes KfSW, bei dem keine deutliche Volumenvergrößerung feststellbar ist, auf 600 g festgelegt. Zudem wird von der Deutschen Gesellschaft für Fettwissenschaften ein maximales Verhältnis zwischen Frittiergut und Frittiermedium von 1:10 angegeben (Gertz & Matthäus, 2012, S. 11), was bei Anwendung auf die Mindestfüllmenge von 7,6 kg der London I Fritteuse eine maximale Bestückung mit 690 g Frittiergut ergibt.

Laut Norm wird der Frittierzyklus direkt im Anschluss an den Warmhaltezyklus durchgeführt, was organisatorisch nicht möglich ist, daher werden die Frittierzyklen separat durchgeführt, wobei aber darauf geachtet wird, dass nicht aus dem Ruhezustand der Fritteuse heraus gearbeitet wird, sondern, dass sich das Gehäuse der auf 170 °C eingeschalteten Fritteuse mindestens 1 h erwärmen konnte. Als Temperatureinstellung wird 180 °C gewählt, die Frittieröltemperatur beträgt dann etwa 175 °C und ein Nachheizen der Fritteuse erfolgt bei einer Öltemperatur von etwa 152 – 160 °C.

Während des Frittierzyklus werden mit dem MX100 die Frittieröl- und Umgebungstemperatur in °C gemessen, das Leistungsmessgerät Yokogawa WT330 misst die Leistung in kW und Spannung in V des dreiphasigen Anschlusses der MKN Fritteuse, sowie den Energieverbrauch in Wh. Diese Messwerte laufen in der Schnittstelle MCPS zusammen, welche

zusätzlich auch die Zeit in halben Sekundenschritten aufzeichnet, ebenso die werden die eben genannten Messgrößen alle halbe Sekunde gemessen.

Der Frittierzyklus beginnt sobald die Betriebstemperatur 175 ± 5 °C erreicht, der Frittierkorb wird entnommen und die tiefgefrorenen Pommes frites bzw. der Ersatzstoff hineingegeben. Sobald der Frittierkorb in das Ölbad gesenkt wird, wird die Stoppuhr gestartet. Die Frittierzeit beträgt für die SW-Stäbchen 06:00 min, da in den Vorversuchen auch nach einer Frittierzeit von 25:00 min lediglich ca. 27 % Gewichtsverlust erreicht wird (s. Kap. 4.3.2). Da 25:00 min Frittierzeit durch die lange Frittierdauer nicht praxisnah ist, wird die Frittierzeit auf noch vertretbare 06:00 min festgelegt.

Bei den SWPF-Stäbchen tritt das Problem auf, dass frühestens ab der 3. Minute nach Frittierbeginn ein zufälliges Aufplatzen der Stäbchen stattfindet und in Folge darauf ein Aufschwimmen an die Oberfläche des Ölbad. Nach 08:00 bis 09:00 min kann bei den SWPF-Stäbchen die untere Grenze von 34 % des in der Norm geforderten Gewichtsverlusts erreicht werden, sofern sich ein Großteil der Charge unterhalb der Oberfläche des Ölbad befindet. Je länger die Frittierzeit andauert, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit des Aufschwimmens und dadurch würde die Wasserverdampfung reduziert, da etwa ein Drittel der SWPF-Stäbchen in der Charge mit drei Viertel ihrer Oberfläche nicht mehr von Frittieröl bedeckt wären und die Wasserverdampfung so deutlich reduziert wäre. Um die Vergleichbarkeit mit den SW-Stäbchen zu gewährleisten und um der Gefahr der geringen Wasserverdampfung entgegenzuwirken, wird auch die Frittierzeit der SWPF-Stäbchen auf 06:00 min festgelegt.

Die Rezeptur des möglichen Ersatzstoffes KfSW erreicht in den Vorversuchen nach einer Frittierzeit von 06:30 min 36 % Gewichtsverlust. Die Frittierzeit wird auf 06:00 min reduziert, da in dieser Zeit ein Erreichen der unteren Grenze von 34 % Gewichtsverlust theoretisch möglich ist und so die Bedingung der Frittierzeit von 06:00 min bei allen Ersatzstoffen SW, SWPF und KfSW gleich ist, was zu einer besseren Vergleichbarkeit führt.

Nach 06:00 min wird der Frittierkorb mit der ersten Charge entnommen und zunächst in den leeren Frittierkorb umgefüllt, zum Abtropfen für 10 min dann aber auf ein gelochten GN-Behälter gelegt um für alle Chargen die gleichen Bedingungen beim Abtropfen zu schaffen, weil nur ein leerer Korb zur Verfügung steht und dieser aus Zeitgründen nicht

zum Abtropfen aller Chargen ausreicht (Die erste Charge tropft noch ab, wenn die zweite Charge die Frittierzeit von 06:00 min erreicht). Das Herausnehmen des Frittierkorbs soll so schnell wie möglich durchgeführt werden. Nachdem der leere Frittierkorb zurück in das Ölbad getaucht wird, muss wieder die Betriebstemperatur von $175 \pm 5 \text{ °C}$ erreicht werden, woraufhin die zweite Charge hinzugegeben wird. Nach der gleichen Prozedur wird bis zur dritten Charge verfahren. Der Frittierzyklus ist beendet sobald das Frittieröl nach Entnahme der dritten Charge und darauffolgenden Hineingeben des leeren Frittierkorbs $175 \pm 5 \text{ °C}$ erreicht.



Abbildung 24: Eine 600 g Charge der McCain Pommes frites beim Abtropfen für 10 min in einem gelochten GN

Nach 10 min Abtropfen werden die jeweiligen Chargen gewogen und das Gewicht als m_3 in g notiert. Aus den Messwerten des Gewichts m_2 in g vor dem Frittieren und m_3 in g nach dem Frittieren, kann die Gewichtsänderung Δm in %, welcher sich aus Fettaufnahme und Wasserverdampfung zusammensetzt, anhand der Formel in der Norm bestimmt werden.

Zudem wird die jeweilige Charge beim Frittieren über die Waage Combics 1 beobachtet und das Anfangsgewicht direkt nach Hineingeben der Charge und das Endgewicht vor Herausnehmen der Charge festgehalten, um für die spätere Feuchtemessung einen Vergleichswert zu haben, da die Differenz aus Anfangs- und Endgewicht die Wasserverdampfung während des Frittierens darstellt, allerdings durch die Messunsicherheit von $\pm 5 \text{ g}$ der Combics 1 keinen aussagekräftigen Wert ergibt, sondern nur als Orientierungswert fungiert.

Das Feuchtemessgerät MA35 von Sartorius wird zur Bestimmung des Wassergehalts der tiefgefrorenen Pommes frites und Ersatzstoffe und zur Bestimmung des restlichen Wassergehalts nach dem Frittieren verwendet. Die Proben werden mit einer Schere zu kleinen Würfeln mit maximal 1 mm Durchmesser zerkleinert und in einem Aluminium-Schälchen werden 2 bis 5 g Probe auf der integrierten Waage im Feuchtemessgerät MA35 eingewogen. Nach Schließen des Deckels läuft das Aufheizen auf 120 °C automatisiert ab und das Gerät misst dabei prozentual auf die Einwaage bezogen das verdampfende Wasser und bestimmt aus dem Rückstand der Trockenmasse und der Einwaage das verdampfte Wasser, sodass am Ende der Messung der Wassergehalt in %M, die Trockenmasse in %S und Rückstand in g angezeigt wird.

Die Differenz des Wassergehalts des tiefgefrorenen Frittierguts und im gegarten Zustand nach dem Frittieren bildet die tatsächliche Wasserverdampfung durch den Frittierprozess ab. Die Differenz aus dem Gewichtsverlust (aus Anfangsgewicht m_2 und Endgewicht m_3 berechnet), der sich aus Fettaufnahme und Wasserverdampfung zusammensetzt und der tatsächlichen Wasserverdampfung, die höher liegt als der Gewichtsverlust (ermittelt mit dem Feuchtemessgerät), gibt die Fettaufnahme des Frittierguts an (s. Tab. 19).

Merkmal	Einheit	Berechnung	Angabe von:
Gewichtsverlust Δm	%	$\Delta m = 100 - (m_2 \cdot 100 / m_3)$	Wasserverdampfung und Fettaufnahme
Wasserverdampfung	%	Differenz aus: %M _{TK} (Wassergehalt im tiefgefrorenen Produkt) und %M _F (Wassergehalt nach dem Frittieren)	Wasserverdampfung
Fettaufnahme	%	Differenz aus tatsächlicher Wasserverdampfung und Δm	Fettaufnahme

Tabelle 19: Berechnung der Fettaufnahme während des Frittierprozesses (%M_{TK} entspricht dem Wassergehalt im tiefgefrorenen Frittiergut in % und %M_F im frittierten Zustand / m_2 in g Anfangsgewicht vor dem Frittieren, m_3 in g Endgewicht nach Frittieren)

Es werden für jedes Prüfmedium jeweils mindestens 3 Feuchtemessungen, bei schwankenden Messwerten (bei Pommes frites beobachtet) mindestens 5 Messungen durchgeführt. Die schwankenden Werte der Messungen mit Pommes frites führen dazu, dass

nicht alle Messwerte verwendet werden. Eine vollständige Darstellung der Mesergebnisse findet sich im Anhang Kapitel 8.



Abbildung 25: Ergebnis der Probe eines tiefgekühlten SW-Stäbchens mit einem Wasseranteil von 71,60 %

5.3 Betrachtung von Abmessungen, Volumina und Oberflächen der Pommes frites und der Stäbchenform für die Ersatzstoffe

Zunächst werden die Oberfläche und Volumen der Stäbchenform, die für alle Ersatzstoffe angewendet wird, mit den von McCain Pommes frites verglichen. Die Bestimmung der Oberfläche und des Volumens gestaltet sich bei den McCain Pommes frites als schwierig, da sie bis zu 10 cm in der Länge abweichen (s. Abb. 26).



Abbildung 26: Exemplarische tiefgefrorene McCain Pommes frites nach Länge sortiert aus der Verkaufsverpackung mit der Losnummer L11022018 09:20 F

Daher werden 10 Pommes frites von einer Länge von ca. 6 cm ausgewählt, die repräsentativ für die durchschnittliche McCain Pommes frites in ihrer Länge und Schnittfläche (auf mittlerer Länge gemessen) mit einem Messschieber ausgemessen werden. Dabei ergibt sich eine durchschnittliche Länge von $62,0 \pm 0,40$ mm, mit einer Schnittfläche von $9,0 \times 9,0 \pm 0,40$ mm.

Maße und Gewicht	Einheit	Pommes frites		Ersatzstoffe in Stäbchenform		
		Base Culinar, Frau König	Mc Cain	SW	SWPF	KfSW
Schnittfläche	mm	9 x 9	$9,0 \times 9,0 \pm 0,40$	15,0 x 15,0		
Länge	mm	$71,5 \pm 19,1$	$62,0 \pm 7,53$	50		
Gewicht pro Stk	g	k.A.	$5,4 \pm 0,69$	11,91	11,44	11,43
Volumen	mm ³	5792	Ø 5022	11250		
Oberfläche	mm ²	2726	Ø 2394	10450		

Tabelle 20: Vergleich der Abmessungen, Volumen und Oberfläche von Pommes frites und Ersatzstoffen, Werte für die Base Culinar Pommes frites von Frau König aus der Masterthesis übernommen (König, 2015, S. 39-40).

Die Stäbchenform hat durch die Verwendung der Silikonform eine einheitliche Länge von 50,0 mm, was 12 mm weniger lang als die durchschnittliche Länge von 62,0 mm der McCain Pommes frites ist. Die Stäbchen haben aber im Gegensatz zur Schnittfläche der McCain Pommes frites von 9,0 x 9,0 mm eine größere Schnittfläche von 15,0 x 15,0 mm. Die Base-Culinar Pommes, die Frau König verwendete, stimmen von der Schnittfläche 9 x 9 mm mit den McCain Pommes überein, sind mit einer Länge von 71,5 mm aber rund 10 mm länger (s. Tab. 20).

