



# Wie macht man vegane Macarons?

---

Eine Arbeit über vegane Proteinschäume und Backprozesse.

## **Maturaarbeit**

vorgelegt von  
Dominik Weiss, 4na

Betreuer  
Dr. Rainer Steiger

eingereicht an der  
Kantonsschule Schaffhausen

Dezember 2018

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
1.1	Motivation.....	4
2	Geschichte der Macarons.....	5
2.1	Herkunft des Namens.....	5
2.2	Herkunft des Gebäcks.....	5
2.3	Varianten ausserhalb von Frankreich.....	5
2.3.1	Makronen.....	5
2.3.2	Amaretti.....	5
2.3.3	Luxemburgerli.....	5
2.4	Varianten in Frankreich.....	6
2.4.1	Macaron Parisien (auch Macaron Gerbet).....	6
2.4.2	Macarons de Saint Emilion und Macarons de Lusignan.....	6
2.5	Macarons – ein Trendgebäck:.....	6
3	Was ist «vegan»?.....	7
4	Klassische Herstellung:.....	8
4.1	Wie lässt sich ein perfektes Macarons definieren?.....	8
4.2	Rezept:.....	9
4.2.1	Rezeptsuche:.....	9
4.2.2	Rezept für Macaron-Halbschalen.....	9
	Zubereitung.....	9
	Tipps und Tricks vom Autor.....	10
4.3	Füllung.....	11
5	Eiklar – Theorie.....	13
5.1	Allgemeines.....	13
5.2	Zusammensetzung des Eiklars.....	13
5.2.1	Hauptbestandteile.....	13
5.2.2	Proteine.....	14
5.3	Aufschlagen von Eiklar.....	14
5.3.1	Funktionsweise des Aufschlagens.....	14
5.3.2	Beobachtete Eigenschaften und Probleme beim Aufschlagen von Eiklar.....	14
5.3.3	Erklärung/Widerlegung der festgestellten Eigenschaften/Behauptungen.....	14
6	Vegane Macarons.....	16
6.1.1	Vorteile veganer Macarons.....	16
6.2	Experimente.....	16

---

6.2.1	Zielsetzung:.....	16
6.2.2	Aquafaba .....	16
6.2.3	Vor- und Nachteile von Aquafaba.....	17
6.2.4	Ersatzstoff für Aquafaba .....	17
6.2.5	Weiter bereits fertig erwerbbar Ersatzstoffe:.....	17
6.2.6	Erbsenprotein .....	20
6.2.7	Experimente zum Erbsenprotein .....	20
6.2.8	Vergleich von Erbsenprotein, Aquafaba und Eiklar:.....	25
6.2.9	Fazit .....	25
6.3	Vegane Macarons mit Erbsenprotein .....	25
6.3.1	Backtag 1: Erbsen-Meringue.....	26
6.3.2	Backtag 2: Vegane Macarons ohne Füllung .....	26
6.3.3	Backtag 3: Vegane Macarons mit Ganache-Füllung.....	27
6.3.4	Backtag 4: Vegane Macarons mit Zitronenfüllung .....	29
6.3.5	Verkostungsrunde .....	30
6.3.6	Backtag 5: Vegane Macarons ohne Füllung .....	31
6.3.7	Backtag 6: Vegane Macarons ohne Füllung .....	32
6.3.8	Backtag 7: Vegane Macarons auf Backpapier ohne Füllung .....	32
6.3.9	Backtag 8. Vegane Macarons mit Kaffeecreme .....	33
6.4	Fazit .....	35
6.5	Ausblick .....	35
7	Glossar.....	36
Anhang	.....	37
Anhang 1 (Rezept)	.....	37
Vegane Macarons – Rezept des Autors	.....	37
Anhang 2(Verkostung)	.....	39
Redlichkeitserklärung	.....	43

# 1 Zusammenfassung

Das Hauptziel der folgenden Arbeit war die Herstellung veganer Macarons bzw. Luxemburgerli. Um dieses Ziel zu erreichen wurde nach einem veganen Eiklarersatz gesucht.

Um zu verstehen was Macarons sind, wurde zuerst deren Geschichte, Herkunft und einige regionale Varianten betrachtet. Dann wurde nach einem funktionierenden Rezept für normale Macarons gesucht. Dabei wurde beobachtet, auf was bei der Herstellung der Macarons besonders zu achten ist. Bevor ein Eiklarersatz gesucht wurde, wurde das Eiklar zuerst genauer unter die Lupe genommen, um zu verstehen, was dieses in der Küche und allgemein so speziell macht.

Dann wurde aus einem Erbsenproteinisolat, aus Wasser und aus Stärke ein Eiklarersatz hergestellt und dieser im Laufe mehrerer Versuche stetig verbessert. Als die perfekte Rezeptur gefunden war, wurden mit dem Eiklarersatz Macarons hergestellt. Dabei wurden während der ganzen Arbeit wohl rund 300 Macarons gebacken und je ca. 1.5 kg Mandeln und Puderzucker verarbeitet. Auch diese wurden von Versuch zu Versuch verbessert. Ausserdem wurde während diesem Prozess eine Verkostungsrunde durchgeführt, um herauszufinden, wie die veganen Macarons bei anderen Leuten ankommen.

Abschliessend wurde ein fertiges und gelingsicheres Rezept für vegane Macarons formuliert.

Fachbegriffe, welche einer Erklärung bedürfen, wurden bei der Erstnennung fett markiert und können im Glossar am Ende der Arbeit nachgeschlagen werden.

