



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Lebensmitteltechnologie

WS 2010/2011

Bachelorarbeit

Anwendung der Hochdrucktechnologie zur Herstellung von Himbeer-Grütze mit ganzen Früchten im Vergleich zur thermischen Haltbarmachung.

Verfasser: Alexander Meißner

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis2010-0632-0

Prüfer 1.: Herr Prof. Dr.-Ing. Peter Meurer

Prüfer 2.: Herr Dr.-Ing. Achim Knoch

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei dem Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik e.V. bedanken, für die Möglichkeit und die guten Rahmenbedingungen um meine Bachelorarbeit zu verfassen.

Mein besonderer Dank gilt dem Abteilungsleiter der Produktentwicklung Herrn Dr.-Ing. Achim Knoch und seinen Mitarbeitern vom Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik e.V. für die kompetente Betreuung und Unterstützung während der Durchführung dieser Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei allen Mitarbeitern der Abteilung Struktur und Funktionalität des Deutschen Instituts für Lebensmitteltechnik e.V. bedanken, die mich in Fragen der Analytik fachlich unterstütz haben.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Meurer möchte ich mich für die Betreuung seitens der Hochschule Neubrandenburg während der Bachelorarbeit im Studiengang Lebensmitteltechnologie bedanken.

Abstract

High hydrostatic pressure is an alternative method of preservation to heat treatment. The aim of this bachelor thesis is to produce a high-pressure-treated raspberry jelly with whole fruits. In addition to having the high-pressure technology comparison to commercially available products, a similar durability and least similar sensory properties.

The study examines the effects of high pressure (up to 600 MPa for 5 min) to a specially developed raspberry jelly. The main focus was the preservation of whole raspberry fruit (frozen *Rubus idaeus*) and their modified micro and macro properties as a result of the production process. Two reference methods (conventional thermal procedures and cooking-bag-method) were used to assess the measured results. The fruits of the raspberry jelly appeared more resistant to pressure as a thermally stable. It is argued that high pressure technology allows to produce jellies, which contain whole raspberries with properties similar to thermally prepared raspberry jelly.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	II
Abkürzungsverzeichnis	V
1. Einleitung	1
1.1 Einführung	1
1.2 Problemstellung und Zielsetzung	2
2. Grundlagen	2
2.1 Hydrostatischer Hochdruck	2
2.2 Direkte und indirekte Druckerzeugung	4
2.3 Beschreibung der Himbeere	6
2.4 Beeinflussung der Lebensmittelinhaltsstoffe durch Ultra-Hochdruck	7
2.4.1 Polysaccharide	8
2.4.2 Proteine	8
2.4.3 Wasser	8
2.4.4 Farbstoffe.....	9
2.4.5 Aromen	9
2.4.6 Vitamine	10
2.5 Die Textur und deren Veränderungen durch die Herstellungsprozesse	10
3. Versuchsstand, Material und Methoden	12
3.1 Projektablauf	12
3.2 Herstellung von Himbeer-Grütze	12
3.2.1 Thermisches Standardverfahren	13
3.2.2 Hochdruckverfahren	14
3.2.3 Kochbeutelverfahren	15
3.3 Analysemethoden	16
3.3.1 Bestimmung der ganzen Früchte mittels des Auszählverfahrens.....	16

3.3.2	Analyse der Textur	17
3.3.3	Bestimmung der Farbe	17
3.3.4	Zuckergehalt	18
3.3.5	pH-Wert	18
3.3.6	a_w -Wert	18
3.3.7	Rasterelektronenmikroskopie	18
3.3.8	Mikrobiologie	19
3.3.9	Sensorik	19
4.	Ergebnisse	21
4.1	Bestimmung der unversehrten Früchte mittels des Auszählverfahrens.....	21
4.2	Bestimmung der Festigkeit von Himbeeren mittels einem Texture-Analyser ...	22
4.3	Farbbestimmung	24
4.4	Zuckergehalt.....	25
4.5	pH-Wert	26
4.6	a_w-Wert	27
4.7	Rasterelektronenmikroskopie.....	27
4.8	Mikrobiologie	31
4.9	Sensorik.....	32
5.	Diskussion.....	36
6.	Zusammenfassung	41
7.	Literaturverzeichnis	42
8.	Abbildungsverzeichnis	45
9.	Tabellenverzeichnis	47
10.	Anhang.....	48

Abkürzungsverzeichnis

µm	Micrometer
cm ²	Quadratcentimeter
cm ³	Kubikcentimeter
ml	Milliliter
l	Liter
°C	Grad Celsius
°Brix	Zuckergehalt
min	Minute
h	Stunden
MPa	Megapascal
%	Prozent
F	Kraft
N	Newton
GKZ	Gesamtkeimzahl
KBE	Koloniebildenden Einheiten
HD	Hochdruck
REM	Rasterelektronenmikroskop
TK	Tiefkühl

1. Einleitung

1.1 Einführung

Die Hochdrucktechnologie eröffnet der Prozess- und Produktentwicklung für Lebensmittel neue Optionen in der Pasteurisation. Die konventionellen Verfahren arbeiten mit den klassischen Parametern (Temperatur-Zeit), kommt zusätzlich die Prozessgröße Druck in einem Bereich von 100 bis 1000 MPa zum Einsatz, dann können neue innovative Lebensmittel entwickelt werden.

Die Verwendung hoher hydrostatischer Drücke im Bereich der Nahrungsmittel ist ein sehr junges Verfahren und entwickelte sich erst in den letzten drei Jahrzehnten entscheidend. Erste Forschungen zur Haltbarkeitsverlängerung von Milch durch hohen Druck gab es schon 1899 [Hite 1899]. Zwei Jahrzehnte später erforschte Bridgman die Denaturierung von Proteinen, die Inaktivierung von Mikroorganismen und die Gelbildung von Polysacchariden beim Einsatz von hohen Drücken [Bridgman 1914]. Erst 1990 entwickelte ein Forschungskonsortium, bestehend aus 21 japanischen Firmen, das erste hochdruckbehandelte Lebensmittel.

Der Hauptaufgabenbereich der Hochdrucktechnologie liegt in der Haltbarmachung von Lebensmitteln. Das Ziel wird erreicht ohne die Verwendung von zusätzlicher thermischer Energie. Die „Clean Label“ Vermarktungsstrategie der Lebensmittelkonzerne fördert die Entwicklung von hochdruckbehandelten Nahrungsmitteln. Der Hochdruck induziert eine weitaus geringere Veränderung des Aromas, der Farbe und der wichtigen wertgebenden ernährungsphysiologischen Eigenschaften (z.B. Vitamine) im Lebensmittel, als dies ein thermisches Haltbarkeitsverfahren vermag. Diese Attribute ermöglichen der Hochdrucktechnologie den Verzicht auf zusätzliche Aromen, Stabilisatoren, künstliche Konservierungsmittel und Farbstoffe. Der Verbraucher legt nicht nur Wert auf ein natürliches Lebensmittel („Clean Label“), was die Zutaten und Inhaltsstoffe betrifft, sondern auch auf die Optik des Produktes, die ebenfalls der Verpackung bzw. der Zutat entsprechen sollte. Eindeutig ist die Diskrepanz bei Himbeerprodukten sichtbar. Alle Hersteller werben auf den Verpackungen ihrer Produkte mit glänzenden und prallen Himbeerfrüchten, die Produkte selbst weisen aber nur noch die „Kerne“ der thermisch zerstörten Himbeere auf. Bis auf TK-Himbeeren und im Glas pasteurisierte Himbeeren gibt es keine Lebensmittelerzeugnisse auf dem Markt, die ganze Himbeeren beinhalten. An diesem Punkt setzt die Bachelorarbeit an.

1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Die Bachelorarbeit erfolgte am Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL) im Rahmen eines Verbundprojektes zur Hochdrucktechnologie, welches sich mit dem Einfluss von Ultra-Hochdruck auf verschiedenen Lebensmitteln beschäftigt. In diesem Zusammenhang entstand schon früher eine Praxissemesterarbeit (siehe Kapitel 7, Meißner 2010) aus den einige Passagen für die Grundlagen und Analysemethoden übernommen wurden. Für die vorliegende Arbeit ist besonderes Augenmerk auf den Erhalt der ganzen Himbeerfrucht und deren Struktureigenschaften bei der Herstellung von Himbeer-Grütze unter Verwendung des Hochdruckprozesses gerichtet. Zum besseren Verständnis dieser Prozesstechnik werden neben der Auszählung, den Aufnahmen mittels des Rasterelektronenmikroskops (REM) und den Messungen mit dem Texture-Analyser auch weitere Methoden angewendet, die nicht zur Bestimmung der Struktur dienen.

Ziel der Arbeit ist es, eine hochdruckbehandelte Himbeer-Grütze mit ganzen Früchten herzustellen. Des Weiteren sollen die hochdruckprozessierten Himbeer-Grützen im Vergleich zu den handelsüblichen Produkten eine analoge Haltbarkeit und mindestens ähnliche sensorische Eigenschaften aufweisen. Damit die Ergebnisse des Hochdruckprozesses besser beurteilt werden können, dient das konventionelle thermische - und das Kochbeutel-Verfahren zur Herstellung von Himbeer-Grützen als Referenzverfahren.

2. Grundlagen

2.1 Hydrostatischer Hochdruck

Physikalische Grundprinzipien

Für jede Art von hydrostatischem Druck gelten zwei Prinzipien. Zum einem existiert das isostatische Prinzip, d.h. der Druck wirkt unmittelbar und gleichmäßig im gesamten Produkt, unabhängig von dessen Größe oder geometrischen Form. Voraussetzung dafür ist ein ausreichend hoher a_w -Wert im Lebensmittel, denn das freie Wasser gewährleistet die Druckübertragung von Zelle zu Zelle bis in den Kern des Nahrungsmittels. Das zweite wichtige Grundprinzip der Hochdrucktechnologie nach Le Chatelier und Braun besagt, dass das Gleichgewicht jeder Reaktion, die mit einer Volumenänderung einhergeht, unter Druck in Richtung des kleineren Volumens verschoben wird [Knorr 1993, Vardag und Körner 1995].

[Meißner 2010]

Wirkmechanismen in Lebensmitteln

Der Hydrostatische Hochdruck beeinflusst Nahrungsmittel auf der zellulären Ebene. Dies geschieht in Abhängigkeit von Temperatur, Druck, Haltezeit, a_w -Wert, pH-Wert und vielen anderen Faktoren. Das Verkleistern von Stärke, die Denaturierung von Proteinen und das Aktivieren bzw. Inaktivieren von Enzymen sind nur ein kleiner Teil der Veränderungen im Produkt. Die Inaktivierung von Mikroorganismen ist ein entscheidender Effekt bei der Hochdruckbehandlung. Die Veränderung der Zellmembranpermeabilität von Hefen, Pilzen und Bakterien führt zu ihrer Inaktivierung. Dabei reagiert jeder Mikroorganismus unterschiedlich sensitiv auf den Hochdruckprozess und die oben aufgeführten Faktoren [Heinz und Knorr 2002]. Entscheidend für die Inaktivierung der Keime unter Einsatz der Hochdrucktechnologie sind Druck, Haltezeit und Temperatur. In Abb. 1 (a) wird die Effektivität der Inaktivierung von *Listeria monocytogenes* durch den Druck und die Druckhaltezeit bei einer konstanten Temperatur beschrieben. Es zeigt sich, dass ein höherer Druck effektiver ist für die Reduzierung der Bakterien (*Listeria monocytogenes*), als eine verlängerte Druckhaltezeit mit einem geringeren Druck. Die Druckinaktivierung von *Listeria monocytogenes* kann auch wie in Abb. 1 (b) auf die Höhe der Temperatur, des Druckes und verschiedene Druckhaltezeiten dargestellt werden. Hierbei ist nachgewiesen, dass ein höherer Druck eine geringerer Temperatur und Druckhaltezeit benötigt. Umgekehrt betrachtet, wird bei einem möglichst niedrigen Druck und Druckhaltezeit, ist eine sehr hohe Temperatur von Nöten. Des Weiteren zeigt sich, dass die Inaktivierungsrate nicht linear sondern als Kurve verläuft. Das bedeutet, dass die Effizienz der Inaktivierung in einem jeweils individuellen (Mikroorganismen spezifisch) Parameterbereich am größten ist und eine weitere Erhöhung des Druckes, der Haltezeit oder der Temperatur nicht die gewohnte Steigerung der Inaktivierungsrate erzielt.

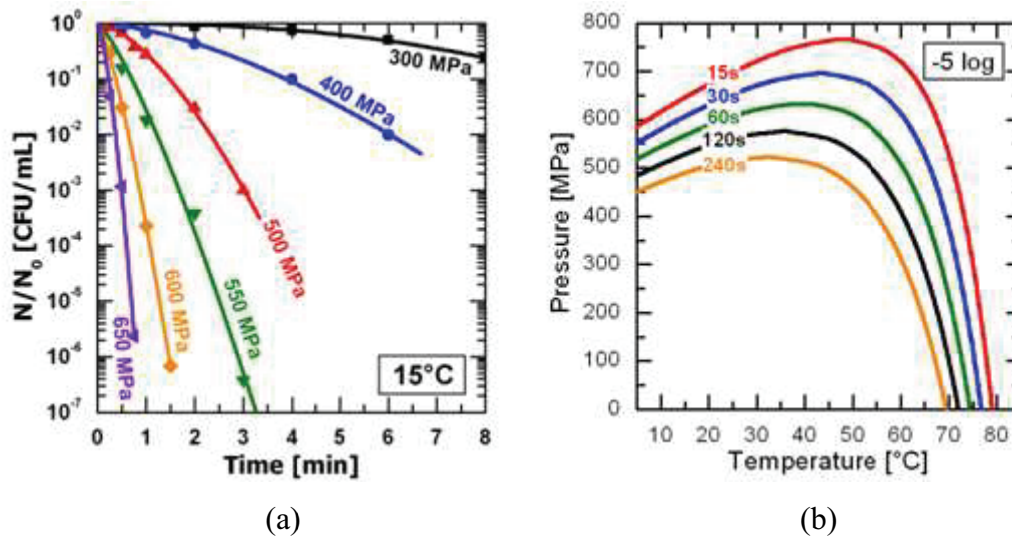


Abb. 1: Druckinaktivierung von *Listeria monocytogenes* (a) Keimzahl/Zeit (b) Druck/Temperatur [Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V.]

[Meißner 2010]

Allgemeiner Ablauf eines Hochdruckverfahrens

Das in einen druckfesten Behälter eingebrachte Lebensmittel wird einem hydrostatischen Druck von 100 bis 1000 MPa ausgesetzt. Bei diesem Verfahren handelt es sich um einen Batchprozess, welcher mit der direkten oder indirekten Druckerzeugung umgesetzt wird. Die Methoden verbindet der gemeinsame Ablauf bestehend aus Kompressions-, Druckhalte- und Dekompressionsphase. Die Druckhaltezeit kann von einigen Sekunden bis zu mehreren Stunden betragen, wobei sich die größte Effizienz im Zeitintervall von einer Minute bis zu 20 Minuten einstellt. Nach Überschreitung des Intervalls relativiert sich der Effekt der Zeit, damit ist ein wesentlicher Einfluss auf das Lebensmittel nicht mehr gegeben [Hartmann und Delgado 2002].

[Meißner 2010]

2.2 Direkte und indirekte Druckerzeugung

Bei der direkten Druckerzeugung (siehe Abb. 2 (a)) erfolgt der Druckaufbau durch einen Kolben, der nach dem hydraulischen Prinzip angetrieben wird und sich direkt im Druckbehälter bewegt. Wird der Kolben in den Batchreaktor getrieben, reduziert sich das spezifische Volumen des Druckübertragungsmediums (meist Wasser). Dabei entsteht nach

dem isostatischen Prinzip ein gleichmäßiger Druck im gesamten Reaktor. Der aufgebaute Druck setzt sich nahezu verzögerungsfrei in jeder Zelle des Lebensmittels fort.

Die indirekte Druckerzeugung (siehe Abb. 2 (b)) zeichnet sich durch die räumliche Trennung von hydraulischem Druckaufbau und Batchreaktor aus. Hierbei wirkt eine Hochdruckpumpe auf das Druckübertragungsmedium, dieses gelangt wiederum hubweise über ein Ventil in die Druckkammer und komprimiert dort das schon vorhandene Druckmedium, welches den Druck an das Produkt weitergibt. Der Kolben bewegt sich solange hin und her bis genügend Druckübertragungsmedium in den Reaktor gelangt ist, und sich der gewünschte Druck eingestellt hat. Die Vorteile dieser Methode liegen im Bau größerer Hochdruckanlagen und dem Einsatz von mehreren parallel laufenden Hochdruckpumpen. Es können kleinere Kolben eingesetzt werden, die weniger Hydraulikflüssigkeit benötigen. Desweiteren gewährleistet die räumliche Trennung von mechanisch beweglichen Teilen vom Prozessreaktor ein schnelleres Arbeiten, vereinfachte Anlagenentwicklung und Instandhaltung. Ein kleiner Nachteil des indirekten Prozesses ist, dass der Druck nicht so schnell aufgebaut werden kann wie bei der direkten Druckerzeugung, was die Effektivität der Produktionsverfahren geringfügig schmälert [Hartmann und Delgado 2002].

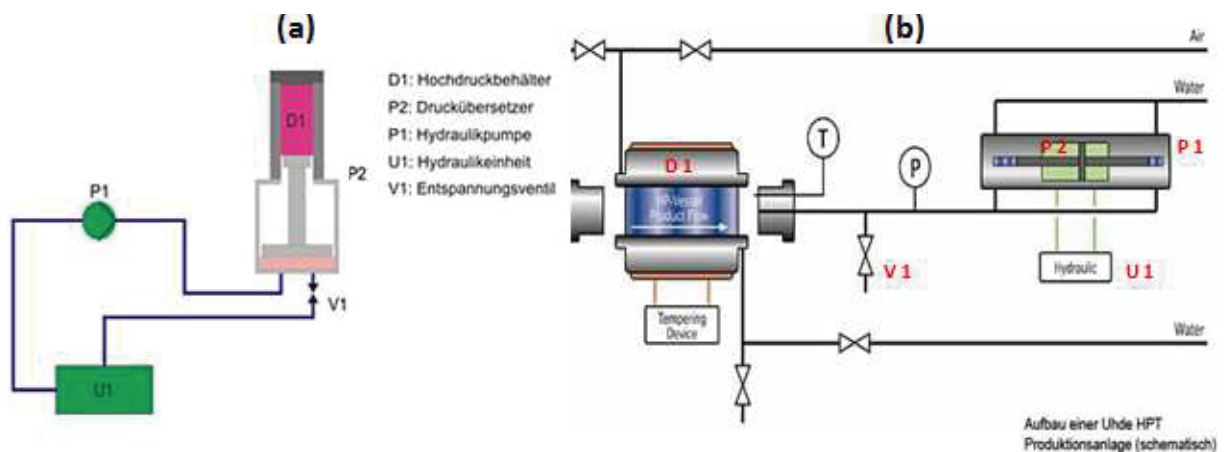


Abb. 2: Hochdrucksysteme (a) direkte Druckerzeugung (b) indirekte Druckerzeugung [Uhde High Pressure Technologies GmbH 2009]

[Meißner 2010]

2.3 Beschreibung der Himbeere

Die Himbeere gehört zu der Familie der Rosengewächse (*Rosaceae*) und gliedert sich in die Gattung *Rubus* ein. Die Botanik ordnet die Himbeerfrucht zu den Sammelsteinfrüchten, weil sich aus ca. 100 einzelnen Fruchtblättern die Steinfrüchte entwickeln und diese eine zusammenhängende Struktur bilden. Der Blütenboden der sich in der Mitte der heranwachsenden Frucht befindet, versorgt die einzelnen Steinfrüchte über Leitbündel mit Nährstoffen (siehe Abb. 3). Bei voller Ausreifung der Himbeerfrucht erfolgt eine Abtrennung, hervorgerufen durch biochemische Reaktionen zwischen dem Blütenboden und der Sammelsteinfrucht. Der Reifungsprozess beinhaltet auch den Abbau von Chloroplasten bei gleichzeitiger Einlagerung von Anthocyanen in die Vakuolen, die der Himbeere ihre typische rote Farbe verleiht [Mackenzie 1978].