Die durchschnittliche Masse der Ersatzstoff-Stäbchen variiert um etwa ein halbes Gramm zwischen 11,4 g (SWPF und KfSW) und 11,9 g (SW) pro Stäbchen. Die McCain Pommes frites wiegen mit einem Durchschnittsgewicht von 5,4 g etwa die Hälfte im Vergleich zu den Ersatzstoff-Stäbchen (s. Tab. 20).

Das Volumen und die Oberfläche der McCain und Base Culinar Pommes frites stimmen in etwa überein, gerundet haben die Base Culinar Pommes frites ein Volumen von 5800 mm³, während die McCain Pommes frites ein geringeres Volumen von ca. 5000 mm³ aufweisen. Die Oberfläche beträgt bei den Base Culinar Pommes frites ca. 2700 mm², die McCain Pommes frites haben eine Oberfläche von ca. 2400 mm². Das Volumen von 11250 mm³ der Stäbchenform ist mehr als zweifach höher als das Volumen von 5022 mm³ der McCain Pommes frites. Die Oberfläche der Stäbchenform ist mit 10450 mm² etwa viermal höher als die Oberfläche von ca. 2400 mm² der McCain Pommes frites (s. Tab. 20).

5.4 Ergebnisse des Frittierzyklus nach DIN 18873-3 von McCain und Base Culinar Pommes frites als Referenzwerte

In Anlehnung an die vorangegangene Masterthesis aus 2015 von Frau König, die mit der gleichen Fritteuse London I von MKN arbeitete, wird zunächst ein Frittierzyklus mit 800 g Chargen mit einer Frittierzeit von je 04:30 min durchgeführt.

Wider Erwarten tritt jedoch nur ein Gewichtsverlust Δm von $23,0 \pm 0,52$ % auf, was deutlich von Frau Königs Ergebnis abweicht, sie hatte bei den Base Culinar Pommes frites einen Gewichtsverlust von $34,03 \pm 1,63$ % gemessen. Daher wurde ein weiterer Versuch

zum Frittierzyklus durchgeführt, der wieder mit 800 g Chargen, aber diesmal mit einer Frittierzeit von jeweils 06:15 min stattfindet, um den Gewichtsverlust an die in der Norm vorgegebenen 36 ± 2 % anzunähern. Nach 06:15 min Frittierzeit je 800 g Charge erfolgt ein Gewichtsverlust Δm von $31,1 \pm 0,32$ %, welcher ca. 3 % unterhalb des minimalen Gewichtsverlusts von 34 % liegt (s. Tab. 21).

Der dritte Versuch zum Frittierzyklus nach Norm mit der kleineren Chargenmenge von 600 g, die gewählt wird, um einen Referenzwert zu den Ersatzstoffen SW, SWPF und KfSW abzubilden, wird mit einer Frittierzeit von 06:20 min frittiert. Nach 06:20 min sind die Pommes frites dunkel gebräunt und eine längere Frittierzeit wäre aufgrund der Gefahr der Bildung von Acrylamid nicht vertretbar, zudem wird die Herstellerangabe von 03:00 bis 04:00 min Frittierzeit bei 175 °C, mit fast der doppelten Frittierzeit deutlich überschritten. Die 600 g Chargen weisen nach einer Frittierzeit von 06:20 min einen durchschnittlichen Gewichtsverlust von $32,0 \pm 0,2$ % auf (.s. Tab. 21).

Angaben nach DIN 18873-3	Pommes frites - Mc Cain			Pommes frites - Base Culinar (Frau König)
Frittierzeit t_{charge} in min	04:30	06:15	06:20	04:30
t_4 in h (gesamter Zyklus)	0,34	0,37	0,4	$0,657 \pm 0,026$
Chargengröße in g	800	800	600	800
Δm in %	23,0	31,1	32,0	34,0
Standardabweichung bei Δm in %	0,52	0,32	0,13	1,63
E_3 in kWh	0,99	1,11	0,87	1,276
$T_{min(2)}$ in °C	146,7	141	147,9	ca. 145
$T_{max(2)}$ in °C	173,7	175,9	174,9	-
Produktionsmenge je Stunde in kg/h	7,1	6,4	4,8	3,662
Energieverbrauch je kg Pommes in kWh/kg	0,41	0,46	0,48	0,839

Tabelle 21: Ergebnisse der Frittierzyklen nach Norm, $T_{min(2)}$ Minimaltemperatur und $T_{max(2)}$ Maximaltemperatur während des Frittierens / Ergebnisse der Base Culinar Pommes frites: (König, 2015, S. 56, 87).

Die Minimale Frittieröltemperatur $T_{min(2)}$ während des Frittierens der 800 g Chargen McCain Pommes frites sinkt mit 141 °C bei einer Frittierzeit von je 06:15 min unter die in der Norm vorgegebene Grenze von 145 °C. Die Chargengröße von 800 g ist zu groß

gewählt bei der um etwa 02:00 min erhöhten Frittierzeit von je 06:15 min im Gegensatz zu den Base Culinar Pommes frites mit einer Frittierzeit von je 04:30 min, in denen die minimale Öltemperatur mit ca. 145 °C die Grenze von 145 °C eingehalten wird. Bei Reduzierung der Chargengröße der McCain Pommes frites von 800 g auf 600 g, wird die Grenze von 145 °C der minimalen Öltemperatur mit 147,9 °C eingehalten (s. Tab. 21).

Der Energieverbrauch E_3 der Base Culinar Pommes frites während des Frittierzyklus mit 800 g Chargen liegt mit ca. 1,28 kWh etwa 0,3 kWh höher als der Energieverbrauch der McCain Pommes frites, die ebenfalls in 800 g Chargen für 04:30 min frittiert werden, und einen Energieverbrauch von 0,99 kWh über den gesamten Frittierzyklus aufweisen.

Die 800 g Chargen aus McCain Pommes frites kommen im nächsten Frittierzyklus, dessen Frittierzeit von 04:30 min um rund 02:00 min auf 06:15 min erhöht wird, auf einen Energieverbrauch von 1,11 kWh während des gesamten Frittierzyklus.

Die Reduzierung der Chargenmenge der McCain Pommes frites um 25 % in einem weiteren Frittierzyklus von 800 g auf 600 g, spiegelt sich im Energieverbrauch E_3 wider, der um etwa 22 % von 1,11 kWh auf 0,87 kWh sinkt (s. Tab. 21).

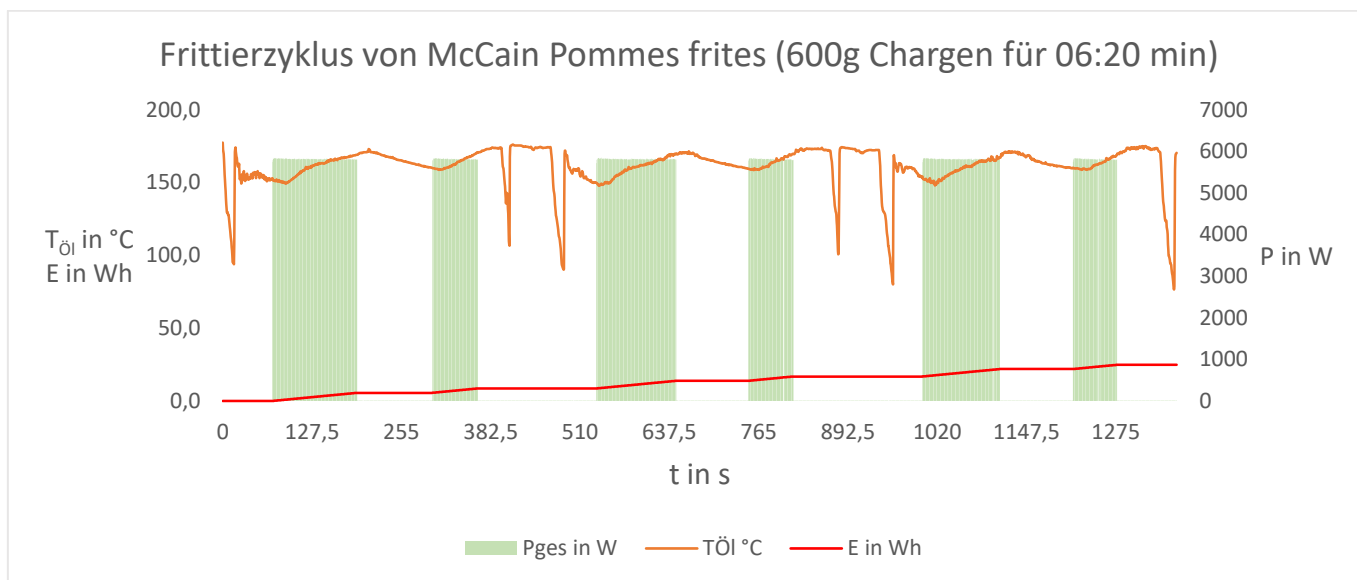


Abbildung 27: Diagramm Frittierzyklus McCain Pommes in 600 g Chargen für 06:20 min

Abb. 27 zeigt das Diagramm zum Frittierzyklus der McCain Pommes frites in 600 g Chargen bei einer jeweiligen Frittierzeit von 06:20 min. Das Absinken der Temperatur, die am Frittierkorb im Drahtgeflechrohr gemessen wird, kurz nach Start des Frittierzyklus auf ca. 100 °C markiert das Herausnehmen des Frittierkorbs und Hineingeben der ersten Charge.

Die Temperatur steigt nach Einsenken des Frittierkorbs kurzzeitig wieder auf etwa 170 °C an, sinkt dann aber infolge der hohen Menge von 600 g Frittiergut auf etwa 150°C ab und eine Heizphase setzt ein, die Fritteuse taktet, um die Öltemperatur wieder auf rund 175 °C zu erhöhen. Die erste Heizphase während des Frittieren der ersten Charge dauert ca. 120 s an. Danach folgt eine Ruhephase von etwa 105 s, in der die Fritteuse nicht heizt, worauf sich nach Absinken der Öltemperatur auf ca. 159 °C eine zweite etwa zur Hälfte kürzeren Heizphase mit einer Dauer von 65 s anschließt. Knapp 30 s später ist die Frittierzeit von 06:20 min erreicht und das Absinken der Temperatur auf etwa 100 °C zeigt die Entnahme der ersten Charge. Nach 70 s ist die Betriebstemperatur von 175 ± 5 °C wieder erreicht und das Hineingeben der zweiten Charge erfolgt, in deren Frittierzeit die Heizphasen mit denen aus der ersten Charge übereinstimmen, ebenso wie bei der dritten Charge. Die Dauer des gesamten Frittierzyklus der McCain Pommes in 600 g Chargen mit jeweiligen Frittierzeiten von 06:20 min beträgt insgesamt gerundet 24:00 min.

Im nächsten Schritt der Ergebnisdarstellung folgen die Ergebnisse der Untersuchungen zur Zusammensetzung des Gewichtsverlusts in Wasserverdampfung und Ölabsorption, in Tabelle 22 dargestellt.

