

Backen mit und ohne Ei

**Die Funktionen des Eis im Kuchenteig
und mögliche Ersatzstoffe**



**Serena Schmidt, 4na
Betreut von Rainer Steiger
Kantonsschule Schaffhausen
Dezember 2021**

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
1 Motivation	3
2 Was ist das Ziel dieser Arbeit? Leitfragen und Hypothesen.	3
3 Vorgehen und Methoden	4
Theorie und wissenschaftliche Grundlagen	6
4 Gründe dafür, weniger Eier zu konsumieren	6
5 Das Hühnerei	8
5.1 Aufbau	8
6 Das Backen von Kuchen	9
6.1 Übersicht der Funktion der Zutaten	9
6.2 Teigauflockerung	11
Biologische Teigauflockerung	11
Chemische Teigauflockerung	12
Physikalische Teiglockerung	13
Schäume	13
Wichtiges im Umgang mit Eischnee	14
6.3 Struktur und Stabilität durch Proteindenaturierung	15
Proteindenaturierung	16
6.4 Struktur und Stabilität durch Stärkeverkleisterung und Bildung von Gluten	17
Experimente	21
7 Testreihe zu verschiedenen Ei-Ersatzstoffen	21
7.1 Vorgehen	21
7.2 Vorbereitung und Material	22
7.3 Durchführung	22
7.4 Resultate	24
7.5 Interpretation	29
Weshalb ist der Muffin nicht durchgebacken?	29
Warum geht der Muffin gar nicht oder nur wenig auf?	30
7.6 Fazit	31
Der am besten geeignete Ei-Ersatz	32
8 Testreihe mit Biskuitteig	33

8.1	Biskuitteig	33
8.2	Variante 1: Biskuit mit Backpulver	33
8.3	Vorgehen	33
8.4	Vorbereitung und Material	33
8.5	Durchführung	34
8.6	Resultate	35
8.7	Interpretation	39
9	Variante 2: Biskuit mit Eischnee und Genueser Biskuit	41
9.1	Vorgehen	41
9.2	Vorbereitung und Material	41
9.3	Durchführung	42
9.4	Resultate	43
9.5	Interpretation	48
	Kuchen 1 und 2	48
	Schaum aus Aquafaba	49
	Schlussfolgerungen	50
	Danksagung	54
	Abbildungsverzeichnis	55

Einleitung

1 Motivation

Für mich war von Anfang an klar, dass ich eine naturwissenschaftliche Maturarbeit schreiben will, die auch einen praktischen Aspekt beinhaltet. So kann ich Wissenschaft mit Praxis verbinden und die Hintergründe einer Praxis erforschen und verstehen. Ich tat mich jedoch sehr schwer bei der Themensuche, weil es so viele interessante Themenbereiche gibt. Dann kam ich auf die Idee, eine Arbeit über die chemischen und physikalischen Vorgänge beim Backen und Kochen zu schreiben. Die Zubereitung von Essen ist etwas, mit dem ich und jeder von uns tagtäglich konfrontiert wird, aber ich habe nur selten darüber nachgedacht, welche physikalischen und chemischen Vorgänge eigentlich dabei ablaufen. Auch in der Schule im Hauswirtschaftsunterricht wurde uns nur das Wie beigebracht und nicht das Warum. Wieso klebt manchmal Angebranntes an der Pfanne fest? Warum läuft die Milch bei zu starker Erhitzung über? Solche Fragen lassen sich durch Chemie und Physik erklären und machen sie damit auch gleich spannender.

Da dieser Themenbereich viel zu umfangreich für eine Maturarbeit ist, musste ich stark eingrenzen, was genau ich untersuchen will. Schlussendlich entschied ich mich dann für „Backen mit und ohne Ei“. Eier sind ein extrem vielseitiges Lebensmittel und besitzen viele nützliche Eigenschaften. Sie sind aus der Küche nicht wegzudenken. Ausserdem waren meine Eltern von der Vorstellung begeistert, dass ich im Rahmen meiner Arbeit viele Kuchen backen würde. Nicht zuletzt ist das Thema sehr aktuell. Viele Menschen, wollen heutzutage aus verschiedenen Gründen auf Eier verzichten. Um diese ersetzen zu können, muss man erstmal verstehen, was sie eigentlich tun.

2 Was ist das Ziel dieser Arbeit? Leitfragen und Hypothesen.

In sehr vielen Kuchenrezepten wird verlangt, dass man dem Teig Eier untermischt. Manchmal soll man auch nur Eigelb oder Eiklar beifügen oder die Eier zuerst zu einem Schaum schlagen. Ich möchte verstehen, welchen Zweck die Eier im Kuchen erfüllen und welche chemischen Vorgänge dahinterstecken. Dies möchte ich in erster Linie durch selbstständiges Experimentieren herausfinden.

Aufgrund der aktuellen Diskussion, dass der Mensch seinen Konsum von Fleisch und anderen tierischen Produkten verringern sollte, um unseren Planeten zu schonen, will ich herausfinden, ob und mit welchen Lebensmitteln man Eier ersetzen könnte.

An folgenden Leitfragen will ich mich orientieren:

- Welche chemischen Vorgänge laufen bei der Kuchenherstellung ab?
- Weshalb braucht man Eier im Kuchen? Welche Funktionen erfüllen sie?
- Ist es möglich die Eigenschaften von Eiern mit anderen Stoffen zu ersetzen?
- Kann man in einem normalen Rezept einfach die Eier durch eine andere Zutat austauschen oder braucht es speziell angepasste Rezepte für den Ei-Ersatz, um das gleiche Ergebnis zu erhalten?

Dazu habe ich mir folgende Hypothesen (Annahmen) überlegt:

- Das Ei trägt massgeblich dazu bei, dass der Kuchen seine typischen Eigenschaften erhält. Lässt man das Ei weg, erhält man ein komplett anders Ergebnis.
- Es gibt keinen Ei-Ersatzstoff, der jede Funktion des Eis ersetzen kann. Z.B.: Ein Ersatz, der für Stabilität wichtig ist, kann keinen luftigen Schaum bilden, wie es Eiklar kann.
- Benutzt man Ei-Ersatz (Lupinenmehl, Sojamehl), kann es sein, dass im Rezept zum Beispiel Flüssigkeit fehlt und man noch welche hinzufügen muss. Also muss man für manche Ei-Ersatzstoffe das Rezept anpassen, damit man ein ähnliches Ergebnis erhält.
- Die Wahl des Ei-Ersatzes hängt davon ab, welchen Geschmack man erzeugen will.

3 Vorgehen und Methoden

Um die Hypothesen in der Praxis zu überprüfen und die Leitfragen zu beantworten wurde eine qualitative Feldstudie in Form einer Experimentenreihe durchgeführt. Es handelt sich um eine deduktive Vorgehensweise (Testen einer bereits vorhandenen Theorie mittels Experimenten). Des Weiteren wurde eine Geschmacks- und Konsistenzprüfung der Resultate mit einigen Probanden durchgeführt. Für die theoretische Grundlage wurde auf Fachliteratur zurückgegriffen.

Zuerst wurde Testreihe Nr. 1 durchgeführt, um herauszufinden, welcher Stoff sich am besten als Ei-Ersatz eignet, um diesen dann weiter zu untersuchen. Dazu wurde ein Rührteiggrundrezept ausgesucht, in welchem die Eier durch insgesamt 6 verschiedene Lebensmittel ersetzt wurden, die im Internet als geeignet vorgeschlagen wurden. Als Referenz wurde auch das Grundrezept mit Eiern hergestellt. Bei der Herstellung dieser Gebäcke wurde darauf geachtet, dass bei jedem die gleichen

Grundvoraussetzungen herrschten. Die Menge der Zutaten, die Backzeit und auch die Dauer der Teigbearbeitung waren bei allen Testgebäcken gleich. Die Daten wurden dann mithilfe einiger Verkoster erhoben, die die Rückmeldung mündlich mitteilten. Aufgrund der Ergebnisse wurde der für die Zwecke dieser Arbeit am besten geeignete Ersatz ausgewählt, um diesen in der Testreihe Nr. 2 näher zu untersuchen.

In der Testreihe Nr. 2 wurden die Eigenschaften des Eis am Beispiel Biskuitteig untersucht. Es wurden zwei verschiedene Varianten mit unterschiedlichen Triebmitteln ausgewählt:

Variante 1: Backpulver

Variante 2: Eischnee oder ganze geschlagene Eier

Die Varianten wurden jeweils einmal mit Ei und dann auch mit Ei-Ersatz gebacken und dadurch die Funktionen des Eis ermittelt. In Variante 1 wurde der in der ersten Testreihe ausgesuchte Ersatzstoff verwendet und in Variante 2 ein Ersatzstoff, der Schaum bilden kann, um den Eischnee zu ersetzen zu können. Auch bei diesen Experimenten wurden Daten mithilfe von den Verkostern erhoben.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Experimenten wurden miteinander verglichen und daraus abgeleitet, ob die Hypothesen zutreffen. Die zuvor formulierten Leitfragen konnten ebenfalls alle aufgrund der Erkenntnisse beantwortet werden.

Theorie und wissenschaftliche Grundlagen

4 Gründe dafür, weniger Eier zu konsumieren

Das Ei ist bei den meisten Menschen ein fester Bestandteil der Ernährung. Die Nachfrage nach Ei steigt beharrlich, gerade im Jahr 2020 ist der Anstieg aussergewöhnlich hoch, was auch auf die Corona-Pandemie zurückzuführen ist. Aufgrund der Schliessungen in der Gastronomie verringerte sich der Absatz im Food-Service-Kanal. Der Absatz im Detailhandel hingegen erreichte einen neuen Allzeitrekord, denn durch den Lockdown erhöhte sich der Heimkonsum von Lebensmitteln stark, da viel mehr zu Hause gebacken und gekocht wurde. 2019 konsumierte jeder Schweizer im Durchschnitt 184¹ Eier. Im Jahr 2020 stieg der Pro-Kopf-Verbrauch auf 189² Eier an. Zählt man die Eier mit, welche in Fertiggerichten, Saucen oder Fertiggebäck enthalten sind, konsumiert der Schweizer im Durchschnitt sogar 200 Eier im Jahr. Das ist auch kein Wunder, denn das Hühnerei ist ein sehr vielseitiges Lebensmittel und wird für eine Vielzahl an Gerichten verwendet. Das Ei nimmt aufgrund seiner Fähigkeiten viele verschiedene Rollen bei der Zubereitung ein. Bei der Herstellung von Mayonnaise beispielsweise wirkt das Ei als Emulgator, um Fett und Wasser miteinander vermischen zu können, obwohl sie normalerweise nicht vermengbar sind. Auch verleiht Eigelb Keksen eine goldene Farbe, wenn man sie vor dem Backen damit einstreicht.

Diese und weitere Eigenschaften machen das Ei für den Menschen sehr nützlich. Also weshalb sollte man es ersetzen? Für Menschen, die sich vegan ernähren wollen, ist es ein wichtiges Thema. Aber auch Menschen, die aus gesundheitlichen Gründen wenig oder keine Eier essen sollten, müssen auf geeignete Alternativen zurückgreifen können. Dazu kommen auch ethische Gründe, denn nicht alle Eier stammen aus Betrieben, welche die Hennen artgerecht halten. Weltweit liegt der Anteil von Hühnern, die in Käfighaltung gehalten werden, geschätzt bei über 60%³. In der Schweiz (seit 1992) und der EU ist die Käfighaltung verboten⁴. Stattdessen gibt es die Käfighaltung mit ausgestalteten Käfigen, wo die Hühner aber nur wenig mehr Platz und Lebensqualität haben. Da Hähne keine Eier legen können, werden die männliche Küken „entsorgt“. Sie werden mit CO₂ vergast oder geschreddert und zum Beispiel zu Tierfutter verarbeitet⁵.

1

https://www.blw.admin.ch/dam/blw/de/dokumente/Markt/Marktbeobachtung/Eier/Marktzahlen/mbe_excel.xlsxm.download.xlsxm/MBE_Excel.xlsxm

²https://www.blw.admin.ch/dam/blw/de/dokumente/Markt/Marktbeobachtung/Eier/Marktberichte/mbe_2021.pdf.download.pdf/mbe_2021_d.pdf

³ <https://www.compassionlebensmittelwirtschaft.de/media/5789260/laying-hens-egg-production-in-the-eu.pdf>

⁴ <https://www.agstg.ch/magazin/magazin-archiv/58-/albatros-32/281-wiedereinfuehrung-kaefighaltung-in-der-schweiz.html>

⁵ <https://de.wikipedia.org/wiki/Eintagsk%C3%BCken>

Der Anteil von den von Schweizern konsumierten Eiern, die aus Bodenhaltung und Import stammen und im Detailhandel abgesetzt wurden stieg 2020 von 49,9% auf 50,1%⁶. Das ist zwar nur ein Unterschied von 0,2%, umgerechnet sind das jedoch 1,85 Millionen Eier. Noch dazu kommt, dass ein Grossteil der importierten Eier aus den Niederlanden stammt, wo 2016 noch mehr als 61 %⁷ der Legehennen in Bodenhaltung gehalten wurden. Bodenhaltung ist zwar besser als Käfig- oder Kleingruppenhaltung, jedoch haben die Hennen auch in der Bodenhaltung wenig Platz. Laut EU-Richtlinien dürfen bis zu 9 Hühner pro Quadratmeter gehalten werden⁸. Umgerechnet hat so jedes Huhn nur 1111.11 Quadratzentimeter zur Verfügung, was ca. 2 A4-Blättern entspricht.

Viele Leute versuchen zwar bewusst einzukaufen und konsumieren nur Schaleneier (ganze Eier) aus Bio- oder Freilandhaltung. Jedoch „verstecken“ sich Eier aus weniger tierfreundlichen Haltungsbedingungen in Produkten, die Ei enthalten. Die Hersteller greifen gerne auf die billigsten Zutaten zurück. Da Eier aus Käfig- oder Bodenhaltung billiger sind als Bio- und Freiland Eier, kann es sein, dass man trotz der guten Vorsätze solche Eier konsumiert. Meistens ist es auch sehr schwierig oder gar unmöglich, herauszufinden, woher die enthaltenen Eier stammen. Die Verwendung von Bio-Eiern verteuert solche Produkte und manche greifen dann lieber auf die billigeren Produkte zurück.

Ein weiterer Grund ist, dass wir unseren heutigen Lebensstil den Umständen anpassen sollten und versuchen sollten, unseren Konsum von tierischen Lebensmitteln wenigstens ein bisschen zu reduzieren. Die Produktion von tierischen Lebensmitteln verbraucht Unmengen von Ressourcen, da die Tiere Platz und Futter brauchen, welches auch angebaut und bewässert werden muss. Für die Produktion eines Eis werden im Durchschnitt 200⁹ Liter Wasser benötigt. Diese Berechnung enthält den Wasserverbrauch für Futteranbau, Trinkwasser und Stallsäuberung pro Henne. Das meiste von diesem Wasser wird zur Bewässerung der Futterpflanzen benötigt. Wird Soja aus Übersee gefüttert, ist diese Zahl sogar noch höher, da das Soja in wasserarmen Regionen extra bewässert werden muss. Aber auch das Trinkwasser für die Hennen und Wasser zur Reinigung des Stalls fließen in diese Zahl mit ein. Vergleicht man sie mit dem Wasserverbrauch von Kartoffeln wird der grosse Unterschied klar: Für 1 Kilogramm Kartoffeln werden ca. 135 Liter¹⁰ verbraucht. Ein durchschnittliches Hühnerei wiegt etwa 50 Gramm¹¹. 1 Kilogramm Ei verbraucht also 4000 Liter Wasser (200 Liter * 20). Der Wasserverbrauch für 1 Kilogramm Ei ist also fast dreissig mal so hoch wie für ein Kilogramm Kartoffeln!