## 1.1 Motivation

Ich habe schon seit längerer Zeit ein Faible für Desserts und auch immer gerne gebacken. Als ich wieder einmal nach neuen Rezepten gesucht habe, stieß ich auf Macarons. Nach einigen misslungenen Versuchen fand ich ein gutes Rezept und die Macarons gelangen mir immer besser. Ausserdem bin ich nun schon seit einigen Jahren Vegetarier, weshalb mir die Idee des Veganismus nicht fremd ist. Als es an die Wahl eines Maturaarbeitsthemas ging, kam dabei etwas in Richtung Lebensmittelchemie in Frage. Dabei kam mir die Idee, vegane Macarons herzustellen. Ich dachte mir, da die Herstellung von Macarons schon nicht einfach ist, müssen vegane Macarons noch schwieriger herzustellen sein. Mit der Idee ein traditionelles Rezept, ohne Kompromisse einzugehen, in ein veganes Rezept umzuwandeln, war eine spannende und durchaus herausfordernde Aufgabe gefunden. Schnell wurde mit klar, dass es dabei vor allem auch um Eiklar und Proteinschäume im Allgemeinen gehen wird, womit eine gute Grundlage für einen theoretischen Teil gegeben war.

## 2 Geschichte der Macarons<sup>1</sup>

### 2.1 Herkunft des Namens

Macaron stammt vom italienischen Wort „Maccheroni“ ab. Die Herkunft des Wortes Maccheroni ist allerdings nicht eindeutig. Es entstammt entweder dem Griechischen oder dem Lateinischen. Im Venezianischen bedeutet „macarone“ oder auch „maccherone“ so viel wie feiner Teig und wurde allgemein für Feingebäcke verwendet. Sicher ist, dass Makronen, Maccheroni (Makkaroni) und Macarons vom gleichen Wort abstammen.

### 2.2 Herkunft des Gebäcks

Makronenähnliche Mandelbackwaren stammen ursprünglich aus dem arabischen Sprachraum. Im 9. Jahrhundert gelangten sie durch die arabische Besetzung Siziliens nach Italien.

### 2.3 Varianten ausserhalb von Frankreich

#### 2.3.1 Makronen<sup>3</sup>

Makronen sind Backwaren, die hauptsächlich aus **Eiklar**, Zucker und Nüssen bestehen. Deswegen sind Makronen sehr lange haltbar. Im Vergleich zu den Macarons Parisiens enthalten herkömmliche Makronen mehr Nüsse. Sie sind dadurch dichter und weniger luftig. Bekannt sind vor allem Kokosmakronen, Mandelmakronen und Baumnussmakronen.



Kokosmakronen

#### 2.3.2 Amaretti<sup>4</sup>

Amaretti sind eine aus Italien stammende Variante der Makrone. Amaretti bestehen aus Eiklar, Zucker und gemahlene Mandeln oder gemahlene Aprikosenkernen. Sie sind luftiger als Makronen, aber ebenso lange haltbar.

#### 2.3.3 Luxemburgerli<sup>6</sup>

Luxemburgerli, so heissen die Macarons der Firma Sprüngli, sind kleiner und gemäss Angaben der Firma Sprüngli luftiger und leichter als Macarons. Abgesehen davon unterscheiden sich die beiden Gebäcke aber kaum. Der Konditor Richard Sprüngli (1916-2013) entdeckte diese Backware vor etwa 60 Jahren bei einer befreundeten Familie in Luxemburg. Er beschloss dieses luftige Gebäck unter dem Namen „Luxemburgerli“ in sein Sortiment aufzunehmen, daher der Name.

Wie der Autor während der Arbeit festgestellt hat, sind Macarons in der Schweiz den meisten Leuten nur als „Luxemburgerli“ bekannt, was für deren Erfolg spricht.



Richard Sprüngli

## 2.4 Varianten in Frankreich

### 2.4.1 Macaron Parisien (auch Macaron Gerbet)

Macaron Parisien sind vermutlich die berühmteste Form der Macarons. Das merkt man allein daran, dass mit Macarons im allgemeinen immer Macarons Parisiens gemeint sind. Wann immer in dieser Arbeit der Begriff Macaron verwendet wird, sind Macarons Parisiens gemeint.

Anfang des 20. Jahrhunderts begann Pierre Desfontaines, Inhaber der Bäckerei Ladurée, **Ganache** zwischen zwei Macarons zu füllen. Die Bäckerei Ladurée produziert ihre Macarons bis zum heutigen Tag nach diesem traditionellen Rezept. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts verbesserte Pierre Hermé das Rezept von Ladurée, indem er **italienische Meringue** und flüssiges Eiklar verwendete und seine Macarons nicht wie bisher mit einer **französischen Meringue** und ohne flüssiges Eiklar zubereitete.



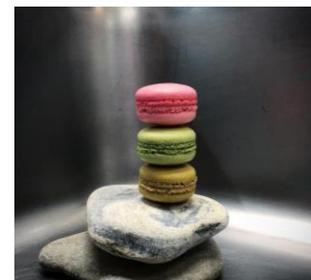
Pierre Hermé

### 2.4.2 Macarons de Saint Emilion und Macarons de Lusignan

Macarons de Saint Emilion und Macaron de Lusignan sind zwei weitere regionale Varianten der Macarons. Sie gleichen eher unseren Makronen, als den Macarons Parisiens. Die Hauptzutaten der beiden Varianten sind ebenfalls Mandeln, Eiklar und Zucker.

## 2.5 Macarons – ein Trendgebäck:

Das Backen erlebt durch das Internet ein Revival. Das liegt vor allem an Foodblogs und sozialen Medien wie zum Beispiel Instagram. Rezepte und eben auch Bilder werden geteilt und geliket. Macarons eignen sich, wenn sie exakt hergestellt sind, perfekt als Fotomodell. Aus diesem Grund kennt der Autor auch Christian Hümb's (zweites Bild), dessen Macarons durch ein unglaublich exaktes und perfektes Aussehen bestechen.