Merkmal	Einheit	Base Culinar Pommes frites, Frau König	Mc Cain - Pommes frites		
			04:30	06:15	06:20
Frittierzeit	min	04:30	04:30	06:15	06:20
Chargengröße	g	800	800	800	600
Gewichtsverlust Δm	%	$34,03 \pm 1,63$	$23,0 \pm 0,52$	$31,1 \pm 0,32$	$32,0 \pm 0,13$
Wassergehalt tiefgefroren	% M_{TK}	ca. 72	$72,4 \pm 1,22$	$72,4 \pm 1,22$	
Wassergehalt nach dem Frittieren	% M_F	k.A.	$47,7 \pm 2,01$	$38,9 \pm 2,47$	
Wasserverdampfung als Differenz zwischen % M_{TK} und % M_F	%	$38,05 \pm 1,47$	$\emptyset 24,7$	$\emptyset 33,5$ ¹⁾	
Fettaufnahme als Differenz zwischen Wasserverdampfung und Δm	%	$3,39 \pm 0,91$	$\emptyset 1,7$	$\emptyset 1,9$ ¹⁾	

Tabelle 22: Zusammensetzung des Gewichtsverlusts der Base Culinar (König, 2015, S. 73, 92) und McCain Pommes frites

1) Berechnete Werte beruhen auf dem Mittelwert 31,6 % der Gewichtsverlust von 06:15 und 06:20 min Frittierzeit der McCain Pommes frites

Der Wassergehalt von ca. 72 % in den tiefgefrorenen Pommes frites stimmt bei Base Culinar und McCain Pommes frites überein. Bei der Wasserverdampfung als Differenz aus Wassergehalt vor und nach dem Frittieren, tritt ein deutlicher Unterschied von 13 % zwischen den in 800 g Chargen mit jeweiligen Frittierzeiten von 04:30 min auf: Bei Base Culinar Pommes wurden etwa 38 % Wasser verdampft, während bei den McCain Pommes frites nur ca. 25 % Wasser verdampfen. Die Fettaufnahme betrug bei den Base Culinar Pommes frites ca. 3,4 % bei 800 g Chargen mit jeweiliger Frittierzeit von 04:30 min, die McCain Pommes frites unter den gleichen Bedingungen frittiert, weisen mit durchschnittlicher Fettaufnahme von 1,7 % die Hälfte an Fettaufnahme auf wie die Base Culinar Pommes frites, die Frau König untersuchte (s. Tab. 22). Dies liegt vermutlich an der unterschiedlichen Vorbehandlung der Pommes frites, die Base Culinar Pommes werden blanchiert (wahrscheinlich in einem mit Fett angereicherten Wasserbad, da sie einen Fettgehalt von 3,9 % aufweisen, s. Tab. 18 in Kap. 5.2) und tiefgefroren, während die McCain Pommes frites neben Blanchieren auch vorfrittiert werden. Dadurch könnte es bei den McCain Pommes frites beim Frittierprozess zu einer schnelleren Krustenbildung kommen als bei den Base Culinar Pommes frites, die durch das Blanchieren eventuell im tiefgefrorenen Zustand weniger Kruste aufweisen als die Pommes frites von McCain, bei denen durch das Vorfrittieren als Vorbehandlungsschritt eine hohe Fettaufnahme verhindert würde.

Die Ergebnisse der Feuchtemessungen der McCain Pommes frites mit Frittierzeiten von 06:15 min und 06:20 min werden zusammengefasst, da bei 5,0 s längerer Frittierzeit keine signifikanten Unterschiede auftreten. Die Berechnungen der Wasserverdampfung und Fettaufnahme beruhen auf dem Mittelwert 31,6 % aus den Gewichtsverlusten der beiden Frittierzeiten (06:15 min und 06:20 min) von 31,1 % und 32,0 %. Die durchschnittliche Wasserverdampfung erhöht sich bei 06:15/20 min Frittierzeit im Gegensatz zur Frittierzeit von 04:30 min um etwa 9 % auf 33,5 % verdampftes Wasser. Die Fettaufnahme von durchschnittlich 1,9 % weicht aber bei der Erhöhung der Frittierzeit um etwa 01:45 min nicht stark von der Fettaufnahme von 1,7 % während der kürzeren Frittierzeit von 04:30 ab (s. Tab. 22).

Aus den Versuchen zu Frittierzyklen nach DIN 18873-3 mit Base Culinar und McCain Pommes frites werden als Referenzwerte für die Ergebnisse für die Ersatzstoffe SW-, SWPF- und KfW-Stäbchen zum einen die 800 g Chargen Base Culinar Pommes frites mit einer jeweiligen Frittierzeit von 04:30 min gewählt, bei denen ca. 38 % Wasser verdampfen und ca. 3,4 % Fett aufgenommen werden, was zu einem Gewichtsverlust Δm zu etwa 34,0 % führt und während des gesamten Frittierzyklus findet einen Energieverbrauch E_3 von 1,28 kWh statt.

Zum anderen werden die 600 g Chargen McCain Pommes frites mit einer jeweiligen Frittierzeit von 06:20 min, die einen Gewichtsverlust Δm von 31,6 % erreichten, zusammengesetzt aus etwa 33,5 % Wasserverdampfung und rund 1,9 % Fettaufnahme, mit einem Energieverbrauch E_3 von 0,87 kWh als Referenz verwendet, da sie in ihrer Chargengröße von 600 g und Frittierzeit von etwas länger als 06:00 min mit den für die Ersatzstoffe geplanten Chargengröße von 600 g mit einer Frittierzeit von 06:00 min übereinstimmen.

5.5 Versuchsergebnisse beim Ersetzen der Pommes frites durch mögliche Ersatzstoffe im Frittierzyklus nach DIN 18873-3

Als mögliche Ersatzstoffe werden für den Frittierzyklus der DIN 18873-3 die Rezepturen 30 % Stärke und 70 % Wasser (SW), Stärke-Wasser-Protein-Fett (SWPF) im Verhältnis 23:70:3:4 und Kartoffelflocken-Stärke-Wasser (KfSW) mit 70 % Wasseranteil mit 30 % Trockenmasse aus gleichen Teilen Stärke und Flocken, eingesetzt (Zur besseren Übersicht in Tab. 18 in Kap. 5.2 dargestellt). Je Ersatzstoff wird ein Frittierzyklus durchgeführt.

Angaben nach DIN 18873-3	Pommes frites		Ersatzstoffe in Stäbchenform		
	Base Culinar, Frau König	McCain	SW	SWPF	KfSW
Frittierzeit t_{charge} in min	04:30	06:20	06:00	06:00	06:00
t_4 in h (gesamter Zyklus)	0,657 ± 0,026	0,38	0,39	0,54	0,48
Chargengröße in g	800	600	600	600	600
Δm in %	34,0	32,0	15,7	26,2	28,1
SD bei Δm in %	1,63	0,13	1,51	0,34	1,36
E_3 in kWh	1,276	0,87	0,78	1,08	0,98
$T_{min(2)}$ in °C	ca. 145	147,9	149,6	150,5	151,0
$T_{max(2)}$ in °C	-	174,9	179,2	179,9	181,4
Produktionsmenge je Stunde in kg/h	3,662	4,8	4,6	3,4	3,8
Energieverbrauch je kg Frittiergut in kWh/kg	0,839	0,48	0,43	0,60	0,54

Tabelle 23: Vergleich der Ergebnisse des Frittierzyklus mit Base Culinar (König, 2015, S. 56, 87) / McCain Pommes frites und möglicher Ersatzstoffe / Δm Gewichtsverlust, SD Standardabweichung, $T_{min(2)}$ Minimale Öltemperatur, $T_{max(2)}$ maximale Öltemperatur

Die SW-Stäbchen erreichen als 600 g Chargen bei einer jeweiligen Frittierzeit von 06:00 min 15,7 ± 1,51 % Gewichtsverlust und weisen im Vergleich zu den Pommes frites und anderen Ersatzstoffen den geringsten Energieverbrauch E_3 von 0,78 kWh auf, gemessen über den gesamten Frittierzyklus, was etwa 0,5 kWh unter dem von Frau König gemessenen Energieverbrauch von 1,276 kWh der 800 g Chargen Base Culinar Pommes mit einer jeweiligen Frittierzeit von 04:30 min liegt (s. Tab. 23).

Die SWPF-Stäbchen gelangen als 600 g Chargen bei einer jeweiligen Frittierzeit von 06:00 min zu einem Gewichtsverlust Δm von 26,2 ± 0,34 %, welcher 6 % weniger beträgt als der Gewichtsverlust der McCain Pommes frites von 32,0 % bei 600 g Chargen für je 06:20 min

frittiert. Allerdings tritt beim Frittierzyklus der SWPF-Stäbchen ein Energieverbrauch von 1,08 kWh auf, was etwa 0,2 kWh mehr Energieverbrauch im Gegensatz zu den McCain Pommes frites ist, welche 0,87 kWh Energieverbrauch aufweisen (Frittierzeit 06:20 min in 600 g Chargen).

Bei den KfSW-Stäbchen ebenfalls als 600 g Chargen und einer jeweiligen Frittierzeit von 06:00 min frittiert, wurde ein Gewichtsverlust von mind. 34 % erwartet, da sie in den Vorversuchen bei 06:30 min ca. 36 % erreichten (s. Tab / Kap.). Sie erreichen im Frittierzyklus allerdings nur $28,1 \pm 1,36$ % Gewichtsverlust und liegen somit etwa 6 % unterhalb der minimalen Grenze von 34 % des in der Norm geforderten Gewichtsverlusts. Der gesamte Energieverbrauch während des Frittierzyklus liegt mit 0,98 kWh in der Mitte zwischen den gemessenen Werten der SW-Stäbchen von 0,78 kWh und der SWPF-Stäbchen mit einem Energieverbrauch von 1,08 kWh beim Frittieren von 600 g Chargen mit Frittierzeiten von 06:00 min.

Die in der Norm vorgegebene minimale Frittieröltemperatur $T_{min(2)}$ von 145 °C wird in keinem Frittierzyklus mit 600 g Chargen bei je 06:00 min Frittierzeit der Ersatzstoffe SW, SWPF oder KfSW unterschritten, die minimalen Frittieröltemperaturen betragen in etwa 150 °C (s. Tab. 23).

Keiner der möglichen Ersatzstoffe erreicht das Ziel der Norm von 36 ± 2 % Gewichtsverlust, daher wird die Zusammensetzung des Gewichtsverlusts detailliert in Bezug auf tatsächliche Wasserabgabe und Ölabsorption betrachtet. Für die Höhe des Energieverbrauchs ist vor allem die Menge der Wasserverdampfung von entscheidender Bedeutung, die Erwärmung der Trockenmasse macht nur einen geringen Teil des Energieverbrauchs aus (König, 2015, S. 89-90).

Obwohl sich der Gewichtsverlust Δm der McCain Pommes frites (31,6 %) und KfSW-Stäbchen (28,1 %) um ca 6% unterscheidet, stimmt die Wasserverdampfung (McCain 33,5 % und KfSW 33,2 % Wasserabgabe) mit etwa 33 % überein. Die Differenz des Gewichtsverlusts um 6 % liegt daran, dass die KfSW-Stäbchen mit 5,1 % Fettaufnahme mehr als doppelt so viel Öl absorbieren wie die McCain Pommes frites, die beim Frittieren nur 1,9 % Fett aufnehmen (s. Abb. 28). Betrachtet man den Energieverbrauch von 0,98 kWh der

KfSW-Stäbchen nach dem Frittierzyklus mit 600 g Chargen mit jeweiligen Frittierzeiten von 06:00 min, fällt auf, dass sie einen ca. 11 % höheren Energieverbrauch bei gleicher Wasserverdampfung von etwa 33 % wie die McCain Pommes frites, die in 600 g Chargen für je 06:20 min frittiert werden und einen Energieverbrauch von 0,87 kWh haben.