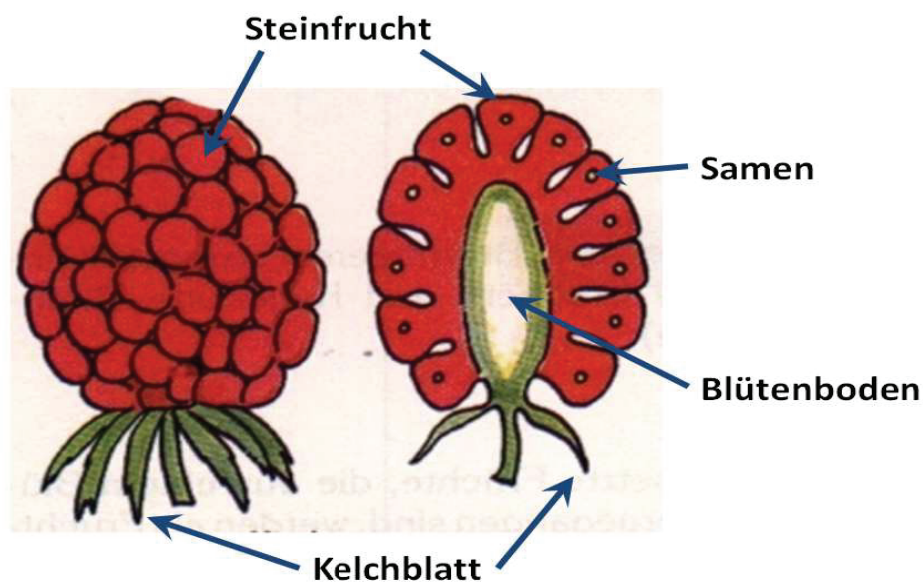


Abb. 3: Aufbau einer Himbeerfrucht [<http://www.bndlg.de/~bshoe/botanik/informationen/fruechte.htm> (Aufruf 14.01.2009)]

Die Inhaltsstoffe von 100 g tiefgefrorenen Himbeeren setzen sich aus ca. 84,5 g Wasser, 4,8 g Kohlenhydraten, 4,7 g Ballaststoffen, 1,3 g Proteinen, 0,32 g Mineralstoffen (in abnehmender Reihenfolge: Kalium, Phosphor, Calcium, Magnesium, Natrium, Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Jod, Selen und Chrom) und 0,3 g Lipide zusammen. Die Sammelsteinfrucht ist

reichhaltig an Ascorbinsäure (0,025 g) und Retinol (0,004 g). Des Weiteren beinhaltet die Himbeerfrucht zahlreiche Vitamine wie E, Niacin, B6, B2 und B1 [Elmadfa et al. 2002].

Für die Entscheidung, tiefgefrorene Himbeeren zu verwenden, waren zwei wichtige Faktoren ausschlaggebend. Erstens die Qualität der Früchte ist annähernd identisch, damit es keine unnötigen Schwankungen in den Analysewerten gibt. Zweitens soll die Bachelorarbeit eine Grundlage bilden für eine eventuelle industrielle Produktion. Das kann nur mit den TK-Himbeeren gewährleistet werden, da die Sammelsteinfrucht ein leicht verderbliches saisonales Produkt ist und die Lebensmittelindustrie ganzjährig produziert. Hinzukommen noch logistische, hygienische und betriebswirtschaftliche Überlegungen, die den Einsatz von TK-Früchten in der industriellen Herstellung bevorzugt. Aus diesem Grund bezieht sich die Bachelorarbeit zur Hochdruckbehandlung auf die tiefgefrorenen Himbeeren. Das bedeutet, dass die frischen Himbeerfrüchte nicht direkt mit den TK-Früchten verglichen werden können, da deren Zellen durch die Eiskristalle, die bei dem Schockfrost entstehen, partiell beschädigt werden und somit der Turgor abfällt. Dies führt zu einer Erweichung der Zelltextur (siehe Kapitel 2.5).

2.4 Beeinflussung der Lebensmittelinhaltsstoffe durch Ultra-Hochdruck

Jedes Nahrungsmittel reagiert unterschiedlich auf die Höhe des Drucks und deren Haltezeit, daher muss zu jedem Lebensmittel ein spezifisches Hochdruckverhalten evaluiert werden. Die Veränderungen im Produkt betreffen vor allem die morphologischen Eigenschaften, da es zum Beispiel zur Proteindenaturierung kommen kann. In Folge der Denaturierung können Allergene und Enzyme inaktiviert werden. Bei Enzymen besteht auch die Möglichkeit der Inaktivierung und / oder die Änderung der Substratspezifität. Des Weiteren werden biochemische Kettenreaktionen beschleunigt und die Bildung von Wasserstoffbrückenbindungen vergrößert. Ebenfalls kann ein Wandel in der Permeabilität der Zellwand und Zellmembran erfolgen [Butz und Tauscher 1998].

[Meißner 2010]

2.4.1 Polysaccharide

Der Verkleisterungsgrad von Stärken bei einer Hochdruckbehandlung ist abhängig vom Druck, der Haltezeit, der Behandlungstemperatur, dem freien Wasser und der Stärkeart. Weiterhin ist bekannt, je größer die Druckhöhe ist, desto besser lässt sich die Stärke durch α - und β -Glucoamylase verkleinern [Jahnke 1993]. Die reduzierenden Zucker zeigen sich hingegen stabil gegenüber einer Beeinflussung [Kato et al. 1997, Stute et al. 1996]. Das Verhalten von Pektin ist in Kapitel 2.5 näher erklärt.

[Meißner 2010]

2.4.2 Proteine

Die Denaturierung von Proteinen kann bis zur Primärstruktur erfolgen. Im Gegensatz zur thermischen Behandlung bleibt die Aminosäuresequenz (Primärstruktur) unverändert, da die kovalenten Bindungen nicht aufgespalten werden. In Abhängigkeit von Druck und Temperatur kann sogar die Sekundärstruktur bestehen bleiben [Tauscher 1995 und 1996]. Der Proteindenaturierungs-Prozess kann durch das Vorhandensein von Salzen, Zucker und anderen Proteinen in seinem Ablauf beeinträchtigt werden. Aus diesem Grund ist die Denaturierung bei Hochdruckbehandlung und geringen Proteinanteil von 0,05 - 0,2 % zum Teil oder vollständig reversibel und erst ab einer Proteinkonzentration über 10 % irreversibel [Wong und Heremans 1988]. Die Himbeere beinhaltet nur 1,3 % Proteine (siehe Kapitel 2.3), daher ist eine weitere Betrachtung der Proteine der Früchte nicht relevant.

[Meißner 2010]

2.4.3 Wasser

Die Hauptaufgabe von Wasser ist, als Druckübertragungsmedium zu fungieren, zum einen den erzeugten Druck im Reaktor auf die Verpackung und somit das Lebensmittel zu übertragen. Zum anderem den Hochdruck im Nahrungsmittel gleichmäßig und nahezu verzögerungsfrei zu verteilen. Letzteres setzt voraus, dass genügend freies Wasser im Produkt vorhanden ist. Sollte der a_w -Wert viel zu gering sein, wie bei Trockenprodukten Mehl, Zucker und anderen pulvrigen Substanzen, dann lässt sich keine Veränderung feststellen.

Erwähnenswert ist noch, dass bei 200 MPa der Gefrierpunkt von Wasser auf minus 20°C sinkt [Deuchi und Hayashi 1992].

[Meißner 2010]

2.4.4 Farbstoffe

Die Anthocyane gehören zu den Flavonoiden (sekundäre Pflanzenstoffe) und verleihen der Himbeere die intensive rote Farbe. Eigenschaften wie Wasserlöslichkeit und Empfindlichkeit gegenüber hohen Temperaturen (je höher diese, desto kürzer die Halbwertszeit) sorgen für den raschen Abbau der Anthocyane. Des Weiteren wird die Halbwertszeit verringert durch einen hohen pH-Wert, die Präsenz von Sauerstoff, das Zusammenwirken von Licht in Verbindung mit Sauerstoff oder die Aktivität von Enzymen (z. B. Peroxidase, Glyosidasen, und Phenolasen) [Gössinger 2007]. Garcia-Palazon et al. [2004] und Suthanthangjai et. al. [2005] berichten, dass die wichtigen Anthocyane pelargonidin-3-glucoside und perlargonidin-3-rutinoside stabil bei 800 MPa, 15 min Haltezeit und Raumtemperatur (18 – 22 °C) sind.

2.4.5 Aromen

In Himbeeren wurden mehr als 200 flüchtige Stoffe ermittelt, darunter das „Himbeerketon“ 4-(4-Hydroxyphenyl)-butan-2-on, Linalool, Linalylacetat, Terpinolen, Citral α - und β -Ionon, welche maßgeblich das typische Himbeeraroma ausmachen [Herrmann 2001, Ibanez et al 1998].

Eine Vielzahl von chemischen und sensorischen Forschungsstudien besagen, dass der Hochdruckprozess die Aromen der Lebensmittel nicht beeinflusst, weil sie druckstabil in ihrer Struktur sind. Diese Aussage belegt ebenfalls die Studie von Dalmadi et al. [2007] zu Himbeeren. Das Forschungsprojekt stellte unter Verwendung einer „elektronischen Nase“ (Aroma-Detektor) fest, dass eine größere Anzahl der typisch flüchtigen Himbeeraromen im hochdruckbehandelten Himbeerpüree (600 MPa/ 5 min Haltezeit/ Raumtemperatur) zu finden waren, als in einem traditionell thermisch hergestellten Püree (80 °C / 5 min Heißhaltezeit). Außerdem entfällt die Bildung von Fehleraromen durch Erhitzungsprozesse, wie sie zum Beispiel bei einer Maillardreaktion entstehen können [Isaacs und Coulson 1996].

2.4.6 Vitamine

Die thermische Empfindlichkeit der Vitamine ist bekannt, je höher die Temperaturen und die Erhitzungszeit, desto größer der Vitaminverlust im Nahrungsmittel. Aber es gibt Unterschiede in der Sensibilität zwischen vielen verschiedenen Vitaminen. Die Hochdrucktechnologie hat nach dem bisherigen Forschungsstand nicht einmal Auswirkungen auf die thermolabilen Vitamine. Ursache ist die kleine Molekülgröße und die Abwesenheit von druckempfindlichen Gruppen. In Studien von Tauscher [1996] und Butz und Tauscher [1998] wurde eine Druckstabilität für die Vitamine A, B1, B2, B6, C und K sowie das Pro-Vitamin β -Carotin ermittelt. Erst wenn eine Hochdruckbehandlung in Kombination mit einer höheren Temperatur (ca. 70°C) erfolgt, wie es bei der Inaktivierung von Sporen üblich ist, kommt es zu Vitaminverlusten.

[Meißner 2010]

2.5 Die Textur und deren Veränderungen durch die Herstellungsprozesse

Die Textur ist eine sensorische Eigenschaft, die über die Bissfestigkeit und die Struktur eines Lebensmittels Auskunft gibt. Der Druck des Zellsaftes auf die Zellwand (Turgor) entscheidet über die Festigkeit der Früchte. Der Turgor der Himbeere kann verringert werden durch die Eiskristallbildung beim Einfrieren. Trotz des industriell üblichen Schockfrostens, was nur kleine Eiskristalle hervorruft, ist die feingliedrige Zellstruktur der Sammelsteinfrucht anfällig gegenüber extrazellulärer Kristallbildung. Dieses beschädigt die Permeabilität (Zellmembran) der Zellen. Kommt es später zum Auftauprozess, kann das verlorene Wasser der extrazellulären Eiskristalle nicht wieder zurück in das Zytoplasma gelangen und die Festigkeit / Textur der Himbeerfrucht wird verringert [Sousa et al 2006].

Jede Pflanzenzelle besteht aus einer semipermeablen Membran, einer Zellwand und dem Zytoplasma, das sich hauptsächlich aus Wasser zusammensetzt und damit die Voraussetzung für eine Druckübertragung bildet. Die Zellwand setzt sich aus Mittellamelle, Primär-, Sekundär- und Tertiärwand zusammen und besteht vorwiegend aus Cellulose, Hemicellulose, Pektin und Lignin. Die Gerüstsubstanz Pektin ist hauptsächlich in der Mittellamelle lokalisiert und liegt dort zum Teil als unlösliches Propektin vor. Thermische Prozesse überführen dieses in ein lösliches Pektin. Das geschieht durch die Auflösung der Verbindungen der einzelnen

Pektinketten. Mit der Reaktion geht der Bindungsverlust zwischen dem Pektin, der Cellulose und der Hemicellulose einher. Das Ergebnis der Trennvorgänge ist eine starke Erweichung der Textur. [Ternes 1990]. Die Hochdruckbehandlung hingegen hat nur einen geringfügigen Einfluss auf die Degradation der Pektine [Kato et al. 1997]. Die Gefahr der Texturerweichung geht von der Luft aus, die sich im Zytoplasma der Zellen befindet. Bei dem Hochdruck wird die intrazelluläre Luft in die fluide Phase komprimiert und die Zellwand passt sich dem verringerten Zytoplasma-Volumen an. In der Dekompressionsphase expandiert die verflüssigte Luft explosionsartig in den gasförmigen Zustand zurück und kann dabei die Zellwände zerstören. Der Zerstörungsgrad hängt von der Höhe des Druckes ab und dem intrazellulären Luftanteil. Dieser ist in einer Himbeerfrucht vorhanden, aber dennoch viel geringer als der in einer Erdbeere [Deuchi und Hayashi 1992].

3. Versuchsstand, Material und Methoden

3.1 Projektablauf

Alle Versuche erfolgten aus Zeit- und Materialkostengründen im Labormaßstab. Der erste Schritt war es, eine Rezeptur für Himbeer-Grütze mit akzeptablen und marktfähigen sensorischen Eigenschaften zu entwickeln. Die anschließend produzierte Frucht-Grütze diente ausschließlich als Probematerial für die Analysemethoden aus Kapitel 3.3. Die Ergebnisse können die Grundlage schaffen für spätere Projekte im Technikums- bzw. Industriemaßstab.

3.2 Herstellung von Himbeer-Grütze

Drei grundlegende Herstellungsprozesse kommen bei der Produktion von Himbeer-Grütze zum Einsatz, davon sind zwei für die Herstellung der Referenzproben zuständig. Es handelt sich dabei um ein thermisches Standardverfahren und das besonders schonende Kochbeutelverfahren. Das Hochdruckverfahren mit zwei verschiedenen Temperatur- und Druckvariationen ist der dritte Herstellungsprozess. Die verschiedenen Verfahren verwenden dieselbe Rezeptur und die gleichen Zutaten (siehe Tab. 1), unterscheiden sich aber in einigen Produktionsschritten. Am Ende werden alle hergestellten Himbeer-Grützen für den Lagertest bei 8 °C in einem Kühlschrank gelagert.

Tab. 1: Rezeptur für Himbeer-Grütze

Zutaten	Menge (in %)	Bezeichnung
TK-Himbeeren	50,00	Himbeeren Extra Auslese - FRoSTA AG, Hamburg
Wasser	26,55	
Kristallzucker	19,65	Weißzucker EG-Kategorie 2 – Nordzucker, Braunschweig
Thermisch quellende Stärke (Muster)	3,50	NOVATION PRIMA 600 – National Starch & Chemical Limited, Hamburg
Zitronensäure	0,30	Citric Acid – Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim

3.2.1 Thermisches Standardverfahren

Die Zutaten (siehe Tab. 1) bis auf die TK-Früchte werden im Edelstahlkochtopf unter Verwendung eines Plastikkochlöffels zu einer Suspension vermischt. Mit der Zugabe der TK-Himbeeren wird der Erhitzungsprozess gestartet. Die Himbeer-Suspension wird bis 85 °C erhitzt und für zehn Minuten auf der Temperatur heiß gehalten. Diese Heißhaltezeit bei 85 °C ist ausreichend lang, um die Suspension zu verkleistern und die Mikroorganismen zu inaktivieren. Der letzte Prozessschritt vor dem Abpacken und Verschweißen der Himbeer-Grütze im Folienbeutel ist das Abkühlen der Grütze mit einem Eiswasserbad unter 30°C (siehe Abb. 4).

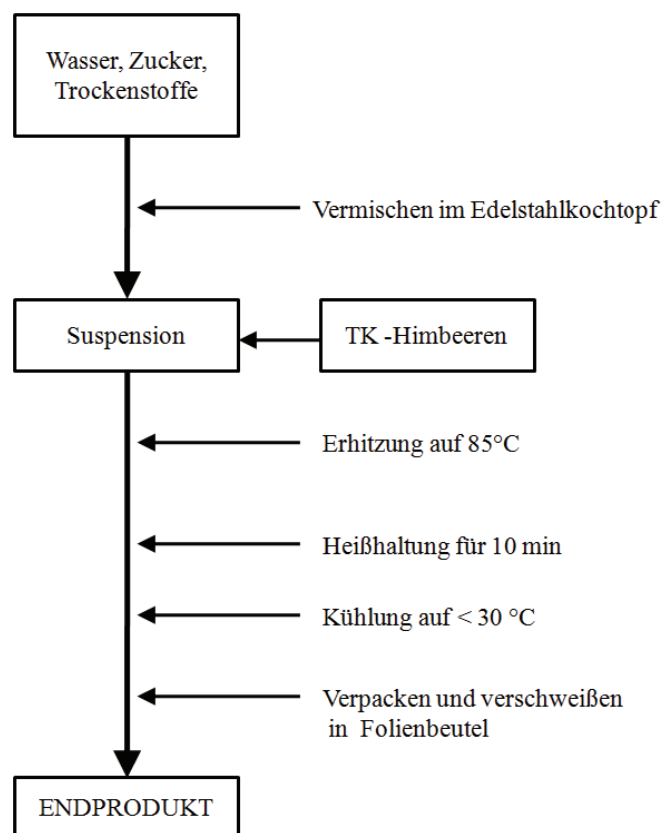


Abb. 4: Thermischer Standardprozess

3.2.2 Hochdruckverfahren

Im Gegensatz zu den thermischen Verfahren wird hier nur die Suspension erhitzt und für fünf Minuten heiß gehalten (siehe Abb. 5), so dass sich ein Stärkekleister ausbilden kann. Nach Ablauf der Heißhaltezeit werden die TK-Himbeeren hinzugegeben, was eine sofortige Abkühlung der Grütze auf unter 10 °C zur Folge hat. Der Abfüllvorgang der Himbeer-Grütze erfolgt in druckstabile Folienbeutel, die ebenfalls versiegelt werden. Die Folienbeutel müssen umgehend mit der NC Hyperbaric Wave 6000 / 55 (Industriemaßstab) hochdruckbehandelt werden bei verschiedenen Drücken und Haltezeiten (450 MPa & 2 min; 450 MPa & 5 min; 600 MPa & 2 min; 600 MPa & 5 min).

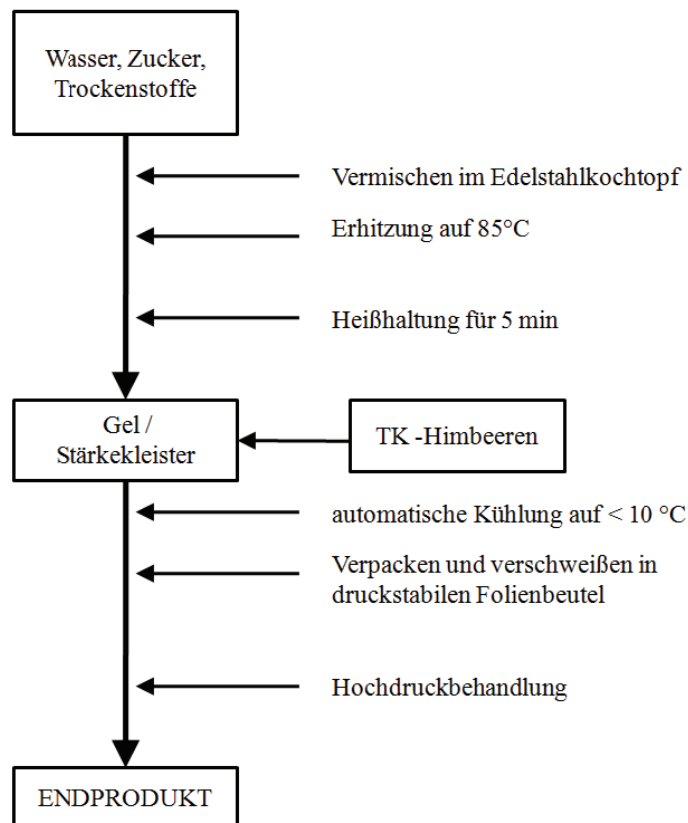


Abb. 5: Hochdruckinduzierter Prozess

3.2.3 Kochbeutelverfahren

Das Kochbeutelverfahren (siehe Abb. 6) ist eine Abwandlung des thermischen Herstellungsverfahrens. Dieser theoretische Herstellungsprozess soll die Grenzen der thermischen Erhitzung, im Bezug auf den Erhalt ganzer Früchte aufzeigen. Der Hauptgrund für den Einsatz des Kochbeutelverfahrens ist, dass das thermische Verfahren zu einer deutlichen Schädigung der Himbeeren führt. Diese werden aber als Referenzproben für die Analysemethoden des Auszählverfahrens, der REM-Aufnahmen und des Texture-Analysers benötigt.