### **3 Was ist «vegan»?**

Diese Arbeit soll zeigen, ob es auch möglich ist, Macarons vegan herzustellen. Vegan heisst, dass keine tierischen Produkte enthalten sind. Menschen, die vegan leben, verzichten auf jegliche tierischen Lebensmittel und grundsätzlich auf alle Produkte, die zumindest teilweise tierischen Ursprungs sind. Entsprechend tragen Veganer zum Beispiel auch keine Wollpullover oder Lederschuhe. Dies kann entweder aus Ethik- und/oder Umweltschutzgründen getan werden. Sollen Macarons also vegan hergestellt werden, muss für die tierischen Produkte (Eier, Milch etc.) ein Ersatz gefunden werden. Das betrifft vor allem die Macaron-Halbschalen, für welche das Eiklar eine essentielle Zutat ist. Es sollen Zutaten zur Herstellung veganer Halbschalen gefunden werden. Für die Füllung, die am Ende aber ebenso wichtig ist, finden sich viele funktionierende Rezepte. Die Füllung wird im praktischen Teil thematisiert.

## 4 Klassische Herstellung:

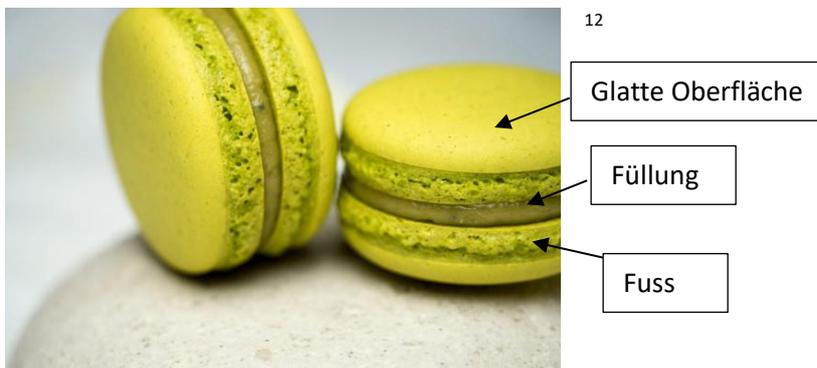
Bevor vegane Macarons hergestellt werden können, muss der Herstellungsprozess der sogenannten normalen Macarons (mit Eiklar) untersucht und verstanden werden. Es ist nötig zu wissen, welche Faktoren (Konsistenz des Teigs, etc.) zum Gelingen eines Macaron relevant sind und welche nicht. Erst dann kann der Transfer zu einer veganen Variante gemacht werden.

### 4.1 Wie lässt sich ein perfektes Macarons definieren?

Das Ziel dieser Arbeit ist die Herstellung eines «perfekten» veganen Macarons. Doch wodurch zeichnet sich ein solches aus?

Die Macarons von Ladurée werden als Originalmacarons bezeichnet. In Testberichten der NZZ<sup>10</sup> und des Magazins «al dente»<sup>11</sup> schneiden diese allerdings nicht gut ab. Die Luxemburgerli von Sprüngli kommen in beiden Tests sehr gut weg. Die Confiserie Müller aus Schaffhausen landet im Test von «al dente» auf dem zweiten Platz. Im Test der NZZ sind die Macarons der Confiserie Müller nicht vertreten. In beiden Tests zeichnen sich gute Macarons durch folgende Eigenschaften aus:

- Die Macaron-Halbschalen haben eine glatte Oberfläche
- Die Schalen haben einen hohen und geraden «Fuss» (siehe Bild), sowie eine ansprechende, natürliche Farbe
- Innen noch weich, Schale aber nicht gummig
- Die Oberfläche (siehe Bild) ist knusprig und so glatt wie möglich
- Die Halbschalen haben ein angenehmes Mandelaroma
- Die Füllung (Bild unten) hat einen ausgewogenen Geschmack
- Die Füllung ist leicht und hat eine samtige und weiche Konsistenz
- Die Füllung zieht kein Wasser und durchweicht die Macarons nicht
- Die Macarons sollen nicht zu süß, sondern so leicht und so geschmackvoll wie möglich sein



## 4.2 Rezept:

### 4.2.1 Rezeptsuche:

Vor dieser Arbeit wurden vom Autor bereits mehrere Rezepte, sowie die **französische und italienische Methode** ausprobiert.

Bei den meisten war der Erfolg eher mässig. Der Teig war zu flüssig und die Macarons bildeten keinen schönen Fuss oder rissen beim Backen auf.

Das Rezept, mit welchem der Autor Erfolg hatte, stammt vom mehrfach ausgezeichneten Pâtissier des Jahres (eine vom Gault-Millau verliehene Auszeichnung) Christian Hümb's. Er ist nicht nur für seine Gemüsedesserts, sondern auch für seine Macarons bekannt. Mit Hilfe des Rezeptes von Christian Hümb's konnten Macarons mit einer glatten Oberfläche und einem hohen und geraden Fuss hergestellt werden.



Karamell-Thymian Macarons mit Halbschalen nach dem Rezept von Christian Hümb's.

Folgendes Rezept für Yuzu-Matcha-Macarons wurde im Rahmen einer Werbekampagne von Panasonic zusammen mit Christian Hümb's veröffentlicht. Nachfolgend sein Rezept für die Macaron-Halbschalen. Weiter unten noch einige Tipps, sowie einige «Selbstverständlichkeiten», die man dennoch gern vergisst.