6

https://www.blw.admin.ch/dam/blw/de/dokumente/Markt/Marktbeobachtung/Eier/Marktzahlen/mbe_excel.xlsm.download.xlsm/MBE_Excel.xlsm

⁷ <https://www.food-monitor.de/2016/07/legehennen-in-der-eu-grosse-unterschiede-in-den-haltungsformen/>

⁸ <https://www.huehner-hof.com/wissen/haltung-wissen/was-ist-bodenhaltung/>

⁹ <https://www.youtube.com/watch?v=SAQcqXW7vxA>

¹⁰ <https://www.topagrar.com/acker/news/wasserverbrauch-von-kartoffeln-betraegt-135-1-kg-9863419.html>

¹¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/H%C3%BChner#Eigewicht>

5 Das Hühnerei

Das Ei dient den Hühnern zur Fortpflanzung. Hennen legen jedoch auch Eier, wenn sie gar nicht befruchtet sind. Das liegt daran, dass bei den Hühnern immer ein Ei heranreift, egal ob ein Hahn in der Nähe ist oder nicht. Die Henne legt so lange Eier, bis das Gelege gross genug ist und beginnt dann mit der Brut, damit die Küken alle etwa zum gleichen Zeitpunkt schlüpfen. Nimmt man dem Huhn seine Eier immer wieder weg, erreicht das Gelege nie die richtige Grösse und das Huhn produziert weiter Eier. Die Legeleistung der Haushühner konnte in den letzten 70 Jahren mehr als verdoppelt werden. 1950 legte ein Huhn im Durchschnitt noch 120 Eier, heute gibt es Hochleistungsrassen, die über 300 im Jahr legen können¹².

5.1 Aufbau

Das Hühnerei hat einen komplexeren Aufbau, als man meinen könnte. Stark vereinfacht besteht das Ei aus drei Teilen: Eierschale, Eiklar und Eidotter.

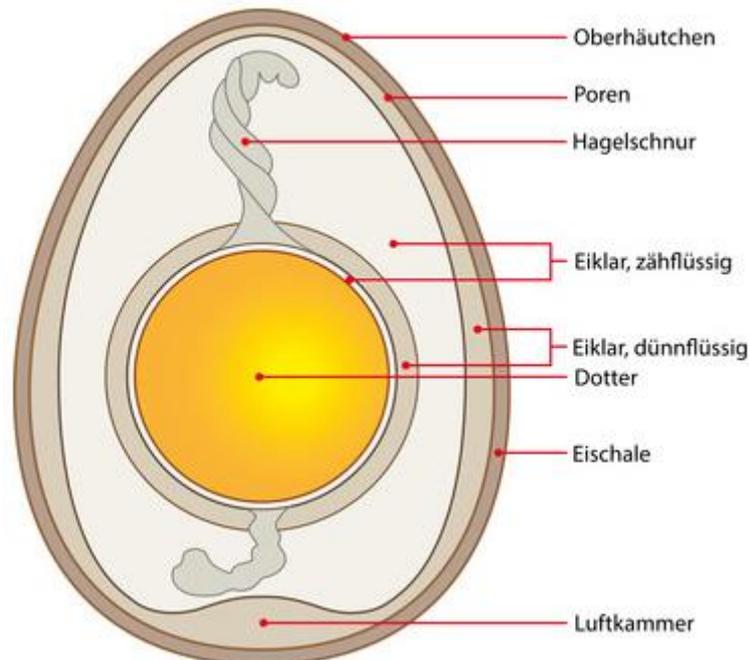


Abbildung 1: Aufbau des Hühnereis

Die Eierschale besteht hauptsächlich aus Kalziumkarbonat. Sie schützt das Innere des Eis, und die vielen kleinen Poren in der Schale gewährleisten eine ausreichende Sauerstoffversorgung des Kükens. Um die Kalkschale herum liegt das Oberhäutchen. Es verhindert ein Eindringen von Krankheitserregern. Aus diesem Grund werden Eier vor dem Verkauf nicht gewaschen, da beim Waschen das Oberhäutchen beschädigt wird und dann Krankheitserreger ins Ei eindringen können. Im Innern legt sich die

¹² https://de.wikipedia.org/wiki/H%C3%BChnerei#Verwendung_als_Lebensmittel

Eierschalenmembran um das gesamte Ei und verhindert ebenfalls ein Eindringen von Krankheitserregern. Am stumpfen Pol des Eis teilt sie sich und bildet so die Luftkammer¹³.

Das Eiklar besteht zu 87% aus Wasser, zu 11 % aus Protein und der Rest sind Kohlenhydrate und Mineralstoffe¹⁴. Das Eiklar ist keine einheitliche Flüssigkeit, vielmehr besteht sie auch aus mehreren Schichten, die eine unterschiedliche Viskosität haben. Der Eidotter wird mithilfe der zähflüssigen Schichten und den Hagelschnüren, an seinem Platz fixiert.

Der Eidotter besteht zu 16% aus Proteinen, zu 32% aus Fett und zu 50% aus Wasser. Die restlichen 2% machen verschiedene Mineralstoffe und Kohlenhydrate aus¹⁵. Im Dotter sind die meisten Nährstoffe gespeichert, die ein Küken für seine Entwicklung braucht.

6 Das Backen von Kuchen

Beim Kuchen handelt es sich meist um ein süßes Gebäck, es gibt aber auch herzhaftere Varianten. Man unterscheidet vor allem zwischen Blechkuchen und Kuchen aus einer Backform. Die Begriffe „Kuchen“ und „Torte“ werden meist als Synonyme verwendet, jedoch unterscheiden sich Kuchen und Torten tatsächlich in dem Punkt, dass beim Kuchen die Füllung mitgebacken wird und bei der Torte die Füllung erst nach dem Backen hinzugefügt wird. Die verschiedenen Teigvarianten können sowohl für Kuchen als auch für Torten verwendet werden, wobei es jedoch Varianten gibt, die nicht gut für eine gefüllte Torte geeignet sind.

Ein Kuchenteig besteht in der Regel aus Mehl, Zucker, Fett (z. B. Butter, Margarine), Flüssigkeit (z. B. Wasser, Milch), Triebmittel (z. B. Backpulver, Weinsteinpulver), Bindemittel (z. B. Ei) und weiteren Zutaten, die dem Kuchen Geschmack und Textur geben. Diese Grundzutaten verleihen dem Kuchen nicht nur Geschmack, sondern sorgen auch dafür, dass der Kuchen die richtigen Eigenschaften erhält¹⁶.

6.1 Übersicht der Funktion der Zutaten

Mehl ist wichtig für den Teig, da die darin enthaltene Stärke und bestimmte Proteine, die Gluten¹⁷ bilden können, dem Teig ein Gerüst und eine gewisse Elastizität verleihen. Unter Hitzeeinwirkung kann Stärke eine große Menge an Wasser binden. Diesen Vorgang nennt man Stärkeverkleisterung¹⁸. Die Stärke erhält eine geleeartige Konsistenz, was bewirkt, dass der Teig besser zusammenhält. Die Wasseraufnahme sorgt dafür, dass im fertigen Kuchen viel Wasser gebunden ist und verlangsamt das

¹³ <https://www.huehner-haltung.de/wissen/huehnereier/aufbau-der-huehnereier/>

¹⁴ <https://www.ernaehrung.de/lebensmittel/de/E113000/Huehnerei-Eiweiss.php>

¹⁵ <https://www.ernaehrung.de/lebensmittel/de/E113000/Huehnerei-Eiweiss.php>

¹⁶ <https://de.wikipedia.org/wiki/Kuchen>

¹⁷ <https://de.wikipedia.org/wiki/Gluten>

¹⁸ [https://de.wikipedia.org/wiki/St%C3%A4rke#Verhalten_beim_Erhitzen_\(Verkleisterung\)](https://de.wikipedia.org/wiki/St%C3%A4rke#Verhalten_beim_Erhitzen_(Verkleisterung))

Austrocknen des Gebäcks. Auch das Gluten, welches in den Stärkekörnern aus Proteinen gebildet wird, fördert den Zusammenhalt und die Stabilität des Kuchens, wenn es mit Flüssigkeit in Berührung kommt¹⁹. Beim Erwärmen des Teiges gerinnt das Gluten und gibt dem Kuchen Festigkeit. Durch die Glutenbildung erhält der Teig eine gewisse Elastizität, die beim Aufgehen des Teiges wichtig ist. Ist der Teig dehnbar genug, können Gase ihn wie einen Luftballon aufblasen und viele Luftporen bilden und das Gebäck wird viel angenehmer zum Essen²⁰.

Zucker ist in erster Linie wichtig für den Geschmack aber auch für die Konsistenz des Gebäcks. Er verleiht dem Gebäck gewisse Röstaromen. Durch Erhitzung läuft eine Vielzahl von chemischen Reaktionen ab und es bilden sich die braunen, geschmacksintensiven Melanoide²¹. Diese Reaktion zwischen Proteinen und Zucker nennt man Maillard-Reaktion. Sie ist zu unterscheiden vom Vorgang des Karamellisierens, der ebenfalls bei hohen Temperaturen stattfindet. Zucker ist wasseranziehend und kann wie die Stärke Wasser binden. So kann man mit der Zugabe von Zucker eine zu flüssige Konsistenz ausgleichen. Neben der Wasserbindung und der Geschmacksgebung ist der Zucker für das Gelingen von süßem Hefeteig wichtig. Der Zucker dient den Hefepilzen als Nahrung. Die Hefepilze verwerten den Zucker und stellen Kohlenstoffdioxid her²².

Fett wirkt als Geschmacksverstärker und hilft gegen das Altbackenwerden²³ (siehe Kapitel 6.4). Des Weiteren kann Fett dabei helfen, die einzelnen Stärkekörnchen im Mehl auseinanderzuhalten. So verklumpt der Teig weniger, wenn eine Flüssigkeit hinzugegeben wird.

Die Flüssigkeit wird benötigt, damit Stärkeverkleisterung und Glutenbildung stattfinden können und dem Gebäck Stabilität verleihen. Auch sollten die meisten Teige schön saftig sein, damit sie angenehm zum Essen sind. Gerade wenn man Backpulver als Triebmittel nimmt, muss genügend Flüssigkeit vorhanden sein.

Damit der Teig schön luftig wird, wird dem Teig ein Triebmittel hinzugegeben. Je nach Rezept kann das eine Zutat sein, die während dem Backen Gas bildet (z. B. Backpulver), schon vor der Zugabe Gas enthält (z. B. Sprudelwasser) oder während der Teigherstellung Gas bildet (z. B. Hefe). Die Luftigkeit des Gebäcks sorgt vor allem für ein angenehmes Essgefühl und erleichtert die Verdauung.

Um einen stabileren Kuchen zu backen, wird oft noch ein Bindemittel zugegeben. Dabei handelt es sich meistens um Eier. Diese enthalten Proteine, die bei Erhitzung denaturieren und fest werden²⁴. Diese

¹⁹ Die letzten Geheimnisse der Kochkunst, Peter Braham, Seiten 24-27

²⁰ <https://blog.meincupcake.de/wie-kuchen-backen-welche-zutat-welchen-zweck-erfuellt-erfahrt-ihr-hier/>

²¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Maillard-Reaktion>

²² <https://schokoladenbutterbrot.de/auswirkung-von-zutaten-in-teig-und-gebaeck/>

²³ Die letzten Geheimnisse der Kochkunst, Peter Braham, Seiten 174-175

²⁴ Die letzten Geheimnisse der Kochkunst, Peter Braham, Seite 243

zusätzliche Stabilität trägt auch dazu bei, dass das Gebäck gut aufgehen kann. Das Lecithin in Eiern hilft dabei, einen glatteren Teig herzustellen. Lecithin ist ein Emulgator und ermöglicht es, normalerweise nicht vermengbare Flüssigkeiten vermengen zu können. Im Teig handelt es sich dabei um Wasser und Fett²⁵.

Damit das Gebäck besser schmeckt, werden meistens weitere Zutaten hinzugegeben. Auch die Zugabe von Aromastoffen ist nicht unüblich. Die zusätzlichen Zutaten können nebst dem Geschmack auch die Textur verändern. Gibt man beispielsweise gemahlene Nüsse hinzu, bekommt der Teig eine gröbere Konsistenz und man hat ein gänzlich anderes Essgefühl.

6.2 Teigauflockerung

Zu einem schmackhaften Gebäck gehört eine angenehme Konsistenz beim Essen. Optimal ist es, wenn das Gebäck innen schön luftig und leicht ist, was durch die Zugabe von Backtriebmitteln erreicht werden kann. Diese sorgen dafür, dass sich während dem Backen genug Luftblasen im Teig befinden. Ein Nebeneffekt davon ist, dass Teige während des Backens an Volumen zunehmen, weil sich die Luftblasen aufgrund der Wärme ausdehnen.

Neben dem besseren Esserlebnis sind lockere Gebäckstücke bekömmlicher, weil der Speichel aufgrund der Poren besser in den Teig eindringen kann und die im Speichel enthaltenen Enzyme schon mit der Verdauung beginnen können. Diese Teiglockerung kann durch verschiedene Methoden erreicht werden:

Biologische Teigauflockerung

Bei dieser Methode macht man sich die Eigenschaften von Mikroorganismen zunutze. Dies wird am Beispiel des Hefeteigs erklärt. Dem Teig werden Hefepilze zugegeben. Dieser wird nun an einen warmen Ort gestellt, wo die Hefe die besten Voraussetzungen zur Vermehrung vorfindet. Die Hefe kann Energie durch Zellatmung gewinnen, wenn Sauerstoff verfügbar ist. Wenn Sauerstoffmangel herrscht, kann die Hefe auch durch Gärung Energie in Form des Moleküls ATP (Adenosintriphosphat) gewinnen. Bei der Zellatmung wandelt die Hefe Glucose und Sauerstoff in Kohlenstoffdioxid und Wasser um. In Hefeteig herrscht meist Sauerstoffmangel, weshalb die Hefezellen auf die Gärung zurückgreifen. Dabei wird Glucose (C₆H₁₂O₆) zur Energiegewinnung in Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Ethanol (C₂H₅OH) umgewandelt²⁶:



Nach einer gewissen Ruhezeit haben die Hefepilze genug Gärung betrieben und den Teig mit dem Kohlenstoffdioxid aufgebläht. Beim Backen verdampft das Ethanol und entweicht aus dem Teig. Das freigesetzte Kohlenstoffdioxid wird ebenfalls erwärmt und dehnt sich aus, was zum Aufgehen des Teigs

²⁵ <https://schokoladenbutterbrot.de/auswirkung-von-zutaten-in-teig-und-gebaeck/>

²⁶ https://de.wikipedia.org/wiki/Alkoholische_G%C3%A4rung#Biochemische_Grundlagen

führt und diesen schön auflockert. Die Hefepilze sterben beim Backvorgang aufgrund der zu hohen Temperaturen ab²⁷.

Chemische Teigauflockerung

Kohlenstoffdioxid kann auch auf andere Weise in den Teig gelangen. Dies gelingt beispielsweise mit Backpulver. Dieses besteht aus Natroncarbonat (NaHCO_3), als CO_2 -Quelle, einem Säureträger, der zusammen mit Wasser zu einer Säure reagiert (zum Beispiel Weinstein) zur Einleitung der Reaktion und einem Trennmittel (oft Stärke), um eine vorzeitige Reaktion zu verhindern²⁸. Wenn die Säure mit Feuchtigkeit in Kontakt kommt, löst sie sich und bildet dabei H_3O^+ -Moleküle. Diese reagieren mit dem Natroncarbonat und bilden Kohlenstoffdioxid²⁹:



Bei Erhitzung auf über 80°C zersetzt sich das Natroncarbonat zusätzlich noch thermisch³⁰:



Eine leichte Kohlenstoffbildung lässt sich schon beim Zusammenmischen des Teiges beobachten, da das Backpulver mit Feuchtigkeit aus dem Teig in Berührung kommt und die Reaktion schon beginnen kann. Aus diesem Grund sollten Teige mit Backpulver als Triebmittel nach der Herstellung sofort gebacken werden. Ansonsten geht viel Kohlenstoffdioxid verloren und der Teig geht beim Backen weniger auf. Beim Backen wird durch die Wärme das meiste Kohlenstoffdioxid gebildet. Der Innendruck der Kohlenstoffbläschen erhöht sich, woraufhin sich diese aufblähen und aufsteigen³¹. Sobald der Teig fest genug ist, kann er die Bläschen am Entweichen hindern. Beim Backen mit Backpulver ist die Konsistenz des Teiges sehr wichtig. Die Bläschen müssen möglichst gleichmässig im Teig verteilt werden. Dazu müssen laufend neue Bläschen gebildet werden, um diejenigen zu ersetzen, die sich in Richtung der Teigoberfläche bewegen. Im frühen Backstadium können diese Blasen noch aus dem Teig entweichen, da der Teig noch nicht so fest ist. Die Konsistenz des Teiges sollte so sein, dass ein Gleichgewicht zwischen der Kohlenstoffdioxidbildung und den entweichenden Bläschen herrscht. Erreicht der Teig dann eine gewisse Festigkeit, hindert er die Bläschen am Entweichen. Der gegebene Kohlenstoffdioxidinnendruck verhindert die Entstehung von weiterem Kohlenstoffdioxid. Ist der Teig zu flüssig, hat das Backpulver schon sein gesamtes Kohlenstoffdioxid freigesetzt, bevor der Teig fest genug ist, um die Bläschen am Entweichen zu hindern. Ein zu fester Teig dagegen führt dazu, dass die Bläschen nicht aufsteigen können, woraufhin der Kohlenstoffdioxidinnendruck die Entstehung von weiterem Kohlenstoffdioxid verhindert. Die falsche Teigkonsistenz kann also dazu führen, dass das

²⁷ https://de.wikipedia.org/wiki/Alkoholische_G%C3%A4rung#Nutzung_durch_den_Menschen

²⁸ <https://de.wikipedia.org/wiki/Backpulver>

²⁹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Backpulver>

³⁰ <https://de.wikipedia.org/wiki/Backpulver>

³¹ Die letzten Geheimnisse der Kochkunst, Peter Braham, Seiten 242-243

Gebäck gar nicht oder nur wenig aufgeht³². Ein glutenhaltiger Teig kann dazu beitragen, dass der Teig besser aufgeht. Gluten ist eine elastische, gummiartige Masse und sorgt dafür, dass das Kohlenstoffdioxid die einzelnen Luftkammern wie einen Luftballon aufblasen kann³³.