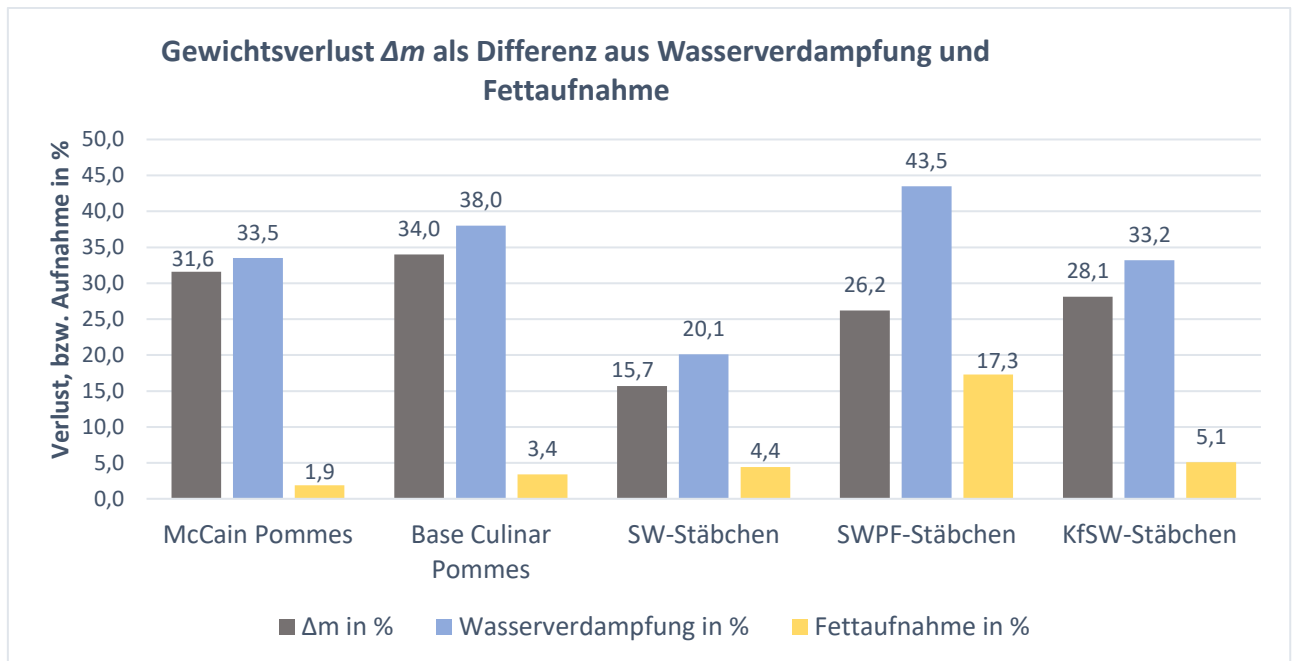


Abbildung 28: Diagramm zur Zusammensetzung des Gewichtsverlusts von McCain Pommes frites (600 g Chargen mit jeweiliger Frittierzeit von 06:20 min) und Base Culinar (König, 2015, S. 73) (800 g Chargen mit jeweiliger Frittierzeit von 04:30 min) und möglichen Ersatzstoffen (600 g Chargen mit jeweiliger Frittierzeit von 06:00 min)

Eine auffällig hohe Fettaufnahme von 17,3 % weisen die SWPF-Stäbchen auf, die somit etwa fünfmal so viel Fett aufnehmen wie die Base Culinar Pommes frites, die auf 3,4 % Fettaufnahme durch den Frittierprozess kommen. Die SWPF-Stäbchen zeigen zudem auch eine hohe Wasserabgabe, die mit 43,5 % verdampften Wasser 5,5 % über der Wasserverdampfung von 38,0 % der Base Culinar Pommes frites liegt. Der Energieverbrauch der Base Culinar Pommes frites beträgt ca. 1,28 kWh, was allerdings auch bei einer 25 % größeren Chargengröße von 800 g gemessen wurde, während die in 600 g Chargen frittierten SWPF-Stäbchen einen Energieverbrauch von 1,08 kWh benötigen. Bei einer 800 g Charge der Base Culinar Pommes frites werden aufgrund der Wasserabgabe von 38,0 % in 04:30 min 304 g Wasser verdampft. Bei den SWPF-Stäbchen werden in einer 600 g Charge durch die Wasserabgabe von 43,5 % in einer Frittierzeit von 06:00 min rund 261 g Wasser verdampft. Wenn die verdampfte Wassermenge von den Base Culinar Pommes frites und der SWPF-Stäbchen prozentual in Beziehung zueinander gesetzt wird, verdampfen bei der

600 g Charge der SWPF-Stäbchen mit 261 g Wasser etwa 14 % weniger Wasser als bei der 800 g Charge der Base Culinar Pommes frites (304 g). Eine annähernde Relation zeigt sich ebenso beim Energieverbrauch, der bei den SWPF-Stäbchen bei einer Frittierzeit von 06:00 min je 600 g Charge bei 1,08 kWh liegt und somit ca. 16 % weniger beträgt als der Energieverbrauch der Base Culinar Pommes frites, die in 800 g Chargen für 04:30 min frittiert auf ca. 1,28 kWh Energieverbrauch kommen (s. Tab. 23).

Die SW-Stäbchen weisen mit 0,78 kWh den geringsten Energieverbrauch der frittierten Pommes frites und Ersatzstoffe auf und verdampfen mit 20,1 % auch die geringste Menge an Wasser, sie liegen etwa 13 % unter der Wasserverdampfung der McCain Pommes frites, die 33,5 % Wasser verdampfen.

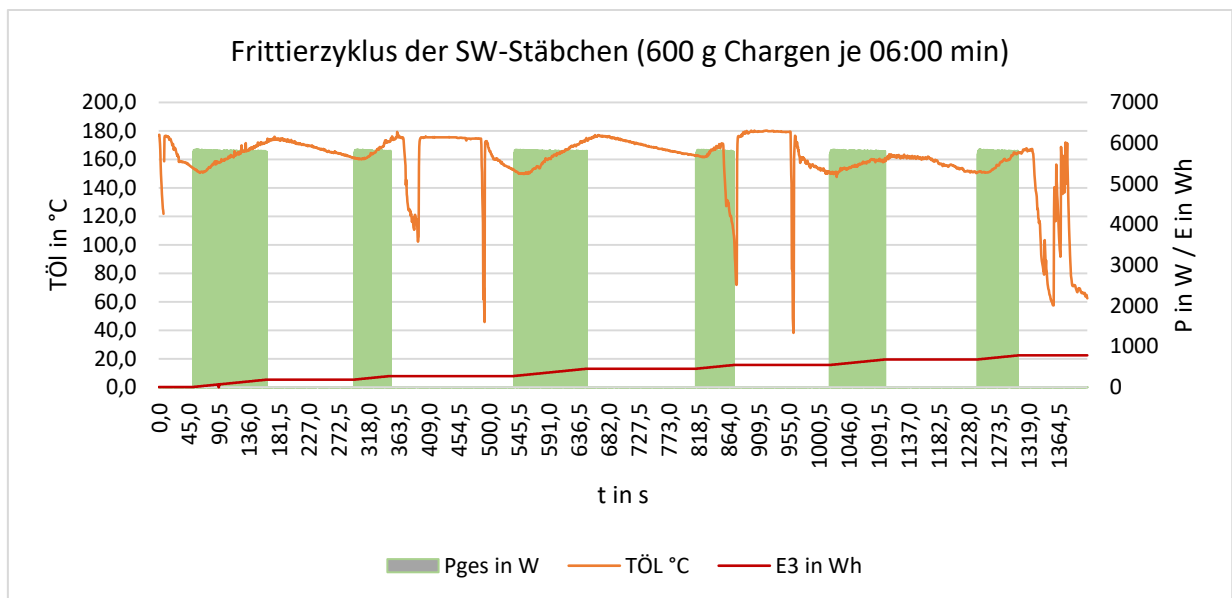


Abbildung 29: Diagramm zum Frittierzyklus der SW-Stäbchen nach DIN 18873-3

Im Diagramm der Abb. 29 ist das Frittieren der ersten 600 g Charge durch das Absinken der Temperatur, die am Frittierkorb gemessen wird, auf etwa 120 °C als Herausnehmen des Frittierkorbs und Befüllen mit der ersten Charge bis zum zweiten Absinken der Temperatur am Frittierkorb auf etwa 100 °C als Entnahme der Charge markiert. Während des Frittierens der 600 g Charge für 06:00 min werden zwei Heizphasen beobachtet, die erste Heizphase beginnt 44 s nach Hineingeben der ersten Charge, zu diesem Zeitpunkt ist die Frittieröltemperatur auf ca. 154 °C abgesunken. Sie dauert 110 s an. Nach einer 134 s langen Ruhephase schließt sich eine zweite Heizphase an, die 55 s andauert und somit die Hälfte der Dauer der ersten Heizphase von 110 s aufweist. Ca. 20 s nach Ende der zweiten

Heizphase ist die Frittierzeit der ersten Charge von 06:00 min erreicht. Nach Herausnehmen der ersten Charge liegt die Frittieröltemperatur bei der in der Norm vorgegebene Betriebstemperatur von $175 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, sodass 100 s später das Hineingeben der zweiten Charge erfolgen kann. (Die 100 s umfassen die Entnahme der ersten Charge, das Umfüllen in das gelochte GN, das Holen der zweiten Charge aus dem Tiefkühler und Befüllen des Korbs mit der zweiten Charge). Die Heizphasen während des Frittierens der zweiten und dritten Charge stimmen mit denen der ersten Charge überein.

Der unregelmäßige Temperaturverlauf gegen Ende des Frittierzyklus ist darauf zurückzuführen, dass der Temperaturfühler, der am Drahtgeflechrohr im Frittierkorb befestigt ist, verrutscht ist und daher die Frittieröltemperatur verfälscht aufgezeichnet wird. Die Öltemperatur wird aber mit dem Tatstotherm MP2000 manuell überprüft, um das Ende des Frittierzyklus bei Erreichen der Betriebstemperatur von $175 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ nach Hineingabe des leeren Frittierkorbs genau bestimmen zu können. Insgesamt beträgt die Dauer des Frittierzyklus t_4 der SW-Stäbchen 0,39 h (s Tab. 23).



Abbildung 30: Frittieren einer 600 g Charge SW-Stäbchen 04:40 min nach Frittierbeginn



Abbildung 31: 600 g Charge SW-Stäbchen nach einer Frittierzeit von 06:00 min

Die SW-Stäbchen weisen wie in den Vorversuchen (Kap. 4.3) nur eine partielle sehr dünne Krustenbildung auf und werden nicht gebräunt. Sie sind an der Oberfläche fetthaltig. Es tritt eine Volumenvergrößerung von etwa ein Drittel auf.