Christian Hümb's<sup>14</sup>

### 4.2.2 Rezept für Macaron-Halbschalen<sup>15</sup>

#### Macarons (etwa 30 Stück):

- 325 g Mandelmehl
- 325 g Puderzucker
- 220 g Eiweiss
- 340 g Zucker
- 100 ml Wasser

#### Zubereitung

Den Ofen auf 140°C Ober-/Unterhitze vorheizen. Mandeln und Puderzucker miteinander vermengen. Mit der Küchenmaschine 110 Gramm Eiweiss mit 40 Gramm Zucker schaumig aufschlagen. Den restlichen Zucker und das Wasser auf exakt 115°C erhitzen. Die Küchenmaschine mit dem aufgeschlagenen Eiweiss auf mittlerer Geschwindigkeitsstufe laufen lassen und die kochende Zucker-Wasser-Mischung langsam hineinfließen lassen. Nun die Masse schlagen, bis sie kalt ist. Wenn die Eiweiss-Zucker-Masse kalt ist, die Schüssel mit der Mandelmehl-Puderzucker-Mischung in die Küchenmaschine einspannen, die restlichen 110 Gramm Eiweiss zugeben und gut vermengen. Das

Matcha-Tee-Pulver ebenfalls zufügen und nochmals gut vermengen. Danach ein Drittel des kalt geschlagenen Zucker-Eiweisses unter den Mandelteig heben, bis eine glatte Masse entsteht. Anschliessend den Rest des Eiweisses unterheben. Zum Abschluss eine kleine Menge grüne und schwarze Lebensmittelfarbe zur Masse geben, bis die gewünschte grüne Färbung entsteht. Vorsicht bei der Dosierung. Die Masse in einen Spritzbeutel geben und auf eine Dauerbackfolie etwa fünf Zentimeter grosse Macarons spritzen. Am besten eignet sich dazu eine Lochtülle in Grösse sechs. Die Macarons zirka 15 Minuten antrocknen lassen, bis sie bei Berührung nicht mehr am Finger kleben. Dann zügig in den Ofen schieben und 15 Minuten auf mittlerer Schiene backen. Die Macarons auf dem Blech gut auskühlen lassen und anschliessend von der Backmatte lösen.

## **Tipps und Tricks vom Autor**

### **Mandelmehl**

Das im Rezept verlangte Mandelmehl ist nicht leicht zu finden und recht teuer. Am besten verwendet man geschälte, gemahlene Mandeln, mischt diese mit dem Puderzucker und zerkleinert das Ganze in einem Bechermixer oder Cutter, bis es so fein wie möglich ist. Wer es ganz perfekt haben will, kann die Mischung noch sieben und den Rest nochmals pürieren.

Achtung: Wenn Mandeln zu lange gemixt werden, werden sie zu Mandelpaste. Der Zucker hilft dies zu verhindern. Trotzdem sollte man vorsichtig vorgehen.

### **Eier**

Auch wenn es seltsam klingen mag: die Eier unbedingt genau abwiegen! Ein Ei hat etwa 33 Gramm Eiklar. Die Erfahrung des Autors hat gezeigt, dass für das Gelingen des Rezeptes die genaue Dosierung der Eiklarmenge unabdingbar ist.

Die Eier sollten zimmerwarm sein, da sie dann am besten aufgeschlagen werden können.

Wenn man eine Prise Salz oder ein wenig Zitronensaft/Essig dazugibt, lassen sich die Eier besser aufschlagen.

Die Schüssel in der das Ei geschlagen wird, sowie das Eiklar, dürfen nicht verunreinigt sein.

### **Zuckersirup**

Das Einhalten der exakten Temperatur (+/- 3° C) ist wichtig. Sonst ist der Zuckersirup zu flüssig oder er verbrennt. Ausserdem muss darauf geachtet werden, dass der Zuckersirup in den Eischnee und nicht an den Rand der Schüssel kommt, da er dort sofort aushärtet und sich nicht mit dem Eischnee verbinden kann.

### **Aroma, hier Matcha-Pulver**

Matcha ist Grünteepulver und schmeckt entsprechend. Wenn man seine Macaron-Halbschalen aromatisieren will, gilt: so kleine Mengen wie möglich verwenden und am besten keine Flüssigkeiten. Denn es ist in jedem Fall eine Veränderung des Rezepts und könnte das Ergebnis massgeblich beeinflussen. Gut eignen sich: Kakaopulver, Vanillemark, gefriergetrocknete Früchte in Pulverform,

Gewürze, und im Allgemeinen alles, was viel Geschmack bei kleiner Menge bringt. Das Hauptaroma liegt bei Macarons aber in der Füllung und macht aromatisierte Schalen überflüssig.

### **Lebensmittelfarben**

Auch hier gilt wieder: Höchstmögliche Intensität ist erwünscht. Man muss darauf achten, dass die Farbe wasser- und nicht fettlöslich ist. Im Internet werden deshalb sogenannte Gelfarben empfohlen. Sie sind im Internethandel oder in Fachgeschäften erhältlich. Braune Macarons erhält man durch Zugabe von Kakaopulver. Auch die oben bereits erwähnten gefriergetrockneten Früchte oder Matcha Pulver haben eine gewisse Färbekraft. Allerdings sind auch Farben immer optional. Ohne, haben die Macarons eine edle, weisse Farbe.