Physikalische Teiglockerung

Bei dieser Methode werden die benötigten Luftbläschen mechanisch in den Teig gebracht. Dazu wird ein Stoff benötigt, der viel Luft speichern kann, deshalb wird Eischnee oft als Backtriebmittel verwendet. Durch mechanisches Rühren werden dem Eiklar viele kleine Luftblasen untergemischt, welche das Volumen des Eischnees vervielfachen. Beim Backen dehnen sich die Luftblasen aus. Der sich verfestigende Teig sorgt dann für eine Stabilisierung der Schaummasse und die Luftporen werden dauerhaft eingeschlossen. Auch Sprudelwasser kann zur Teiglockerung verwendet werden, da es Kohlensäure (H_2CO_3) enthält, welche sich zu Wasser und Kohlenstoffdioxid zersetzt. Dieses lockert wiederum den Teig auf³⁴:



Schäume³⁵

Die Herstellung von Eischnee ist aus chemischer Hinsicht sehr interessant. Es sind einige Reaktionen und naturwissenschaftliche Prinzipien involviert. Eischnee ist ein Schaum, also eine Ansammlung von Blasen, die man nur schlecht einzeln von blossem Auge unterscheiden kann. Die Bildung von Schäumen basiert auf Molekülen, die sowohl einen hydrophilen (wasserliebenden) als auch einen hydrophoben (wassermeidenden) Teil besitzen. Wenn solche Moleküle in Kontakt mit Wasser kommen, lagern sich mehrere der Moleküle zu einer Blase zusammen und schliessen Luft ein. Die hydrophoben Teile (grau) zeigen dabei nach innen und die hydrophilen Teile (rot) nach aussen, da sich diese gut mit Wasser verbinden. Kommen die Moleküle in Kontakt mit Fett geschieht genau das gleiche, nur dass diesmal der hydrophile Teil nach innen zeigt und der hydrophobe Teil nach aussen.

³² Die letzten Geheimnisse der Kochkunst, Peter Braham, Seite 245

³³ https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/didaktik_der_chemie/seminarfriese/backpulver.pdf

³⁴ <https://www.spektrum.de/lexikon/ernaehrung/teiglockerung/8541>

³⁵ Die letzten Geheimnisse der Kochkunst, Peter Braham, Seiten 33-36

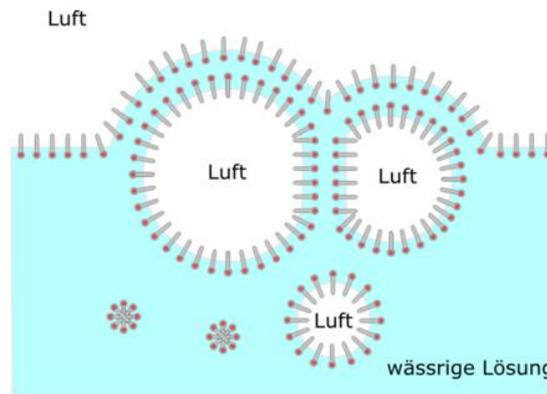


Abbildung 2: Verhalten von schaubildenden Molekülen in wässriger Lösung

Auch Proteine haben hydrophobe und hydrophile Teile. Die Primärstruktur der Proteine besteht aus einer langen Aminosäurekette. In dieser Kette befinden sich hydrophobe und hydrophile Aminosäuren. Die hydrophilen Aminosäuren befinden sich eher an der Aussenseite des Proteins, um zu gewährleisten, dass das Protein gut in Wasser löslich ist. Die hydrophoben Aminosäuren befinden sich gut geschützt im Innern des Proteins, wo sie nicht mit Wasser in Berührung kommen können.

Beim Schlagen von Eiklar werden die Proteine durch die mechanischen Einflüsse denaturiert. Dies hat zur Folge, dass die hydrophoben Teile der Aminosäurekette nicht mehr im Inneren geschützt sind, da das Protein seine Faltung verändert. Die Proteine reagieren darauf, indem sie Blasen bilden. Die hydrophoben Teile zeigen dabei aufgrund des hohen Wasseranteils im Ei ins Innere der Blase und die hydrophilen nach aussen. Dabei wird Luft, die durch das Schlagen in die Masse geraten ist, in den Blasen eingeschlossen. Um diese Blasen herum entsteht ein dünner Wasserfilm, in welchen die hydrophilen Teile hineinragen. Aus dem flüssigen Eiklar wird ein fester Eischnee, der ein exzellentes Triebmittel darstellt. Noch dazu kommt, dass die Proteine beim Backen ab einer gewissen Temperatur Bindungen untereinander aufbauen und sich vernetzen. Der Kuchen erhält so mehr Stabilität. Diese Schaumbildung ist nicht nur mit Eiklar möglich, sondern jede fettfreie Flüssigkeit mit Proteinen ist in der Lage so einen Schaum zu bilden.

Wichtiges im Umgang mit Eischnee³⁶

Damit sich möglichst viel Luft im Teig befindet, wenn dieser gebacken wird, müssen einige Dinge beachtet werden. Befindet sich beim Aufschlagen des Eischnees Fett in der Masse, kann dies die Blasenbildung einschränken oder gar verhindern. Denn wenn den hydrophoben Aminosäuren Fett zur Verfügung steht, lagern sie sich eher dort an. Das geschieht auch, wenn der Eischnee nach dem Schlagen in Kontakt mit Fett kommt. Beim Unterrühren der restlichen Zutaten kommt es auch unweigerlich dazu, dass manche Blasen platzen. Dies lässt sich nicht gänzlich vermeiden, ein vorsichtiges Unterheben

³⁶ <https://www.br.de/radio/bayern2/chemie-backen-eischnee-schlagen-schokolade-gluten-kuchen-plaetzchen-backpulver-mehl-100.html>

verhindert aber einen zu grossen Verlust von Blasen. Eischnee wird besonders cremig und stabil, wenn man während dem Schlagen Zucker einrieseln lässt. Der Zeitpunkt ist sehr wichtig, denn wenn man den Zucker von Anfang an zugibt, kann sich gar kein Schaum bilden, da der Zucker mit den Proteinen von Anfang an um die Feuchtigkeit konkurriert. Es entsteht eine zähflüssige Masse mit wenig Lufteinschlüssen. Gibt man den Zucker zum richtigen Zeitpunkt hinzu, stabilisiert es den Schaum, weil er sich mit der Flüssigkeit rund um die Blasen verbindet und sie an Ort und Stelle fixiert. Dafür schlägt man das Eiklar nur ein wenig schaumig und gibt dann nach und nach den Zucker hinzu. Wenn man den Zucker zu dem fertigen Eischnee hinzufügt, hat die Zugabe wieder einen negativen Effekt. Die kleinen Zuckerkristalle sind scharf und bringen die Blasen zum Platzen.

6.3 Struktur und Stabilität durch Proteindenaturierung

Einem Kuchen werden oft Eier zugegeben, meistens erfüllen sie eine Funktion als Bindemittel, um den Teig zusammenzuhalten und ihm Stabilität zu verleihen, damit dieser nach dem Backen nicht wieder zusammenfällt. Eier sind eine gute Wahl, denn sie sind leicht erhältlich und man hat sie meistens sowieso schon im Haus. Das Ei eignet sich gut als Bindemittel, da es Proteine enthält. Proteine bestehen aus einer langen Kette aus Aminosäuren. Sie bildet die Primärstruktur des Proteins. Die Reihenfolge der verschiedenen Aminosäuren bestimmt die Form des Proteins, da zwischen den verschiedenen Aminosäuren bestimmte Wechselwirkungen bestehen und typische Strukturen zum Beispiel die α -Helix und das β -Faltblatt bilden. Diese räumliche Struktur wird Sekundärstruktur genannt. Die finale Form des Proteins wird Tertiärstruktur genannt. Sie kommt durch Bindungen zwischen bestimmten Seitenketten der Aminosäuren zustande, diese können sich durch Wasserstoffbrücken, hydrophobe Wechselwirkungen, Ionenbindungen und Disulfidbrücken aneinanderbinden.

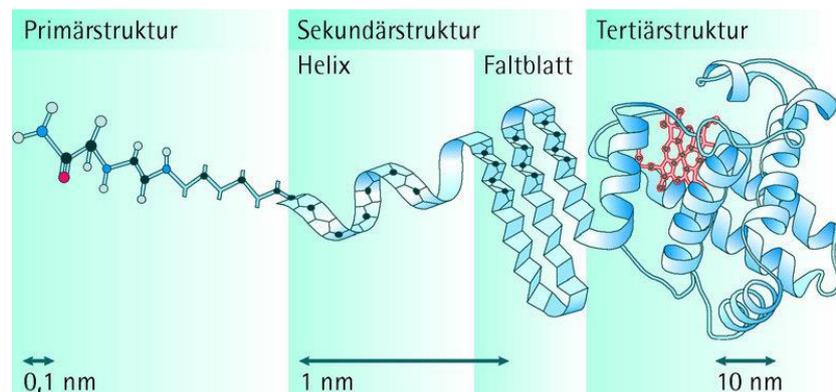


Abbildung 3: Primär-, Sekundär- und Tertiärstruktur des Proteins

Manche Proteine besitzen noch eine Quartärstruktur. Diese entsteht, wenn sich mehrere Proteine zu einer grösseren Funktionseinheit organisieren. Die Bindung kommt durch die gleichen Bindungsarten

zustande wie schon bei der Tertiärstruktur. Die Proteine arbeiten dann als Untereinheiten zusammen und können einzigartige Aufgaben erfüllen³⁷.

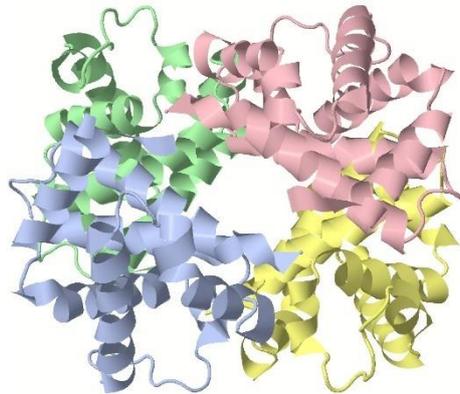


Abbildung 4: Funktionseinheit aus 4 Proteinen

Hat ein Protein seine tertiäre oder quaternäre Form, falls es eine besitzt, erreicht, ist es voll funktionsfähig. Proteine erfüllen im Körper eine Vielzahl an Aufgaben. Sie beschleunigen als Enzyme chemische Reaktionen, spielen eine grosse Rolle bei der Immunabwehr, können in Zellmembranen als Schleusen oder Pumpen agieren oder dienen als Baumaterial. Ohne Proteine können viele Funktionen im Körper nicht mehr erfüllt werden, ein Protein- oder Aminosäuremangel kann deswegen zum Tod führen³⁸.

Proteindenaturierung

Wird die Faltung und Form eines Proteins verändert, verändern sich auch seine chemischen und physikalischen Eigenschaften und das Protein verliert meist seine Funktionsfähigkeit. Dieser Vorgang wird Denaturierung genannt³⁹. Die Denaturierung kann aufgrund chemischer oder physikalischer Prozesse erfolgen. Proteine denaturieren, wenn sie sich in einer Lösung befinden, deren pH-Wert weit vom pH-Optimum des Proteins entfernt ist. Aber auch Strahlung oder hoher Druck können dazu führen, dass ein Protein denaturiert.

³⁷ Markl Biologie S. 22, S. 27

³⁸ Basiswissen Schule Chemie, Duden S. 216

³⁹ [https://de.wikipedia.org/wiki/Denaturierung_\(Biochemie\)#Denaturierung_in_Lebewesen](https://de.wikipedia.org/wiki/Denaturierung_(Biochemie)#Denaturierung_in_Lebewesen)

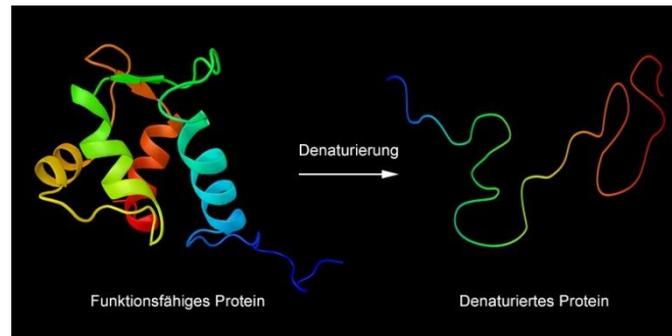


Abbildung 5: Verlust der räumlichen Struktur aufgrund von Denaturierung

Eine der häufigsten Ursachen für Eiweissdenaturierung in der Küche ist Hitze. Die meisten Proteine denaturieren ab 40°C. Die Bindungen, die für die Faltung des Proteins verantwortlich sind, lösen sich und das Protein verliert seine Form. Das führt dazu, dass das Protein mehr Platz einnimmt, da es ohne die Bindungen nicht mehr so kompakt ist. Erhitzt man die Proteine werden sie entweder abgebaut oder fangen an, miteinander zu reagieren und bilden ein chaotisches Netz aus vielen denaturierten Proteinen. Diese Vernetzung bildet eine Art fester Basis und gibt dem Kuchen Stabilität. Das Festwerden ist auch beim Aufgehen vom Kuchen wichtig, da so weniger Gas aus dem Kuchen entweichen kann⁴⁰.

6.4 Struktur und Stabilität durch Stärkeverkleisterung und Bildung von Gluten⁴¹

Damit das Triebmittel seinen Zweck erfüllen kann, braucht der Teig eine gewisse Konsistenz und Struktur. Das kann mithilfe von Stärke und Gluten bewerkstelligt werden.

Pflanzen speichern überschüssige Energie in Form Glucose ab. Aus dem Einfachzucker α -D-Glucose können sie eine lange Kette bilden, die wir unter dem Namen Stärke kennen. Stärke wird von den Pflanzen vor allem in Kernen, Knollen und Samen gespeichert. So haben zum Beispiel Kartoffeln und Getreidekörner meist einen sehr hohen Stärkegehalt. Die Stärke liegt in Form von sogenannten Stärkekörnern vor. Das sind Ansammlungen von vielen Stärkemolekülen, die von einer Schicht aus Proteinen umhüllt sind. Die Stärkekörner können je nach Pflanzenart viele unterschiedliche Formen annehmen. Sie können zum Beispiel rund, sichelförmig oder auch oval vorkommen. Innerhalb der Proteinschicht kommen hauptsächlich die beiden Stärkemoleküle Amylose und Amylopektin in sich abwechselnden Schichten vor. Sie unterscheiden sich nur darin, an welchen Stellen Bindungen zwischen den Zuckermolekülen vorhanden sind und wo nicht. Amylose ist ein lineares Molekül ohne eine geordnete Struktur (amorph), während Amylopektin viele Verzweigungen hat und in kristalliner Form vorliegt. Die Anteile von Amylopektin und Amylose können sich je nach Pflanzenart stark

⁴⁰ Die letzten Geheimnisse der Kochkunst, Peter Braham, Seiten 27-31

⁴¹ Die letzten Geheimnisse der Kochkunst, Peter Braham, Seiten 22-27

unterscheiden. Auch welche zusätzlichen Proteine am Stärkekorn angelagert werden, hängt von der Pflanzenart ab⁴².