Der Erhalt ganzer Himbeeren beruht auf der Tatsache des Fehlens mechanischer Kräfte, sprich die Himbeer-Grütze wird nicht gerührt. Der Erhitzungs- und Abkühlprozess findet in einem Wasserbad unter Verwendung eines thermisch stabilen Folienbeutels statt. Die Prozessparameter aus Kapitel 3.2.1 sind identisch.

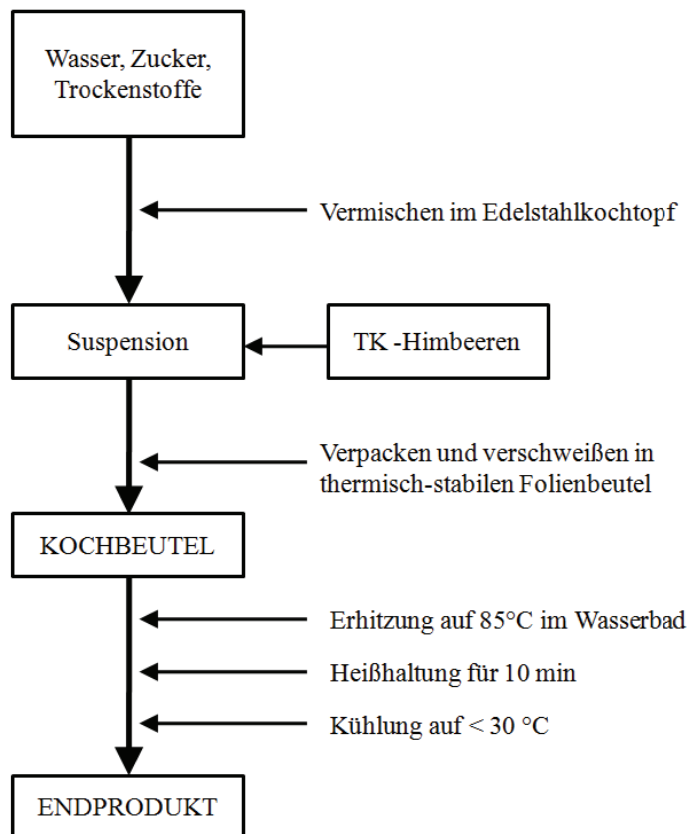


Abb. 6: Herstellungsprozess Kochbeutelverfahren

3.3 Analysemethoden

Die angewendeten Methoden in den folgenden Unterpunkten dienen der qualitativen und quantitativen Analyse der im Labormaßstab (siehe Kapitel 3.2) hergestellten Himbeer-Grütze.

3.3.1 Bestimmung der ganzen Früchte mittels des Auszählverfahrens

Die Himbeerfrüchte sind besonders empfindlich gegenüber mechanischer Beanspruchung, vor allem wenn dies mit einer thermischen Behandlung einhergeht. Jede Art dieser äußeren Einflüsse erschwert bzw. verfälscht eine Auswertung. Aus diesem Grund wurde das simple aber fruchtschonende Analyseverfahren der Auszählung verwendet.

Für jeden Versuch werden genau 50 Stück der TK-Himbeeren ausgezählt, die TK-Früchte dürfen keine Beschädigungen aufweisen. Das Gewicht der TK-Früchte dient als Grundlage zur Berechnung der Rezeptur für die Himbeer-Grütze, damit jeder Versuch genau die gleiche prozentuale Rezepturzusammensetzung besitzt. Die Himbeergrütze wird mit dem Hochdruckverfahren bei 600 MPa und fünf Minuten Haltezeit behandelt, da dies die höchste Belastung in der Versuchsreihe für die Himbeeren bedeutet. Das thermische Verfahren kann hier nicht als Referenzverfahren verwendet werden, weil es alle Früchte (in den durchgeführten Versuchen) durch die Einwirkung von mechanischer und thermischer Energie zerstört. Aus diesem Grund kommt das Kochbeutelverfahren zum Einsatz.

In Vorversuchen deuteten sich bei dem Kochbeutelverfahren kleinere Schwankungen bei dem Erhalt ganzer Früchte an. Deshalb erfolgt eine vierfache Bestimmung, wo hingegen eine Doppelbestimmung für das Hochdruckverfahren genügt.

Die Auszählung findet statt nach der jeweiligen Behandlung der Früchte, dabei wird die komplette Probe auf eine große weiße Oberfläche gegeben und anschließend alle unversehrten Himbeerfrüchte ausgezählt. Die Werte der jeweiligen Verfahren werden zu einem Mittelwert zusammen gefasst, um den unversehrten Anteil der Früchte prozentual darzustellen.

3.3.2 Analyse der Textur

Die Festigkeit der Früchte wird mittels des Texture-Analyser TA-XT2 der Firma Stable Micro Systems analysiert. Für diese Versuche wird eine Kompressions-Lochplatte (Stempel) verwendet, welche ein Eigenbau des DIL's ist. Daher können diese Daten nicht extern reproduziert und verglichen werden. Die Kompressions-Lochplatte besitzt eine Kompressions- bzw. Auflagefläche von netto (ohne die Fläche der Ausstanzungen) 8,05 cm². Dieser Stempel bewegte sich mit einer Geschwindigkeit von einem Millimeter pro Sekunde, auf einen zurückgelegten Weg von 15 mm und einer maximalen Kraft von zehn Newton in die auf 7 °C vortemperierte 50 g Probe. Die daraus ermittelten Messwerte besitzen die Einheit Newton pro 8,05 cm² (Kompressionsfläche des Stempels).

In dem Verfahren werden nur die Himbeerfrüchte analysiert, daher müssen einige Proben vorbehandelt werden. Die Himbeer-Grütze vom Kochbeutel- und vom Hochdruckverfahren wird vom Stärkekleister befreit, in dem sie in 1,5 l und 40 °C warmes Wasser für zwei Minuten einweicht. Über einem Sieb wird die Lösung mit den Himbeeren vorsichtig abgekippt und mit 1,5 l kaltem Wasser der restliche verbliebene Stärkekleister behutsam von den Himbeerfrüchten gespült. Nach 30 minütigem Abtropfen werden die Früchte, ohne diese zu beschädigen, in 100 ml Becher zu je 50 g portioniert. Die Himbeeren im Glas und die langsam aufgetauten TK-Himbeeren müssen ebenfalls von der Flüssigkeit getrennt werden, mit einer Abtropfzeit von 30 min vor dem anschließenden portionieren. Alle Himbeerfruchtproben werden vor der Analyse auf 7 °C temperiert. Es findet für jeden Versuch eine Vierfach-Bestimmung statt, aus denen dann der Mittelwert gebildet wird.

3.3.3 Bestimmung der Farbe

Die Farbmessung wird durchgeführt mit dem Konica Minolta Spektrophotometer CM-600d und einem Abstandshalter (Eigenbau DIL e.V.), in der die Glasküvette mit der Probe eingespannt wird. Bevor die Messung erfolgt, wird die Probe noch präpariert. Die Himbeer-Grütze wird homogenisiert und anschließend in einem Exsikkator mit einer angeschlossenen Vakuumpumpe vakuumiert. Bei einer achtfachen Bestimmung werden die Mittelwerte für die L*a*b*-Werte errechnet. Damit ein aussagekräftiger Vergleich angestellt werden kann,

müssen die Farbwerte von frisch aufgetauten (24 h bei 10°C) Himbeeren ebenfalls unter Anwendung desselben Analyseverfahrens ermittelt werden.

[Meißner 2010]

3.3.4 Zuckergehalt

Das WINOPAL Multi Scale Automatic Refractometer RFM 81 misst den °Brix Wert, in dem es automatisch eine Fünffach-Bestimmung von einer Probe durchführt und am Ende den Mittelwert bildet. Diese Messung erfolgt fünfmal, so dass am Ende aus fünf Mittelwerten ein Gesamtmittelwert gebildet werden kann. Die Probenvorbereitung erfolgt wie in Kapitel 3.3.3.

[Meißner 2010]

3.3.5 pH-Wert

Die pH-Wert-Meßelektrode des METTLER Toledo Seven Easy ermittelt den negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration. Dies geschieht durch eine Doppelbestimmung der homogenisierten Himbeer-Grütze.

[Meißner 2010]

3.3.6 a_w -Wert

Die Proben werden genauso vorbehandelt wie in Kapitel 3.3.3 und anschließend wird mit dem Schulz Electronic SE a_w Lab eine Doppelbestimmung durchgeführt.

[Meißner 2010]

3.3.7 Rasterelektronenmikroskopie

Die Rasterelektronenmikroskopie dient zur Bestimmung der Strukturänderung der Himbeere im zellularen Bereich. Die Himbeerfrucht wird auf einem Probenhalter montiert, um anschließend in die Kryo-Bruch-Einheit (EMITECH K1250) eingebracht zu werden, wo sie schlagartig durch flüssigen Stickstoff von minus 18 °C auf minus 170 °C herunter gekühlt

wird. Ein Vakuum in der Kryo-Bruch-Einheit lässt durch Brüche Oberflächen entstehen, welche anschließend leicht sublimiert werden, um sie danach mit Gold zu präparieren. Im letzten Schritt erfolgen repräsentative digitale Aufnahmen der Probe durch das Rasterelektronenmikroskop (REM) JOEL JSM-646OLV.

[Meißner 2010]

3.3.8 Mikrobiologie

Zur Beurteilung der Effektivität der Inaktivierungsrate bei Mikroorganismen durch den Hochdruckprozess, wird ein Lagertest von hochdruck- und thermischbehandelter Himbeer-Grütze durchgeführt. Der Lagertest erstreckt sich auf zwei Wochen und in jeder zweiten Woche werden die Proben auf ihre Gesamtkeimzahl untersucht. Hinzukommen noch drei Proben (im Abstand von vier Wochen) des Kochbeutelverfahrens, damit es die mikrobielle Tauglichkeit als schonendes thermisches Referenzverfahren beweist.

Die Proben zu jedem Herstellungsverfahren für den acht wöchigen Lagertest dürfen nur aus einem Produktionsprozess (Charge) stammen.

Die Himbeer-Grütze wird homogenisiert, davon werden zehn Gramm als Probe verwendet. Die zehn Gramm Grütze werden mit 100 ml entionisiertem Wasser (10:1) verdünnt und erneut mit dem Vortex homogenisiert. Unter Anwendung einer Pipette und eines sterilisierten (nach jeder Anwendung) Drigalskispatel wird die Probe (1 ml) mit Hilfe eines Drehtellers gleichmäßig auf einen Nährboden ausgespatelt. Der nicht selektive Plate Count Agar (PCA) dient zur Bestimmung der Gesamtkeimzahl nach dem er drei Tage bei 30° C bebrütet wird. Es erfolgt eine Doppelbestimmung und die ermittelten Untersuchungsergebnisse werden in koloniebildende Einheiten pro Gramm angegeben.

[Meißner 2010]

3.3.9 Sensorik

Zur Bestimmung und Bewertung verschiedener Produkteigenschaften wurde ein Sensorik-Panel durchgeführt. Neben den hochdruckbehandelten Himbeer-Grützen wurde die Grütze des konventionell thermischen Verfahrens einer „Bewertenden Prüfung mit Skale“ unterzogen. Die verwendete Fünf-Punkte-Skala beschreibt die Merkmalsausprägungen von *nicht*

erkennbar („Null“) bis *sehr stark* („Fünf“). Nicht alle zu bewertenden Merkmale lassen sich mit der Legende auf dem Prüfbogen (siehe Abb. 24) gut beschreiben, daher befinden sich unter einigen Skalen Erläuterungen zu einer verbesserten Einordnung der gesuchten Eigenschaft.

Die zehn teilnehmenden Probanden setzten sich aus DIL-Mitarbeitern zusammen. Das Sensorik-Panel bestand aus fünf Proben, die mit dreistelligen Zufallsziffern gereicht wurden. Vier der zu bewertenden Himbeer-Grützen waren hochdruckbehandelt mit den je zwei verschiedenen Druck- und Haltezeitvariationen und eine war die thermisch behandelte Probe. Die Grützen waren in 100 ml weiße PVC-Becher abgefüllt und bei 8°C gekühlt worden. Das Panel fand in dem hauseigenen Sensoriklabor statt, bei einer Raumtemperatur von ca. 24 °C in dem Zeitraum von 14–16 Uhr. Die prüfenden Personen mussten den Inhalt des Bechers auf einen kleinen weißen Teller geben und unter einem künstlichen weißen Licht („neutralweiß“) sensorisch bewerten.

4. Ergebnisse

4.1 Bestimmung der unversehrten Früchte mittels des Auszählverfahrens

Ziel dieser Analyse (aus Kapitel 3.3.1) war es, die Auswirkungen der beiden verschiedenen Behandlungsverfahren anhand der Unversehrtheit der Himbeerfrüchte zu ermitteln. Alle Früchte, die keine Schäden aufweisen, gelten als unversehrt.

Das Kochbeutelverfahren erzielte mit dem Erhalt von ca. 85 % der Himbeerfrüchte (siehe Tab. 2 bzw. Tab. 4) ein gutes Resultat, da das thermische Standardverfahren nicht in der Lage war, überhaupt eine einzige Frucht unbeschädigt zu lassen. Die Standardabweichung zeigt mit über 4 % eine hohe Streuung, was dem Kochbeutelverfahren eine mangelnde Zuverlässigkeit bescheinigt. Neben diesen Schwankungen war noch eine Inhomogenität der Grütze auffällig. An einigen Stellen war die Himbeer-Grütze hochviskos (feste Gelstrukturen) und an anderen Stellen war die Grütze niedrigviskos („flüssig“). Dieser Effekt basiert auf der fehlenden mechanischen Einwirkung (Mischung) während des Erhitzungsprozess.

Tab. 2: Prozentualer Anteil unversehrter Himbeerfrüchte

Herstellungsverfahren	unversehrte Himbeerfrüchte in %	STABW in %
HD (600 MPa; 5 min)	97,00	1,41
Kochbeutelverfahren	84,50	4,43

Das Hochdruckverfahren zeigt sich anhand der daraus hervorgehenden Himbeergrütze als ein sehr schonender Herstellungsprozess im Bezug auf die Unversehrtheit der Früchte. Die Abb. 7 veranschaulicht sehr gut, wie groß der Unterschied zwischen beiden Herstellungsverfahren ist. Das Hochdruckverfahren mit einem Druck von 600 MPa und einer Haltezeit von fünf Minuten stellt die maximale Belastung für Himbeerfrüchte unter den vier möglichen Druck- und Haltezeiten dar. Trotzdem sind ca. 97 % der Himbeeren komplett erhalten und die Standardabweichung betrug nur 1,41 % (siehe Tab. 2 und Tab. 4). Des Weiteren besitzt diese Himbeer-Grütze nicht nur einen größeren Anteil an unversehrten Früchten, sondern auch eine homogene viskose kontinuierliche Phase im Vergleich zu dem Produkt des Referenzverfahrens.

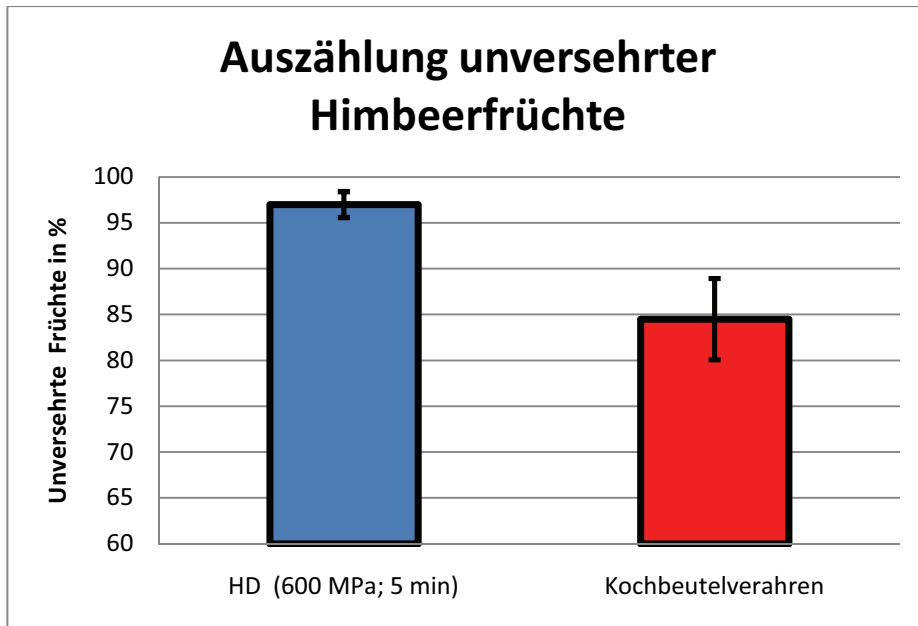


Abb. 7: Prozentualer Anteil unversehrter Himbeerfrüchte

4.2 Bestimmung der Festigkeit von Himbeeren mittels einem Texture-Analyser

Neben dem Erhalt ganzer Himbeerfrüchte spielt deren Festigkeit eine entscheidende Rolle zur Bewertung des Hochdruckverfahrens. Damit die erzielten Ergebnisse besser eingeordnet werden können, dienen aufgetaute Himbeerfrüchte (Himbeeren Extra Auslese - FRoSTA AG, Hamburg) als die maximale Referenzprobe. Diese Himbeeren wurden langsam aufgetaut und erfuhren keine thermische oder mechanische Belastung. Die thermische Referenzprobe liefert das Kochbeutelverfahren, da das Standardverfahren nicht in der Lage ist, eine einzige Himbeere im Produktionsprozess zu schonen. Der deutsche Lebensmittelhandel liefert nur Fruchtzubereitungen oder Grützen in dem die Himbeerfrüchte komplett zerstört sind. Die einzigen Möglichkeiten ganze Himbeeren zu kaufen, sind neben den TK-Produkten, die pasteurisierten Himbeeren im Glas (First Fruit – Obst- und Gemüseverarbeitung Spreewald-konserve Golßen GmbH). Diese Himbeeren sind die vierte Referenzprobe in dem Analyseverfahren.

Der Texture-Analyser ermittelt, welche Kraft benötigt wird, um den Stempel (Kompressions-Lochplatte) in die Probe zu pressen. Der detektierte Wert besitzt die Einheit Newton pro 8,05 cm² (Kompressionsfläche des Stempels). Je größer die aufgewendete Kraft pro Fläche, desto schwerer war es, die Früchte zu komprimieren. Das wiederum stellt ein Maß für die Festigkeit

der Himbeerfrüchte dar. Benötigt der Texture-Analyser eine hohe Kraft für die Kompression, dann sind die Himbeeren fest und knackig. Sollte hingegen die Textur der Frucht geschädigt sein, wird dafür eine geringe Kompressionskraft von dem Analysegerät detektiert. Alle gemessenen Werte befinden sich in den Protokollen (Abb. 20 bis Abb. 23) im Anhang und wurden in Abb. 8 und Tab. 5 zusammengefasst.