### **Dauerbackfolie**

Dauerbackfolien sind eine Art Mehrweg-Backpapier, meist aus Silikon. Ihre Oberfläche sorgt ausserdem dafür, dass Teige darauf nicht so stark oder gar nicht zerlaufen. Normales Backpapier ist völlig ausreichend. Wer es genau haben will, kann auf das Backpapier (vorzugsweise auf die Rückseite) mithilfe von einem runden Gegenstand (z.B. Ausstechform) Kreise von 2.5cm bis 3.5cm vorzeichnen. Auch gibt es spezielle Macaron-Backmatten. Der Autor selbst hat im Verlauf der Maturaarbeit zwei Macaron-Matten von Silikomart<sup>16</sup> (ungefähr 13 CHF auf Galaxus) und eine normale Backmatte von Lékué<sup>17</sup> (ungefähr 25 CHF auf Galaxus) gekauft. Die Macaron-Matten sind ausserordentlich hilfreich; wenn man häufiger Macarons bäckt.

### **Aufdressieren/Aufspritzen der Macarons**

Das Backpapier kann mit ein Wenig Macaronteig am Blech festgeklebt werden, damit es nicht verrutscht. Was das aufdressieren betrifft: Übung macht den Meister! Man sollte den Spritzbeutel ca. einen halben Centimeter über dem Blech halten und gleichmässig drücken. Die Macarons sollten kleiner aufgespritzt werden, als sie schlussendlich werden sollen, da der Teig noch leicht verläuft.

### **Vor- und Zubereitung:**

Alle Zutaten genau abwägen und bereitstellen. Den Ofen vorheizen. Das Blech mit Backpapier vorbereiten.

Am besten die Mandel-Zuckermischung zuerst herstellen, da sie gut beiseitegestellt werden kann.

## **4.3 Füllung**

Mehrmals war bereits von der Füllung die Rede. Ursprünglich wurden Macarons nur mit Ganache gefüllt. Mittlerweile gibt es viele verschieden Varianten gefüllt mit Marmelade, Buttercreme, Frischkäsecreme und viele weitere. Damit man die Macarons so lange wie möglich aufbewahren kann, sollte die Füllung im Idealfall kein Wasser ziehen, d.h. fettbasiert sein.

**Marmelade:**

Eine Marmeladenfüllung ist sehr heikel, wegen ihres hohen Wasseranteils. Die Macarons sind meist schon nach wenigen Stunden komplett durchweicht. Maximal kann in die Mitte ein kleiner Kern aus Marmelade oder Gelee gesetzt werden.

**Buttercreme oder Frischkäsecreme:**

Der Geschmacksträger (ein Fruchtpüree oder eine Creme) wird mit Butter oder Frischkäse stabilisiert. Das funktioniert aufgrund des hohen Fettanteils. Allerdings ist eine Buttercreme anfällig für zu hohe Temperaturen. Säure kann dafür sorgen, dass die Butter gerinnt. Darum sollte man mit sauren Früchten oder Beeren vorsichtig umgehen.

**Ganache:**

Sie kann mit verschiedenen Fruchtpürees oder Säften gemacht werden. Sie schmilzt weniger schnell bei hohen Temperaturen. Ausserdem verträgt Schokolade Säure gut. Eine Variante ist die sogenannte Ganache Montée, für welche eine weiche Ganache mit hohem Rahmanteil hergestellt und dann aufgeschlagen wird. Sie ist luftiger und leichter als eine reine Ganache.

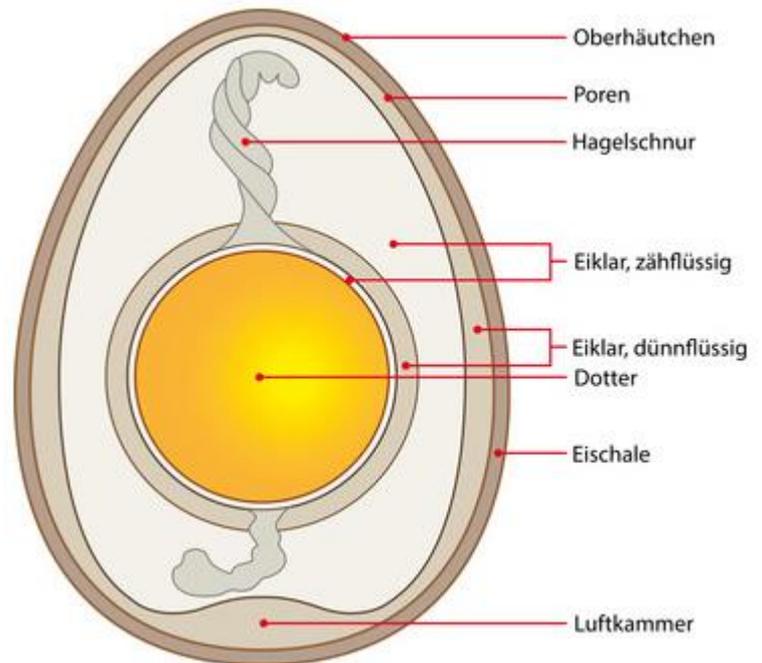


Dunkle Schokoladenganache  
als Füllung

## 5 Eiklar – Theorie

### 5.1 Allgemeines

Ein Ei besteht im Mittel aus 33% Eigelb, 10% Schale und 57% Eiklar. Es ist durchschnittlich 58 Gramm schwer. Das Eiklar liegt zwischen der Schalenhaut und dem Dotter/Eigelb. Es besteht aus vier Schichten mit unterschiedlicher Viskosität. Mit einem Anteil von 23% kommt zuerst eine Schicht dünnflüssiges Eiklar, dann folgt mit 57% eine Schicht dickflüssiges Eiklar, dann mit 17% Anteil wieder eine Schicht dünnflüssiges Eiklar. Um das Eigelb herum, mit 3% Anteil, befindet sich wieder dickflüssiges Eiklar in welches die Hagelschnüre eingebettet sind. Dünn- und dickflüssiges Eiklar bestehen aus denselben Stoffen in unterschiedlicher Konzentration. Wenn man sie verrührt, oder eben aufschlägt, werden sie vermischt.