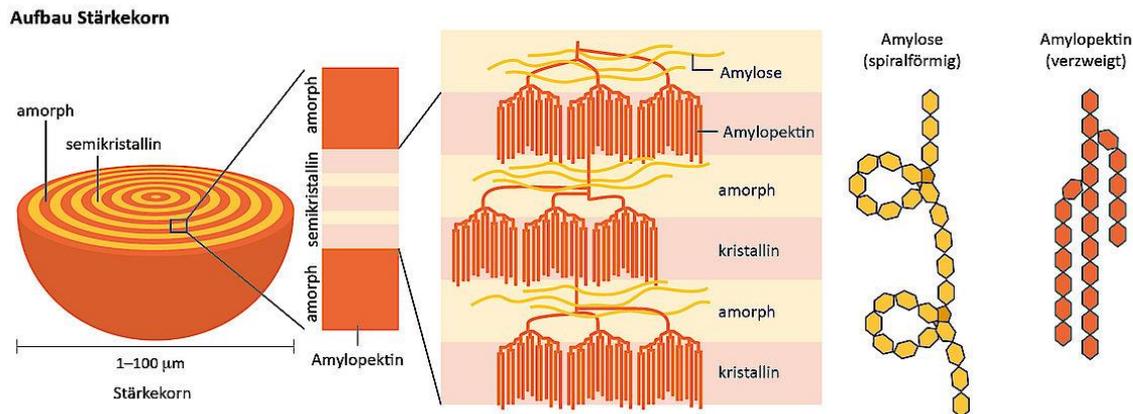


Abbildung 6: Aufbau des Stärkekorn, Proteinschicht nicht abgebildet

Kommen die Stärkekörner in Kontakt mit Wasser, nehmen die Proteine dieses auf. Stärkekörner mit einem hohen Proteingehalt können mehr Wasser absorbieren als Körner mit einem niedrigen Proteingehalt. Die Proteinschicht schützt die Amylose und das Amylopektin vor dem Wasser, denn es kann die Proteinschicht nur schwer durchdringen. Die Stärkekörner werden klebrig und bilden Klumpen. Das lässt sich beispielsweise gut bei feuchtem Mehl beobachten. Diese Verklumpung schützt die Stärkekörner vor dem Eindringen von Bakterien und vor weiterem Aufquellen mit Wasser. Damit der Teig nicht verklumpt, wird in vielen Rezepten Fett hinzugegeben. Dieses bildet einen feinen Film um das Stärkekorn und verhindert, dass sich Klumpen im Teig bilden können. Im Weizenmehl gibt es zwei sehr wichtige Proteine: Gliadin und Glutenin⁴³. Wenn das Weizenstärkekorn in Kontakt mit Wasser kommt und die Proteine durch Kneten gestreckt werden, bilden sich Bindungen zwischen Gliadin und Glutenin. Es entsteht Gluten, eine Masse, die sehr elastisch und zäh ist. Das Gluten hilft dabei, dass der Kuchen gut aufgehen kann, denn es verhält sich wie Gummi und kann das sich bildende Gas auffangen. In Kuchen, bei denen das Gas erst während dem Backen gebildet wird, ist es wünschenswert, genug Gluten im Kuchen zu haben. Nimmt man jedoch ein Triebmittel, bei dem das Gas schon vor dem Backen im Teig ist, ist die Glutenbildung meistens nicht notwendig. In solchen Rezepten wird das Mehl vorsichtig unter den Teig gehoben. Auch zur Stabilität kann Gluten beitragen, denn die Glutenproteine denaturieren bei Erhitzung, so wie andere Proteine auch.

⁴² <https://de.wikipedia.org/wiki/St%C3%A4rke>

⁴³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Gluten>

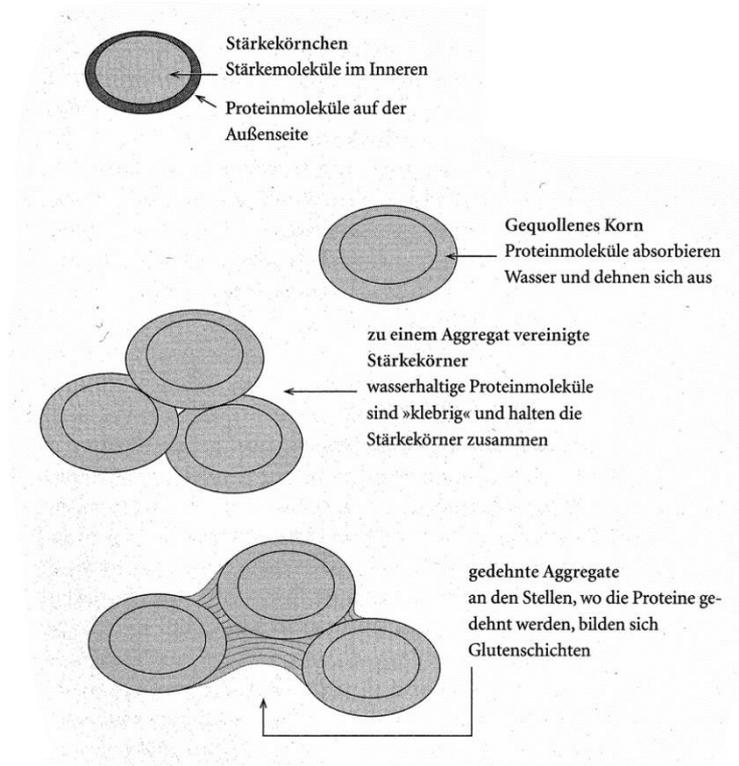


Abbildung 7: Bildung von Gluten

Auch die sogenannte Stärkeverkleisterung verhilft dem Kuchen zu mehr Stabilität. Kommen die Stärkekörner in Kontakt mit Wasser, absorbieren wie oben beschrieben nur die äusseren Proteine das Wasser. Geschieht dies bei Temperaturen von über 60°C kann das Wasser jedoch auch zur Amylose und zum Amylopektin vordringen, da die äusseren Proteinschichten aufplatzen. Die Stärkemoleküle bewegen sich auseinander und Wasser dringt ein. Amylose ist leicht wasserlöslich, während Amylopektin nur schwer wasserlöslich ist. Da diese beiden Moleküle in den Stärkekörnern in Schichten angeordnet sind, können sich die Moleküle nicht vollständig im Wasser lösen. Dies führt dazu, dass sich eine geleeartige und zähflüssige Masse bildet. Stärkeverkleisterung macht man sich beispielsweise beim Eindicken von Saucen mithilfe von Weizenmehl oder Maisstärke zunutze, da die Viskosität (Zähflüssigkeit) der Sauce erhöht wird. Auch im Kuchen hat die Stärkeverkleisterung einen positiven Effekt. Sie verleiht ihm Stabilität und Struktur und bindet Wasser, was dabei hilft, dass der Kuchen nicht zu trocken wird. Die Stärkeverkleisterung ist nicht nur für das Gelingen von Saucen und Kuchen wichtig, sondern auch für unsere Verdauung. Für unseren Körper ist die Stärke viel leichter verdaulich, wenn die Körner schon aufgeplatzt sind.

Bei niedrigen Temperaturen lässt sich der Quellvorgang wieder rückgängig machen zum Beispiel nach dem Abkühlen des Kuchens. Die Reaktion ist jedoch nicht vollständig reversibel. Die Stärkemoleküle können ihre ursprüngliche Anordnung nicht wiederherstellen und bilden eine etwas andere Struktur. Zur Bildung dieser Struktur müssen auch Wassermoleküle gebunden werden, diese bilden zusammen mit

der Stärke einen sogenannten Komplex. Dieses gebundene Wasser ist zwar noch im Gebäck vorhanden, das Gebäck schmeckt aber trotzdem ausgetrocknet. Dieses sogenannte Altbackenwerden kann man mit der Zugabe von Fett verringern, da so die Anlagerung von den Wassermolekülen verringert werden kann.

Experimente

Dieser Teil widmet sich den Experimenten, die im Rahmen der Arbeit durchgeführt wurden, um die Leitfragen zu beantworten und die Hypothesen zu überprüfen. Um sich einen Überblick zu verschaffen, wird erst eine Testreihe mit vielen verschiedenen Ei-Ersatzstoffen durchgeführt, um ihre Brauchbarkeit als Ersatzstoff zu untersuchen. Dabei wird der am besten geeignete Ersatzstoff ermittelt und im nächsten Experiment weiter verwendet.

In diesem zweiten Experiment werden die Eigenschaften des Eis anhand drei verschiedener Variationen von Biskuitteig untersucht. Der Definition nach ist Biskuit ein Teig aus Eigelb, Zucker, Mehl und Eischnee als Triebmittel. Eine Abwandlung davon ist der Genueser Biskuit, in dem die Eier nicht getrennt werden, sondern die ganzen Eier zusammen mit dem Zucker schaumig geschlagen werden⁴⁴. In erster Linie wird versucht, das Ei durch eine andere Zutat zu ersetzen, aber auch der Unterschied zwischen Genueser Biskuit und Biskuit mit getrennten Eiern wird untersucht. Als Ersatz für den Eischnee wird Aquafaba (Wasser aus Kichererbsenkonserven) verwendet, welches ebenfalls zu einem Schaum geschlagen werden kann. Da Biskuit umgangssprachlich auch für luftig leichte Gebäcke verwendet wird, die gut als Tortenboden geeignet sind, wird noch mit einer dritten Variante experimentiert, die zwar Eier enthält, aber als Triebmittel Backpulver verwendet. In dieser Variante wird das Ei durch den in der ersten Testreihe ausgesuchten Ersatzstoff ausgetauscht.

7 Testreihe zu verschiedenen Ei-Ersatzstoffen

Im Internet werden viele verschiedene Lebensmittel als Ei-Ersatz angepriesen⁴⁵. Jedoch werden oft die Gründe, weshalb sich diese Stoffe eignen sollen, nicht genannt. In dieser ersten Testreihe soll herausgefunden werden, welche von diesen Ei-Ersatzstoffen sich gut für einen Rührteig eignen und aus welchen Gründen dies so ist. Bei der Auswahl der verwendeten Ersatzstoffe wurde darauf geachtet, unterschiedliche Lebensmittel zu wählen. Die Auswahl ist auch von der temporären Verfügbarkeit beim Einkaufen beeinflusst worden.

7.1 Vorgehen

Es werden 8 verschiedene Muffins gebacken. Als Referenz wird zunächst das normale Grundrezept mit Ei hergestellt. Dann wird das Ei einfach ganz weggelassen, um zu untersuchen, inwiefern sich das Gebäck ohne Ei von dem mit Ei unterscheidet. In den restlichen 6 Gebäcken wird das fehlende Ei durch einen Ersatzstoff ausgetauscht. Bewertet werden die Zunahme an Höhe, die Luftigkeit, also das

⁴⁴ <https://de.wikipedia.org/wiki/Biskuitmasse>

⁴⁵ <https://www.lecker.de/ei-ersatz-beim-backen-12-vegane-alternativen-69804.html>

Vorhandensein von Luftpfeinschlüssen, die Konsistenz und der Geschmack mithilfe von einigen Verkostern in einer Blindverkostung.

7.2 Vorbereitung und Material

Es wird ein Grundrezept für Rührteig herausgesucht. Damit nach dem Backen nicht 8 grosse Kuchen verwertet werden müssen, wird die Menge der einzelnen Zutaten des Rezepts reduziert und der Teig in Form von Muffins gebacken und entsprechend umgerechnet. Aus praktischen Gründen wird die Menge so berechnet, dass pro Teigvariante ein Ei verwendet werden muss.

Rührteig:

- 8 Eier
- 520 g Margarine
- 520 g Mehl
- 260 g Zucker
- 5.2 Teelöffel Backpulver

Zutaten für eine Teigvariante:

- 1 Ei oder Ei-Ersatz für 1 Ei
- 65 g Margarine
- 65 g Mehl
- 32.5 g Zucker
- 0.65 Teelöffel Backpulver

Die folgenden Lebensmittel werden als Ei-Ersatz verwendet:

Apfelmus:	60 g entsprechen einem Ei ⁴⁶
Pürierte Banane:	60 g entsprechen einem Ei ⁴⁷
Sojamehl:	1 Esslöffel Mehl und 2 Esslöffel Wasser entsprechen einem Ei ⁴⁸
Lupinenmehl:	1 Esslöffel Mehl und 2 Esslöffel Wasser entsprechen einem Ei ⁴⁹
Ei-Ersatzpulver:	1 Esslöffel Mehl und 30 Milliliter Wasser entsprechen einem Ei ⁵⁰
Püriertes Seidentofu:	60 g entsprechen einem Ei ⁵¹

7.3 Durchführung

Es wird in zwei Durchgängen gebacken, damit die Teige, die zuerst zusammengerührt werden, vor dem Backen nicht deutlich länger als die zuletzt zusammengerührten Teige stehen bleiben. Die Vorgehensweise ist in beiden Vorgängen die gleiche, damit alle 8 Teige denselben Bedingungen ausgesetzt werden.

⁴⁶ <https://www.peta.de/veganleben/ei-alternativen/>

⁴⁷ <https://www.peta.de/veganleben/ei-alternativen/>

⁴⁸ Angaben des Herstellers (Spielberger GmbH)

⁴⁹ Angaben des Herstellers (RAPUNZEL Naturkost)

⁵⁰ Angaben des Herstellers (Arche Naturprodukte GmbH)

⁵¹ <https://www.lecker.de/ei-ersatz-beim-backen-12-vegane-alternativen-69804.html>

Teige 1-4:

Benötigte Zutaten:

- 260 g Margarine (65 Gramm pro Teig)
- 260 g Mehl (65 Gramm pro Teig)
- 130 g Zucker (32,5 Gramm pro Teig)
- 2.6 Teelöffel Backpulver (0.65 Teelöffel pro Teig)
- Für Teig 1: Kein Ei und kein Ei-Ersatz
- Für Teig 2: 1 Ei
- Für Teig 3: 60 g Apfelmus
- Für Teig 4: 60 g pürierte Banane

Der Backofen wird auf 180°C Umluft vorgeheizt. Die Margarine wird mit dem Handrührgerät 1 Minute lang geschlagen. Dann wird der Zucker beigemischt und die Mischung wird nochmals für 40 Sekunden geschlagen. Die Masse wird gewogen und gleichmässig auf vier Schüsseln aufgeteilt. In Schüssel 1 wird nichts, in Schüssel 2 das Ei, in Schüssel 3 das Apfelmus und in Schüssel 4 die Banane hinzugegeben. Das Ei wird untergerührt bis die Konsistenz des Teiges optimal ist und die benötigte Zeit wird gemessen. Die restlichen 3 Teige werden ebenfalls so lange geschlagen.

Das Mehl wird für jeden Teig einzeln abgewogen und das Backpulver wird daruntergemischt. Diese Mischung wird dann den Teigen untergemischt.

Der fertige Teig wird in Silikonformen für Muffins abgefüllt. Dabei wird darauf geachtet, dass immer etwa die gleiche Menge, also 2 Esslöffel Teig pro Form, abgefüllt wird. Jede Teigvariante füllt ungefähr 2-3 Muffinformen. Die Muffins werden dann im Ofen 15 Minuten lang gebacken.

Teige 5-8:

- 260 g Margarine
- 260 g Mehl
- 130 g Zucker
- 2.6 Teelöffel Backpulver
- Teig 5: 1 Esslöffel Sojamehl und 2 Esslöffel Wasser (ca. 30 Milliliter)
- Teig 6: 1 Esslöffel Lupinenmehl und 2 Esslöffel Wasser (ca. 30 Milliliter)
- Teig 7: 1 Esslöffel Ei-Ersatzpulver 2 Esslöffel Wasser
- Teig 8: 60 g püriertes Seidentofu

Die Teige werden genauso zubereitet wie die Teige 1 bis 4.