Wie zu erwarten, brauchte der Texture-Analyser mit $9,231 \text{ N} / 8,05 \text{ cm}^2$ die meiste Kraft für die Kompression der aufgetauten TK-Himbeeren. Die Struktur war nur ein wenig durch den Einfrierprozess geschädigt. Die Messung der hochdruckbehandelten Himbeeren ergaben einen Mittelwert von $6,445 \text{ N} / 8,05 \text{ cm}^2$, der näher an den Messwert der TK-Himbeeren lag als an den vergleichsweise weicheren Früchten des Kochbeutelverfahrens ($1,635 \text{ N} / 8,05 \text{ cm}^2$). Deren Himbeerfrüchte wiesen eine geringe Festigkeit auf, was auf einen hohen Schädigungsgrad der Textur deutet. Die Himbeeren aus dem Glas waren nur geringfügig fester in ihrer Textur, als die des Hochdruckverfahrens. Auffällig war außerdem, dass die Standardabweichung mit $0,830 \text{ N} / 8,05 \text{ cm}^2$ nur bei den hochdruckhergestellten Himbeerfrüchten etwas hoch ausfiel.

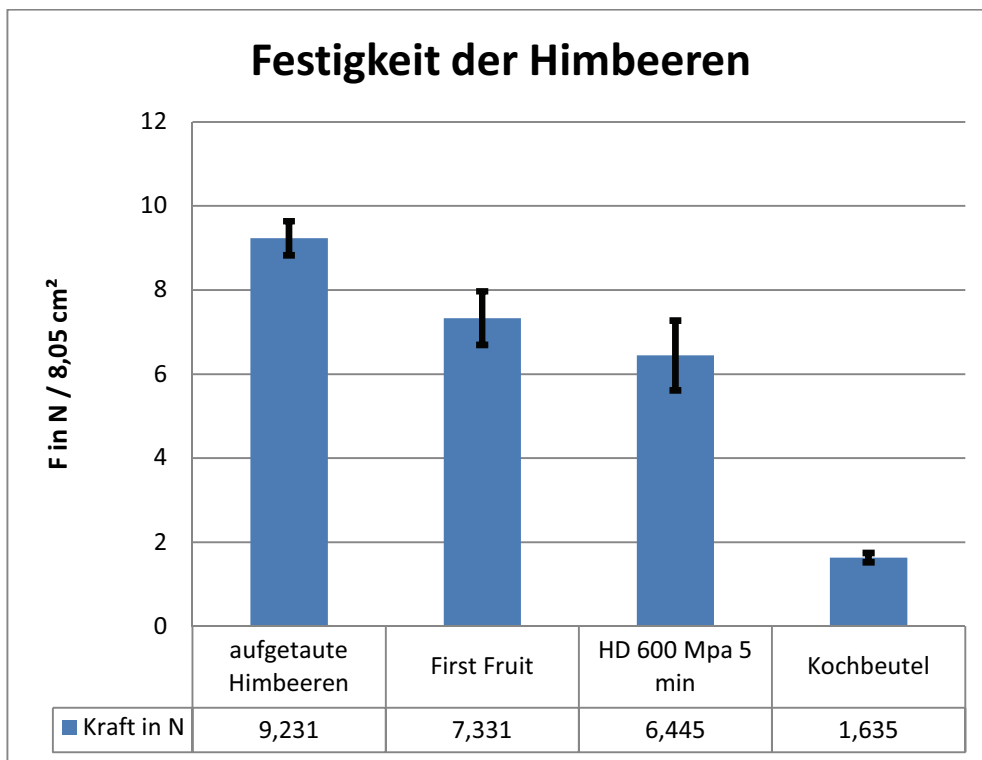


Abb. 8: Festigkeit der Himbeeren in Kraft pro $8,05 \text{ cm}^2$

4.3 Farbbestimmung

Die Abb. 9 zeigt wie stabil die Farbwerte aller frisch hergestellten Himbeer-Grützen im Vergleich zu den gemessenen Werten der aufgetauten TK-Himbeeren sind. Keines der angewendeten Produktionsverfahren hatte einen größeren Einfluss auf die Farbe der Produkte.

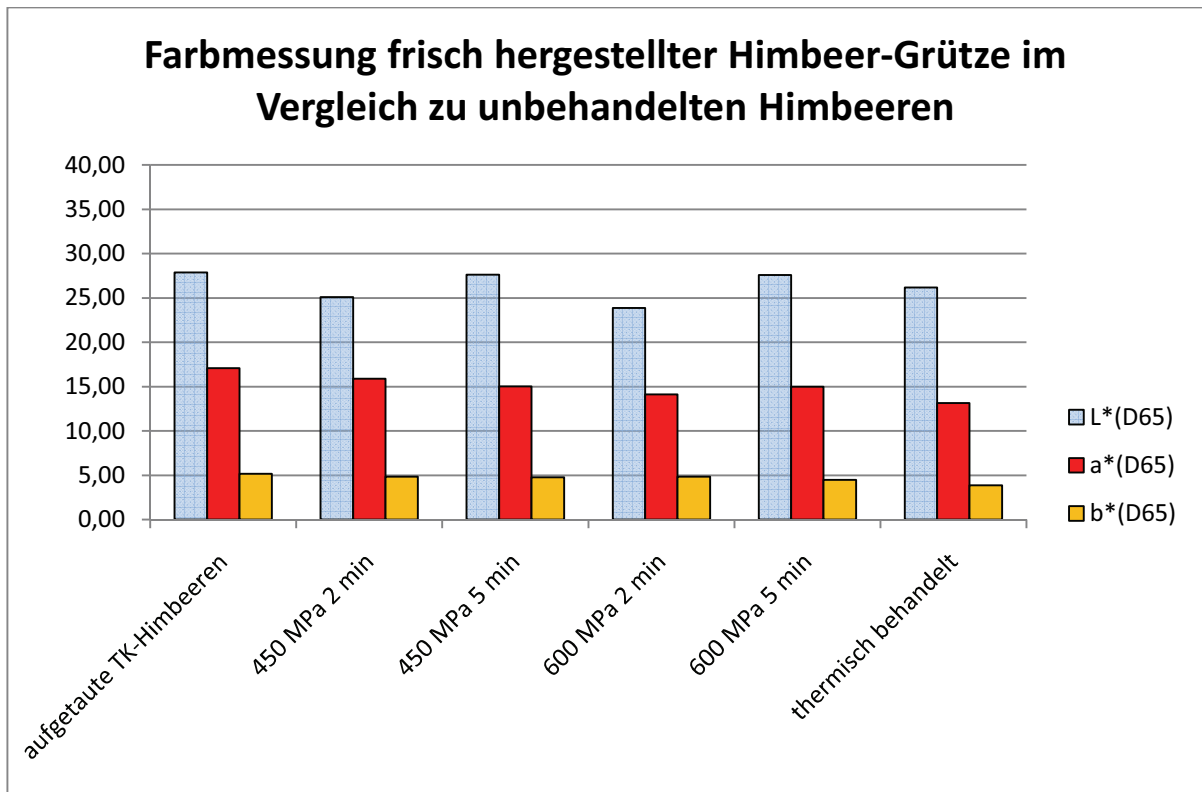


Abb. 9: Farbwerte von allen frisch produzierten Himbeer-Grützen und unbehandelten, aufgetauten TK-Himbeeren

Die Farbe der hergestellten Himbeer-Grützen wurde über die komplette Lagerdauer getestet (siehe Tab. 6), um zu ermitteln, ob es zu Farbveränderungen kam. Diese können durch nicht inaktivierte Enzyme entstehen, die die Anthocyane der Himbeere abbauen. Ein Vergleich zwischen Abb. 9 und Abb. 10 zeigt, dass alle Werte über die Dauer der Lagerung konstant (abgesehen von kleinen Schwankungen) geblieben sind. Die einzige Abweichung zeigte sich auf der b*-Achse. Die Werte des Farbspektrums im gelben Bereich verdoppelten sich in der letzten Woche (achte Woche) des Lagertests.

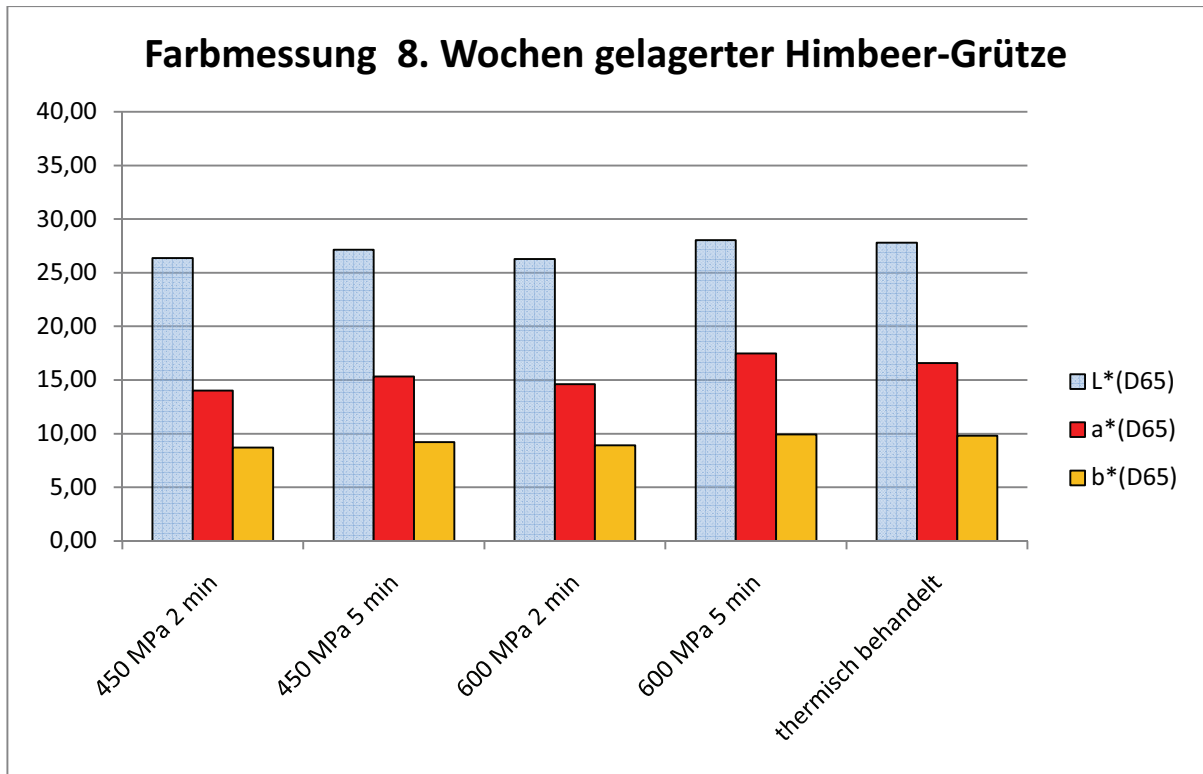


Abb. 10: Farbwerte von allen 8. Wochen gelagerten Himbeer-Grützen

4.4 Zuckergehalt

Mit den Messwerten des Zuckergehaltes aus dem Lagertest (siehe Tab. 6) sollte ein möglicher Einfluss der Hochdrucktechnologie auf die Himbeer-Grütze und deren Lagerstabilität überprüft werden. Das thermische Standardverfahren dient wieder als Referenzprobe. Die Abb. 11 vergleicht den Zuckergehalt in Grad Brix von allen frisch hergestellten Grützen. Das Diagramm und der Lagertest zeigt keinerlei Unterschiede zwischen den Herstellungsverfahren. Dies bedeutet, dass der Hochdruck keinen Einfluss auf den Zuckergehalt hat.

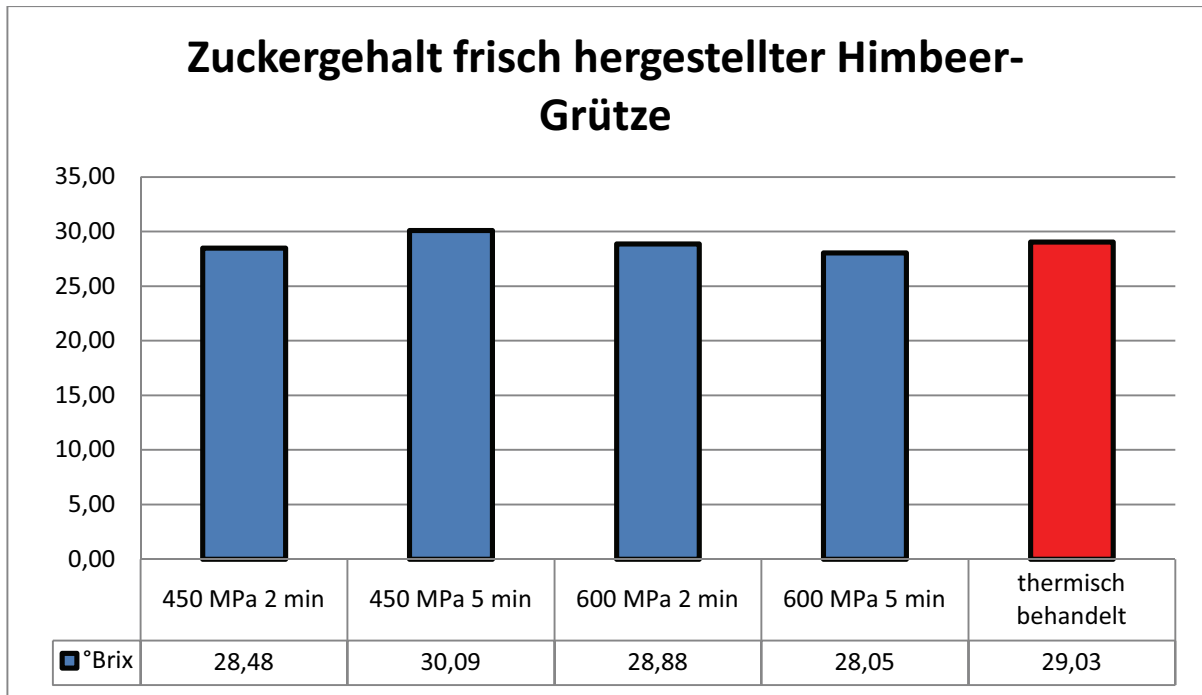


Abb. 11: Zuckergehalt in °Brix von allen frisch produzierten Himbeer-Grützen

4.5 pH-Wert

Die Abb. 12 beweist, dass der Hochdruck keinen Einfluss auf den pH-Wert der frisch produzierten Himbeer-Grütze hat. Ebenso liegen fast alle Messwerte vom Hochdruck- und dem thermischen Standardverfahren während des Lagertests (siehe Tab. 6) in einem pH-Wert-Bereich von knapp unter drei. Alle Himbeer-Grützen sind daher stabil, was den pH-Wert betrifft.

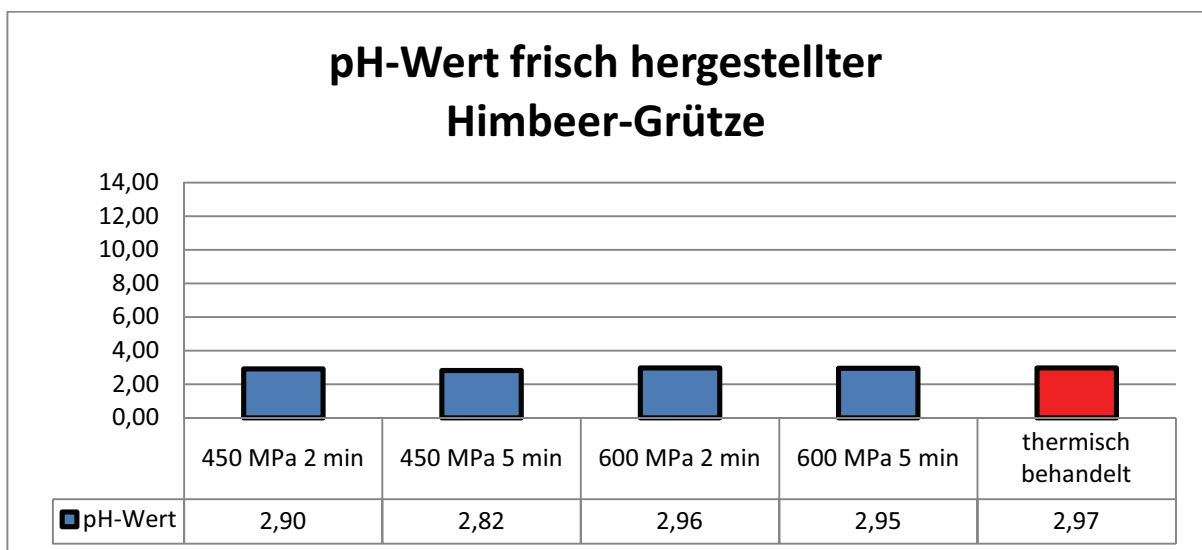


Abb. 12: pH-Werte von frisch produzierten Himbeer-Grützen

4.6 a_w -Wert

Aus Abb. 13 geht hervor, dass die verwendeten Druck- und Haltezeiten keinen Einfluss auf die Menge des frei verfügbaren Wassers hatten. Es gibt auch keinerlei Unterschied zu den thermischen Standardreferenzproben. Alle a_w – Werte der Grützen bewegen sich in einem Größenbereich von 0,95 bis 0,97 über die gesamte Dauer des Lagertests (siehe Tab. 6). Die Himbeer-Grützen sind stabil, was die Menge an frei verfügbarem Wasser betrifft.

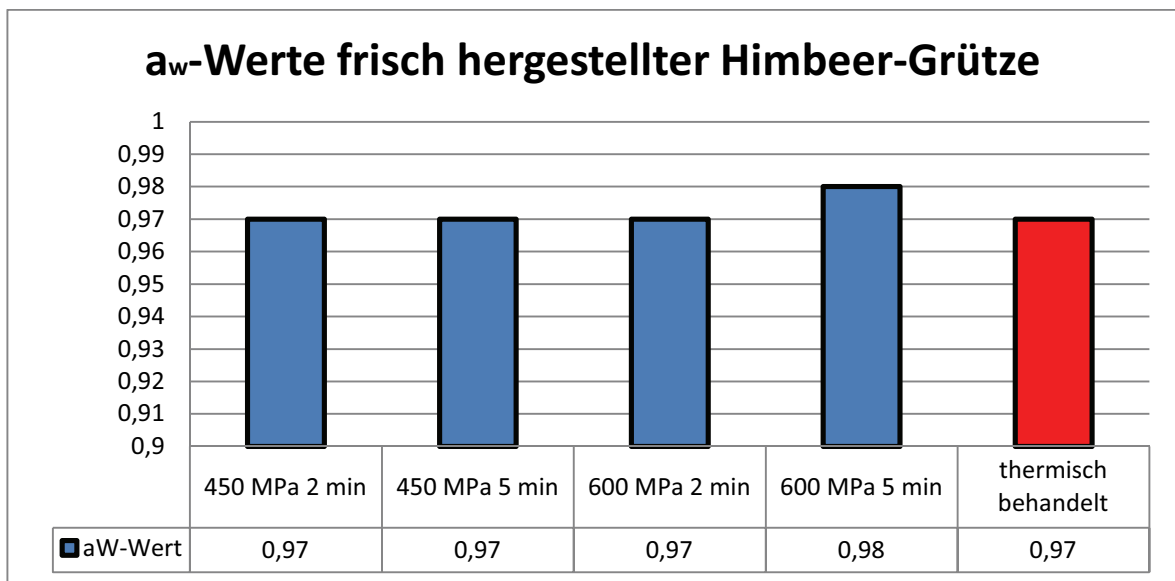


Abb. 13: a_w - Werte von allen frisch produzierten Himbeer-Grützen.

4.7 Rasterelektronenmikroskopie

Die Bilder vom Rasterelektronenmikroskops sollen die Struktur von Himbeerfrüchten auf der zellularen Ebene veranschaulichen. Besonderes Interesse gilt dabei dem möglichen Auftreten von Zellgewebeveränderungen nach einer Hochdruckbehandlung der Himbeere. Die REM-Aufnahmen einer TK-Himbeerfrucht und einer Himbeere aus dem Kochbeutelverfahren fungieren als Referenzmuster. Untersucht wird nur eine einzelne Steinfrucht der ganzen Himbeere, da diese im Aufbau identisch ist zu den restlichen Steinfrüchten und somit auch die hervorgerufenen Veränderungen.

Die Sammelsteinfrucht besitzt verschiedene Wachstumszonen, die sich um die Leitbündel gebildet haben. Das spiegelt sich in der unterschiedlichen Größe und Anordnung der Zelle wieder (siehe Kapitel 2.3). Aufgrund dieser Problematik wurden die REM-Fotos nach einer größtmöglichen Erkennbarkeit der strukturellen Zelländerungen ausgewählt. Die Bilder des Rasterelektronenmikroskops sind mit einem weißen Balken im unteren Bildbereich versehen, der den Maßstab angibt.