18

### 5.2 Zusammensetzung des Eiklars

#### 5.2.1 Hauptbestandteile<sup>19</sup>

Bestandteile	Eiklar
Absolutgewicht	33 Gramm
Wasser	87.9 Prozent
Trockensubstanz	12.1 Prozent
Proteine (Eiweiss)	10.6 Prozent
Fett	Spur
Kohlendhydrate	0.9 Prozent
Mineralien	0.6 Prozent

## 5.2.2 Proteine

Eiklar besteht aus den **Proteinen** Ovalbumin, Conalbumin, Ovoglobulin und den Glykoproteinen Ovomuroid und Ovomucin. Glykoproteine sind Proteine, an die eine oder mehrere Kohlenhydratgruppen kovalent gebunden sind.

## 5.3 Aufschlagen von Eiklar

### 5.3.1 Funktionsweise des Aufschlagens

Die Proteine im Eiklar sind amphiphil. Das heisst, sie haben eine hydrophobe und eine hydrophile Seite. Schlägt man das Eiklar auf, lagern sich diese Proteine an die Grenze zwischen der untergehobenen Luft und dem im Eiklar vorhandenen Wasser an und stabilisieren die Luftblasen. Wenn man lange genug schlägt, werden die Luftblasen immer kleiner, was für erhöhte Stabilität sorgt.

Vor dem Aufschlagen sind die Proteine kugelförmig aufgewickelt. Beim Aufschlagen werden diese Knäuel entrollt (das Eiweiss wird denaturiert) und die Aminosäuren können untereinander neue Bindungen eingehen und somit den Schaum zusätzlich stabilisieren.<sup>20</sup>

### 5.3.2 Beobachtete Eigenschaften und Probleme beim Aufschlagen von Eiklar

Macarons bestehen aus den drei Hauptzutaten Mandelmehl, Zucker und Eiklar (siehe 4.2.2). Das Eiklar ist dabei zentral, da es den Teig zusammenhält und die Luft im Teig behält. Ausserdem ist es die einzige Zutat, die für vegane Macaron-Halbschalen ersetzt werden muss.

Nachfolgend ist aufgelistet, was beim Aufschlagen von Eiklar beachtet werden muss, damit man ein gutes, luftiges Resultat erhält. Dann wurde versucht diese Behauptungen wissenschaftlich zu erklären. Die Angaben basieren auf eigenen Erfahrungen, oder sind Tipps, welche aus Internet- und Rezeptrecherchen stammen.

### 5.3.3 Erklärung/Widerlegung der festgestellten Eigenschaften/Behauptungen

1. **Eiklar lässt sich besser aufschlagen, wenn es zimmerwarm ist<sup>21</sup>:** In der Literatur wurde jedoch keine gute Erklärung gefunden. Eine mögliche Erklärung könnte lauten: Die Denaturierung (Gerinnung) vollzieht sich bei höheren Temperaturen rascher. Das liegt an der temperaturabhängigen **Brownschen Bewegung**, die grösser ist, desto höher die Temperatur (und somit auch die Energie) eines Stoffes ist. Die Denaturierung ist eine wichtige Voraussetzung für einen stabilen Eiweisschaum.
2. **Eiklar lässt sich kaum aufschlagen, wenn in der Schüssel Reste von Eigelb oder Fett vorhanden sind<sup>22</sup>:** Eigelb hat **emulgierende** Eigenschaften. Dadurch kann es sich an die amphiphilen Proteine des Eiklars anlagern und deren Vernetzung beeinträchtigen. Dasselbe

gilt für Fette, die sich an die hydrophobe Seite der Eiklarproteine anlagern. Die Aussage ist dementsprechend korrekt.

- 3. Wenn man eine Prise Salz oder ein wenig Zitronensaft/Essig dazugibt lässt sich das Eiklar besser aufschlagen<sup>23</sup>:** Fünf der Aminosäuren haben geladene Seitenketten. Entsprechend werden Proteine mit diesen Aminosäuren vom pH-Wert der Umgebung und von Ionen (in diesem Falle die des Salzes) beeinflusst. Die Ionen des Salzes oder der Säure sorgen dafür, dass sich die aufgewickelten Proteine leichter abwickeln und gerinnen, was den Schaum stabilisiert. Aus dem gleichen Grund könnte man ein Spiegelei auch nur mit Säure kochen.
- 4. In einer Kupferschüssel lässt sich Eiklar besser als in einer normalen Schüssel aufschlagen:** Das stimmt aus dem gleichen Grund wie beim vorangehenden Punkt, da auch Kupfer Ionen abgeben kann.
- 5. Mit ein wenig Zucker lässt sich das Eiklar besser aufschlagen:** Auch dazu liess sich wenig finden. Allerdings lässt sich Eischnee nicht schnittfest schlagen, wenn Zucker beigegeben wird. Ausserdem gibt es einen Maximalwert für die Menge an Zucker, die ein Eiklar aufnehmen kann. Es könnte höchstens sein, dass der Zucker das Wasser zwischen den Luftbläschen bindet und damit den Schaum zusätzlich stabilisiert. Deswegen, und wegen nachfolgendem Punkt, wird angenommen, dass diese Annahme falsch ist.
- 6. Wenn man zu viel Zucker beigibt, auch nachdem der Eischnee schon steif ist, kann er wieder zusammenfallen. Vor allem bei Puderzucker passiert das schnell:** Zucker ist hygroskopisch. Das heisst, er bindet Wasser aus der Umgebung. Wenn man nun viel Zucker zum Eischnee gibt, entzieht der Zucker das Wasser und das Ganze wird flüssig. Puderzucker ist noch heikler, da er eine weitaus grössere Oberfläche aufweist.
- 7. Eiklar von frischen Eiern lässt sich besser aufschlagen<sup>24</sup>. Die Eier können aber auch zu frisch sein:** Zu diesem Punkt wurde keine Erklärung gefunden. Anscheinend ist das Eiklar in älteren Eiern flüssiger, als in frischen, was einen Einfluss auf die Aufschlageigenschaften haben kann<sup>25</sup>.