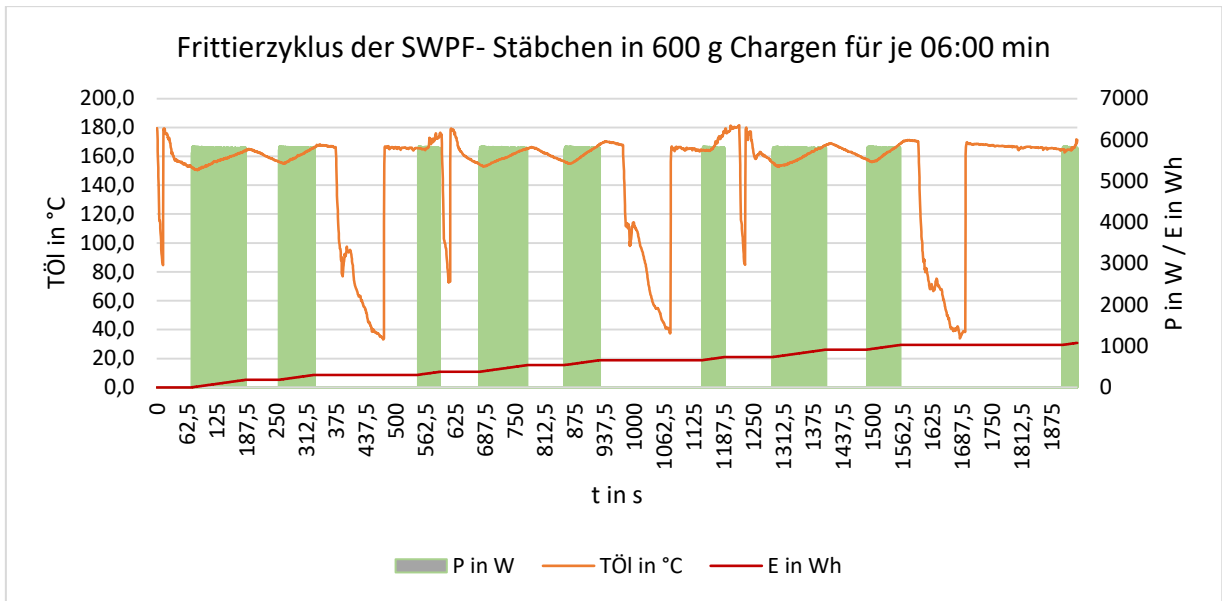


Abbildung 32: Frittierzyklus der SWPF-Stäbchen nach DIN 18873-3

Wie beim Frittierzyklus der SW-Stäbchen, ist in Abb. 32 zu sehen, dass während des Frittierens der Chargen ebenso zwei Heizphasen auftreten. Die erste beginnt 59 s nach Hineingeben der ersten Charge bei einer Öltemperatur von etwa 152 °C und dauert 112 s an und die zweite Heizphase beginnt nach einer Ruhephase von 70 s und dauert 75 s an. Im Gegensatz zum Frittierzyklus der SW-Stäbchen ist nach Herausnehmen der Chargen die Betriebstemperatur unter die Grenze der minimalen Vorgaben von 170 °C gesunken, sodass, bevor die nächste Charge hineingeben werden kann, auf eine Heizphase gewartet werden muss, die das Frittieröl wieder auf die vorgegebene Betriebstemperatur von 175 ± 5 °C aufheizt. Auch das Beenden des Frittierzyklus der SWPF-Stäbchen kann nicht nach Hineingeben des Frittierkorbs nach Entnahme der dritten Charge erfolgen, sondern es muss eine Heizphase stattfinden, um die Öltemperatur auf 175 ± 5 °C zu erhitzen, was das Ende des Frittierzyklus darstellt.

Ein weiterer Unterschied im Diagramm der Abb. 32 ist die lange Dauer der Entnahme der Chargen von etwa 100 s (im Vergleich dazu dauert die Entnahme der SW-Stäbchen etwa 20 s), erkennbar durch das Absinken der Temperatur gemessen am Frittierkorb auf etwa 40 °C. Die lange Dauer ist damit zu erklären, dass die SWPF-Stäbchen am Frittierkorb festkleben und um eine genaue Bestimmung des Gewichts m_3 nach dem Frittieren zu gewährleisten, werden die anhaftenden Reste vom Frittierkorb entfernt (s. Abb. 33). Einerseits entspricht das nicht der Vorgabe der Norm, die Entnahme der Chargen möglichst schnell

durchzuführen, andererseits hat es einen sehr positiven Nebeneffekt, da so das Problem des Aufschwimmens an die Oberfläche des Ölbad gelöst ist. Das Anhaften der SWPF-Stäbchen am Frittierkorb verhindert, dass ein Teil der Stäbchen an die Oberfläche des Ölbad schwimmt. Die Zeit, die für das Entfernen der anhaftenden Reste aufgewendet wird, spiegelt sich in der Gesamtzeit t_4 des Frittierzyklus wider, da die SWPF-Stäbchen insgesamt 0,54 h benötigen, während der Frittierzyklus der SW-Stäbchen bei gleicher Frittierzeit je Charge von 06:00 min nur 0,39 h dauert. Ein weiterer Faktor für die längere Dauer des Frittierzyklus der SWPF-Stäbchen ist das Warten auf die Heizphasen, die die Frittieröltemperatur auf die in der Norm geforderten $175 \pm 5 \text{ °C}$ erhitzen, bevor die nächste Charge hineingegeben werden kann.



Abbildung 33: Anhaftende Reste (vor Entfernung) der 600 g Charge SWPF-Stäbchen nach 06:00 min Frittierzeit,



Abbildung 34: Frittieren einer 600 g SWPF-Charge 05:00 min nach Beginn



Abbildung 35: Frittierte 600 g SWPF-Charge nach einer Frittierzeit von 06:00 min

Die SWPF-Stäbchen werden leicht gebräunt und weisen eine leichte Krustenbildung auf. Das Volumen der SWPF-Stäbchen erhöht sich durch den Frittierprozess um etwa ein Drittel, ebenso wie die SW-Stäbchen (s. Abb. 41).

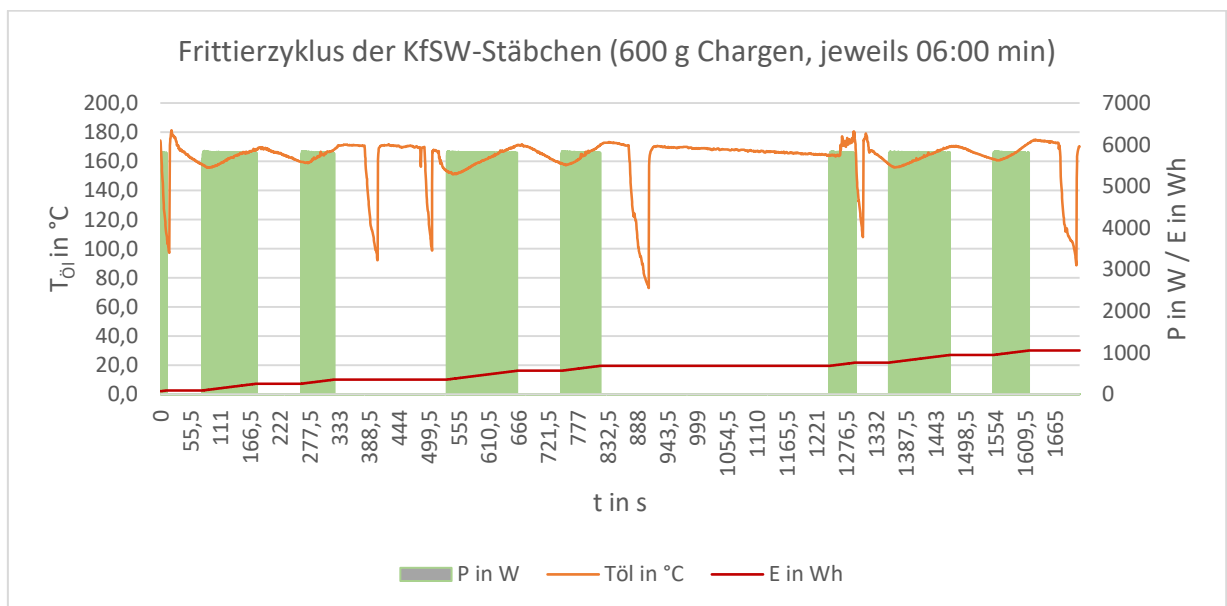


Abbildung 36: Diagramm zum Frittierzyklus der KfSW-Stäbchen nach DIN 18873-3

Während des Frittierens der 600 g Chargen mit jeweiligen Frittierzeiten von 06:00 min treten je Charge wieder zwei Heizphasen auf. Die erste beginnt 55 s nach Hinzugabe der ersten Charge bei einer Öltemperatur von ca. 158 °C und dauert 100 s an. Nach einer Ruhephase von 84 s schließt sich die zweite Heizphase nach einem Absinken der Öltemperatur auf etwa 160 °C mit einer Dauer von 61 s an. 56 s später wird die Frittierzeit von 06:00 min erreicht und die Entnahme der ersten Charge erfolgt. Die Heizphasen während des

Frittierens der zweiten und dritten Charge stimmt in etwa überein, allerdings muss vor Hinzugabe der dritten Charge ein Heizphase abgewartet werden, da die Öltemperatur die untere Grenze von 170 °C nicht erreicht.



Abbildung 37: Frittierte 600 g KfSW-Stäbchen nach 06:00 min Frittierzeit



Abbildung 38: Aufgebrochenes KfSW-Stäbchen

Das Frittierverhalten der KfSW-Stäbchen zeigt im Gegensatz zu den Vorversuchen (Kap. 4.3) während der ersten Charge eine Explosion, bei der das Frittieröl etwa 2 m über den Rand der Fritteuse hinaus spritzt. Bei der zweiten und dritten Charge treten keine Explosionen auf. Die KfSW-Stäbchen werden normal gebräunt und bilden eine Kruste aus. Das Innere weist eine Konsistenz ähnlich der von Pommes frites auf, es ist vollständig gegart (s. Abb. 38).

6 Ergebnisdiskussion der untersuchten Ersatzstoffe im Hinblick auf die Eignung zum Ersetzen der Pommes frites in der DIN 18873-3

Bei den Messungen der Pommes frites von verschiedenen Herstellern der Marke McCain und Base Culinar treten beim Frittieren von 800 g Chargen mit einer jeweiligen Frittierzeit von 04:30 min erhebliche Schwankungen im Gewichtsverlust auf, Grund hierfür können natürliche Schwankungen des Wassergehalts sein oder auch die unterschiedliche Vorbehandlung, da die Base Culinar Pommes frites blanchiert werden während die McCain Pommes frites neben dem Blanchieren zusätzlich in Sonnenblumenöl vorgebacken werden. Die Base Culinar Pommes frites erreichten bei Frau Königs Messungen einen Gewichtsverlust von 34,0 %, während die McCain Pommes frites mit 23,0 % auf einen 11 % geringeren Gewichtsverlust als Base Culinar kommen. Auch der Energieverbrauch ist bei den Base Culinar Pommes frites mit 1,276 kWh über den gesamten Frittierzyklus etwa 0,4 kWh höher als der bei den McCain Pommes frites gemessene Energieverbrauch von 0,87 kWh (s. Tab. 22, Kap. 5.4).

Die schwankenden Werte zeigen die Dringlichkeit, einen standardisierten Ersatzstoff für die Energieverbrauchsmessung des Frittierzyklus der DIN 18873-3 einzusetzen, um eine höhere Reproduzierbarkeit und somit eine bessere Vergleichbarkeit der Messwerte verschiedener Fritteusen in der HKI CERT-Datenbank zu erreichen.

Allgemein lässt sich zu den Silikonformen sagen, dass die Stäbchenform, in der die Ersatzstoffe hergestellt werden, ein gutes Frittierverhalten zeigen und während des Frittierzyklus nicht zerbrechen. Es wäre vorstellbar, die Abmessungen der Form an die Maße der McCain Pommes frites mit einer durchschnittlichen Länge von etwa 62 mm und einer Schnittfläche von 9 x9 mm anzupassen. Somit würden Volumen und Oberfläche von Pommes frites und Ersatzstoff übereinstimmen. Derzeit weicht die Stäbchenform mit einer etwa doppelten Oberfläche und einem ca. vierfach höheren Volumen deutlich von den McCain Pommes frites ab (s. Tab. 20 in Kap. 5.3).

Die Stäbchen sind so stabil, dass sie auch in der dünneren Variante den Frittierprozess unbeschadet überstehen würden. Die Verwendung von Silikon erweist als optimal, da sie eine feste Form zum Abfüllen der Rezepturen bieten, aber gleichzeitig auch eine

Flexibilität beim Herausnehmen der tiefgefrorenen Stäbchen, die durch Biegen der Silikonform einfach und schnell entnommen werden können.

Scheinbar gibt es eine ungefähre Relation zwischen der verdampften Wassermenge und Höhe des Energieverbrauchs. Die SW-Stäbchen weisen mit der geringsten Menge von 121 g verdampften Wasser pro 600 g Charge den geringsten Energieverbrauch von 0,78 kWh auf, während die Base Culinar Pommes frites je 800 g Charge mit 304 g die größte Menge an Wasser verdampfen und auch den höchsten Energieverbrauch von ca. 1,28 kWh aufweisen.

Der Herstellungsprozess aller Ersatzstoffe ist zeitaufwendig, dadurch dass jedes Stäbchen separat in die Silikonform abgefüllt werden muss, die Beschaffung der Zutaten stellt aber einen geringen Aufwand dar.