7.4 Resultate

Diese Daten wurden mithilfe von zwei Probanden erhoben, die mündlich mitgeteilt haben, wie ihnen die Muffins schmecken, was ihnen nicht gefällt und was ihnen besonders auffällt.

1. Beim Muffin ohne Ei fällt sofort auf, dass die Oberfläche nicht glatt ist, sondern rau. Der Muffin ist beim Backen sogar ein wenig aufgegangen. Das Innere sieht sehr kompakt aus, denn es sind nur wenige kleine Luftblasen zu erkennen. Auch beim Geschmackstest fallen die wenigen Luftblasen auf, denn der Muffin fühlt sich im Mund nicht so luftig an, wie man es gewöhnt ist. Der Geschmack des Muffins wurde von den Probanden als „langweilig“ beschrieben.



Abbildung 9: Muffin 1



Abbildung 8: Muffin 1, aufgeschnitten

2. Der Muffin mit Ei hat dagegen eine sehr glatte Teigoberfläche und ist viel mehr aufgegangen als Muffin 1. Im Inneren lassen sich viel mehr und auch grössere Luftblasen erkennen, was ihn sehr luftig wirken lässt. Das sorgt auch für ein sehr angenehmes Essgefühl. Dieser Muffin wurde von den Probanden als „angenehmer zu Essen als 1“ und „schmackhafter als Nummer 1“ eingestuft.



Abbildung 10: Muffin 2



Abbildung 11: Muffin 2, aufgeschnitten

3. Der Muffin mit Apfelmus ist gar nicht aufgegangen, auch Luftschlüsse sind bis auf ein paar wenige sehr kleine nicht zu sehen. Es scheint, dass dieser Muffin eine längere Backzeit gebraucht hätte. Das wurde auch bei der Geschmacksprobe bemerkt, denn der Muffin ist noch extrem feucht. Der Geschmack dagegen ist sehr angenehm und man schmeckt den Apfel raus.



Abbildung 12: Muffin 3



Abbildung 13: Muffin 3, aufgeschnitten

4. Der Muffin mit Banane ist ein kleines bisschen aufgegangen. Das sieht man an der gewölbten Oberfläche und den wenigen kleinen Luftblasen. Auch dieser Muffin ist noch nicht ganz durchgebacken,

die Konsistenz wurde jedoch von den Probanden als „gut“ bezeichnet. Die Banane kann man viel stärker herauschmecken als den Apfel in Muffin 3.



Abbildung 14: Muffin 4



Abbildung 15: Muffin 4, aufgeschnitten

5. Dieser Muffin mit Sojamehl ähnelt Muffin Nummer 1. Die Oberfläche ist auch nicht glatt und er ist nicht so gut aufgegangen. Die Luftporen ähneln aber eher dem Muffin mit Ei. Im Inneren sind einige dunklere Stellen, was auch darauf hindeuten könnte, dass man den Muffin etwas länger hätte backen sollen. Dafür spricht auch, dass der Teig beim Essen etwas an den Zähnen hängen bleibt. Es fällt auch auf, dass der Muffin einen ungewöhnlichen Geschmack hat, aber laut den Probanden trotzdem schmackhaft ist.



Abbildung 16: Muffin 5



Abbildung 17: Muffin 5, aufgeschnitten

6. Dieser Muffin mit Lupinenmehl ähnelt Muffin 5 hinsichtlich der Lufteinschlüsse und dem Essgefühl sehr. Auch in diesem Muffin lässt sich der Eigengeschmack des Lupinenmehls herausschmecken, der von den Probanden als „merkwürdig“ beschrieben wurde.



Abbildung 18: Muffin 6



Abbildung 19: Muffin 6, aufgeschnitten

7. Der Muffin mit Ei-Ersatzpulver hat eine kräftige gelbe Farbe. Die Oberfläche ist sehr glatt. Er ist etwas weniger aufgegangen als die Muffins 5 und 6, obwohl er recht viele Luftporen aufweist. Auch dieser Muffin benötigt eine längere Backzeit. Laut den Probanden kommt der Geschmack dem Muffin mit Ei am nächsten, er sei jedoch nicht gänzlich neutral. Die Konsistenz sei jedoch nur „in Ordnung“, da der Teig wie bei 5 und 6 etwas an den Zähnen kleben bleibt.



Abbildung 20: Muffin 7



Abbildung 21: Muffin 7, aufgeschnitten

8. Auch der Muffin mit Seidentofu ist fast gar nicht aufgegangen. Er hat eine eher glatte Oberfläche und ein paar wenige etwas grössere Luftblasen. Der Teig ist nicht ganz durch und benötigt eine längere Backzeit. Der Muffin schmeckt stark nach Seidentofu, was ihn wenig schmackhaft macht.



Abbildung 22: Muffin 8



Abbildung 23: Muffin 8, aufgeschnitten

Tabelle 1: Übersicht der Resultate von Muffins 1-4

	1: Ohne Ei	2: Ei	3: Apfelmus	4: Banane
Oberfläche	Rau	Glatt	Eher glatt	Eher glatt
Aufgegangen	Wenig	Viel	Gar nicht	Wenig
Lufteinschlüsse	Wenige, kleine	Viele	Fast keine	Ein paar
Durchgebacken	Ja	Ja	Gar nicht	Nicht ganz
Konsistenz	Kompakt	Luftig	Im Innern noch Teig, kompakt	Im Innern noch ein bisschen feucht, ein bisschen kompakt
Geschmack	Langweilig	Angenehm	Angenehmer Apfelgeschmack	Angenehmer Bananengeschmack
Bewertung	In Ordnung, könnte besser sein	Sehr gut	Schmeckt gut, Konsistenz lässt zu wünschen übrig	Gut

Tabelle 2: Übersicht der Resultate von Muffins 5-8

	5: Sojamehl	6: Lupinenmehl	7: Ei-Ersatzpulver	8: Seidentofu
Oberfläche	Rau	Rau	Glatt	Eher glatt
Aufgegangen	Wenig	Wenig	Wenig	Gar nicht
Lufteinschlüsse	Einige	Einige	Einige	Wenige, grosse
Durchgebacken	Nicht ganz	Nicht ganz	Nicht ganz	Nein
Konsistenz	Klebt an den Zähnen	Klebt an den Zähnen	Klebt an den Zähnen	Feucht
Geschmack	Man schmeckt das Sojamehl, schmackhaft	Man schmeckt das Lupinenmehl raus, der Muffin schmeckt eigenartig	Kommt dem Geschmack von 2 am nächsten, ist aber nicht ganz neutral	Schmeckt stark nach Seidentofu, nicht schmackhaft
Fazit	Gut	In Ordnung	In Ordnung	Schlecht

7.5 Interpretation

Damit ein Kuchen gut ankommt ist es sehr wichtig, dass er richtig durchgebacken ist und eine gewisse Luftigkeit besitzt. Bei dem Experiment weisen die Muffins vor allem in diesen beiden Bereichen Defizite auf. Es gibt viele Faktoren, die bestimmen, ob einem der Muffin gelingt oder nicht. In den nächsten Abschnitten stehen die stärksten Vermutungen, weshalb ein Muffin nicht gelungen sein könnte:

Weshalb ist der Muffin nicht durchgebacken?

Die Muffins 3 (Apfelmus) und 8 (Seidentofu) benötigen eine deutlich längere Backzeit. Dies liegt wahrscheinlich am hohen Wasseranteil der Ei-Ersatzstoffe und dem geringen Anteil von Stoffen, die den Teig zusammenhalten. In 100 Gramm Apfelmus sind ca. 85 Gramm Wasser enthalten⁵² und in Seidentofu sogar ca. 90 Gramm⁵³. Dies hat zur Folge, dass ein Muffin deutlich länger gebacken werden muss, bis genug Wasser verdampft ist und der Muffin die richtige Festigkeit erreicht. Eier enthalten ebenfalls viel Wasser, pro 100 Gramm sind es ca. 75 Gramm⁵⁴. Der Muffin mit Ei ist jedoch gut durchgebacken und nicht zu feucht. Eier enthalten viel mehr Protein als Seidentofu und Apfelmus. (100 Gramm Ei enthalten 11,89 Gramm Protein, Seidentofu nur 5,5 Gramm und Apfelmus 0,25 Gramm)

⁵² <https://www.ernaehrung.de/lebensmittel/de/Y843143/Apfelmus-%284%29.php>

⁵³ <https://www.naehrwertrechner.de/naehrwerte/J351211/Seidentofu>

⁵⁴ <https://www.ernaehrung.de/lebensmittel/de/E110000/Huehneri.php>

Dieses denaturiert beim Erhitzen und gibt dem Teig Festigkeit und Struktur. Das heißt, der Muffin mit Ei ist aufgrund der denaturierten Proteinstruktur gut gebacken. Diese Struktur fehlt den Muffins, die mit Seidentofu und Apfelmus gebacken wurden, obwohl alle drei Zutaten viel Wasser enthielten.

Muffin 4 mit Banane weist auch einige feuchte Stellen auf. Im Gegensatz zu den Muffins 3 und 8 hat er jedoch eine viel festere und beim Essen auch angenehmere Konsistenz. Banane enthält etwas weniger Wasser als die Muffins 3 und 8, denn auf 100 Gramm Banane kommen ca. 75 Gramm Wasser, etwa gleich viel wie beim Ei⁵⁵ Trotz des relativ hohen Wasseranteils ist der Muffin mit Banane viel besser durchgebacken, als die Muffins 3 und 8. Betrachtet man die Inhaltsstoffe fällt auf, dass Banane mehr Stärke enthält als Seidentofu und Apfelmus. Auf 100 Gramm Bananen kommen 2,76 Gramm Stärke, auf 100 Gramm Apfelmus jedoch nur 0,49 Gramm und auf 100 Gramm Seidentofu gerade mal 4 Milligramm. Dass Stärke beim Erhitzen verkleistert und dem Teig Festigkeit verleiht, ist schon bekannt. In Anbetracht dessen, dass Weizenmehl ca. 70 Gramm Stärke pro 100 Gramm enthält,⁵⁶ und dieser Gehalt in allen Teigen ähnlich hoch ist (nämlich 45,5 Gramm), kann dieser etwas höhere Stärkeanteil (bei 60 g Banane etwa 2 g Stärke mehr) jedoch keinen so gravierenden Unterschied machen.

Auch die Muffins 5 und 6 mit Sojamehl und Lupinenmehl sind nicht ganz durch, sie sind jedoch viel weniger feucht als 3, 4 und 8.

Diesen Muffins wurden je zwei Esslöffel Wasser beigemischt. Dies entspricht 30 Millilitern oder 30 Gramm Wasser⁵⁷. Die Muffins enthalten also weniger Wasser als dasjenige mit Ei, weswegen es nicht an einer zu grossen Menge Wasser liegen kann, dass sie nicht ganz durch sind. Die Mehle besitzen einen hohen Proteinanteil, beide enthalten auf 100 Gramm mehr als 40 Gramm Protein⁵⁸. Dieses verleiht dem Teig Struktur und Festigkeit und ist nicht der Grund dafür, dass die Muffins nicht durch sind.

Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass die Mehle dem Muffin eine weichere Konsistenz geben, weshalb er sich im Mund klebriger und wie „nicht durchgebacken“ anfühlt oder dass die in den Mehlen enthaltenen Proteine erst nach einer längeren Zeitspanne genug denaturiert sind.

Warum geht der Muffin gar nicht oder nur wenig auf?

Wie schon im Kapitel „Teiglockerung“ beschrieben, muss ein Gebäck bestimmte Voraussetzungen erfüllen, um aufzugehen. Dazu gehört, dass der Teig die richtige Konsistenz hat und auch beim Backen innerhalb eines bestimmten Zeitraumes fest genug wird, um die Kohlenstoffdioxidbläschen einschliessen zu können. Die Luftbläschen verleihen dem Teil dann Volumen und Lockerheit.

⁵⁵ <https://www.ernaehrung.de/lebensmittel/de/F503000/Banane.php>

⁵⁶ <https://www.naehrwertrechner.de/naehrwerte/C214111/Weizen+Mehl+Type+405>

⁵⁷ <https://www.seifenblasenpistole.net/essloeffel-in-ml-umrechnen/>

⁵⁸ <https://foodforfitness.de/lupinenmehl/>, <https://www.ernaehrung.de/lebensmittel/de/H761400/Sojamehl.php>

Muffin 1 weist sehr wenige Lufteinschlüsse auf. Der Teig erhält also trotz fehlendem Ei schnell genug die richtige Festigkeit, um wenigstens noch ganz wenige der Kohlendioxidbläschen einzufangen zu können. Diese Festigkeit erhält der Muffin vermutlich von der Stärke aus dem Mehl, die zusammen mit der Feuchtigkeit aus der Butter verkleistert und dem Teig ein wenig Festigkeit verleiht.

Dass die Muffins 3, 4 und 8 fast gar keine Lufteinschlüsse aufweisen, liegt vermutlich an der falschen Konsistenz des Teiges. Alle drei Ei-Ersatzstoffe enthalten gleich viel oder mehr Wasser als das Ei und wenig Protein oder Stärke, die den Teig verfestigen könnten. Dies könnte dazu führen, dass der Teig nicht schnell genug fest wird und das Backpulver schon aufgebraucht ist, bevor der Teig die Kohlenstoffdioxidbläschen fest einschliessen kann. Muffin 4 (Banane) weist mehr Lufteinschlüsse auf als Muffin 3 (Apfelmus), was daran liegen könnte, dass der Teig aufgrund des niedrigeren Wassergehalts früher fest genug ist, um wenigstens noch ein bisschen vom Kohlenstoffdioxid am Entweichen zu hindern.

Auch die Muffins 5, 6 und 7 sind weniger aufgegangen als der Muffin mit Ei. Im Gegensatz zu den Muffins 3, 4 und 8 sind jedoch viele sehr kleine Lufteinschlüsse zu sehen. Der Muffin mit Ei profitiert davon, dass er genug Wasser und Protein enthält, damit Denaturierung und Stärkeverkleisterung den Teig verfestigen. Es ist möglich, dass die Stärkeverkleisterung aufgrund der reduzierten Flüssigkeit in den Muffins 5, 6 und 7 weniger ausgeprägt stattfindet und deswegen viel Kohlenstoffdioxid entweichen kann, bevor der Teig fest genug ist. Die verbleibenden Lufteinschlüsse waren kleiner als die des Muffins mit Ei, da das Backpulver aufgebraucht war, bevor die Lufteinschlüsse vom Kohlenstoffdioxid „aufgeblasen“ und vergrößert werden konnten.

7.6 Fazit

Es gab keinen Muffin mit Ei-Ersatz, der in allen Aspekten gleich gut oder besser war, wie derjenige mit Ei. Fast alle Muffins wurden zu kurz gebacken und hätten eine längere Backzeit vertragen als der Muffin mit Ei. Kein Muffin hatte gleich viele Lufteinschlüsse und alle bis auf Apfel und Banane hatten weniger Geschmack. Das Ei hat im Muffin nicht nur die Funktion als Bindemittel, sondern auch als Geschmacksgeber. Teigen, die mit einem Ei-Ersatz hergestellt werden, sollte ein Geschmacksgeber zugegeben werden, damit der Kuchen nicht langweilig schmeckt. In vielen Muffins war der Wasseranteil sehr hoch, weshalb sie nicht durch waren und weswegen vermutlich viel des gebildeten Kohlenstoffdioxids entweichen konnte. Bei den Muffins mit Fruchtpüree schnitt Banane am besten ab. Derjenige mit Seidentofu war am schlechtesten, er war nicht durch, nur wenig aufgegangen und konnte auch mit dem Geschmack nicht punkten. Die Muffins aus Lupinen-, Sojamehl und Ei-Ersatz konnten durch viele Luftblasen punkten, jedoch hatten alle drei einen Eigengeschmack und waren etwas klebrig, was aber auch daran liegen könnte, dass sie möglicherweise nicht ganz durch waren.