## 6 Vegane Macarons

Die Schwierigkeit bei Macarons ist, wie schon erwähnt, die Herstellung der Halbschalen. Die einzige Zutat, die dafür ersetzt werden muss, ist das Eiklar bzw. der Eischnee. Durch die Recherche im Internet wurden bereits einige Ersatzprodukte gefunden, die ihren Zweck sicherlich erfüllen. Diese werden weiter unten ausführlicher diskutiert.

### 6.1.1 Vorteile veganer Macarons

Abgesehen vom offensichtlichen Vorteil, dass auch Veganer diese Macarons geniessen können, gibt es noch einige weitere, welche im Folgenden erläutert werden.

Eier haben als tierische Nahrungsmittel eine schlechtere Klimabilanz als pflanzliche<sup>26</sup>. Denn um Eier herzustellen, müssen Hühner ernährt werden. Dies verbraucht viel mehr Ressourcen, als wenn man die Pflanzen direkt isst. Ausserdem wird für Macarons nur die Hälfte des Eis (das Eiklar) verwendet. Profis verwenden aus diesem Grund Flüssigeiklar oder getrocknetes Eiklar.

Ausserdem können mit 0.5 kg des in dieser Arbeit verwendeten Proteinpulvers ungefähr zwei kg Eiklarersatz für weniger als 25 CHF hergestellt werden. Das entspricht dem Eiklar von circa 55 Eiern (unter der Annahme, dass ein Ei etwa 35 Gramm Eiklar hat<sup>27</sup>).

## 6.2 Experimente

### 6.2.1 Zielsetzung:

Um vegane Macarons herzustellen, wird vor allem ein Ersatz für das Eiklar benötigt. Er sollte folgende Eigenschaften erfüllen:

- Alle Produkte, welche zu Herstellung des Eiklarersatzes verwendet werden, müssen komplett vegan sein.
- Der Ersatzstoff muss sich wie Eiklar aufschlagen lassen. Entsprechend muss der Schaum voluminös und lange stabil sein.
- Der Schaum muss hitzebeständig sein; das heisst, er darf im Ofen nicht zusammenfallen.

Ausserdem wird darauf geachtet, dass sämtliche weiteren verwendeten Produkte (z.B. weisse Schokolade für die Füllung) ökologisch unbedenklich und fair hergestellt sind. Entsprechend sollte zum Beispiel kein Palmöl enthalten sein.

### 6.2.2 Aquafaba

Wenn man im Internet nach Rezepten für vegane Macarons sucht, stösst man mit Sicherheit auf Aquafaba. Aquafaba nennt man das Kochwasser von Kichererbsen (es ist also ein «Abfallprodukt»), welches sich genau wie Eiklar aufschlagen lässt. Man kann Aquafaba selber herstellen, wenn man Kichererbsen kocht, oder das Wasser von bereits gekochten Kichererbsen aus der Dose oder aus dem

Glas verwenden. Beim Kochen geliert die im Aquafaba enthaltene Stärke und Proteine werden im Wasser gelöst. Je nach Konzentration der gelösten Stoffe benötigt man bis zu acht Minuten, um es aufzuschlagen, was deutlich länger ist, als bei Eiklar.<sup>28</sup> Das könnte daran liegen, dass die Proteine im Aquafaba stabiler sind und somit länger ihre Knäuelstruktur beibehalten. Vielleicht ist aber auch die Konzentration der Proteine im Aquafaba nicht so hoch wie die im Eiklar.

### 6.2.3 Vor- und Nachteile von Aquafaba

Vorteile	Nachteile
Kichererbsen bekommt man fast überall. Entsprechend ist Aquafaba leicht verfügbar.	Kichererbsen enthalten das giftige Protein Phasin <sup>2930</sup> . Damit dieses denaturiert und somit seine Giftigkeit verliert, müssen die Kichererbsen lange genug gekocht werden.
Man kann etwas verwerten, was sonst ein Abfallprodukt ist.	Wer viel Aquafaba braucht, wird sich an eine Kichererbsendiät gewöhnen müssen. Das Risiko besteht, dass die Kichererbsen zum Abfallprodukt des Aquafabas werden, was weder ökologisch noch ökonomisch ist.
	Jede Dose Kichererbsen ist, je nach Hersteller, anders. Um konstante Qualität zu garantieren, müsste man die Kichererbsen selbst kochen, wobei auch dann noch gewisse Konzentrationschwankungen auftreten können. Diese machen es fast unmöglich, ein gelingsicheres Rezept zu formulieren.

### 6.2.4 Ersatzstoff für Aquafaba

Aufgrund der hohen Inkonsistenz des Aquafaba soll nun nach einem Ersatz für dieses gesucht werden. Praktisch wäre ein möglichst ähnliches Produkt, um später die Rezeptur der Macarons nicht allzu sehr anpassen zu müssen.