Die SW Rezeptur aus 30 % reiner Kartoffelstärke und 70 % Wasser hat ein hohes Maß an Standardisierung, da der Wassergehalt genau definiert ist und auch die Trockenmasse durch Verwendung der industriell extrahierten Kartoffelstärke nur eine Zutat beinhaltet. Der Gewichtsverlust von 15,7 %, der sich aus einer Wasserverdampfung von 20,1 % und einer Ölabsorption von 4,4 % zusammensetzt, in 600 g Chargen nach 06:00 min Frittierzeit bei einem Energieverbrauch von 0,78 kWh, stimmt weder mit den Referenzwerten der Base Culinar und McCain Pommes frites überein, noch erreichen die SW-Stäbchen den in der Norm geforderten Gewichtsverlust von 36 ± 2 % (s. Tab. 23 und Abb. 28 in Kap. 5.5).

Die SWPF-Stäbchen, deren Rezeptur aus 23 % Stärke, 70 % Wasser, 3 % Protein und 4 % Fett (20% reines Rapsöl und 80 % Sonnenblumenöl) besteht, weisen ebenso wie die SW-Stäbchen ein hohes Maß an Standardisierung auf. Die Trockenmasse besteht aus der reinen industriell extrahierten Kartoffelstärke und dem extrahierten Kartoffelprotein, sowie der Ölmischung, somit sind die Bestandteile der Trockenmasse genau zu benennen, der Wassergehalt ist mit 70 % ebenso definiert. Der Gewichtsverlust von 26,2 %, der durch die hohe Fettaufnahme von durchschnittlich 17,3 % stark reduziert wird, erreicht zwar nicht das Ziel der DIN 18873-3 von 36 ± 2 %, die tatsächliche Wasserverdampfung liegt aber bei 43,5 %. Würden die SWPF-Stäbchen als Ersatz für die Pommes frites eingesetzt, müsste die Norm entsprechend angepasst werden. Ein Vorschlag wäre das Ersetzen der Vorgabe von 36 ± 2 % Gewichtsverlust durch eine Frittierzeit der SWPF-Stäbchen als neue

Vorgabe der Norm, in denen eine reine Wasserverdampfung von 36 % erreicht wird. Dies gilt es durch weitere Untersuchungen, die auch validiert werden müssten, zu untersuchen. Um die Vorversuche der Beschickungsmenge wegfällen lassen zu können, wäre es auch denkbar eine Chargenmenge an SWPF-Stäbchen zu definieren, die z.B. als Menge pro Kilogramm Ölmischung, die als Mindestfüllmenge in die jeweilige Fritteuse gefüllt wird, definiert wird. Wenn man das von der Deutschen Gesellschaft für Fettwissenschaften maximale Verhältnis von Frittiergut zu Frittiermedium von 1:10 beachtet (Gertz & Matthäus, 2012, S. 11), könnte eine Menge von etwa 90 g SWPF-Stäbchen pro kg Frittieröl vorgegeben werden.

Nachteile der Verwendung von SWPF-Stäbchen wären eine längere Vorbereitungszeit gegenüber der praktikablen Verwendung von tiefgekühlten Pommes frites, die nur beschafft werden müssen, da die Rezeptur vermengt, auf 58 °C erhitzt und anschließend in Silikonformen abgefüllt werden müsste. Die Herstellung der Silikonformen würden einen einmaligen Aufwand darstellen, da sie wiederverwendbar sind. Da je nach Größe der Fritteuse hohe Mengen an SWPF-Stäbchen hergestellt werden müsste, steckt auch ein hoher Zeitaufwand dahinter. Die SWPF-Stäbchen sind nach dem Frittieren nicht wiederverwendbar.

Die Verwendung der KfSW-Stäbchen aus 15 % Kartoffelflocken, 15 % Stärke und 70 % Wasser führt nach einer Frittierzeit von 06:00 min mit 600 g Chargen zu einem Gewichtsverlust von 28,1 %, der aus einer Wasserverdampfung von 33,5 % und einer Fettaufnahme von 5,1 % resultiert. Die Wasserverdampfung stimmt mit den 33,5 % verdampften Wasser der 600 g McCain Pommes frites bei einer Frittierzeit von 06:20 min überein, sowie eine Übereinstimmung mit den 800 g Chargen Base Culinar Pommes frites, die nach 04:30 min 34,0 % Wasser verdampften. Der Energieverbrauch von 0,98 kWh während des Frittierzyklus liegt in der Mitte des Energieverbrauchs der beiden Pommes frites Sorten, der bei Base Culinar gemessene Energieverbrauch liegt bei ca. 1,28 kWh liegt und bei den McCain Pommes frites bei 0,87 kWh.

Die KfSW-Stäbchen zeigen von den verwendeten Ersatzstoffen die größte Übereinstimmung mit den McCain und Base Culinar Pommes frites, allerdings ist das Frittieren der KfSW-Stäbchen aufgrund der aufgetretenen Explosion mit einer unmittelbaren Gefährdung des Prüfers verbunden, wodurch die KfSW-Stäbchen nicht als Ersatzstoff einsetzbar sind. Zudem weisen sie ein geringeres Maß an Standardisierung gegenüber der SW und

SWPF Rezeptur auf, da die Trockenmasse zu 15 % aus Kartoffelflocken besteht, welche ein natürliches Lebensmittel ist, dem der Wassergehalt durch Trocknung entzogen wurde. Die KfSW-Stäbchen weisen also natürliche Schwankungen in der Hälfte der Trockenmasse auf.

Die Rezeptur SWPF ist geeigneter als die Rezepturen SW und KfW, da hier eine hohe Wasserverdampfung erfolgt, es gilt aber noch weitere Untersuchungen durchzuführen, um die Frittierzeit zu validieren, in der 36 % Wasserverdampfung auftritt.

Zusammenfassung

Die Normenreihe DIN 18873 befasst sich mit der Energieverbrauchsmessung bei Großküchengeräten, der dritte Teil dieser Normenreihe beschäftigt sich mit gewerblichen Fritteusen. Neben Vorheizzyklus und Warmhaltezyklus wird auch der Energieverbrauch des Frittierzyklus wird derzeit mit tiefgefrorenen vorfrittierten Pommes frites gemessen, was allerdings durch das Verwenden des Veredelungsprodukt Pommes frites eines natürlichen Lebensmittels keine reproduzierbaren Messergebnisse liefert. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, einen geeigneten Ersatzstoff für die Pommes frites zu finden.

Es werden verschiedene Rezepturen aus den Zutaten Kartoffelstärke, Kartoffelflocken und Kartoffelproteinpulver, Öl und Wasser ausprobiert. Der Wassergehalt dieser Rezepturen beträgt 70 %, was sich am Wassergehalt tiefgefrorener Pommes frites orientiert. In Vorversuchen werden als mögliche Ersatzstoffe eine Rezeptur aus 30 % Stärke und 70 % Wasser, genannt SW, herausgefiltert. Eine weitere Rezeptur besteht aus 23 % Stärke, 70 % Wasser, 3 % Kartoffelprotein und 4 % Ölmischung (Rapsöl zu Sonnenblumenöl 20:80), welche als SWPF benannt ist. SW und SWPF haben den gleichen Herstellungsprozess, die Zutaten werden bei Raumtemperatur vermengt, auf 58 °C erhitzt, wobei die Stärke eine beginnende Verkleisterung ausbildet, und danach in Silikonformen abgefüllt. Die Silikonformen formen Stäbchen mit einer Länge von 50 mm und einer Schnittfläche von 15 x 15 mm. Danach erfolgt das Einfrieren bei – 18 °C. Eine dritte mögliche Rezeptur KfSW ist aus 15 % Stärke, 15 % Kartoffelflocken und 70 % zusammengesetzt und wird vermengt, in Formen abgefüllt und bei -18°C eingefroren.

Der Frittierzyklus besteht aus drei Chargen mit gleicher Menge und gleicher Frittierzeit, das Frittieröl soll eine Betriebstemperatur von $175 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ aufweisen. Als Referenzwerte dienen Base Culinar Pommes frites, die in 800 g Chargen mit einer Frittierzeit von 04:30 min von Frau König 2015 frittiert wurden und aktuelle Messwerte zu McCain Pommes frites, die in 600 g Chargen mit einer jeweiligen Frittierzeit von 06:20 min frittiert werden. Dabei ergibt sich bei Base Culinar Pommes frites eine durchschnittliche Wasserverdampfung von 38 %, die McCain Pommes verdampfen etwa 33,5 % Wasser, die Gewichtsverluste (das Endgewicht nach dem Frittieren wird prozentual auf das Anfangsgewicht des tiefgekühlten Frittierguts bezogen) liegen bei den Base Culinar Pommes frites bei 34,0 % durch eine Fettaufnahme von 3,4 %. Die McCain Pommes frites nehmen 1,9 % Fett auf und weisen so einen Gewichtsverlust (der sich aus Wasserverdampfung und Ölabsorption zusammensetzt) von etwa 32 % auf.

Die Ersatzstoffe werden in 600 g Chargen für je 06:00 min frittiert. Mit den Pommes frites übereinstimmend zeigt sich die Rezeptur KfSW mit einer Wasserverdampfung von 33,2 % und einer Ölabsorption von 5,1 %, was zu einem Gewichtsverlust von 28,1 % führt. Auch der Energieverbrauch von 0,98 kWh über den gesamten Frittierzyklus ist in etwa gleich der Pommes frites KfSW Stäbchen bilden eine Kruste auf und werden gebräunt. Nachteil dieser Rezeptur ist die Gefahr von Explosionen, sowie ein geringeres Maß an Standardisierung dadurch, dass ein Teil der Trockenmasse nicht genau definierbar ist, weil die Kartoffelflocken aus einem natürlichen Lebensmittel hergestellt sind.

Die Rezeptur SW weist eine hohe Abweichung von Pommes frites auf, sie verdampfen lediglich 20 % Wasser und nehmen 4,4 % Fett auf, sodass ein Gewichtsverlust von etwa 16 % auftritt. Der Energieverbrauch von 0,78 kWh ist geringer als der von Pommes frites (Base Culinar 1,28 kWh und McCain 0,87 kWh) und die SW Stäbchen werden nicht gebräunt und geringe Krustenausbildung findet nur partiell statt.

Mehr Potenzial wird in der Rezeptur SWPF gesehen, die zwar mit rund 17 % eine hohe Fettaufnahme aufweist, aber eine gute Wasserverdampfung von ca. 43 %. Gewichtsverlust beträgt bei SWPF 26 % mit einem Energieverbrauch von 1,08 kWh, was vergleichbar mit dem Energieverbrauch von Pommes frites ist. Eine leichte Bräunung und leichte Krustenausbildung ist vorhanden.

Die Herstellung ist zeitaufwendig und die Ersatzstoffe können nicht wiederverwendet werden. Das Herstellen der Silikonformen stellt einen einmaligen Aufwand dar.

Abstract

The series of standards of DIN 18873 refers to measurement of energy consumption of commercial kitchen ware, the third part of DIN 18873 involves commercial fryers. Besides preheat and keep warm cycle the energy consumption of frying cycle is currently measured with deep frozen and pre-fried French fries which is not reproducible because of usage of French fries as a processed product based on a naturally food and therefore are fluctuations in measurement. Aim of this final paper is to find a suitable substitute for French fries.

Different recipes consisting of potato starch, potato flakes, potato protein powder, oil (20 % rapeseed oil and 80 % sunflower oil) as well as water are tried. The water content has an amount of 70 % which is in orientation to water content of deep frozen French fries.

In pilot tests three thinkable substitutes were found. First recipe is made of 30 % potato starch and 70 % water called SW. A further recipe consists of 23 % starch, 70 % water, 3 % protein powder and 4 % oil, which is called SWPF. First step of production process of these both recipes is to blend all ingredients at room temperature and in the next step to heat it up to 58 °C. At this point the starch begins to gelatinize. Next step after gelatinisation is the filling in shapes which are made of silicone. Substitutions are frozen at -18 °C.