Der am besten geeignete Ei-Ersatz

Der Zweck dieser Testreihe bestand darin, einen geeigneten Ersatz zu finden, um diesen dann weiter zu untersuchen. Die Kriterien dafür waren: Geschmack, Konsistenz, Luftporen aber auch Verfügbarkeit und Preis. Am vielversprechendsten waren die Muffins mit Ei-Ersatz, Lupinenmehl, Sojamehl und Banane. Diese müssen noch auf einen Ersatz eingegrenzt werden. Banane hat einen Eigengeschmack, weshalb sie nur für Rezepte geeignet ist, zu denen Banane passt oder in denen der Bananengeschmack von etwas anderem überdeckt wird. Das Ei-Ersatzpulver war nicht besser als das Lupinenmehl und das Sojamehl, kostete jedoch doppelt so viel⁵⁹. Der Muffin mit Sojamehl schmeckte einfach besser als der mit Lupinenmehl, welches einen etwas unangenehmen Eigengeschmack hat. Auch weil vermutlich mehr Läden Sojamehl anbieten als Lupinenmehl, wurde Sojamehl als Ersatz für die nächsten Experimente ausgewählt. Es hat am meisten Potenzial, denn mit einer längeren Backzeit könnte es ein sehr guter Kuchen werden.

Dabei gilt zu beachten, dass die anderen Ei-Ersatzstoffe nicht unbedingt gar nicht geeignet sind. Sie haben nur in diesem Rezept kein gutes Ergebnis erzielt. Das Zusammenspiel aller Zutaten ist wichtig und das richtige Verhältnis kann dazu führen, doch einen guten Kuchen zu backen, auch wenn es in meiner Testreihe nicht funktioniert hat. Apfelmus hat schlecht abgeschnitten mit meinem Rezept. Ich habe jedoch ein Rezept für einen Apfelmus ausprobiert, in welchem das Ei nicht ersetzt wurde, sondern das extra für Apfelmus abgestimmt war. Dieses Rezept war dafür gedacht, dass kein Ei hinzugefügt wird und es ergab deshalb einen schmackhaften Kuchen, der durch war und auch viele Luftblasen enthielt. Manche Ersatzstoffe eignen sich dementsprechend nicht als Ersatz in einem Rezept für Ei. Man müsste das Rezept anpassen oder ein Rezept auswählen, das für diesen Ersatz verfasst wurde. Seidentofu könnte beispielsweise für flüssigere Teige wie Pfannkuchenteig geeignet sein, da es viel Wasser enthält, aber eben nicht für Rührteig.

⁵⁹ <https://shop.rapunzel.de/produkte/huelenfruechte/bohnen/3125/lupinenmehl>, <https://www.rapunzel.de/bio-produkt-lupinenmehl--700985.html>, <https://www.arche-naturkueche-shop.de/vegegg/a-10011694/>

8 Testreihe mit Biskuitteig

8.1 Biskuitteig

Im vorigen Kapitel wurden einige Ei-Ersatzstoffe getestet und bewertet. Nun werden die Fähigkeiten des Eis beim Backen näher untersucht. In dieser Versuchsreihe soll ermittelt werden, welche Funktion das Ei genau erfüllt und ob man das Ei durch den im vorherigen Experiment ausgewählten Ei-Ersatz Sojamehl ersetzen kann. Als Teigsorte wurde dazu der Biskuit ausgewählt, denn er ist ein sehr beliebter Teig aufgrund seiner ausgezeichneten Eigenschaften. Es gibt drei verschiedene Möglichkeiten Biskuit herzustellen, die sich hauptsächlich in der Herstellung und dem Triebmittel unterscheiden, aber auch darin, welche Funktion das Ei erfüllen soll.

8.2 Variante 1: Biskuit mit Backpulver

In dieser Variante wird Backpulver als Triebmittel verwendet. Um die Eigenschaften des Eis besser zu verstehen, wird der Kuchen mit und ohne Ei gebacken. Dann wird das Ei durch Sojamehl ersetzt und ermittelt, welche Qualitäten der eifreie Biskuit besitzt.

8.3 Vorgehen

Auch diesmal wird ein Kuchen nach Rezept gebacken, um eine Referenz zu haben und um zu prüfen, ob man mit diesem Rezept überhaupt ein gutes Ergebnis erzielen kann. Als nächstes wird das Ei weggelassen und nur die entsprechende Menge Wasser zugegeben, die auch im Ei enthalten wäre, da der Kuchen sonst viel zu trocken wäre. Beim dritten Kuchen wird das Ei ebenfalls weggelassen, es wird nun durch den zuvor ausgesuchten Ei-Ersatz Sojamehl ersetzt. Damit man die Kuchen gut vergleichen konnte, werden Kuchen 1-3 am gleichen Tag gebacken. Die drei Kuchen werden anschliessend von den Probanden blind verkostet und bewertet. Das Grundrezept ergibt einen relativ dünnen Kuchen. Da Biskuit oft als Tortenboden mehrschichtiger Torten verwendet wird, ist es praktischer die Menge der Zutaten zu erhöhen. So erhält man einen Biskuit, den man horizontal schneiden kann, um mehrere dünnere Böden zu erhalten. Aus diesem Grund wird doppelte Menge des Kuchens mit Ei-Ersatz gebacken, um zu prüfen, wie dieser sich bei einer etwas grösseren Teigmenge verhält. Auch dieser Kuchen wird von den Probanden verkostet und bewertet.

8.4 Vorbereitung und Material

Da dieses Mal nicht 8 verschiedene Gebäckstücke hergestellt werden müssen, wird die Menge nur wenig reduziert, sodass das Referenzrezept etwa die Dicke erreicht, die eine Schicht Biskuit haben sollte.

Pro Kuchen werden folgende Zutaten benötigt:

- 100 g Mehl
- 5 ml Backpulver
- 100 g Butter

- 2 Eier bzw. 2 Esslöffel Sojamehl und 4 Esslöffel Wasser
- 100 g Puderzucker

8.5 Durchführung

Kuchen 1: Referenzkuchen

Der Ofen wird auf 180°C vorgeheizt und die Backform gut eingefettet und mit Mehl bestäubt. Dann werden Backpulver, Mehl, Puderzucker und Butter vermischt und mit der Hand so lange bearbeitet, bis die Mischung in Form von kleinen Krümeln vorliegt. Danach werden die Eier unter ständigem Rühren hinzugegeben. Der Teig wird in die vorbereitete Form gegeben und im Ofen 20 Minuten lang gebacken. Sobald der Kuchen fertig ist, lässt man in ein oder zwei Mal aus einer Höhe von ca. 20 Zentimetern fallen.

Kuchen 2: Kuchen ohne Ei mit ein wenig Wasser

Der Teig wird auf die gleiche Weise zubereitet, nur wird das Ei weggelassen und durch ca. 80 Milliliter Wasser ersetzt. Die Menge des Wassers wurde derart bestimmt, dass so lange wenig Wasser hinzugegeben wird, bis die Konsistenz des Teiges in etwa derjenigen von Kuchen 1 entspricht.

Kuchen 3: Kuchen mit Sojamehl

In diesem Teig wird das Ei durch 2 Esslöffel Sojamehl und 4 Esslöffel Wasser ersetzt. Eine weitere Zugabe von Wasser ist nicht nötig, da der Teig schon die richtige Konsistenz hat.

Kuchen 4: Kuchen mit Sojamehl, doppelte Menge

Die Mengen der Zutaten werden verdoppelt.

Zweiter Versuch von Kuchen 4

Kuchen 4 muss nochmals gebacken werden, da der erste Versuch misslungen ist. Um zu prüfen, ob es am Rezept liegt, oder an etwas anderem, wird das Experiment wiederholt.

8.6 Resultate

Kuchen 1: Referenzkuchen

Der fertige Teig hatte eine appetitliche gelbe Farbe, der Geschmack war sehr angenehm. Man konnte die einzelnen Zutaten nicht herausschmecken. Beim Backen wurden viele Luftblasen gebildet, das konnte man auch schon während dem Backen beobachten, denn die Teigoberfläche wurde von einzelnen Blasen nach oben gewölbt. Diese konnten jedoch nur selten die Oberfläche durchbrechen und entweichen. In Relation zu der eher geringen Teigmenge ist der Kuchen gut aufgegangen. Nach dem Abkühlen ist er nicht zusammengefallen, wie es mit Biskuit geschehen kann. Der Kuchen wies viele Luftporen auf, weshalb das Essgefühl sehr angenehm war. Im Geschmack war der Kuchen sehr gut und er schmeckte auch den Probanden.



Abbildung 24: Referenzkuchen

Kuchen 2: Biskuit ohne Ei mit ein wenig Wasser

Der fertige noch ungebäckene Teig hatte eine ähnliche Konsistenz wie der Teig mit Ei, er fühlte sich jedoch nicht ganz so fest und stabil an. Auch die Farbe war anders, der Teig war sehr blass, weshalb der Teig mit Ei appetitlicher wirkte. Im gebackenen Kuchen bemerkte man diesen Farbunterschied jedoch nicht. Auch im Geschmack unterschied sich der Teig stark von dem mit Ei, er schmeckte nur nach Zucker und Butter. Beim Backen wurde auch Kohlenstoffdioxid gebildet, man konnte sehen, dass der Teig blubberte und das Kohlenstoffdioxid entweichen konnte. Der Teig fiel jedoch schon beim Backen in sich selbst zusammen. Nach dem Backen ähnelte der Kuchen eher einem grossen und krümeligen

Keks. Er war trocken und nicht fluffig und weich, wie ein Biskuit sein sollte. Der Geschmack wurde als „in Ordnung“ beschrieben. Auch die Trockenheit wirkte einem positiven Geschmackserlebnis entgegen.



Abbildung 25: Biskuit ohne Ei

Kuchen 3: Biskuit mit Sojamehl

Der Teig war etwas flüssiger als der mit Ei. Im Teig konnte man den Eigengeschmack des Sojamehls herauschmecken, im fertigen Kuchen war dies aber nicht mehr so. Beim Backen ging der Teig gut auf, er war jedoch nicht ganz so viel aufgegangen wie der Kuchen mit Ei. Der fertige Kuchen hatte eine sehr gute Konsistenz und war visuell auch nicht von einem Biskuitteig mit Ei zu unterscheiden. Im Geschmack unterschied sich dieser Kuchen fast gar nicht von dem Kuchen mit Ei.



Abbildung 26: Biskuit mit Sojamehl

Kuchen 4: Menge verdoppeln

In der Herstellung war der Teig genau gleich wie Teig 3. Beim Backen ging der Teig gut auf. In der Form war der Teig ungefähr 1 Zentimeter hoch, nach dem Backen war der Biskuit 2.5 Zentimeter hoch. Äusserlich war er ebenfalls nicht von dem mit Ei zu unterscheiden. Als jedoch versucht wurde, den Kuchen auf einen Teller umzusetzen, brach er auseinander. Es wurde fälschlicherweise angenommen, dass der Kuchen schon durchgebacken ist, da bei der Stäbchenprobe kein feuchter Teig am Stäbchen klebte. Diese Probe hilft dabei zu ermitteln, ob ein Kuchen schon fertig ist. Es wird ein Zahnstocher in den Kuchen gesteckt und wieder herausgezogen. Wenn der Teig im Innern noch feucht ist, klebt dieser am Zahnstocher fest. Auch bei der Geschmacksprobe wurde klar, dass der Kuchen nicht durch war. Der Teig war noch sehr weich und hatte ein paar feuchte Stellen.

Kuchen 4: Wiederholung

Bei der Wiederholung des Rezepts wurde der Kuchen 10 Minuten länger gebacken, und er wurde erst aus der Form geholt, als er ganz abgekühlt war. Jetzt war der Kuchen gut durch und brach auch nicht auseinander. Er ähnelte dem Biskuit mit Ei und schmeckte sehr gut. Das Essgefühl war auch sehr angenehm, da sich viele Luftblasen im Teig befanden. Es fiel jedoch auf, dass man mit diesem Biskuit etwas vorsichtiger umgehen musste, da er doch nicht ganz so stabil war, wie der mit Ei.



Abbildung 27: Doppelte Menge

Tabelle 3: Übersicht der Resultate der Testreihe „Biskuit mit Backpulver“

	Nr 1: Referenz	Nr. 2: Ohne Ei	Nr. 3 Sojamehl	Nr. 4 Doppelte Menge
Aufgegangen	Viel	Gar nicht	Viel Weniger als Nr. 1	Gut
Luft einschüsse	Viele	Keine	Viele Weniger als Nr. 1	Viele Weniger als Nr. 1
Konsistenz	Angenehm Gut essbar	Gleicht mehr einem Keks als einem Biskuit	Angenehm Gut essbar	Angenehm Gut essbar
Geschmack	Sehr gut	In Ordnung	Sehr gut Fast nicht von Nr. 1 zu unterscheiden	Sehr gut Fast nicht von Nr. 1 zu unter- scheiden
Kommentar	Ist so, wie ein Biskuit sein soll.	Die keksartige Konsistenz und die Trockenheit wirken dem Geschmacks- erlebnis entgegen.	Gleicht Nr. 1 sehr. Sojamehl ist ein gut geeigneter Ersatzstoff.	Beim ersten Versuch auseinander- gefallen, da er eine längere Backzeit benötigt. Überprüfen, ob der Kuchen durch ist ist nicht einfach. Scheint etwas brüchiger als der mit Ei zu sein.

8.7 Interpretation

Die Notwendigkeit Eier oder ein anderes Bindungsmittel im Kuchenteig zu verwenden, wird klar ersichtlich, wenn man den Kuchen mit und den Kuchen ohne Ei vergleicht. Ohne Ei können das gesamte Kohlenstoffdioxid und auch das verdampfte Wasser komplett entweichen und zurück bleibt ein trockener und brüchiger Keks. Wenn ein Bindemittel im Teig enthalten ist, wie es bei dem Kuchen mit Ei und mit Sojamehl der Fall ist, können die Gase im Kuchen eingeschlossen werden und dieser geht schön auf und wird luftig. Dafür sind die Proteine verantwortlich, die im Ei und dem Sojamehl enthalten sind und beim Backen denaturieren und bei weiterer Erwärmung neue Bindungen untereinander bilden. In 100 Gramm Sojamehl sind 40 Gramm Protein enthalten⁶⁰, das ist fast vier Mal so viel wie in Ei, welches nur 12 Gramm enthält. Man sollte also meinen, dass der Biskuit mit Sojamehl noch stabiler ist, als der mit Ei. Es war jedoch so, dass der mit Sojamehl etwas brüchiger war als der mit Ei. Das könnte daran liegen, dass im Biskuit mit Sojamehl etwas weniger Wasser verfügbar war. Es wurden 4 Esslöffel Wasser hinzugefügt, was ca. 60 Millilitern entspricht. Ein normales Hühnerei wiegt etwa 50 Gramm, im Teig sind also 100 Gramm Ei enthalten. 100 Gramm Ei enthalten ca. 75 Gramm Wasser, das ist ein Viertel mehr als im Teig mit Sojamehl. Aufgrund der niedrigeren Wassermenge gibt es etwas weniger Stärkeverkleisterung und Glutenbildung. Das geht auf Kosten der Stabilität. Dies macht aber keinen gravierenden Unterschied, denn der Biskuit mit Sojamehl war trotzdem mehr als zufriedenstellend.

Die Glutenbildung ist in diesem Rezept sehr wichtig, damit der Kuchen gut zusammenhält und gut aufgehen kann. Aus diesem Grund soll man bei der Herstellung des Teiges Mehl, Butter, Backpulver und Puderzucker mit der Hand stark verkneten. Dabei wird sehr viel Gluten gebildet. Um dies nachzuweisen, wurde Kuchen 2 ohne Ei nochmals gebacken. Dabei wurde der Teig viel länger geknetet, damit sich mehr Gluten bilden konnte. Der Kuchen wurde zwar auch eher ein Keks, jedoch war er viel weniger krümelig und hielt besser zusammen. Dies beweist, dass längeres Kneten und mehr Glutenbildung dem Teig eine bessere Stabilität verschaffen. Zum Vergleich:



Abbildung 28: Biskuit ohne Ei

⁶⁰ <https://www.ernaehrung.de/lebensmittel/de/H761400/Sojamehl.php>



Abbildung 29: Biskuit ohne Ei, wurde viel länger geknetet

Dass der Kuchen mit der doppelten Menge eine längere Backzeit benötigt, lässt sich darauf zurückführen, dass der Kern des Kuchens aufgrund des grösseren Volumens erst später die richtige Temperatur erreicht. Aus diesem Grund fiel der erste Versuch auch auseinander, denn im Innern konnten noch nicht genug Bindungen gebildet werden.