In Abb. 14 sind vier REM-Fotos einer TK-Himbeere mit unterschiedlichen Vergrößerungen zusammengefasst. Die vier Bilder lassen eine ungeordnete wabenähnliche Struktur erkennen. Dieser Effekt entsteht durch Eiskristalle, die sich aus dem Wasser des Zytoplasmas bilden. Der Kristallisierungsprozess bewirkt eine Ausdehnung des Volumens und ruft große und markant eckige Formen hervor. Die Volumenzunahme war in manchen Zellen so stark, dass es die Zellwände zerstörte (siehe REM-Foto mit dem Maßstab 50 μm).

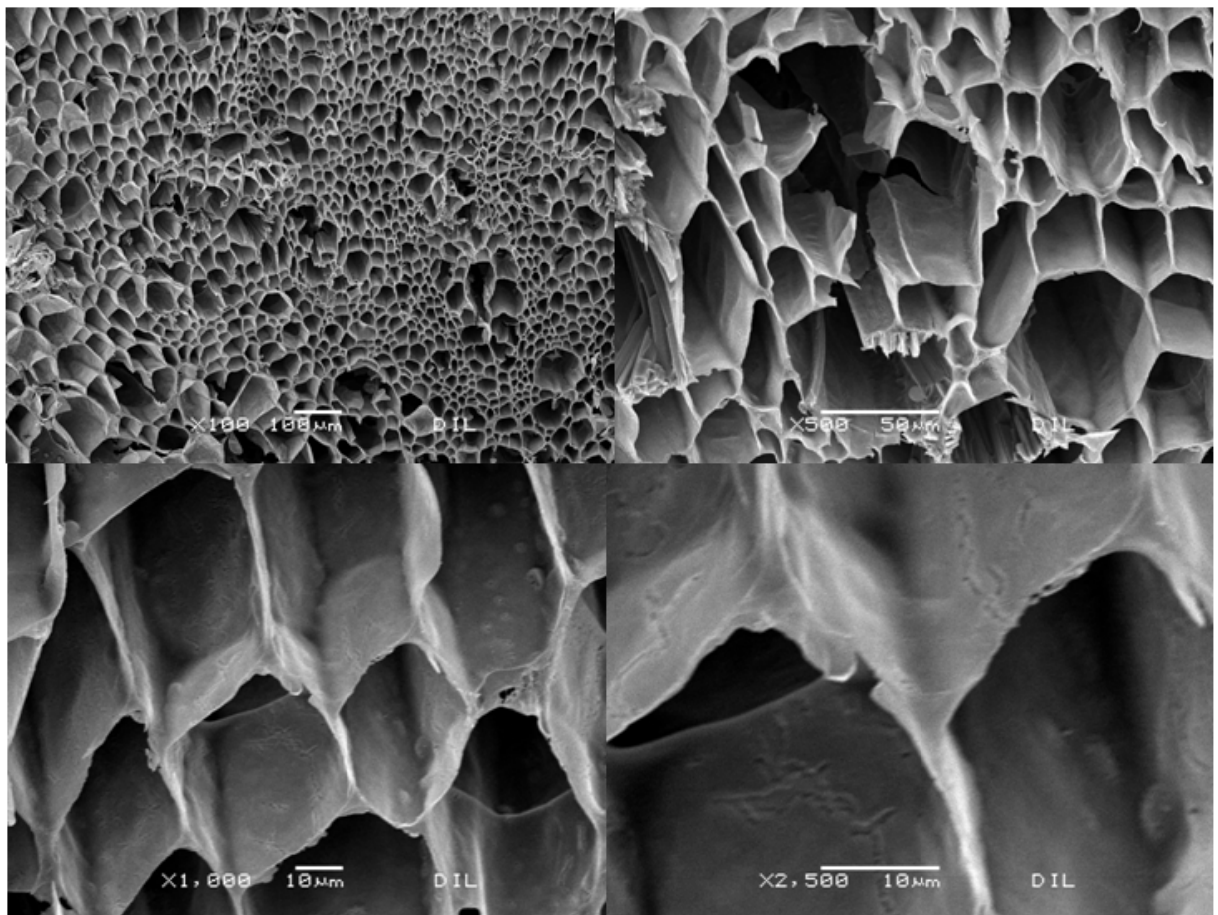


Abb. 14: REM-Aufnahmen von TK-Himbeere (Länge des Balken 100 μm (oben links), 50 μm (oben rechts) und 10 μm (unten links und rechts))

Ein Vergleich von Abb. 14 mit Abb. 15 zeigt deutlich, dass die abgebildeten Zellen der Himbeere aus dem Kochbeutelverfahren entschieden kleiner und runder sind als die der tiefgefrorenen Himbeerfrucht. Ein Grund für diese Veränderung im Zellgewebe ist das Schmelzen bzw. Verschwinden der Eiskristalle. Weitere Ursachen für die rundere Form der Zellstruktur ist die Minderung des Turgors durch das Schockfrostern und das Destabilisieren der Zellwand durch die thermisch verursachten Trennungsprozesse der einzelnen Zellwandbestandteile (siehe Kapitel 2.5). Die thermisch (Kochbeutelverfahren) und mechanisch (Kristallbildung) wirkenden Kräfte verursachten ebenfalls die partielle Zerstörung von Zellwänden. Im unteren rechten REM-Foto (mit dem Maßstab $10\ \mu\text{m}$ und dem kürzeren weißen Balken) von Abb. 14 lässt sich besonders gut diese Zerstörung ausmachen, anhand von Lücken im Gewebe und den übrig gebliebenen Fragmenten der Zellwände. Diese Fragmente sehen wie Stege oder Fäden aus, die mit Tropfen behaftet sind.

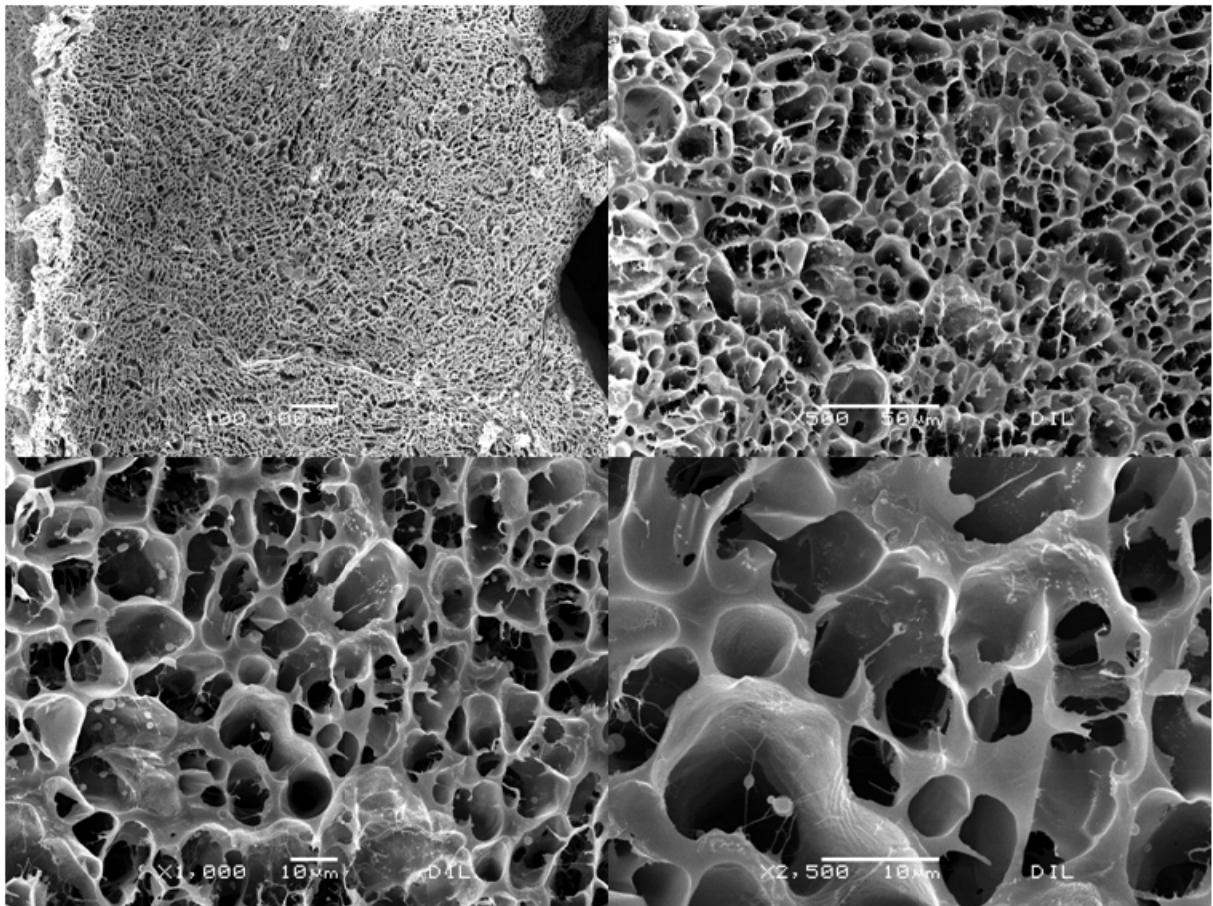


Abb. 15: REM-Aufnahmen einer Himbeere aus dem Kochbeutelverfahren (Länge des Balken $100\ \mu\text{m}$ (oben links), $50\ \mu\text{m}$ (oben rechts) und $10\ \mu\text{m}$ (unten links und rechts))

Die mit 600 MPa bei fünf Minuten Druckhaltzeit behandelten Himbeeren erlitten genau die gleichen Schädigungen durch das Schockfrostern, wie sie im vorhergehenden Absatz beschrieben wurden. Die Zellen weisen im Vergleich zu der thermisch behandelten Himbeerfrucht keine runde sondern eine länglich eckige Form auf, da sie keinem Erhitzungsprozess ausgesetzt waren und somit die Zusammensetzung der Zellwand nicht beeinflusst wurde. Auffällig sind die drei REM-Aufnahmen mit dem Maßstab 10 bis 50 μm aus Abb. 16, die schätzungsweise im Schnitt noch ein wenig größere Zellen darstellen als die vergleichbaren Fotos der Himbeere aus dem Kochbeutelverfahren (siehe Abb. 15). Dieser Größenunterschied kommt nur zustande durch die stabilen Zellwände. Bei Betrachtung des unteren rechten REM-Bildes (mit dem Maßstab 10 μm und dem kürzeren weißen Balken) zeigt sich anhand der vielen Stege, dass der Hochdruckprozess ähnlich viele Zellwände zerstört hat, wie bei der Himbeerfrucht aus dem Kochbeutel. In diesem Fall wurden die Wände nicht durch thermische Energie geschädigt, sondern durch das Zusammenwirken der Dekompressionsphase des Hochdruckverfahrens und dem explosionsartigen Phasenübergang der intrazellulären Luft (siehe Kapitel 2.5).

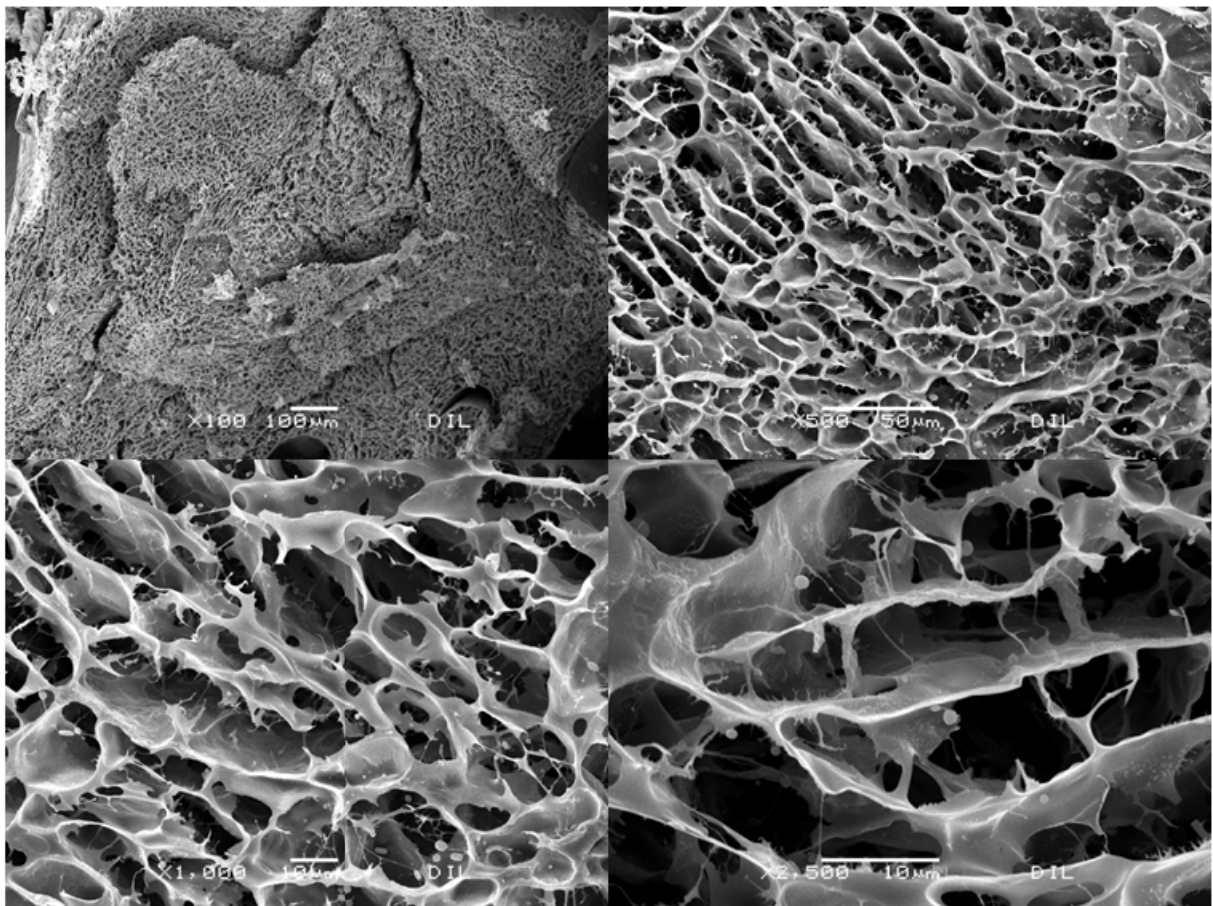


Abb. 16: REM-Aufnahmen von einer hochdruckbehandelten (600 MPa, 5 min) Himbeere (Länge des Balken 100 μm (oben links), 50 μm (oben rechts) und 10 μm (unten links und rechts))

4.8 Mikrobiologie

In Tab. 3 sind die Ergebnisse aus dem Lagertest (bei 8 °C) zur Gesamtkeimzahl (GKZ) der Himbeer-Grützen dokumentiert. Fast alle getesteten Grützen wiesen weniger als 100 koloniebildenden Einheiten pro Gramm (KBE / g) auf. Sehr stabil zeigten sich die beiden thermischen Herstellungsverfahren, weil deren Proben nicht mehr als 10 KBE / g beinhalten. Schwankungen traten bei den beiden Hochdruckprozessen auf, die einen Druck von 600 MPa verwendeten. Die KBE-Werte schwankten während der Lagerung bis zu Werten von 10^4 , aber befanden sich in der achten Woche (56 Tag) wieder bei 10 KBE / g. Diese Ausreißer (1000 KBE / g und 2300 KBE / g am 42 Tag der Lagerung) lassen sich nur durch eine Rekontamination bzw. Fremdverkeimung bei der Abfüllung erklären als die Himbeer-Grütze (die aus einer Charge stammt, siehe Kapitel 3.3.8) auf die fünf Folienbeutel für den Lagertest aufgeteilt wurde. Zumal die beiden Grützen, welche mit einem geringeren Druck (450 MPa) behandelt wurden, weitaus niedrigere KBE-Werte erzielten, was nach der Theorie in Kapitel 2.1 nicht möglich ist.

Die wichtigsten Proben sind die aus der letzten Woche des Lagertests. Alle Himbeer-Grützen, ungeachtet des Herstellungsverfahrens, besaßen nicht mehr als 20 keimbildende Kolonien pro Gramm. Somit kann behauptet werden, dass das Hochdruckverfahren mindestens genauso gut Mikroorganismen inaktiviert wie ein thermischer Herstellungsprozess. Des Weiteren wurde festgestellt, dass der Hochdruck von 450 MPa genauso effektiv war, wie der mit 600 MPa und deshalb auch keinen Rückschluss auf die Druckhaltezeit zulässt.

Tab. 3: Gesamtkeimzahl (in KBE/g) der gelagerten Himbeer-Grützen bei 8°C

Lagerdauer in Tagen	Gesamtkeimzahl (in KBE/g) bei einer Lagerung bei 8°C					
	Haltbarmachung thermischer Standard	Haltbarmachung Kochbeutel	Haltbarmachung 450 MPa, 2 min	Haltbarmachung 450 MPa, 5 min	Haltbarmachung 600 MPa, 2 min	Haltbarmachung 600 MPa, 5 min
0	< 10	< 10	< 10	< 10	50	20
14	< 10	n.u.	< 10	< 10	120	< 10
28	< 10	< 10	10	30	50	10
42	< 10	n.u.	80	10	2300	1000
56	< 10	< 10	20	10	10	10

4.9 Sensorik

Das Sensorik-Panel dient zur Ermittlung einer Verbraucherakzeptanz bzw. der Marktfähigkeit. Die Probanden waren zwar sensorisch geschult, trotzdem hat jeder Mensch seine eigene subjektive Wahrnehmung und Empfindung. Aus diesem Grund entstanden teilweise hohe Standardabweichungen (siehe Tab. 9). Die gut geschulten Probanden haben trotzdem Werte ermittelt die Tendenzen erkennen lassen.

Die sensorischen Bewertungen der Farbe ergaben keine gravierenden Unterschiede zwischen den hergestellten Himbeergrützen. Die Mittelwerte der verschiedenen Herstellungsverfahren lagen bei ca. 4 auf der Skala, was eine intensive rote Farbe der Himbeer-Grütze bedeutet.

Schwankungen gab es ebenfalls bei der Bewertung des säuerlichen und süßen Geschmackes. Das Attribut säuerlich bewerteten die Probanden im Schnitt für alle Grützen ähnlich. Sie empfanden den säuerlichen Geschmack mit 2,60 - 3,05 auf der Skala als deutlich erkennbar. Die Geschmacksrichtung süß wurde von den Testpersonen zwischen deutlich (3,0) bis fast stark (3,85) erkennbar ermittelt. Aus den Resultaten lässt sich ableiten, dass weder der Hochdruck noch das thermische Verfahren diese Eigenschaften beeinflussten.

Bei dem Himbeergeschmack und -geruch der Grützen verhält es sich ähnlich wie bei den vorhergehenden Attributen. Es lassen sich ebenfalls keine größeren Unterschiede zwischen den verschiedenen Herstellungsverfahren (siehe Abb. 17) ausmachen. Als einziges kann behauptet werden, dass die thermisch hergestellte Himbeer-Grütze in beiden untersuchten Eigenschaften am schlechtesten abschnitt, wenn auch nicht so deutlich wie erwartet. Die Probanden empfanden den Himbeergeruch aller Grützen als deutlich (3,33 – 2,89) erkennbar. Der Himbeergeschmack wurde von den Testpersonen zwischen deutlich (3,20) bis stark (3,95) erkennbar eingeordnet. Die Theorie besagt, dass der Hochdruck das Aroma des behandelten Produktes schont (siehe Kapitel 2.4.5).