Third recipe is KfSW, which consists of 15 % starch, 15 % potato flakes and 70 % water. Production process is easier because it is just a mixing at room temperature, filling in silicone shapes and freezing at -18 °C.

The frying cycle is three loads of French fries with defined frying time and defined mass of each load. The oil must be at a temperature of 175 ± 5 °C.

Reference values are measured with French fries. Firstly with Base Culinar French fries which were used in master thesis of Miss König in 2015 with a frying time of 04:30 min of each 800 g load. Secondly the current measurements which were done with McCain French fries in 600 g loads and a frying time of 06:20 min are reference values, too.

Base Culinar French fries showed an average water evaporation of 38,0 % whilst a fat absorption of 3,4 % leading to a weight loss of 34,0 % as a result of water evaporation and fat absorption (weight loss is the percentage referring from start weight to end weight after frying process).

The McCain French fries have a weight loss of an average of 32,0 % consisting of 33,5 % water evaporation and 1,9 % fat absorption.

The substitutions are fried in 600 g loads with a frying time 06:00 min each load.

Measurements of KfSw correspond to reference values of French fries with a water evaporation of 33,2 % and an fat absorption of 4,4 % and in total 28,1 % weight loss. Energy consumption correspond as well with 0,98 kWh measured whilst whole frying cycle (in comparison Base Culinar had an energy consumption of 1,28 kWh and McCain 0,87 kWh). KfSW shows a crust formation and were browned. Disadvantage of this recipe are the risk of explosions and a low degree of standardization, because dry mass is partly made of a naturally food and therefore the dry mass is not exactly definable.

The recipe SW has a noticeable divergence to French fries, because water evaporation is low with an average of 20 %, fat absorption is 4,4 % leading to a weight loss of approx. 16 %. Energy consumption of 0,78 kWh is lower than measured energy consumption of French fries (Base Culinar 1,28 kWh and McCain 0,87 kWh). SW does not build a crust, only partly slight crust formation and they are not brown after frying.

More potential is seen in SWPF, which have a high fat absorption of approx. 17 %, but a good water evaporation of 43,5 % is found, weight loss in total is 26,2 % with an energy consumption of 1,08 kWh which is similar with French fries. A slight brown colour is noticed and a slight crust formation, too.

Production of substitutions is time-consuming and they are not reusable. Manufacturing of silicone shapes is a non-recurring-expense.

7 Literaturverzeichnis

- AVEBE. (o.J.). Kartoffelstärke - Universeller Baustein des Lebens. (A. K. GmbH, Hrsg.) Karstädt. Abgerufen am 14. Juli 2018 von <https://www.avebe-kpw.de/produkte-und-qualitaetsstandard/kartoffelstaerke-universeller-baustein-des-lebens/>
- Biesalski, H. K., Grimm, P., & Nowitzki-Grimm, S. (2015). *Taschenatlas Ernährung* (6. überarbeitete Auflage Ausg.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Biesalski, P. D.-K. (April 2005). Die Kartoffel - kalorienarmer Nährstofflieferant mit wertvollen Inhaltsstoffen. (L. I. Süßwarenindustrie, Hrsg.) *LCI Moderne Ernährung heute*(Nr. 1 April 2005), S. 1-6.
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. (2018). Kartoffeln. (B. f. Ernährung, Hrsg.) Bonn. Abgerufen am 13. Juli 2018 von <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaftliche-produkte/wie-werden-unsere-lebensmittel-erzeugt/pflanzliche-produkte/kartoffeln/>
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (o.J.). Aufbau der Deutschen Lebensmittelbuch-Kommission. (R. 2.–L. Lebensmittelkennzeichnung, Hrsg.) Berlin. Abgerufen am 01. Juli 2018 von <https://www.deutsche-lebensmittelbuch-kommission.de/impressum-datenschutz>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (Mai 2017). Energieeffizienz in Zahlen. Berlin. Abgerufen am 27. Juni 2018 von https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen.pdf?__blob=publicationFile&v=22
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (o.J.). Deutschland macht's effizient. Berlin. Abgerufen am 27. Juni 2018 von <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/energieeffizienz.html>
- Clark, D., Moore, R., & Vodopich, D. (1998). Botany Visual Resource Library. (08.02.2014). The McGraw-Hill Company und Biochemistry: A world inside a world. Abgerufen am 29. August 2018 von <https://biochemistryaworldinsideaworld.wordpress.com/2014/02/08/>
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (07. Juli 2010). Die Kartoffel – ein wertvolles Lebensmittel. Bonn. Abgerufen am 13. Juli 2018 von <https://www.dge.de/presse/pm/die-kartoffel-ein-wertvolles-lebensmittel/>
- Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission. (08. Januar 2010). Leitsätze für Kartoffelerzeugnisse. Berlin. Abgerufen am 01. Juli 2018 von <https://www.deutsche-lebensmittelbuch-kommission.de/sites/default/files/downloads/leitsaetzekartoffelerzeugnisse.pdf>
- Deutsches Institut für Normung. (2018). DIN 18873-2:2018-02. *Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten - Teil 3: Fritteusen*.
- DGE e.V. (2018). DGE-Ernährungskreis. Bonn. Abgerufen am 13. Juli 2018 von <https://www.dge.de/ernaehrungspraxis/vollwertige-ernaehrung/ernaehrungskreis/>
- Fachausschuss Haushaltstechnik der DGH. (2005). *Küche und Technik - Handbuch für gewerbliche Küchen*. (E. L. aid infodienst Verbraucherschutz, Hrsg.) Bonn: aid infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V.

- Fuchs, R. (o.J.). Wildfind / Kartoffel. Wängle, Österreich. Abgerufen am 29. August 2018 von <https://www.wildfind.com/pflanzen/kartoffel>
- Gertz, C., & Matthäus, B. (November 2012). Optimal Frittieren. (D. G. Fettwissenschaften, Hrsg.) Frankfurt am Main. Abgerufen am 04. Juli 2018 von http://www.dgfett.de/material/frittierempfehlungen_dgf.pdf
- Glonner, L. (2014). *Untersuchungen zur Ermittlung von Ersatzstoffen zur Substitution von Lebensmitteln bei der Energieverbrauchsmessung gemäß nach DIN 18873-3* (Bachelorarbeit Ausg.). Sigmaringen. Abgerufen am 14. Juli 2018
- Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V. (01. September 2016). Großküchengerätedatenbank zum Nachweis des Energieverbrauchs. Frankfurt am Main. Abgerufen am 27. Juni 2018 von http://www.grosskuechen.cert.hki-online.de/pdf/grundlagen_fuer_die_grosskuechengeraedatenbank_hki_cert_09-2014.pdf
- Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V. (kein Datum). Homepage HKI. Frankfurt am Main. Abgerufen am 27. Juni 2018 von <http://hki-online.de/de>
- König, S. (2015). *Untersuchung des Frittierprozesses bei Pommes frites und Entwicklung eines neutralen Prüfmediums für die Energieverbrauchsmessung nach DIN 18873-3 an Großküchenfritteusen* (Master Thesis Ausg.). Hamburg. Abgerufen am 14. Juli 2018
- Krüger, A. (2017). *Untersuchung der Wasserverdampfung beim Frittierprozess von Pommes frites und Prüfung möglicher Ersatzmedien für die Energieverbrauchsmessungen nach DIN 18873-3 an gewerblichen Fritteusen* (Bachelorarbeit Ausg.). Hamburg. Abgerufen am 14. Juli 2018
- Lutosa SA. (o. J.). Lutosa Werk tiefgekühlte Pommes frites und geschnittene Produkte. (L. SA, Hrsg.) Belgien. Abgerufen am 17. August 2018 von <http://www.lutosa.com/de/verarbeitung/pommes-frites/>, <http://www.lutosa.com/de/unternehmen/organisation-2/>, <http://www.lutosa.com/de/qualitat/>
- McCain GmbH. (o.J.). *Homepage der McCain GmbH*. Abgerufen am 11. August 2018 von <https://www.mccain.de/pommes-frites-vegan/mccain-123-frites-original>, <https://www.mccain.de/ueber-mccain>
- MKN Maschinenfabrik Kurt Neubauer GmbH & Co. KG. (29. März 2012). Bedienungsanleitung. Wolfenbüttel.
- Normenausschuss Heiz-, Koch- und Wärmegeräte. (Dezember 2012). Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten - Teil 1. (D. I. e.V., Hrsg.) Berlin.
- Rösch, R., & Icking, J. (08. April 2016). Kartoffeln: Zubereitung und Lagerung. (B. f. Ernährung, Hrsg.) Bonn. Abgerufen am 14. Juli 2018 von <https://www.bzfe.de/inhalt/kartoffeln-zubereitung-und-lagerung-5903.html>
- Rösch, R., Frühschütz, L., & Icking, J. (2018). Kartoffeln: Gesund essen. (B. f. Ernährung, Hrsg.) Düsseldorf, Seehausen, Bonn. Abgerufen am 01. Juli 2018 von <https://www.bzfe.de/inhalt/kartoffeln-gesund-essen-5901.html>

- Spektrum. (2001). Kartoffelflocken. (S. A. Verlag, Hrsg.) Heidelberg. Abgerufen am 08. Juli 2018 von <https://www.spektrum.de/lexikon/ernaehrung/kartoffelflocken/4694>
- Südstärke GmbH. (2018). Kochstärken. Schrobenhausen. Abgerufen am 14. Juli 2018 von <https://www.suedstaerke.de/index.php?Kochstaerken>
- Ternes, W. (2008). *Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung* (3. überarbeitete Auflage 2008 Ausg.). Hamburg: Behr's Verlag GmbH & Co. KG.
- VDGS e.V. (2018). Kartoffelstärke. (V. d. e.V., Hrsg.) Berlin. Abgerufen am 14. Juli 2018 von <https://www.vdgs.org/sparten/kartoffelstaerke>
- Verbraucherzentrale NRW e.V. (24. April 2018). Lebensmittel: Zwischen Wertschätzung und Verschwendung. (O. Havlat, Hrsg.) Düsseldorf, Deutschland. Abgerufen am 27. Juni 2018 von <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/lebensmittel/auswaehlen-zubereiten-aufbewahren/lebensmittel-zwischen-wertschaetzung-und-verschwendung-6462>
- Wegner, K., Graf, A.-M., Schneider, I., Zern, N., & Ellrott, T. (April 2010). Aktuelle Aspekte der Kartoffelforschung. *Ernährungs Umschau*, S. 184-189.

8 Eidesstaatliche Erklärung

Ich versichere, dass ich vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, den 30.08.2018, Nadine Klysz

9 Anhang

Es wird zusätzlich zum Anhang ein Datenträger in Form einer CD mit abgegeben, auf der die Messwerte der vier Versuchsreihen des Vorheiz- und Warmhaltezyklus gespeichert ist, sowie die Messwerte des Fritierzyklus von Pommes frites und Ersatzstoffen. Die Messreihen sind zu umfangreich, um sie hier darstellen zu können.