Nach dem Backen wurde der Kuchen aus einer niedrigen Höhe fallen gelassen. Dies tut man, um ein Zusammenfallen des Kuchens beim Abkühlen zu verhindern. Wenn ein Stoff abkühlt, verringert sich auch sein Volumen. Im Kuchen werden die Poren von heissem Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf gebildet. Beim Abkühlen des Kuchens verringert sich das Volumen dieser Gase und sie können die Poren nicht mehr vollständig ausfüllen. Es kann dazu kommen, dass der Kuchen in sich zusammenfällt, weil der Druck des Gases nicht mehr ausreicht, um die Struktur zu stabilisieren. Lässt man den Kuchen nach dem Backen fallen, gehen manche Trennwände zwischen den Poren kaputt und beim Abkühlen kann Luft von aussen in die Struktur eindringen und den Unterdruck ausgleichen.

Zusammenfassend kann man also sagen, dass Sojamehl in diesem Rezept hervorragend funktioniert, da es das Ei als Bindemittel ersetzen kann. Die Proteine im Sojamehl verleihen dem Biskuit eine gute Struktur und Stabilität und der Biskuit kann sehr gut aufgehen. Die Glutenbildung wird durch das Kneten des Teiges gefördert, was den Teig beim Aufgehen unterstützt und ihn stabilisiert. Die Backzeit muss bei einer grösseren Menge unbedingt angepasst werden, sonst ist der Kuchen nicht durch. Bei Sojamehl ist es auch schwierig, herauszufinden, ob der Kuchen schon durch ist, da bei einer Stäbchenprobe auch bei einem nicht durchgebackenen Kuchen kein Teig am Spiess klebt.

9 Variante 2: Biskuit mit Eischnee und Genueser Biskuit

9.1 Vorgehen

Bei dieser Variante wird kein Backpulver als Triebmittel verwendet, sondern Eischnee und ganze geschlagene Eier. Es gibt Biskuitrezepte, die verlangen, dass man einen herkömmlichen Eischnee mit getrennten Eiern herstellt und Rezepte, die verlangen, dass man die ganzen Eier und Zucker schaumig schlägt. Um den Unterschied zwischen diesen beiden Varianten zu ermitteln wird gleiche Menge von Zutaten auf unterschiedliche Weise zu einem Teig zubereitet. Des Weiteren wird versucht, einen Schaum aus Aquafaba herzustellen und einen gleichwertigen Biskuit daraus herzustellen.

9.2 Vorbereitung und Material

Als erstes wird der Referenzkuchen hergestellt. Dabei wird kein Eischnee hergestellt, sondern die ganzen Eier mit dem Zucker zusammen schaumig geschlagen. Dann wird mit den gleichen Zutaten ein Biskuit hergestellt, aber diesmal mit echtem Eischnee. Dieser Eischnee wird im dritten Versuch durch aufgeschlagenes Aquafaba ersetzt. Da dies nicht so gut funktioniert, wird noch ein Biskuit hergestellt, der auf einem Rezept basiert, das auch für Schnee auf Basis von Aquafaba gedacht ist.

Die Zutaten für die ersten 3 Kuchen lauten:

- 100 g Mehl
- 100 g Zucker
- 50 g geschmolzene Butter
- 4 Eier oder 200 Milliliter Aquafaba

Das Rezept für Kuchen 4 lautet:

- 120 g Aquafaba
- 15 g Sojamehl
- 45 g Sprudelwasser
- 75 g Mehl
- 75 g Zucker
- 25 g Stärke
- 6 g Backpulver

9.3 Durchführung

Kuchen 1: Biskuit mit aufgeschlagenen ganzen Eiern

Der Ofen wird auf 200°C vorgeheizt und eine Backform eingefettet und bemehlt. In einem kleinen Topf wird die Butter geschmolzen. Die Eier und der Zucker werden zusammen aufgeschlagen, bis sich das Volumen stark vergrößert hat. Das Aufschlagen muss mit einem elektrischen Rührgerät erfolgen, nur so kann genug Energie aufgewendet werden, dass das Volumen sich vervielfacht. Dieser Vorgang dauert mindestens 10 Minuten. Dann wird das Mehl vorsichtig untergehoben und die geschmolzene Butter hinzugefügt. Der fertige Teig wird sofort in den Ofen geschoben und 25 Minuten lang gebacken werden.

Kuchen 2: Biskuit mit Eischnee

Der Ofen wird auf 200°C vorgeheizt und eine Backform eingefettet und bemehlt. In einem kleinen Topf wird die Butter geschmolzen. Die Eier werden getrennt und das Eiweiss wird geschlagen, bis es fest ist. Ungefähr in der Mitte dieses Vorgangs lässt man vorsichtig den Zucker einrieseln. Dann wird vorsichtig das Mehl untergehoben. Schlussendlich werden das Eigelb und die geschmolzene Butter untergerührt. Der fertige Teig sollte sofort in den Ofen geschoben und 25 Minuten lang gebacken werden.

Kuchen 3: Aquafaba als Eischnee-Ersatz

Kuchen 3 wird genauso hergestellt, nur lässt man das Eigelb und den Eischnee weg und verwendet stattdessen aufgeschlagenes Aquafaba. Ein Ei entspricht ungefähr 50 Millilitern, deswegen werden für 4 Eier 200 Milliliter Aquafaba verwendet.

Kuchen 4: Spezielles Biskuit-Rezept für Aquafaba-Schnee

Der Ofen wird auf 200°C vorgeheizt und das Sojamehl mit dem Sprudelwasser angerührt. Dann wird das Aquafaba schaumig gerührt, sobald es halbfest ist, lässt man langsam den Zucker einrieseln. Das angerührte Sojamehl wird dem Schaum vorsichtig untergerührt. Das Mehl, das Backpulver und die Stärke werden verrührt und dann sehr vorsichtig dem Rest untergehoben und dann 10 Minuten lang gebacken.

9.4 Resultate

Kuchen 1: Kuchen mit aufgeschlagenen ganzen Eiern

Das Aufschlagen der ganzen Eier mit dem Zucker dauerte sehr lange, erst nach 10 Minuten hat sich das Volumen fast versechsfacht. Beim Unterheben des Mehls und der Zugabe der Butter liess sich nur ein sehr geringer Volumenverlust beobachten. Was sofort auffällt ist, dass dieser Teig doppelt so viel Volumen hat, wie der Grundteig aus der Versuchsreihe mit Variante 1, obwohl vom Gewicht her weniger Zutaten verwendet wurden. Der Biskuit ging sehr stark auf, nach dem Backen war der Biskuit 3.2 Zentimeter hoch und hätte Leichtigkeit zwei Mal längs durchgeschnitten werden können, um daraus beispielsweise eine Torte zu machen.



Abbildung 30: Biskuit mit aufgeschlagenen ganzen Eiern

Kuchen 2: Kuchen mit Eischnee

Der Eischnee wurde sehr steif und fest. Nach der Zugabe des Mehls, des Eigelbs und der geschmolzenen Butter verlor der Teig nur sehr wenig seines Volumens. Beim Backen ging der Teig sehr stark auf. Der fertige Biskuit wurde 2.8 Zentimeter hoch. Der Kuchen weist sehr viele kleine Luftporen auf.



Abbildung 31: Biskuit mit Eischnee

Kuchen 3: Biskuit mit Aquafaba

Dieses Rezept musste mehrmals gebacken und angepasst werden, da mein Aquafaba-Schaum nicht stabil genug wurde.

Versuch 1: Zuerst wurde versucht, das Aquafaba mit dem Zucker zusammen aufzuschlagen. Auch nach 10 Minuten hatte sich das Volumen höchstens verdoppelt und die Masse war noch sehr flüssig. Die Höhe in der Backform war nicht mal halb so hoch wie bei Kuchen 2. Nach dem Backen erhielt man einen sehr flachen Kuchen mit einer rissigen Oberfläche. Die Oberseite war sehr knusprig und das Innere eher hart. Im Gegensatz zur Konsistenz des Kuchens war der Geschmack gut.



Abbildung 32: Biskuit mit Aquafaba,
Versuch 1

Versuch 2: Das Aquafaba wurde allein aufgeschlagen. Das funktionierte sehr gut, das Volumen wurde mindestens versechsfacht und die Masse war äusserlich kaum von einem Eischnee zu unterscheiden. Der Schnee war sehr fest und bestand auch die „Kopf-Über“-Probe. Sobald jedoch die restlichen Zutaten untergehoben wurden, verlor der Schnee jegliches Volumen und die ganze untergeschlagene Luft entwich. Nach dem Backen erhielt man ein sehr ähnliches Ergebnis wie im ersten Versuch.



Abbildung 33: Biskuit mit Aquafaba, Versuch 2

Versuch 3: Man liess Zucker einrieseln, sobald der Schnee eine gewisse Festigkeit erreicht hatte. Der Schnee mit dem Zucker wurde sehr fest, noch fester als der Schnee aus Versuch 2. Sobald die restlichen Zutaten zugegeben wurden, verlor der Schaum wieder sein ganzes Volumen. Der fertige Kuchen ähnelte denen aus Versuch 1 und 2 sehr.



Abbildung 34: Biskuit mit Aquafaba, Versuch 3



Abbildung 35: Schaum aus Aquafaba

Kuchen 4: Spezielles Biskuit-Rezept für Aquafaba

Da Kuchen 3 nicht gelingen wollte, wurde ein spezielles Rezept herausgesucht. Das Aquafaba mit dem eingerieselten Zucker wurde wieder sehr fest und steif. Sobald jedoch das Sojamehl untergerührt wurde, verlor der Teig einen recht grossen Teil seines Volumens. Ein paar wenige Luftblasen blieben jedoch im Teig. Aufgrund dieses Verlusts von Luftblasen wurde mehr Backpulver hinzugefügt. Beim Backen ging der Kuchen dann sehr gut auf und verdoppelte seine Höhe. Im fertigen Kuchen befanden sich auch sehr grosse Lufteinschlüsse, was das Essgefühl etwas verschlechterte. Auch hatte der Kuchen einen etwas eigenartigen Eigengeschmack, welcher jedoch leicht mit einer Creme überdeckt werden könnte.



Abbildung 36: Biskuit mit Aquafaba, extra Rezept

Tabelle 4: Übersicht der Resultate der Testreihe "Biskuit mit Eischnee und Genueser Biskuit"

	Nr 1: Ganze aufgeschlagene Eier	Nr. 2: Eischnee	Nr. 3: Aquafaba als Ersatz	Nr. 4: Spezielles Rezept für Aquafaba
Aufgegangen	Sehr viel	Sehr viel	Gar nicht	Viel
Lufteinschlüsse	Viele	Viele	Keine	Viele, grosse
Konsistenz	Angenehm Gut essbar	Angenehm Gut essbar	Knusprige Ober- seite Hartes Inneres	In Ordnung
Geschmack	Sehr gut	Sehr gut	Gut	Eigenartiger Eigengeschmack
Kommentar	Man muss lange schlagen, bis die Eier schaumig genug werden. Dafür geht der Kuchen dann auch gut auf.	Man muss weniger lange schlagen als bei Nr. 1, dafür geht der Kuchen ein bisschen weniger auf. Die Zugabe des Zuckers bewirkt, dass man einen ausserordentlich steifen Schnee erhält.	Aquafaba lässt sich zu festem Schaum schlagen, der Zeitpunkt der Zuckerzugabe ist wichtig für diesen Vorgang. Bei der Zugabe der restlichen Zutaten fällt der Schaum jedes Mal zusammen.	Auch in diesem Rezept fällt der Aquafabaschaum wieder in sich zusammen.

9.5 Interpretation

Kuchen 1 und 2

Das Ei lässt sich zusammen mit dem Zucker zu einer luftreichen Masse aufschlagen, obwohl im Eigelb viel Fett enthalten ist. Dieses Fett erschwert oder verhindert eigentlich eine Blasenbildung. Wenn genug Zeit und Energie aufgewendet werden, können jedoch auch ganze Eier zu einem Schaum aufgeschlagen werden. Es müssen lediglich viel mehr Proteine durch Rühren denaturiert werden. Erst lagern sich die denaturierten Proteine am Fett an und umschliessen es. Werden aber genug Proteine denaturiert, können sie sich nicht mehr an Fett anlagern, weil nicht genug Fett vorhanden ist. Sie beginnen wie bei der Herstellung von Eiweiss Doppelmembranen zu bilden und schliessen dabei Luft ein. Damit genug Proteine denaturiert werden können, muss Zucker hinzugegeben werden, denn dieser erhöht die Viskosität der Masse und bindet Wasser. Ohne den Zucker wäre es selbst mit einem Rührgerät nicht möglich, ganze Eier zu einem Schaum zu schlagen. Sobald man die Butter hinzufügt, fangen einige der erzeugten Luftblasen an zu platzen, da sich die hydrophilen Aminosäuren eher an Fett anlagern. Aus diesem Grund sollte der Teig schnellstmöglich in den Ofen, damit die Wärme die Schaummasse stabilisieren kann.

Ob man Eischnee verwendet oder die Eier mit dem Zucker schaumig schlägt, macht nur einen kleinen Unterschied. Kuchen 1 ist nur 4 Millimeter höher als Kuchen 2. Vermutlich hängt das damit zusammen, dass beim Kuchen mit Eischnee Eigelb und Butter nach der Herstellung des Schnees hinzugegeben werden und so mehr Fett auf einmal zugegeben wird. Variante 1 mit den ganzen geschlagenen Eiern scheint zwar besser zu funktionieren, jedoch muss man bei der Herstellung des Schaums mit ganzem Ei mindestens 10 Minuten lang auf hoher Stufe rühren. Mein Mixer läuft schon nach etwa 4 Minuten heiss. Ich werde vermutlich in Zukunft trotzdem lieber Eischnee nutzen, damit mein Mixer nicht in Mitleidenschaft gezogen wird. Wenn man eine Küchenmaschine besitzt, stellt die lange Rührzeit aber kein Problem dar.

Bei diesem Biskuit ist die Bildung von Gluten nicht notwendig, ja sogar nicht wünschenswert, weil der Biskuit möglichst feinporig sein soll. Das Gluten macht den Teig elastisch und auch zäh, was ein Biskuit nicht sein sollte. Neben der Tatsache, dass ein starkes Unterrühren des Mehls einen grossen Verlust von Luftblasen zu Folge hat, verhindert das vorsichtige Unterheben auch die übermässige Bildung von Gluten.

Das Gluten wird nicht benötigt, da sich das Gas schon im Teig befindet und der Teig nicht von sich bildendem Gas „aufgeblasen“ werden muss, wie es bei Kuchen mit Backpulver der Fall ist. Bei Biskuit mit Eischnee ist dafür die Stärke von grosser Bedeutung. Der Eischnee allein kann den Kuchen nicht genug stabilisieren, die Stärke verfestigt den Eischnee und zwischen der Stärke und den Proteinen kann

es auch zu Bindungen kommen, die die Struktur noch besser stabilisieren. In vielen Biskuitrezepten wird deswegen auch ein Teil des Mehls durch Speisestärke ersetzt⁶¹.

Es kommt einem etwas unlogisch vor, dem Teig Butter hinzuzugeben, wenn diese die Luftblasen zum Platzen bringt und einen Verlust von Volumen und Treibkraft zur Folge hat. Die Butter ist ein Geschmacksverstärker und macht den Biskuit schmackhafter. Sie verhindert ausserdem das Altbackenwerden. Besonders in einem Gebäck wie Biskuit, der saftig sein sollte ist das sehr wichtig.

Schaum aus Aquafaba

Die genauen Anteile der Inhaltsstoffe von Aquafaba können sich stark unterscheiden, je nachdem welches Produkt man nimmt. Man weiss jedoch, dass es zu einem Grossteil aus Wasser besteht, der Rest sind Proteine und Kohlenhydrate. Das Aquafaba lässt sich zu einem Schaum schlagen, weil die enthaltenen Proteine die gleichen chemischen Eigenschaften haben wie die in Eiklar. Auch sie haben hydrophobe und hydrophile Teile und können Doppelmembranen bilden.