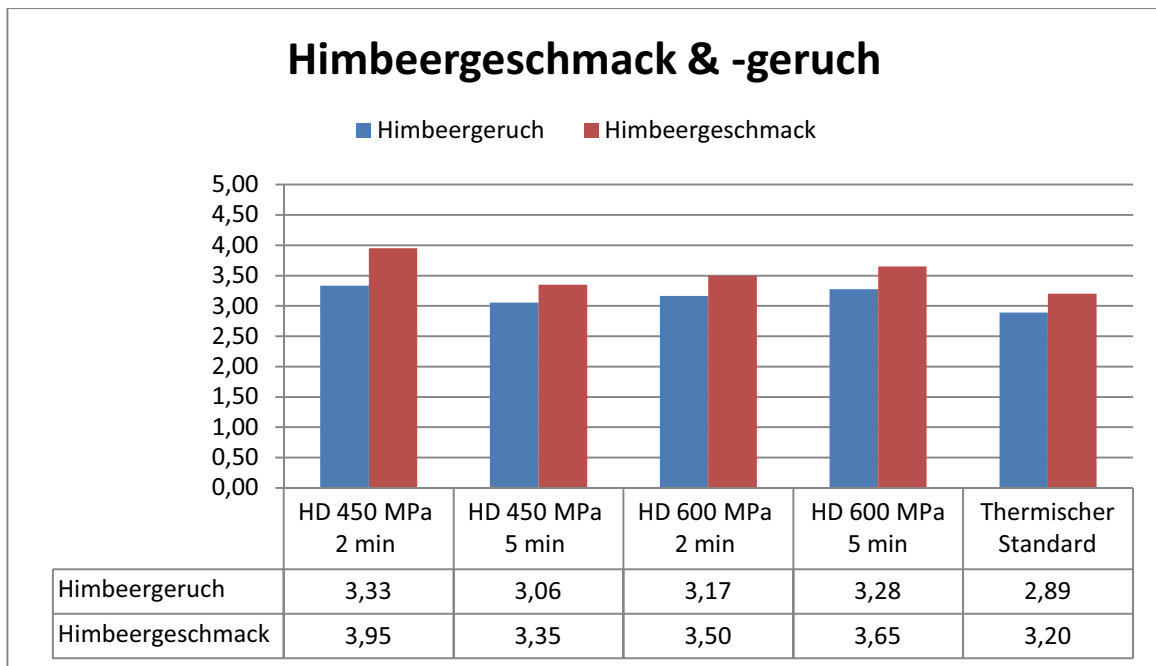


Abb. 17: Sensorische Bewertung aller Himbeer-Grützen bezüglich ihrem Himbeer-Aroma

Die Unversehrtheit (Kapitel 4.1) und Festigkeit (Kapitel 4.2) der Früchte wurden schon physikalisch analysiert. Die Parameter sollten durch die Probanden nochmal sensorisch überprüft werden (siehe Abb. 18). Dieses Mal wurden alle Hochdruckeinstellungen getestet und anstatt dem Kochbeutelverfahren das thermische Standardverfahren bewertet. Die Unversehrtheit der Himbeerfrüchte variierte kaum zwischen den Hochdruckverfahren und lag im Schnitt bei 4 auf der Bewertungsskala, bei der die 5 für „ganze Früchte“ steht. Der thermische Herstellungsprozess hinterließ keine Früchte und wurde deshalb von den Probanden mit durchschnittlich 0,3 benotet, was für „Fruchtmus (0)“ steht.

In Abb. 18 ist ebenfalls die Festigkeit der Himbeerfrüchte aufgeführt. Die Analyse durch die Testpersonen erfolgte mit der Zunge und Gaumen oder mit einem Löffel. Die Himbeeren konnten zwischen „matschiger bzw. weicher (0) und fester (5) Frucht“ bewertet werden. Besonders auffällig ist, dass mit steigenden Druck und Haltezeit, die Festigkeit der Himbeeren immer schlechter von den Probanden eingeordnet wurde. Sensorisch gesehen, befinden sich Himbeerfrüchte auf der Bewertungsskala (beginnend mit dem geringsten Druck- und Haltezeiteinstellung) zwischen 3,9 und 2,7. Die Festigkeit der thermisch behandelten Himbeeren hätte sich bei 0 befinden müssen, da die thermische Grütze keine Früchte zum bewerten besaß. Trotzdem ist ein Mittelwert von 0,05 zustande gekommen.

Die beiden sensorisch untersuchten Attribute sprechen eindeutig für die Himbeer-schonende Behandlung des Hochdruckes und im speziellen für den mit der niedrigsten Hochdruckeinstellung (450 MPa 2 min).

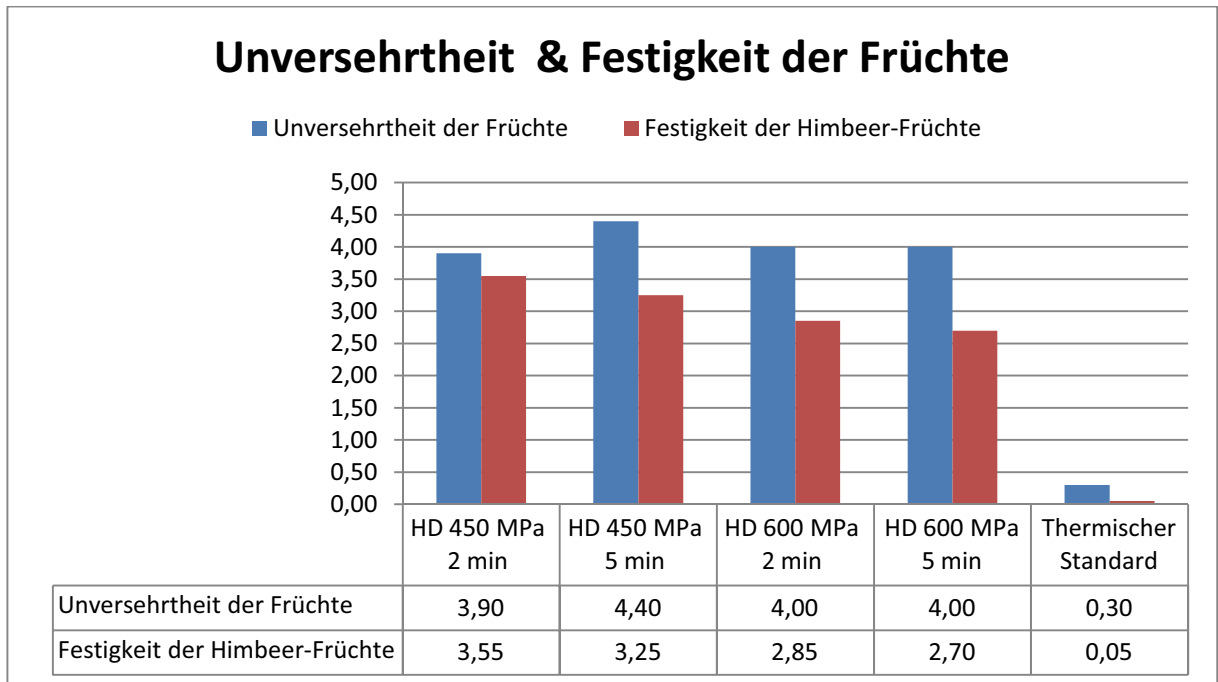


Abb. 18: Sensorische Bewertung aller Himbeer-Grützen bezüglich der Unversehrtheit und Festigkeit der Himbeerfrüchte

Der letzte Punkt auf dem Sensorik-Prüfbogen (siehe Abb. 24) war kein Attribut, sondern eine persönliche Einordnung. Die Probanden konnten ihre Präferenzen gegenüber den Himbeer-Grützen der verschiedenen Herstellungsverfahren zum Ausdruck bringen. Die hedonische Bewertung (Abb. 19) ging von „mag ich gar nicht (0)“ bis „finde ich sehr gut (5)“. Die Grützen die mit 450 MPa hergestellt wurden, erhielten beide eine 4, weil die Testpersonen keine Differenzierung durch eine längere Druckhaltezeit feststellten. Unterschiede gab es in der Beliebtheit bei der Druckeinstellung von 600 MPa. Die Grütze mit einer Druckhaltezeit von fünf Minuten schnitt mit 3,25 um einen halben Punkt besser in der Gunst der Prüfer ab als die Himbeergrütze mit der längeren Haltezeit. Das Produkt des thermischen Standardverfahrens landete mit 2,45 auf dem letzten Platz der Beliebtheits-Analyse.

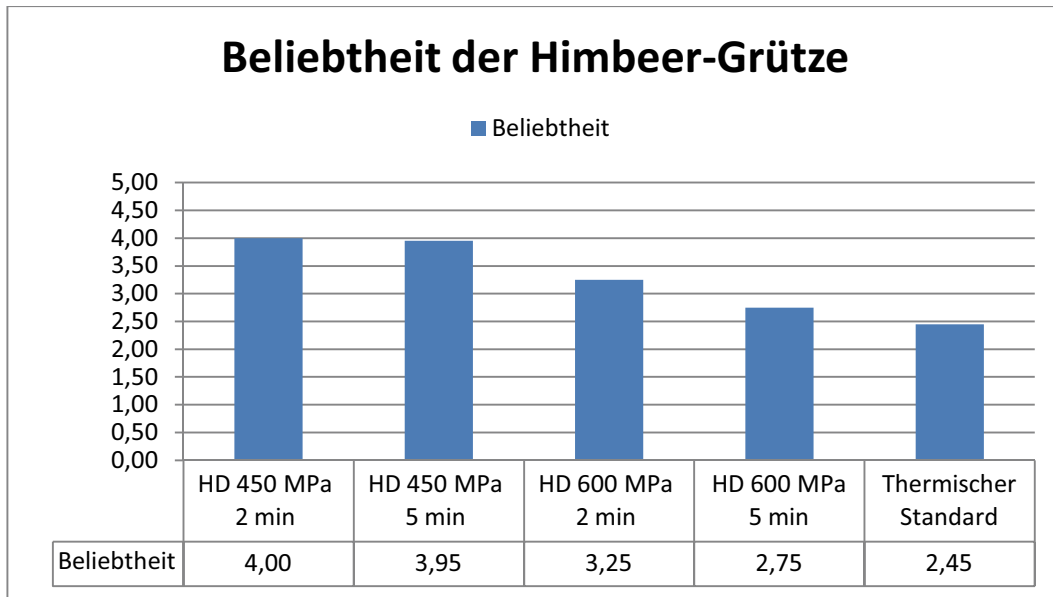


Abb. 19: Hedonische Bewertung der Himbeer-Grützen

5. Diskussion

Das Ziel der Bachelorarbeit war, es eine Grütze herzustellen, die mit Hilfe der Hochdrucktechnologie ganze Himbeeren beinhaltet. Anhand der Himbeer-Grütze sollten die Vorteile des Hochdruck-Herstellungsprozesses demonstriert werden. Der Schwerpunkt bezog sich auf die Textur der Himbeerfrucht und der daraus resultierenden Festigkeit.

Die ganzen Vorzüge der Hochdrucktechnologie nützen später der Lebensmittelindustrie nichts, wenn das entwickelte Produkt keine ähnlich gute mikrobielle Stabilität aufweist wie das Lebensmittel eines thermischen Standardverfahrens. Der dafür angesetzte Lagertest bewies, dass alle verwendeten Hochdruckeinstellung für die Grützen eine vergleichbar gute mikrobielle Sicherheit ermöglichten wie die der thermischen Verfahren. Vereinzelt traten Schwankungen in der Gesamtkeimzahl auf, die aber der lokalen Abfüllbedingung geschuldet waren und somit zu einer Rekontamination führten. Deshalb kann behauptet werden, dass die verwendeten Drücke (450 und 600 MPa) mit ihren Druckhaltezeiten (zwei und fünf Minuten) ausreichend waren, um alle Mikroorganismen zu inaktivieren.

Des Weiteren müssen die hochdruckbehandelten Grützen über einen gewissen Zeitraum stabil bleiben. Die Parameter für Stabilität sind der Zuckergehalt (in °Brix), die Farbwerte ($L^*a^*b^*$ -System), pH- und a_w -Werte. Die verschiedenen Analyseverfahren ermittelten konstante Werte über die Dauer des Lagertests und ergaben keine Abweichungen zu den Daten der thermischen Referenz-Grütze. Die ausreichend hohen Zuckergehalte von durchschnittliche 29 °Brix und die pH-Werte von knapp unter drei, erschweren ein Wachstum von Mikroorganismen und das Ausbilden von Sporen. Die stabilen $L^*a^*b^*$ -Werte zeigen, dass die Himbeer-Grütze über die Dauer des Lagertests visuell ansprechend blieb. Auffällig waren nur die Proben der achten Woche einschließlich der Referenzprobe des thermischen Produktes. Alle Himbeer-Grützen wiesen eine Verdopplung des b^* -Wertes auf. Die leichte Intensivierung des Gelbtones aller Grützen lässt sich nur durch enzymatische Aktivität erklären. Ein Fehler bei der Probenvorbereitung oder Messung ist auszuschließen, da die Analyse der Himbeer-Grützen an drei verschiedenen Tagen stattfand. Deshalb ist es eher unwahrscheinlich, dass sich genau derselbe Effekt wiederholt. Dieses Phänomen sollte bei zukünftigen Versuchen überprüft werden, auch wenn es in diesem Fall keine Auswirkung auf

die Qualität der Himbeer-Grützen hatte. Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Hochdruckprozess sich nicht negativ auf die oben genannten Parameter auswirkte.

Das Ziel war es, ein Verfahren zum Erhalt der Früchte zu entwickeln. Die Leistungsfähigkeit der Hochdrucktechnologie wurde anhand des Auszählverfahrens ermittelt. Das Hochdruckverfahren zerstört nur ca. 3 % der eingesetzten Früchte, während das Kochbeutelverfahren im Durchschnitt 15 % der Himbeeren stark beschädigte. Das thermische Referenzverfahren erzielte nicht nur schlechtere Resultate, sondern ist durch seine hohe Standardabweichung (4,43 %) unzuverlässiger als der Hochdruckprozess (1,41 %).

Der Texture-Analyser sollte die Qualität von optisch unversehrten Früchten bestimmen. Die dabei aufgewendete Kraft war ein Maß für die Festigkeit der Himbeerfrüchte. Das Referenzverfahren Kochbeutel erzeugte Himbeeren (1,635 N / 8,05 cm²). mit einer deutlich schlechteren Festigkeit im Vergleich zu den hochdruckproduzierten Früchten (6,445 N / 8,05 cm²). Die Textur der Ursprungszutat, die aufgetauten Himbeeren (9,231 N / 8,05 cm²) wurden ebenfalls ermittelt. Deswegen kann behauptet werden, dass das thermische Referenzverfahren die Festigkeit der Himbeeren um ca. 82 % schädigte, während der Hochdruckprozess die Festigkeit nur um ca. 30 % minderte.

Die Aufnahmen der Rasterelektronenmikroskopie veranschaulichten die Ursachen für die ermittelten Werte des Texture-Analysers. Sie zeigten die unterschiedlichen Auswirkungen der Herstellungsverfahren auf der zellularen Ebene. Besonderes Augenmerk galt der Zellstruktur und den Wänden der Zelle, da sie die Textur bestimmen und somit auch die Festigkeit der Himbeerfrucht. Eine gewisse Grundschädigung der TK-Himbeere durch das Schockfrostern war in den REM-Bildern deutlich zu erkennen. Es galt zu klären, in wie weit die zwei verschiedenen Herstellungsprozesse das Ausgangsmaterial zusätzlich beeinflussten. Die REM-Fotos der hochdruckbehandelten Himbeerfrucht zeigten, dass ein nicht unerheblicher Teil der Zellwände zerstört wurde. Der eliminierende Faktor setzt sich aus der Kompressions- und Dekompressionsphase zusammen und deren physikalische Beeinflussung des geringen intrazellulären Luftanteils in der Himbeere (siehe Kapitel 2.5). Die unbeschädigten Zellwände ließen keine weitere Veränderung durch den Hochdruckprozess erkennen. Das Kochbeutel-

verfahren hingegen veränderte die Zusammensetzung der Zellwände, was sich in einer nun rundlicheren Form der Zellen widerspiegelte. Das thermische Auflösen der Zellwandstruktur hatte nicht nur eine Formänderung zur Folge, sondern zerstörte in etwa im selben Umfang die Wände der Zellen wie das Hochdruckverfahren. Ein Vergleich der Zellgrößen beider Herstellungsprozesse (siehe Abb. 15 und Abb. 16) lässt einen ähnlichen hohen Zerstörungsgrad der Zellwände vermuten.

Im Bezug auf die Messwerte des Texture-Analysers kann mit Sicherheit geschlossen werden, dass die thermischen Veränderungen von den Komponenten (Cellulose, Hemicellulose, Pektin und Lignin) im Inneren der Zellwand schwerwiegendere Folgen für die Festigkeit der Himbeerfrüchte hatte als die bloße Zerstörung der Zellwände durch den Hochdruck.

Das Sensorik-Panel sollte die Verbraucherakzeptanz anhand der sensorischen Bewertung mittels zehn Probanden überprüfen. Das Hauptaugenmerk lag auf den Attributen der Grützen (Farbe, Geruch, Geschmack) und den Eigenschaften der Himbeerfrüchte (Unversehrtheit, Festigkeit). Die Testpersonen erkannten, dass mit einem Erhöhen des Druckes und der Haltezeit die Texturveränderungen am größten waren, was sie anhand einer verringerten Festigkeit der Himbeeren detektierten. Die anderen Attribute, wie das Himbeeraroma (Geruch, Geschmack) und die Unversehrtheit der Himbeerfrüchte, empfanden die Probanden leicht differenziert. Sie bewerteten die Proben so, dass sich keine Abhängigkeit bezogen auf die Eigenschaften, die Höhe des Drucks und dessen Haltezeit erkennen ließ. Im Bezug auf das Himbeeraroma und dessen Stabilität gegenüber dem Hochdruckverfahren kann keine Aussage getroffen werden. Aber sie erkannten eine Minderung des Himbeergeruches und -geschmackes durch das thermische Standardverfahren im Vergleich zu dem Hochdruckprozess. Die Farbe aller getesteten Grützen nahmen die Probanden als ähnlich intensiv wahr. In allen anderen relevanten Attributen bewerteten die Prüfer, den thermischen Referenzstandard schlechter als die vier hochdruckbehandelten Himbeer-Grützen. Die sensorische Untersuchung zu den Eigenschaften aller Proben ergaben Mittelwerte, die mit den Resultaten der anderen Analyseverfahren und den Aussagen aus der Fachliteratur übereinstimmten.

Die ganzen Untersuchungen und deren Messwerte, sagen nichts über die Beliebtheit eines Produktes aus. Deshalb sollten die sensorischen Prüfer darüber ein Urteil (siehe Tab. 8 und Tab. 9) fällen. Sie befanden die beiden Himbeer-Grützen mit der Hochdruckeinstellung 450 MPa am besten. Jeweils zwei Personen gaben eine 5 („finde ich sehr gut“). Für die Ein-

stellung 450 MPa bei zwei Minuten bewerten sogar sieben Personen die Himbeer-Grütze mit einer 4. Die andere Grütze mit der höheren Druckhaltezeit bekam nur fünfmal die Bewertung 4. Die thermische Standardreferenzprobe war mit durchschnittlich 2,45 die am wenigsten beliebteste Himbeer-Grütze in diesem Panel.

Fazit

Die Aufgabe war es, eine Himbeer-Grütze unter Verwendung der Hochdrucktechnologie herzustellen, die ganze Früchte beinhaltet. Diese Grütze sollte neben den unversehrten Himbeeren eine ähnlich gute Haltbarkeit wie bei dem thermischen Referenzverfahren aufweisen. Sie durfte ebenfalls keine Unterschiede in den Stabilität gebenden Parametern (a_w - und pH-Werte) zeigen. Das Hochdruckverfahren war im Stande, mit allen vier Hochdruckeinstellungen (450 MPa & 2 min; 450 MPa & 5 min; 600 MPa & 2 min; 600 MPa & 5 min) die oben genannten Bedingungen zu erfüllen. Im Bezug auf die Früchte wurden alle Analysen zur Textur, Festigkeit und dem Erhalt ganzer Früchte nur mit Himbeeren durchgeführt, die der höchsten Belastung (600 MPa, 5 min) ausgesetzt waren. Die Resultate der Sensorik und der Theorie (siehe Kapitel 2.5) besagen, dass die Einstellung 450 MPa bei zwei Minuten Druckhaltezeit noch bessere Ergebnisse erzielen würde im Vergleich zu dem Kochbeutelverfahren. Weiterhin ist festzuhalten, dass das Kochbeutelverfahren nur ein theoretischer Herstellungsprozess ist, da er in Industrie nicht verwendet wird. Das thermische Standardverfahren ist bis zum heutigen Tag nicht in der Lage Himbeerfrüchte in Grützen oder Fruchtzubereitungen erhalten zu können. Die Zellstruktur der TK-Himbeeren bewies keine Toleranz gegenüber der gleichzeitigen Einwirkung von thermischer Energie und mechanischen Kräften (thermisches Standardverfahren). Im direkten Vergleich von thermischer Energie (Kochbeutelverfahren) und den Kräften des Hochdruckes (Hochdruckverfahren) zeigten sich die Himbeeren eher druckresistent als thermisch stabil.