Inhaltsverzeichnis des Anhangs:

- | | |
|-----------------------------------|--------|
| 1. Messergebnisse der Vorversuche | S. 104 |
| 2. Feuchtemessungen | S. 107 |
| 3. Mindestfüllmenge und TPM_Wert | S. 108 |

1.) Messergebnisse der Vorversuche (Kap. 4.3)

- SW, KfSW 2 erhitzt und KfSW 1 10.07.2018
- SWP mit 70 % Wasser, 16.07.2018
- Erhöhung der Trockenmasse und Ergänzung von Fett bei der SWP Rezeptur, 17.07.2018
- SWPF-Pyramiden auf Gewichtsverlust nach Zeit, 19. Und 23.07.2018
- McCain Pommes frites in kleinen Chargen zu ca. 100 g, als Überprüfung der Ergebnisse aus Kapitel 5.4, 30.07.2018
- KfW-Pyramiden auf Gewichtsverlust, 02.08.2018
- KfSW 2 vermengt Pyramiden, 02.08.2018

SW, KfSW 2 erhitzt und KfSW 1 10.07.2018

Ersatzstoff	t in min	m ₂ in g	m ₃ in g	Δm in %	Ø P in W	E ₃ in Wh	T _{min(2)} in °C	T _{max(2)} in °C
SW	20:00	63,59	48,91	23,1	460	6	161,1	178,9
KfSW 2	10:00	69,62	42,32	39,2	438	3	160,9	176,5
KfSW 1	06:30	70,27	47,09	33,0	674	3	162,6	178,1

SW	25,00	63,74	46,46	27,1	560	233	161,8	178,0
KfSW 2	09:00	68,68	43,00	37,4	504	3	161,4	178,5
KfSW 2	07:00	74,39	49,80	33,1	670	3	161,2	179,0

SWP mit 70 % Wasser, 16.07.2018

Ersatzstoff	t in min	m ₂ in g	m ₃ in g	Δm in %	E ₃ in Wh	T _{min(2)} in °C	T _{max(21)} in °C
27% Stärke, 3% Protein, 70% Was- ser	6	55,69	37,99	31,8	93,7	156,5	174,6
	7	56,98	43,32	24,0	159,8	159,1	177,2
	7	56,95	41,5	27,1	96,8	169,1	186,0
	7	100,38	72,36	27,9	119,6	163,0	177,2
	9	60,92	44,86	26,4	87,6	161,6	182,3

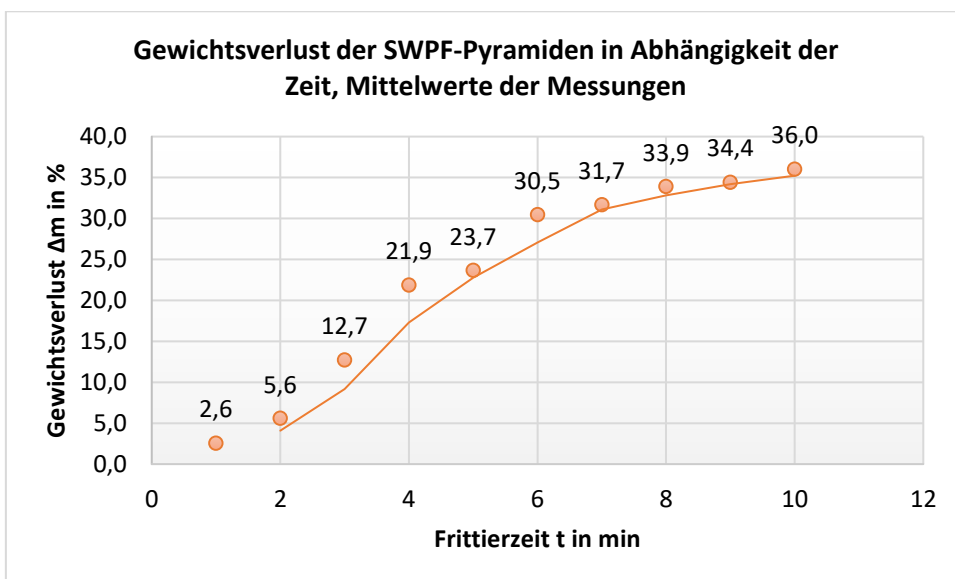
Erhöhung der Trockenmasse und Ergänzung von Fett bei der SWP Rezeptur, 17.07.2018

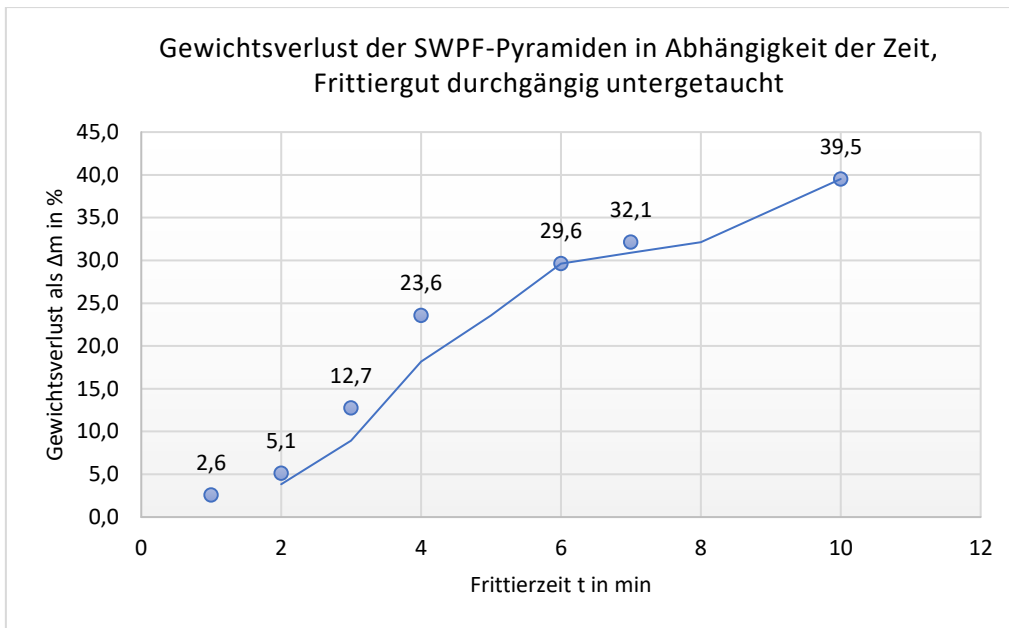
Ersatzstoff	t in min	m ₂ in g	m ₃ in g	Δm in %	E ₃ in Wh	T _{min(2)} in °C	T _{max(2)} in °C
ohne	6	57,27	47,89	16,4	0	168,3	182,4
mit	6	69,81	52,22	25,2	108	164,3	181,4
ohne	6	57,04	48,06	15,7	109	163,6	178,2
mit	8	75,33	53,99	28,3	124	163,4	180,3
ohne	8	53,84	45,22	16,0	83	162,8	180,9
mit	6	64,35	48,07	25,3	83	164,4	180,5

Ohne: 30% Stärke, 4% Protein, 66% Wasser

Mit: 25% Stärke, 4% Fett, 3% Protein, 68% Wasser

SWPF-Pyramiden auf Gewichtsverlust nach Zeit, 19. Und 23.07.2018





McCain Pommes frites in kleinen Chargen zu ca. 100 g, als Überprüfung der Ergebnisse aus Kapitel 5.4, 30.07.2018

m_2 in g	m_2 in kg große Waage	t in min	m_3 in g	m_3 in kg große Waage	Δm in %	große Waage Δm in %	Differenz: kl. und gr. Waage in %
103,8	-	04:00	81,84	-	21,2	-	-
100,32	0,100	04:30	76,8	0,075	23,4	25	1,6
102,72	0,100	05:00	76,37	0,070	25,7	30	4,3
101,57	0,090	05:30	71,53	0,060	29,6	33	3,8
103,98	0,105	06:00	71,46	0,070	31,3	33	2,1
101,53	0,100	06:30	68,2	0,065	32,8	35	2,2
100,28	0,100	07:00	65,67	0,060	34,5	40	5,5
98,61	0,100	07:30	64,93	0,060	34,2	40	5,8

KfW-Pyramiden auf Gewichtverlust, 02.08.2018

lfd Nr.	m_2 in g	t in min	m_3 in g	Δm in %
1	66,37	03:30	53,90	18,8
2	65,14	04:30	51,98	20,2
3	68,07	06:00	54,28	20,3
4	68,8	10:00	48,74	29,2

KfSW 2 vermengt Pyramiden, 02.08.2018

lfd Nr.	m ₂ in g	t in min	m ₃ in g	Δm in %
1	63,95	04:30	46,07	28,0
2	63,26	06:00	41,75	34,0
3	61,49	06:30	38,84	36,8
4	64,05	08:00	39,15	38,9

2.) Feuchtemessungen

Datum	Prüfling	Ein- waage m _{Start} in g	Feuchte in %M	Rückstand- m _{Ende} in g	Atro in %MS	Trocken- masse in %S
17.07.2018	SW - TK	2,025	71,60	0,575	252,17	28,40
17.07.2018	SW - TK	2,071	72,86	0,562	268,51	27,14
25.07.2018	SW - TK	2,188	73,86	0,572	282,52	26,14
25.07.2018	SW - TK	2,090	74,55	0,532	292,86	25,45
19.07.2018	SW - F	2,025	48,17	1,048	92,94	51,83
19.07.2018	SW - F	2,108	48,86	1,078	95,55	51,14
23.07.2018	SW - F	2,040	55,59	0,906	125,17	44,41
23.07.2018	SW - F	2,218	56,94	0,955	132,25	43,06
23.07.2018	SW - F	2,214	53,86	0,991	116,75	46,14
23.07.2018	SW - F	2,077	55,42	0,926	124,30	44,85
23.07.2018	SW - F Kruste	2,009	29,07	1,425	40,98	70,93
23.07.2018	SW - F innen	2,141	66,04	0,727	194,50	33,96
25.07.2018	SWPF - TK	2,08	71,35	0,596	248,99	28,65
25.07.2018	SWPF - TK	2,147	72,71	0,586	266,38	27,29
25.07.2018	SWPF - TK	1,998	74,62	0,507	294,08	25,38
27.07.2018	PF - TK	2,171	73,38	0,578	275,61	26,62
27.07.2018	PF - TK	2,432	44,90	1,34	81,49	55,1
30.07.2018	PF - TK	2,491	66,84	0,826	201,57	33,16
30.07.2018	PF - TK	2,29	73,19	0,614	272,96	26,81
02.08.2018	PF - TK	2,878	70,71	0,843	241,4	29,29
02.08.2018	PF - TK	2,981	67,09	0,981	203,87	32,91
27.07.2018	PF - F 4:30	2,667	49,49	1,347	98,00	50,51
27.07.2018	PF - F 4:30	2,556	48,71	1,311	94,97	51,29
27.07.2018	PF - F 4:30	2,807	55,82	1,240	126,37	44,18
27.07.2018	PF - F 4:30	2,432	44,90	1,34	81,49	55,1
30.07.2018	PF - F 6:15	2,56	44,10	1,430	78,88	55,90

30.07.2018	PF - F 6:15	3,49	41,94	2,027	72,22	58,06
30.07.2018	PF - F 6:15	4,20	42,74	2,405	76,64	57,26
30.07.2018	PF - F 6:20	3,939	41,38	2,309	70,59	58,62
30.07.2018	PF - F 6:20	3,438	36,45	2,185	57,35	63,55
30.07.2018	PF - F 6:20	3,723	48,54	1,916	94,31	51,46
02.08.2018	SWPF - F	5,554	30,59	3,855	44,07	69,41
02.08.2018	SWPF - F	5,961	30,97	4,115	44,86	69,03
02.08.2018	SWPF - F	5,197	26,69	3,81	36,4	73,31

3.) Mindestfüllmenge und TPM-Wert

Mindestfüllmenge		
	Liter gemessen	kg mit Combics 1
09.07.2018	-	7,635
12.07.2018	8,54	7,690
19.07.2018	8,60	7,640
26.07.2018	8,60	7,590
02.08.2018	8,60	7,595

TPM-Wert Total Polar Materials in %				
09.07.2018	4,0	5,0	-	
10.07.2018	6,0	7,0	9,5	
12.07.2018	9,5	9,5	-	
16.07.2018	10,0	10,5	12,0	
17.07.2018	12,5	19,0	-	
19.07.2018	9,0	11,0	-	
23.07.2018	10,5	12,0	-	
25.07.2018	14,0	-	-	
26.07.2018	10,0	-	-	
30.07.2018	12,0	13,0	-	
02.08.2018	13,0	13,5	-	
09.08.2018	10,5	14,5	-	

(farblich markiert in orange stellt einen Frittierölwechsel dar)