In Versuch 1 wurde das Aquafaba mit dem Zucker zusammen aufgeschlagen. Dies funktioniert nicht, da der Zucker sich mit Wasser verbinden kann. Es entsteht also eine Zucker-Wasser-Pampe und das Aquafaba kann keinen Schaum mehr bilden. In Versuch 2 und 3 konnte ein Schaum hergestellt werden, derjenige mit Zucker, war sogar noch stabiler als der ohne, da der Zucker die Stabilität fördert, wenn er zu rechten Zeit zum Schaum gegeben wird. Bei beiden Versuchen fiel der Schaum sofort zusammen, sobald die restlichen Zutaten hinzugefügt wurden. Das könnte an der Butter liegen, die die Luftblasen zum Platzen bringt. Das Zusammenfallen des Schaums von Kuchen 4 könnte dann auf den hohen Fettgehalt von Sojamehl zurückzuführen sein (20 Gramm Fett/100 Gramm). Das würde bedeuten, dass Aquafaba viel empfindlicher auf Fett reagiert als herkömmlicher Eischnee. Dies sind jedoch alles nur Vermutungen und ich finde keine Erklärung, warum es bei mir nicht funktioniert hat. Bei vielen anderen Leuten scheint es zu funktionieren. Dieser Umstand wäre ein interessantes Thema für weitere Untersuchungen.

Der Grund dafür, dass Kuchen 4 trotz des zusammengefallenen Schaumes doch viele Luft einschliesse aufweist, ist das Backpulver, man hätte also vermutlich das Aquafaba auch ganz weglassen können.

⁶¹ Die letzten Geheimnisse der Kochkunst, Peter Braham, Seite 255

Schlussfolgerungen

Nun bin ich im Stande die zuvor formulierten Leitfragen zu beantworten und die Hypothesen zu bestätigen.

Zur Erinnerung: Meine Hypothesen

- Das Ei trägt massgeblich dazu bei, dass der Kuchen seine typischen Eigenschaften erhält. Lässt man das Ei weg, erhält man ein komplett anders Ergebnis.
- Es gibt keinen Ei-Ersatzstoff, der jede Funktion des Eis ersetzen kann. Z.B.: Ein Ersatz, der für Stabilität wichtig ist, kann keinen luftigen Schaum bilden, wie es Eiklar kann.
- Benutzt man Ei-Ersatz (Lupinenmehl, Sojamehl), kann es sein, dass im Rezept zum Beispiel Flüssigkeit fehlt und man noch welche hinzufügen muss. Also muss man bei manchen Ei-Ersatzstoffen das Rezept anpassen, damit man mit diesem Ei-Ersatz ein ähnliches Ergebnis erhält.
- Die Wahl des Ei-Ersatzes hängt davon ab, welchen Geschmack man erzeugen will.

Welche Funktionen erfüllen Eier im Kuchen? Welche chemischen Vorgänge laufen bei der Kuchenherstellung ab?

Bei der Kuchenherstellung sind eine Reihe von chemischen Reaktionen essenziell für das Gelingen des Gebäcks. Je nach Teigsorte sind manche davon erwünscht oder eben nicht. Bei meinen Untersuchungen von Rührteig und Biskuitteig wurde klar, dass folgende 5 Prozesse zu einem optimalen Ergebnis beitragen: Eiweissdenaturierung, Glutenbildung, Stärkeverkleisterung, Teiglockerung und die Bildung von Schäumen. Eiweissdenaturierung findet beim Backen bei hohen Temperaturen statt und verleiht dem Gebäck Struktur und Stabilität. Auch die Bildung von Gluten und Stärkeverkleisterung erhöht die Stabilität. Diese Stabilisierung des Kuchens ist essenziell für eine gute Teiglockerung. Die Konsistenz und Festigkeit des Teigs müssen nämlich optimal sein, damit das Gas in seinen Lufteinschlüssen bleibt und den Kuchen nicht verlassen kann. Die Experimente mit den Muffins haben gezeigt, dass das Ei hier die Funktion als Bindemittel hat. Der Muffin ohne Ei ist trotz des fehlenden Eis jedoch nicht krümelig oder instabil. Er ist aber im Gegensatz zum Muffin mit Ei nur wenig aufgegangen. Dies zeigt, dass in dieser Teigvariante die Funktion als Bindemittel nicht für den Zusammenhalt des Muffins wichtig ist, sondern dafür, dass kein Kohlenstoffdioxid aus dem Teig entweichen kann.

Auch beim Biskuit mit Backpulver stellte sich heraus, dass das Ei hier die Funktion als Bindemittel und Konsistenzgeber übernimmt und das Kohlenstoffdioxid im Teig einschliesst. Im Gegensatz zu den Muffins ist die Bindung des Eis in diesem Rezept jedoch sehr wichtig. Der Biskuit ohne Ei enthielt kein Bindemittel und konnte so gar nicht richtig aufgehen und eine Porenstruktur bilden. Dass sich die Biskuits mit und ohne Ei so grundlegend unterscheiden, bestätigt meine erste Hypothese. Im Grundrezept stammen die Proteine aus dem Ei, weitere Experimente zeigten jedoch, dass auch andere proteinhaltige Zutaten verwendet werden können. Der Kuchen mit Sojamehl war fast so gut wie der Kuchen mit Ei, was zeigt, dass die Bindeeigenschaften des Eis sehr einfach ersetzt werden können. Auch die Glutenbildung beim Kneten des Teiges ist sehr relevant, das ist im Vergleich in Kapitel 8.7 klar ersichtlich (siehe Abbildungen 28 und 29). Das Gluten verleiht dem Teig Stabilität und verstärkt so die Wirkung der Proteindenaturierung.

Bei den Teigen mit Eischnee ist die Glutenbildung jedoch nicht erwünscht. Bei diesem Teig befindet sich das Triebmittel schon im Teig und wird nicht erst beim Backvorgang gebildet. Aus diesem Grund muss der Teig nicht elastisch sein, wie es in glutenhaltigen Kuchen der Fall ist. Die Bindung ist trotzdem ausreichend aufgrund der Proteindenaturierung im Eischnee und der Stärkeverkleisterung. Nicht nur Eiklar kann stabile Schäume bilden, sondern auch proteinhaltiges Aquafaba. Ich selbst habe es schon erfolgreich in einer Schokomousse verwendet, die über längere Zeit stabil blieb. In den Rezepten für diese Arbeit gelang das jedoch nicht. Bei der Zugabe der anderen Zutaten fiel der Schaum komplett zusammen und es konnte kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Das galt auch für ein speziell für Aquafaba konzipiertes Rezept.

Tabelle 5: Zusammenfassung der verschiedenen Funktionen von Ei und anderen Stoffen beim Backen. Kommentare basierend auf eigenen Erfahrungen wurden ergänzt.

Funktion	Bindemittel	Triebmittel	Struktur und Stabilität	Blasenbildung	Kommentar
Ganzes Ei (flüssig, nur wenig oder gar nicht geschlagen)	Ja	Nein	Durch Eiweissdenaturierung	Keine	In Kuchen ohne starke Aromen wirkt das Ei auch als Geschmacksgeber
Eischnee oder ganze geschlagene Eier	Ja	Ja	Durch Eiweissdenaturierung	Lufteinschlüsse durch Blasenbildung beim Schlagen	Eischnee und ganze geschlagene Eier scheinen eine bessere Triebwirkung zu erzielen als Backpulver

Sojamehl	Ja	Nein	Durch Eiweiss-denaturierung	Keine	Guter Ersatz Erfordert zusätzliche Flüssigkeit
Aquafaba	Theoretisch Keine verwertbaren Resultate	Theoretisch Keine verwertbaren Resultate	Theoretisch durch Protein-denaturierung, Keine verwertbaren Resultate	Luft einschüsse durch Blasenbildung beim Schlagen	Fiel bei der Zugabe der restlichen Zutaten zusammen und konnte so keine Teiglockerung bewirken
Mehl	Nein	Nein	Durch Glutenbildung und Stärkeverkleisterung	Nein, Glutenbildung sorgt jedoch dafür, dass so wenig Gas wie möglich entweichen kann	Glutenbildung ist in manchen Kuchen erwünscht, wird in anderen jedoch absichtlich vermieden.
Backpulver	Nein	Ja	Nein	Ja	-
Flüssigkeit	Nein	Ja Als Wasserdampf	Indirekt Setzt Gluten und Stärkeverkleisterung in Gang	Indirekt Setzt Reaktion des Backpulvers in Gang	-

Ist es möglich die Eigenschaften von Eiern mit anderen Stoffen zu ersetzen?

Ja, man kann Eier durch andere Stoffe ersetzen. Man muss allerdings eine Vorstellung davon haben, welche Funktion man ersetzen will, da es keinen Stoff gibt, der alle Eigenschaften des Eis besitzt, weil das Ei an sich schon aus zwei unterschiedlichen Teilen (Eiklar und Eigelb) besteht. Damit ist auch meine zweite Hypothese bestätigt. Im Rahmen der Arbeit ist es mir gelungen die bindenden Eigenschaften des Eis sowie die Schaumbildung mithilfe von Ersatzstoffen zu imitieren. Für die bindenden Eigenschaften habe ich Sojamehl benutzt, welches einen hohen Proteingehalt aufweist und deshalb auch bindende Eigenschaften besitzt. Deshalb empfehle ich diesen Ersatz für Kuchen, die Bindung benötigen. Die Experimente mit dem Sojamehl haben ausserdem gezeigt, dass man in manchen Rezepten das Ei einfach durch das Mehl und Wasser austauschen kann. Mit dem Aquafaba ist es mir gelungen einen Schnee herzustellen, der genauso fest war wie echter Eischnee. Bei der Kuchenherstellung fiel er jedoch sofort wieder zusammen. Diesen Schaum stabiler zu machen wäre ein interessanter Ansatz für weitere Untersuchungen.

Kann man in einem normalen Rezept einfach die Eier austauschen oder braucht es speziell angepasste Rezepte für den Ei-Ersatz, um das gleiche Ergebnis zu erhalten?

Es gibt einige Ersatzstoffe, die die Eigenschaften des Eis imitieren können. Manche davon kann man einfach gegen das Ei austauschen, wie zum Beispiel Sojamehl. Für andere braucht es eine Anpassung des Rezepts oder sogar ein spezielles Rezept, wie beim Apfelmus, damit der Kuchen gelingt. Benutzt man einen trockenen Ei-Ersatz wie Sojamehl, muss dem Teig noch Flüssigkeit hinzugefügt werden, was auch die dritte meiner Hypothesen bestätigt. Der Mangel an Flüssigkeit würde das Gebäck trocken machen und die Stärkeverkleisterung beeinträchtigen. In der Muffin-Testreihe fällt aber auch auf, dass manche Ersatzstoffe zu viel Wasser enthalten und die Menge des Mehls oder des Zuckers oder die Backzeit erhöht werden müsste. Neben der Anpassung des Rezepts muss auch beachtet werden, dass manche Ersatzstoffe einen starken Eigengeschmack haben. Bei diesen Zutaten sollte deshalb darauf geachtet werden, dass sie zum Geschmacksbild des geplanten Kuchens passen. Damit ist auch die letzte Hypothese bestätigt.

Danksagung

Ich bedanke mich bei allen, die mir bei der Verwirklichung dieser Arbeit geholfen haben.

Ich möchte meinem Betreuer Rainer Steiger danken, der mir vor allem bei strukturellen Aufbau der Arbeit geholfen hat, mich aber auch sonst in jeglicher Hinsicht unterstützt hat.

Ich möchte mich auch bei meinen Eltern bedanken, die mir beim Backen geholfen, meine Kreationen verkostet und Korrektur gelesen haben.

Mein besonderer Dank gebührt meiner Patentante Žaklina, die mich von Anfang an begleitet hat und sich viel Zeit genommen, um meine Arbeit durchzulesen und sich auch tiefer mit dem Thema auseinandergesetzt hat, um mit mir über das Thema diskutieren zu können. Ihre intelligenten und hilfreichen Kommentare haben mir sehr weitergeholfen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau des Hühneis ⁶²	8
Abbildung 2: Verhalten von schaubildenden Molekülen in wässriger Lösung ⁶³	14
Abbildung 3: Primär-, Sekundär- und Tertiärstruktur des Proteins ⁶⁴	15
Abbildung 4: Funktionseinheit aus 4 Proteinen ⁶⁵	16
Abbildung 5: Verlust der räumlichen Struktur aufgrund von Denaturierung ⁶⁶	17
Abbildung 6: Aufbau des Stärkekorn, Proteinschicht nicht abgebildet ⁶⁷	18
Abbildung 7: Bildung von Gluten ⁶⁸	19
Abbildung 8: Muffin 1, aufgeschnitten ⁶⁹	24
Abbildung 9: Muffin 1.....	24
Abbildung 10: Muffin 2.....	25
Abbildung 11: Muffin 2, aufgeschnitten.....	25
Abbildung 12: Muffin 3.....	25
Abbildung 13: Muffin 3, aufgeschnitten.....	25
Abbildung 14: Muffin 4.....	26
Abbildung 15: Muffin 4, aufgeschnitten.....	26
Abbildung 16: Muffin 5.....	26
Abbildung 17: Muffin 5, aufgeschnitten.....	26
Abbildung 18: Muffin 6.....	27
Abbildung 19: Muffin 6, aufgeschnitten.....	27
Abbildung 20: Muffin 7.....	27
Abbildung 21: Muffin 7, aufgeschnitten.....	27

⁶² <https://www.eierfans.de/eierwissen-aufbau-erzeugung-und-statistische-daten-zum-ei/>

⁶³ https://external-content.duckduckgo.com/iu/?u=https%3A%2F%2Fumwelt.provinz.bz.it%2Fimages%2Facqua_04_schiume1_de.png&f=1&nofb=1

⁶⁴ <https://external-content.duckduckgo.com/iu/?u=https%3A%2F%2Fwww.mpg.de%2F640223%2Fzoom-1293749517.jpeg&f=1&nofb=1>

⁶⁵ https://external-content.duckduckgo.com/iu/?u=http%3A%2F%2Fwww.chemgapedia.de%2Fvsengine%2Fmedia%2Fvsc%2Fde%2Fch%2F8%2Fbc%2Fproteine%2Faminos_u_einleit%2Fgif_pdb_mov%2Fhem_pdb_altref3.jpg&f=1&nofb=1

⁶⁶ https://external-content.duckduckgo.com/iu/?u=https%3A%2F%2Fwww.ethz.ch%2Fde%2Fnews-und-veranstaltungen%2Feth-news%2Fnews%2F2017%2F02%2Fseltene-proteine-kollaborieren-frueher%2F_jcr_content%2Fnews_content%2Ffullwidthimage_1736034837%2Fimage.imageformat.lightbox.772021213.jpg&f=1&nofb=1

⁶⁷ https://external-content.duckduckgo.com/iu/?u=https%3A%2F%2Fwww.simplycooking.ch%2Ffileadmin%2F_processed_%2F8%2F5%2Ffsm_Gele_5_a12337927c.jpg&f=1&nofb=1

⁶⁸ Die letzten Geheimnisse der Kochkunst, Peter Braham, Seite 26

⁶⁹ Abbildungen 8-36: Fotografiert von Serena Schmidt

Abbildung 22: Muffin 8	28
Abbildung 23: Muffin 8, aufgeschnitten	28
Abbildung 24: Referenzkuchen.....	35
Abbildung 25: Biskuit ohne Ei.....	36
Abbildung 26: Biskuit mit Sojamehl.....	36
Abbildung 27: Doppelte Menge.....	37
Abbildung 28: Biskuit ohne Ei.....	39
Abbildung 29: Biskuit ohne Ei, wurde viel länger geknetet.....	40
Abbildung 30: Biskuit mit aufgeschlagenen ganzen Eiern	43
Abbildung 31: Biskuit mit Eischnee.....	44
Abbildung 32: Biskuit mit Aquafaba, Versuch 1	44
Abbildung 33: Biskuit mit Aquafaba, Versuch 2	45
Abbildung 34: Biskuit mit Aquafaba, Versuch 3	45
Abbildung 35: Schaum aus Aquafaba	46
Abbildung 36: Biskuit mit Aquafaba, extra Rezept	46
Abbildungen auf dem Titelblatt: Mehl ⁷⁰ , Eier ⁷¹	

⁷⁰

[https://external-content.duckduckgo.com/iu/?u=https%3A%2F%2Fwallpapercave.com%2Fwp%2Fwp3130022.jpg&f=1&nofb=](https://external-content.duckduckgo.com/iu/?u=https%3A%2F%2Fwallpapercave.com%2Fwp%2Fwp3130022.jpg&f=1&nofb=1)

[1](#)

⁷¹ Fotografiert von Andrea Schmidt