Abschließend kann mit Sicherheit behauptet werden, dass die angestrebten Ziele mit allen vier Hochdruckeinstellungen erreicht wurden.

Ausblick

Die Druckeinstellung 450 MPa birgt das größte Potential, was die Textur, die Festigkeit und die Unversehrtheit der Himbeerfrucht betrifft. In folgenden Forschungsprojekten könnte dieses Ergebnis die Grundlage für weitere Entwicklungen bilden. Des Weiteren sollte eine geringere Hochdruckeinstellung getestet werden, der die Himbeere noch besser schont und gleichzeitig die Produktionskosten senkt. Die Hochdrucktechnologie ist im Zusammenhang mit Himbeerprodukten vielversprechend, weil keine Grützen mit ganzen Himbeerfrüchten in diesem Marktsegment erhältlich sind.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Bachelorarbeit entstand am Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL) im Rahmen eines Verbundprojektes zur Hochdrucktechnologie. Die Arbeit untersucht die Auswirkungen des Hochdruckes (450 MPa & 2 min; 450 MPa & 5 min; 600 MPa & 2 min; 600 MPa & 5 min) auf eine eigens dafür entwickelte Himbeer-Grütze. Das Hauptaugenmerk lag auf den Erhalt ganzer Himbeerfrüchte und deren veränderte Struktureigenschaften durch den Herstellungsprozess.

Die Himbeer-Grütze wurde mit der Farbmessung, der a_w - und pH-Wert Bestimmung, der Messung des Zuckergehaltes (in °Brix), der mikrobiologischen Ermittlung der Gesamtkeimzahl, einem Sensorik-Panel, der Rasterelektronenmikroskopie (Strukturveränderung in der Himbeere), dem Texture-Analyser (Festigkeit der Himbeerfrucht) und dem Auszählverfahren (Unversehrtheit der Himbeere) charakterisiert. Zwei Referenzverfahren (thermisches Standardverfahren und Kochbeutelverfahren) dienten zur besseren Beurteilung der erzielten Resultate.

Die ersten fünf aufgezählten Analyseverfahren zeigten keine Unterschiede zwischen den Hochdruckverfahren (450 MPa & 2 min; 450 MPa & 5 min; 600 MPa & 2 min; 600 MPa & 5 min) und Referenzverfahren während der acht Wochen Lagertest. Alle hochdruckbehandelten Himbeer-Grützen waren stabil und aus mikrobieller Sicht verkehrsfähig.

Die restlichen Analyseverfahren konnten für die Hochdrucktechnologie eine schonendere Behandlung der Himbeeren während des Herstellungsprozesses nachweisen. Das Auszählverfahren ermittelte, dass der Hochdruck 97 % der Himbeeren unversehrt ließ. Die Rasterelektronenmikroskopie-Fotos ergaben eine geringere Gewebeschädigung der Himbeerfrucht durch den Hochdruck, was die Resultate des Texture-Analysers untermauerten. Die Früchte der Himbeer-Grütze zeigten sich eher druckresistent als thermisch stabil. Zu demselben Ergebnis kamen die Probanden des Sensorik-Panels.

7. Literaturverzeichnis

- Bridgman, P.W.:** The Coagulation of Albumen by Pressure. *Journal of biological Chemistry* 19, **1914**: S. 511-512.
- Butz, P. und Tauscher, B.:** Food chemistry under hydrostatic pressure. In: Issacs, N.S.. *High Pressure Food Science, Bioscience and Chemistry*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, **1998**: S. 134–143.
- Dalmadi, I.,** Polyak-Feher, K., & Farkas, J.: Effects of pressure and thermal-pasteurization on volatiles of some berry fruits. *High Pressure Research* 27, **2007**: S. 169-172.
- Deuchi, T. und Hayashi, R.:** High pressure treatment at subzero temperature: application to preservation, rapid freezing and rapid thawing of foods. *Colloque Inserm, John Libbey Eurotext Ltd.* 224, **1992**: S. 353–354.
- Elmadfa I.,** Aign, W., Muskat, E., und Fritzsche, D.: *Die große GU Nährwert Kalorien Tabelle*. 2. Aufl. München, Gräfe und Unzer Verlag GmbH, **2002**.
- Garcia-Palazon, A.,** Suthanthangjai, W., Kajda, P., Zabetakis, I.: The effects of high hydrostatic pressure on β -glucosidase, peroxidase and polyphenoloxidase in red raspberry (*Rubus idaeus*) and strawberry (*Fragaria* \times *ananassa*). *Food Chemistry* 88, **2004**: S.7–10.
- Gössinger, M.,** Moritz, S., Hermes, M., Ullram, T., Mayer, F., Wendelin, S., und Berghofer, E.: Farbstabilisierung bei Erdbeerprodukten. *Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-Veterinär- und Agrarwesen Austria*, 2007: S. 138-139.
- Hartmann, Chr. und Delgado, A.:** Numeric Simulation of Convective and Diffusive Transport Effects on an High-Pressure-Induced Inactivation Process. *Biotechnology and Bioengineering* 79, **2002**: S. 94-104.
- Heinz,V. und Knorr,D.:** Reduction of pathogen microorganisms by high pressure and pulsed electric fields: theoretical and practical considerations. *Ernährung* 26, **2002**: S. 102-106.
- Herrmann, K.:** *Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse*. Ulmer, Stuttgart, **2001**: S. 29 ff.:
- Hinrichs, J.:** *Ultrahochdruckbehandlung von Lebensmitteln mit Schwerpunkt Milch und Milchprodukte-Phänomene, Kinetik und Methodik*. VDI 3, **2000**: Nr. 656.

Hite, B.H.: The effect of pressure in the preservation of Milk. West Virginia Agricultural Experiment Station Bulletin No. 58, **1899**.

<http://www.bndlg.de/~bshoe/botanik/informationen/fruechte.htm> (Aufruf 14.01.2009)

http://www.nglobal.de/fileadmin/docs/NDS_Zahlen_2009.pdf (Aufruf 20.05.2010)

http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C28785004_L20.pdf (Aufruf 20.05.2010)

Ibanez, E., Lopez-Sebastian, S., Ramos, S., Tabera, J., Reglero, G.: Analysis of volatile fruit components by headspace solid-phase microextraction. *Food Chemistry* 63, **1998**: S. 281-286.

Isaacs, N.S., Coulson, M.: The effect of pressure on processes modeling the Maillard reaction. *High Pressure Bioscience and Biotechnology*. Elsevier, Amsterdam, **1996**: S. 480-484.

Jahnke, S.: Labor-Hochdruckmaschine zum schonenden Kaltsterilisieren. *ZFL* 44, **1993**: S. 82–83.

Kato, N., Teramoto, A. und Fuchigami, M.: Pectic substance degradation and texture of carrots as affected by pressurization. *Journal of Food Science* 62(2), **1997**: S. 361–398.

Knorr, D.: Effects of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality. *Food Technol* 47 (6), **1993**: S. 157–162.

Mackenzie, K. A. D.: The Structure of the Fruit of the Red Raspberry [*Rubus idaeus* L.] in Relation to Abscission. East Mailling Research Station, Kent **1978**.

Meißner, A.: Möglichkeiten der Hochdrucktechnologie zur schonenden Herstellung von Erdbeer-Fruchtzubereitung, Praxissemesterarbeit am Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik e.V. / Hochschule Neubrandenburg, **2010**. (unveröffentlicht)

Sousa, M. B., Canet, W., Alvarez, M. D., Tortosa, M. E.: Effect of processing on the texture and structure of raspberry (cv. Heritage) and blackberry (cv. Thornfree). *Eur Food Res Technol* 223, **2006**: S. 517–532

Stewart, D., Iannetta, P. P., Davies, H. V.: Ripening-related changes in raspberry cell wall composition and structure. *Phytochemistry* 56, **2001**: S. 423-428.

Stute, R., Klingler, R. W., Boguslawshi, S., Eshtiaghi, M. N. und Knorr, D.: Effects of High Pressure Treatment on Starches. *Starch/Stärke* 48, **1996**: S. 400-406.

Suthanthangjai, W., Kajda, P., Zabetakis, I.: The effect of high hydrostatic pressure on the anthocyanins of raspberry (*Rubus idaeus*). *Food Chemistry* 90, **2005**: S. 193–197.

Tauscher B.: Pasteurisierung von Lebensmitteln mit hydrostatischem Hochdruck. *AID-Verbraucherdienst* 40, **1995**: S. 52–56.

Tauscher B.: Pasteurisierung von Lebensmitteln mit hydrostatischem Hochdruck. *Flüssiges Obst* 63, **1996**: S. 125–136.

Ternes, W.: *Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung*. 2. Aufl. Hamburg, Behr's Verlag, **1990**.

Uhde High Pressure Technologies GmbH: Präsentation zu Hochdruckanlagen am DIL, **2009**.

Vardag, T. und **Körner, P.**: High pressure: A real alternative in food processing. *Food Marketing & Technology* 2, **1995**: S. 41–48.

Wong, P. T. T. und **Heremans, K.**: Pressure effects on protein secondary structure and hydrogen deuterium exchange in chymotrypsinogen: a Fourier transform infrared spectroscopic study. *Biochemica et Biophysica Acta* 956, **1988**: S. 1–8.

8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Druckinaktivierung von <i>Listeria monocytogenes</i> (a) Keimzahl/Zeit (b) Druck/Temperatur [Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V.].....	4
Abb. 2: Hochdrucksysteme (a) direkte Druckerzeugung (b) indirekte Druckerzeugung [Uhde High Pressure Technologies GmbH 2009].....	5
Abb. 3: Aufbau einer Himbeerfrucht [http://www.bndlg.de/~bshoe/botanik/informationen/fruechte.htm (Aufruf 14.01.2009)].....	6
Abb. 4: Thermischer Standardprozess.....	13
Abb. 5: Hochdruckinduzierter Prozess.....	14
Abb. 6: Herstellungsprozess Kochbeutelverfahren.....	15
Abb. 7: Prozentualer Anteil unversehrter Himbeerfrüchte.....	22
Abb. 8: Festigkeit der Himbeeren in Kraft pro 8,05 cm ²	23
Abb. 9: Farbwerte von allen frisch produzierten Himbeer-Grützen und unbehandelten, aufgetauten TK- Himbeeren.....	24
Abb. 10: Farbwerte von allen 8. Wochen gelagerten Himbeer-Grützen.....	25
Abb. 11: Zuckergehalt in °Brix von allen frisch produzierten Himbeer-Grützen.....	26
Abb. 12: pH-Werte von frisch produzierten Himbeer-Grützen.....	26
Abb. 13: aw - Werte von allen frisch produzierten Himbeer-Grützen.....	27
Abb. 14: REM-Aufnahmen von TK-Himbeere (Länge des Balken 100 µm (oben links), 50 µm (oben rechts) und 10 µm (unten links und rechts)).....	28
Abb. 15: REM-Aufnahmen einer Himbeere aus dem Kochbeutelverfahren (Länge des Balken 100 µm (oben links), 50 µm (oben rechts) und 10 µm (unten links und rechts)).....	29
Abb. 16: REM-Aufnahmen von einer hochdruckbehandelten (600 MPa, 5 min) Himbeere (Länge des Balken 100 µm (oben links), 50 µm (oben rechts) und 10 µm (unten links und rechts)).....	30

Abb. 17: Sensorische Bewertung aller Himbeer-Grützen bezüglich ihrem Himbeer-Aroma..	33
Abb. 18: Sensorische Bewertung aller Himbeer-Grützen bezüglich der Unversehrtheit und Festigkeit der Himbeerfrüchte	34
Abb. 19: Hedonische Bewertung der Himbeer-Grützen	35
Abb. 20: Analyse der Textur von aufgetauten TK-Himbeeren (Frosta AG).....	52
Abb. 21: Analyse der Textur von Himbeeren im Glas (First Fruit)	53
Abb. 22: Analyse der Textur von Himbeeren aus dem Kochbeutelverfahren.....	54
Abb. 23: Analyse der Textur von Himbeeren aus dem Hochdruckverfahren	55
Abb. 24: Sensorischer Bewertungsbogen für Himbeer-Grütze	56

9. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Rezeptur für Himbeer-Grütze.....	12
Tab. 2: Prozentualer Anteil unversehrter Himbeerfrüchte	21
Tab. 3: Gesamtkeimzahl (in KBE/g) der gelagerten Himbeer-Grützen bei 8°C.....	31
Tab. 4: Bestimmung der unversehrten Himbeerfrüchte anhand des Auszählverfahrens	48
Tab. 5: Festigkeit der Himbeeren, ermittelt mit dem Texture-Aanalyser	48
Tab. 6: Messwerte für Farbe, Grad Brix, aw- und pH-Wert vom Lagertest der Himbeer-Grützen	49
Tab. 7: Mittelwerte des Sensorik-Panels für die Himbeer-Grützen	51
Tab. 8: Beliebtheitsanalyse der Himbeer-Grützen im Rahmen des Sensorik-Panels.....	51
Tab. 9: Zusammenfassung aller Messwerte des Sensorik-Panels für Himbeer-Grütze	57

10.Anhang

Tab. 4: Bestimmung der unversehrten Himbeerfrüchte anhand des Auszählverfahrens

Herstellungsverfahren	Anzahl der unversehrten Himbeerfrüchte		unversehrte Früchte in %	Mittelwert in %	STABW in %
	vor der Behandlung	nach der Behandlung			
HD 1 (600 MPa; 5 min)	50	48	96,00	97,00	1,41
HD 2 (600 MPa; 5 min)	50	49	98,00		
Kochbeutel 2	50	41	82,00	84,50	4,43
Kochbeutel 3	50	45	90,00		
Kochbeutel 4	50	43	86,00		
Kochbeutel 5	50	40	80,00		

Tab. 5: Festigkeit der Himbeeren, ermittelt mit dem Texture-Analyser

Proben	Aufgewendete Kraft in N / 8,05 cm ²	STABW
aufgetaute Himbeeren	9,231	0,406
Pasteurisierte Himbeeren im Glas	7,331	0,639
Hochdruck (600 MPa; 5 min)	6,445	0,830
Kochbeutelverfahren	1,635	0,110

Tab. 6: Messwerte für Farbe, Grad Brix, aw- und pH-Wert vom Lagertest der Himbeer-Grützen

	Farbmesswerte				Brix	aW-Wert	pH-Wert
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)				
1;0: 450 MPa 2 min; Himbeer-Grütze frisch vom 28.07.2010 bei 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	25,08	15,88	4,84	28,48	0,97	2,90
	STABW	2,03	1,43	0,68	0,20		
2;0: 450 MPa 5 min; Himbeer-Grütze frisch vom 28.07.2010 bei 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	27,61	15,01	4,75	30,09	0,97	2,82
	STABW	0,36	0,82	0,54	0,24		
3;0: 600 MPa 2 min; Himbeer-Grütze frisch vom 29.07.2010 bei 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	23,86	14,11	4,84	28,88	0,97	2,96
	STABW	0,89	1,00	0,74	0,21		
4;0: 600 MPa 5 min; Himbeer-Grütze frisch vom 29.07.2010 bei 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	27,57	14,98	4,47	28,05	0,98	2,95
	STABW	0,21	0,39	0,27	0,05		
5;0: thermisch behandelte Himbeer-Grütze frisch vom 30.07.2010 bei 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	26,19	13,15	3,87	29,03	0,97	2,97
	STABW	0,50	1,29	0,73	0,08		
1;2: 450 MPa 2 min; Himbeer-Grütze vom 11.08.2010 2.Wo 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	28,56	13,68	0,03	30,15	0,96	2,88
	STABW	0,29	0,31	0,20	0,38		
2;2: 450 MPa 5 min; Himbeer-Grütze vom 11.08.2010 2.Wo 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	29,30	15,39	0,97	30,40	0,96	2,82
	STABW	0,24	0,34	0,33	0,14		
3;2: 600 MPa 2 min; Himbeer-Grütze vom 12.08.2010 2.Wo 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	26,85	13,22	3,66	29,86	0,96	2,95
	STABW	0,16	0,34	0,16	0,14		
4;2: 600 MPa 5 min; Himbeer-Grütze vom 12.08.2010 2.Wo 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	27,85	14,70	4,06	29,66	0,96	2,97
	STABW	0,16	0,28	0,26	0,17		
5;2: thermisch behandelt; Himbeer-Grütze vom 13.08.2010; 2.Wo 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	26,17	11,38	3,08	28,92	0,97	2,97
	STABW	0,26	0,80	0,41	0,30		
1;4: 450 MPa 2 min; Himbeer-Grütze vom 25.08.2010; 4.Wo 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	26,75	12,73	3,33	30,26	0,95	2,90
	STABW	0,17	0,39	0,20	0,20		
2;4: 450 MPa 5 min; Himbeer-Grütze vom 25.08.2010; 4.Wo 8 °C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-Wert	pH-Wert
	MW	27,49	14,72	4,21	29,29	0,95	2,91
	STABW	0,13	0,26	0,18	0,31		
3;4: 600 MPa 2 min;		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW-	pH-Wert

Himbeer-Grütze vom 26.08.2010; 4.Wo 8°C						Wert	
	MW	27,60	14,83	4,22	28,02	0,95	3,03
	STABW	0,22	0,68	0,43	0,21		
4;4: 600 MPa 5 min; Himbeer-Grütze vom 26.08.2010; 4.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	28,34	15,69	4,47	29,30	0,96	2,97
	STABW	0,23	0,56	0,28	0,02		
5;4: thermisch behandelt; Himbeer-Grütze vom 27.08.2010; 4.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	25,56	11,34	3,31	28,74	0,97	2,99
	STABW	0,99	0,88	0,42	0,19		
1;6: 450 MPa 2 min; Himbeer-Grütze vom 08.09.2010; 6.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	27,59	13,92	3,72	28,79	0,95	2,89
	STABW	0,23	0,58	0,35	0,07		
2;6: 450 MPa 5 min; Himbeer-Grütze vom 08.09.2010; 6.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	28,42	15,63	4,66	29,26	0,96	2,86
	STABW	0,31	0,61	0,39	0,07		
3;6: 600 MPa 2 min; Himbeer-Grütze vom 09.09.2010; 6.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	27,01	13,09	3,45	30,10	0,96	2,92
	STABW	0,27	0,62	0,31	0,05		
4;6: 600 MPa 5 min; Himbeer-Grütze vom 09.09.2010; 6.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	28,21	15,04	4,26	29,69	0,96	2,92
	STABW	0,15	0,40	0,29	0,10		
5;6: thermisch behandelt; Himbeer-Grütze vom 10.09.2010; 6.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	28,26	15,13	4,50	29,88	0,97	2,94
	STABW	0,42	0,59	0,35	0,05		
1;8: 450 MPa 2 min; Himbeer-Grütze vom 22.09.2010; 8.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	26,36	14,03	8,72	30,27	0,96	2,87
	STABW	0,20	0,35	0,23	0,18		
2;8: 450 MPa 5 min; Himbeer-Grütze vom 22.09.2010; 8.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	27,16	15,32	9,20	30,51	0,96	2,83
	STABW	0,31	0,47	0,27	0,34		
3;8: 600 MPa 2 min; Himbeer-Grütze vom 23.09.2010; 8.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	26,28	14,61	8,93	29,77	0,96	2,96
	STABW	0,15	0,20	0,13	0,10		
4;8: 600 MPa 5 min; Himbeer-Grütze vom 23.09.2010; 8.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	28,05	17,49	9,92	28,30	0,96	2,97
	STABW	0,30	0,49	0,38	0,37		
5;8: thermisch behandelt; Himbeer-Grütze vom 24.09.2010; 8.Wo 8°C		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	Brix	aW- Wert	pH-Wert
	MW	27,82	16,58	9,81	29,97	0,97	2,98
	STABW	0,34	0,37	0,32	0,09		

Tab. 7: Mittelwerte des Sensorik-Panels für die Himbeer-Grützen

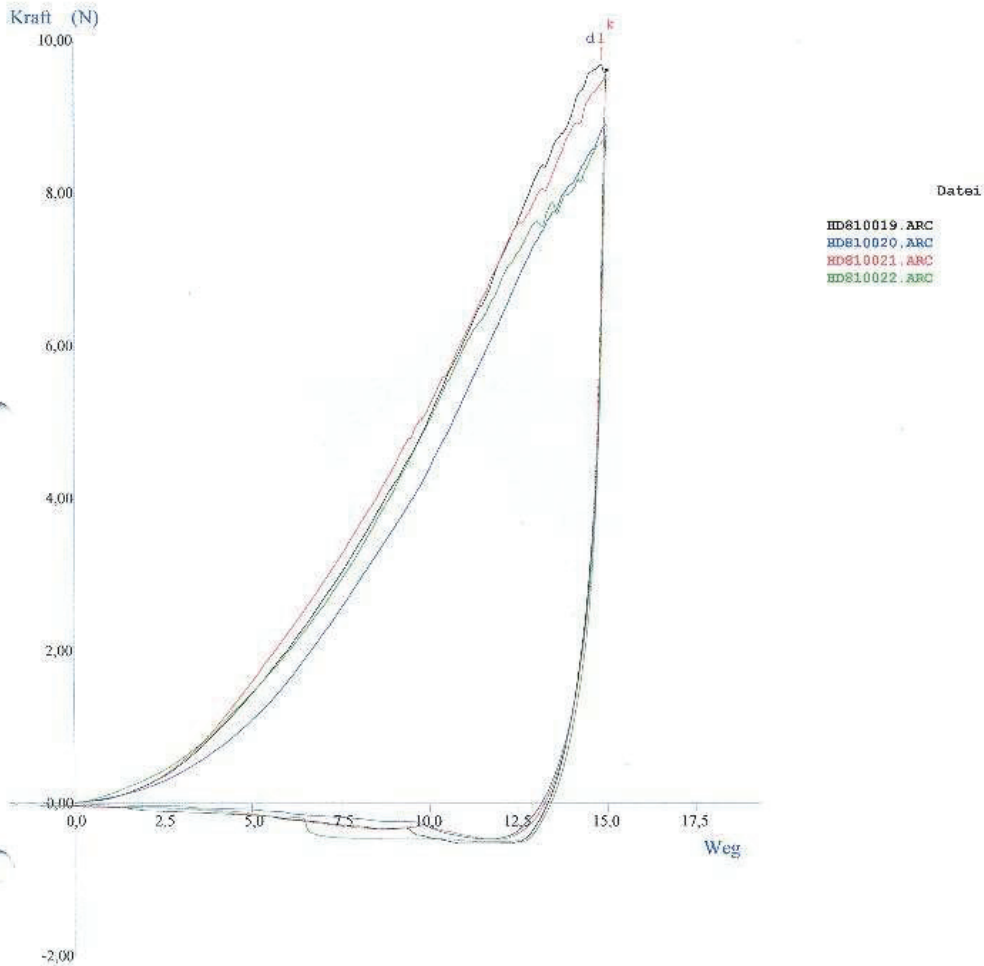
Attribute der verschiedenen Himbeer-Grützen	450 MPa 2 min	450 MPa 5 min	600 MPa 2 min	600 MPa 5 min	Thermischer Standard
Himbeergeruch	3,33	3,06	3,17	3,28	2,89
Aussehen (komplette Früchte)	3,90	4,40	4,00	4,00	0,30
Farbe	3,90	4,30	3,95	4,20	3,95
Fruchtmus (Fließeigenschaften)	3,25	3,25	3,55	3,80	4,00
Ganze Frucht (Festigkeit)	3,55	3,25	2,85	2,70	0,05
Süßer Geschmack	3,45	3,00	3,50	3,30	3,85
Säuerlicher Geschmack	2,95	3,05	2,75	2,60	2,75
fruchtiger (Himbeer-) Geschmack	3,95	3,35	3,50	3,65	3,20
Beliebtheit	4,00	3,95	3,25	2,75	2,45

Tab. 8: Beliebtheitsanalyse der Himbeer-Grützen im Rahmen des Sensorik-Panels

Proben / Prüfer	Beliebtheit				
	450 MPa 2 min (376)	450 MPa 5 min (86)	600 MPa 2 min (831)	600 MPa 5 min (293)	Thermischer- Standard (412)
1	4	3	4	2	3
2	4	5	3	4	3
3	4	4	2	1	2
4	2	4	2	4	2,5
5	4	4	3,5	3	2
6	5	4	4	0	2
7	4	3,5	3	4	4
8	4	4	3	1	1
9	5	3	4	3,5	2
10	4	5	4	5	3
MW	4,00	3,95	3,25	2,75	2,45
STABW	0,82	0,69	0,79	1,65	0,83

Stable Micro Systems - Texture Expert

Himbeeren TK



Test ID	Distance 1 mm	Kraft 1 N	Fläche-KD 1:2 N mm	Fläche-KD 2:3 N mm	Kraft 2 N
HD810019	14,855	9,683			
HD810020	14,990	8,901			
HD810021	15,000	9,582			
HD810022	15,000	8,759			
Mittelwert	14,961	9,231			
Standardabw.	0,061	0,406			

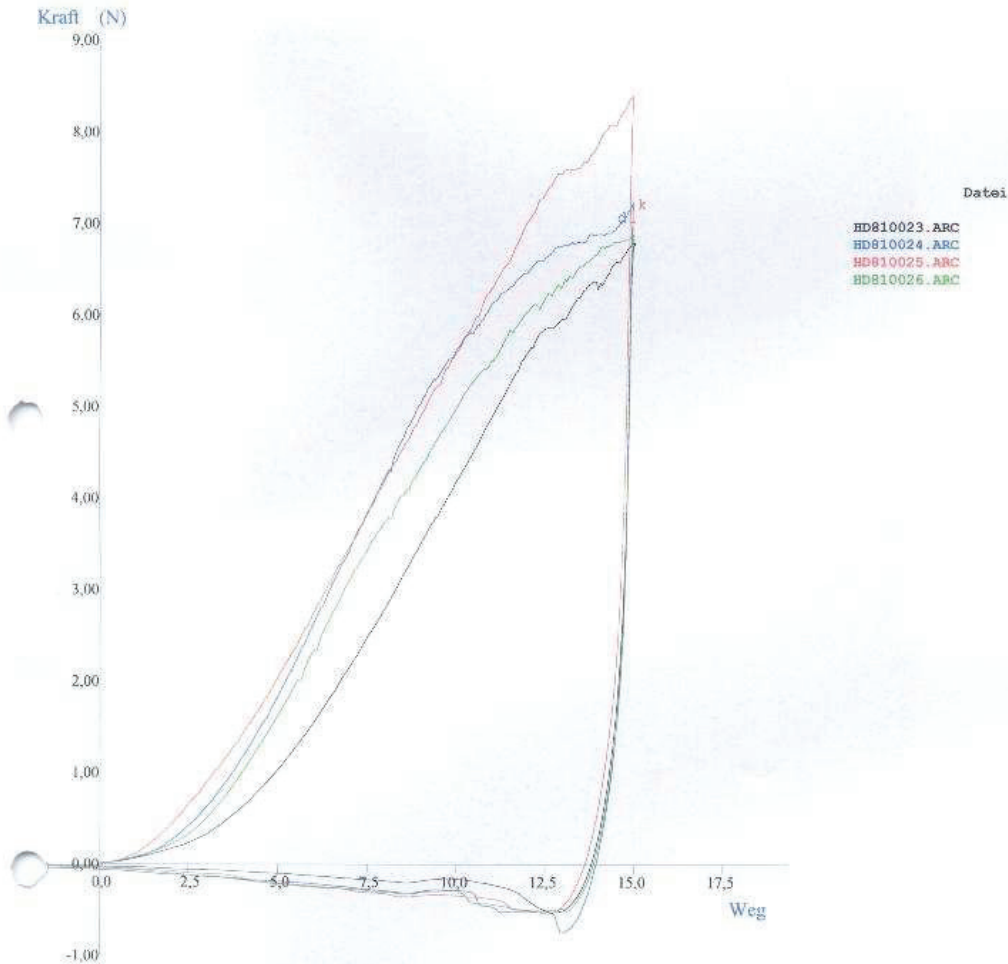
DATEINAME	TEST ART	TEST METHODE	VOR-GESCH.	GESCHW.	RÜCK-GESCH.	KRAFT	WEG	ZEIT	WIEDERHOL.	AUSLÖSEWERT	PPS
HD810019	Kraft/Druck	Einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,t
HD810020	Kraft/Druck	Einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,t
HD810021	Kraft/Druck	Einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,t
HD810022	Kraft/Druck	Einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,t

DATEINAME	SONDE	MEßZELLE	TEMPERATUR	FLÄCHE	HÖHE	BREITE	LÄNGE
HD810019	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm ²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm
HD810020	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm ²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm
HD810021	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm ²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm
HD810022	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm ²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm

Abb. 20: Analyse der Textur von aufgetauten TK-Himbeeren (Frosta AG)

Stable Micro Systems - Texture Expert

Himbeeren aus dem Glas FF



Test ID	Distance 1 mm	Kraft 1 N	Fläche-KD 1:2 N mm	Fläche-KD 2:3 N mm	Kraft 2 N
HD810023	14,983	6,787			
HD810024	15,000	7,241			
HD810025	15,000	8,399			
HD810026	15,000	6,896			
Mittelwert	14,996	7,331			
Standardabw.	0,007	0,639			

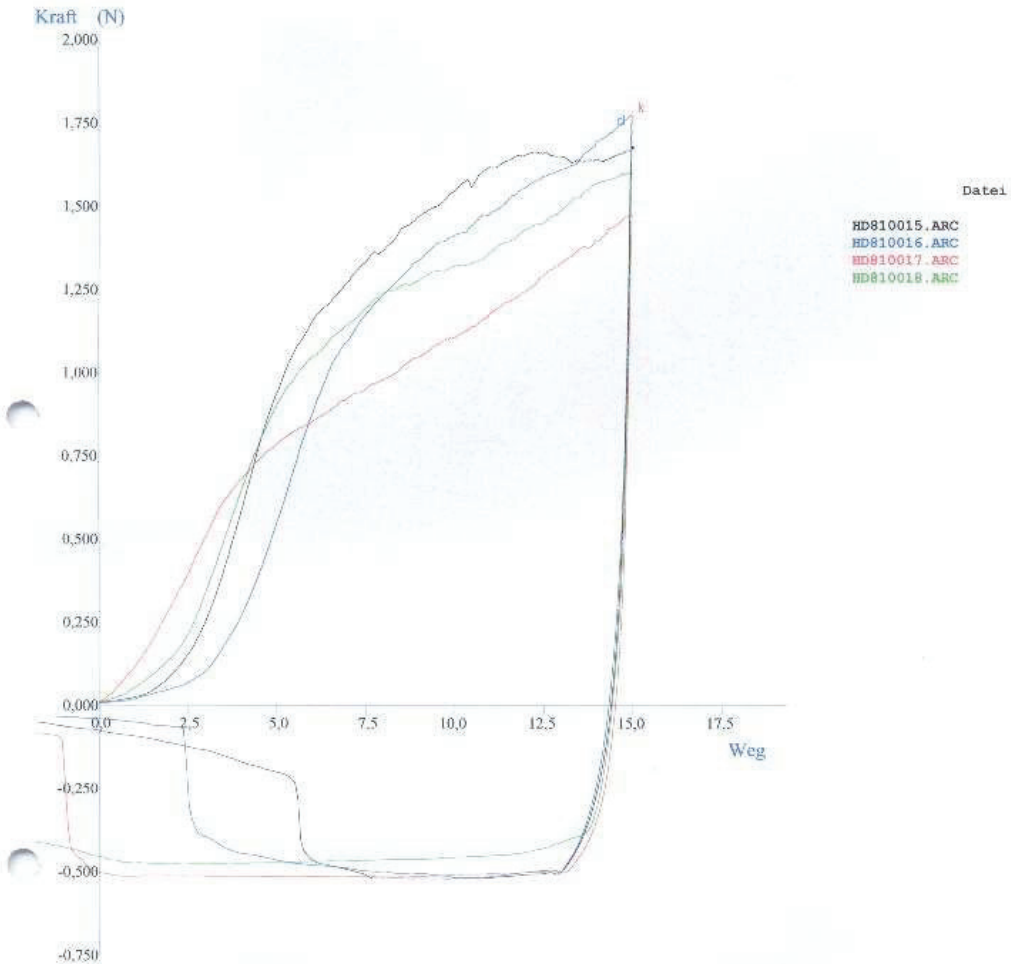
DATEINAME	TEST ART	TEST METHODE	VOR-GESCH.	GESCHW.	RÜCK-GESCH.	KRAFT	WEG	ZEIT	WIEDERHOL.	AUSLÖSEWERT	PPS
HD810023	Kraft/Druck	Einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,0
HD810024	Kraft/Druck	Einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,0
HD810025	Kraft/Druck	Einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,0
HD810026	Kraft/Druck	Einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,0

DATEINAME	SONDE	MEßZELLE	TEMPERATUR	FLÄCHE	HÖHE	BREITE	LÄNGE
HD810023	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm
HD810024	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm
HD810025	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm
HD810026	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm

Abb. 21: Analyse der Textur von Himbeeren im Glas (First Fruit)

Stable Micro Systems - Texture Expert

Himbeeren KB



Test ID	Distance 1 mm	Kraft 1 N	Fläche-KD 1:2 N mm	Fläche-KD 2:3 N mm	Kraft 2 N
HD810015	15,000	1,679			
HD810016	14,993	1,777			
HD810017	15,000	1,475			
HD810018	15,000	1,608			
Mittelwert	14,998	1,635			
Standardabw.	0,003	0,110			

DATEINAME	TEST ART	TEST METHODE	VOR-GESCH.	GESCHW.	RÜCK-GESCH.	KRAFT	WEG	ZEIT	WIEDERHOL.	AUSLÖSEWERT	PPS
HD810015	Kraft/Druck	Ein einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,1
HD810016	Kraft/Druck	Ein einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,1
HD810017	Kraft/Druck	Ein einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,1
HD810018	Kraft/Druck	Ein einfacher Test	1,0mm/s	1,0mm/s	2,0mm/s	N/A	15,0mm	N/A	N/A	0,009N	200,1

DATEINAME	SONDE	MEßZELLE	TEMPERATUR	FLÄCHE	HÖHE	BREITE	LÄNGE
HD810015	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm
HD810016	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm
HD810017	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm
HD810018	Gitter d	5	0,0 °C	40,00 mm²	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm

Abb. 22: Analyse der Textur von Himbeeren aus dem Kochbeutelverfahren

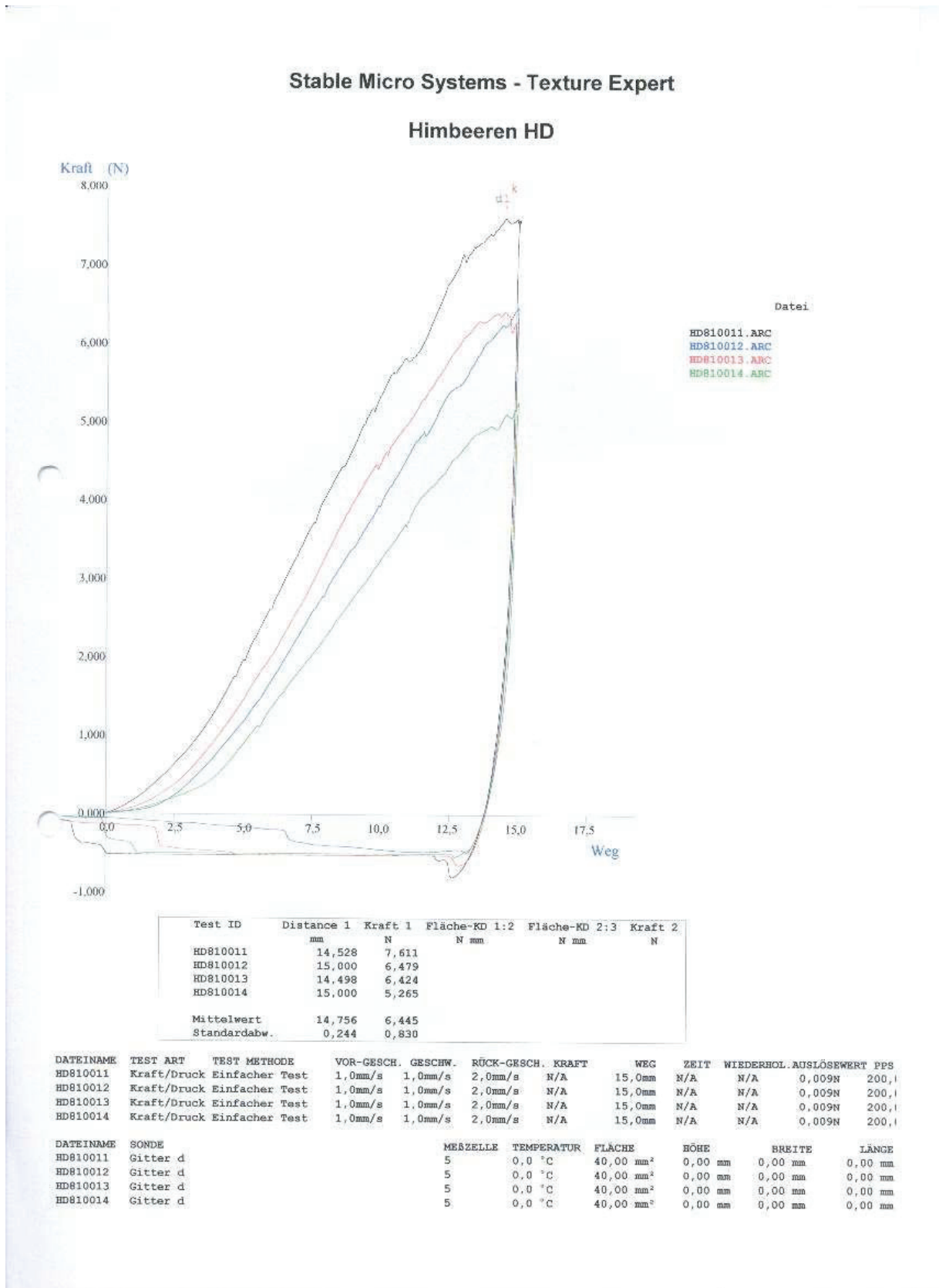


Abb. 23: Analyse der Textur von Himbeeren aus dem Hochdruckverfahren

Prüfbogen: Himbeergrütze

Prüfer:

Datum:

Proben-Nr.:

Prüfanweisung:

Gebt bitte an, in welcher Intensität (Skale 0-5) Ihr die beschriebenen sensorischen Merkmals-eigenschaften bei dem vorliegendem Muster empfindet. Bitte beachtet die Legende.

Legende:

0 = nicht erkennbar

1 = sehr schwach erkennbar

2 = schwach

3 = deutlich

4 = stark

5 = sehr stark

Himbeergeruch

0-----1-----2-----3-----4-----5

Unversehrtheit der Früchte

0-----1-----2-----3-----4-----5

*Fruchtmus**ganze Früchte*

Farbe

0-----1-----2-----3-----4-----5

*blasses Rot**intensives dunkles Rot*

Textur:

Fruchtmus (Fließeigenschaft)

0-----1-----2-----3-----4-----5

*flüssig**zähfließend**kurze, feste Struktur*

Ganze Frucht (Festigkeit)

0-----1-----2-----3-----4-----5

*weich,
matschig**feste Frucht*

Süßer Geschmack

0-----1-----2-----3-----4-----5

Säuerlicher Geschmack

0-----1-----2-----3-----4-----5

fruchtiger Geschmack
(Himbeergeschmack)

0-----1-----2-----3-----4-----5

Beliebtheit

0-----1-----2-----3-----4-----5

*Mag ich gar nicht**finde ich sehr
gut*

Bemerkung:

Ist ein Fehlgeschmack oder Fehlgeruch wahrnehmbar und wenn ja welcher?

.....
.....

Abb. 24: Sensorischer Bewertungsbogen für Himbeer-Grütze

Erklärung über die selbständige Anfertigung der Arbeit

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

Ort, Datum

Unterschrift