### 6.2.5 Weiter bereits fertig erwerbbarer Ersatzstoffe:

Im Internet sind unter anderem folgende drei Ersatzstoffe für Eiklar zu finden. Die Zutatenliste wurde analysiert, um einen Einblick in die Funktionsweise der Ersatzstoffe zu gewinnen und Schlüsse für die eigenen Experimente zu ziehen. Dabei wird davon ausgegangen, dass sie, wie vom Händler versprochen, auch tatsächlich funktionieren.

**NoEgg<sup>31</sup>**

**Inhaltsstoffe:** Kartoffelstärke, Tapiokastärke, Triebmittel: Kalziumkarbonat, Säureregulator: Zitronensäure, Pflanzengummi (Stabilisator), Methylcellulose

**Kartoffelstärke<sup>32</sup>:** Stärke kann unter Hitzeeinwirkung ein Vielfaches ihres Eigengewichtes an Wasser aufnehmen, da dann die einzelnen Stärkekörner aufquellen. Damit können Speisen wie zum Beispiel Pudding stabilisiert werden.

**Tapiokastärke/Sago<sup>33</sup>:** Sago wird aus dem Mark der Sagopalme gewonnen. Es ist ebenso wie Kartoffelstärke ein geschmacksneutrales Verdickungsmittel.

**Calciumcarbonat<sup>34</sup>:** Calciumcarbonat, auch kohlensaurer Kalk genannt, ist ein Backtriebmittel. Sobald es mit Säure in Berührung kommt, wird CO<sub>2</sub> freigesetzt und lässt die Mischung aufbrausen.

**Citronensäure<sup>35</sup>:** Citronensäure ist eine in Pflanzen häufig vorkommende Säure. Hier ist sie die Säure, die nötig ist, damit das Calciumcarbonat aufschäumt.

**Methylcellulose:** Methylcellulose ist ein Verdickungsmittel/Stabilisator und ein Schaummittel<sup>36</sup> und dient hier dazu, den Schaum zu stabilisieren, damit dieser nicht unmittelbar nach dem Aufschlagen zusammenfällt.

→ Dieses Ersatzprodukt besteht nur aus Verdickungsmitteln und einem Backtriebmittel. Der Schaum entsteht also durch die Bildung von CO<sub>2</sub>, und nicht wie bei Eiklar durch die amphiphilen Proteine.

**MyEggy Weiss<sup>37</sup>**

**Inhaltsstoffe:** BIO-Maisstärke, pflanzliche Eiweissquellen (Kartoffeleiweiss, Erbseneiweiss, Lupinenmehl), Steinsalz, Geliermittel (Xanthan, Johannisbrotkernmehl), Speisesoda, Schwarzsatz, BIO-weisser Pfeffer gemahlen

**Maisstärke:** siehe oben bei NoEgg

**Eiweiss (Kartoffeleiweiss, Erbseneiweiss, Lupinenmehl):** Wie bereits besprochen lässt sich Eiweiss zu Schäumen aufschlagen. Dem Erbsenprotein wird später eine ganze Experimentreihe gewidmet. Kartoffeleiweiss und Lupinenmehl funktionieren grundsätzlich gleich. Es gibt auch Rezepte für vegane Macarons mit Kartoffelprotein.<sup>38</sup>

**Salz:** Wie in Kapitel 5.2.5 erklärt, hilft Salz dabei, Proteinschäume zu stabilisieren.

**Soda<sup>39</sup>:** Soda bzw. Natron ist ein Backtriebmittel und einer der beiden Bestandteile von Backpulver.

**Xanthan und Johannisbrotkernmehl:** Zwei Verdickungsmittel, die dazu dienen den Schaum zu stabilisieren.

**Schwarzsatz<sup>40</sup>:** Ein Salz, welches aufgrund seines Schwefelgehalts nach Ei riecht, sonst aber hauptsächlich aus Kochsalz besteht.

**Weisser Pfeffer:** Inwiefern Pfeffer für das Gelingen stabiler Schäume relevant ist, ist nicht herauszufinden. Dass er wegen des Geschmacks hinzugefügt wurde, ist aber unwahrscheinlich, da der Schaum eigentlich geschmacksneutral sein sollte.

→ Dieses Ersatzprodukt besteht aus Proteinen, Stabilisatoren und Backtriebmitteln. Vermutlich basiert der Schaum, wie Eiklar, auf amphiphilen Proteinen. Die Backtriebmittel helfen, die Aufschlageigenschaften zu verbessern.

**Vegwhite<sup>41</sup>**

**Inhaltsstoffe:** Erbsenprotein\* (50%), Tapiokastärke\*, Reisstärke\*, Maltodextrin\*, Verdickungsmittel (Guarkernmehl\*, Johannisbrotkernmehl\*, Xanthan), Meersalz

**Protein:** siehe oben

**Tapioka-/Reisstärke:** siehe oben unter Kartoffelstärke

**Maltodextrin<sup>42</sup>:** Maltodextrin dient als Füllstoff und Verdickungsmittel und erfreut sich auch in der Molekularküche einiger Beliebtheit.

**Guarkernmehl, Johannisbrotkernmehl, Xanthan:** siehe oben unter Xanthan

**Meersalz:** siehe oben unter Salz

→ Dieses Ersatzprodukt funktioniert gleich wie MyEg EyWeiss (siehe oben) nur ohne die Backtriebmittel.

**Schlussfolgerung für die eigenen Experimente:**

Um einen Schaum zu stabilisieren, kann Stärke verwendet werden. Ausserdem eignen sich pflanzliche Proteine wie Kartoffel- oder Erbsenprotein gut, um damit einen Eiklarersatz herzustellen.

## 6.2.6 Erbsenprotein

Kichererbsenwasser beinhaltet hauptsächlich Proteine und Stärke. Entsprechend muss auch ein Ersatz aus diesen beiden Stoffen bestehen. Stärke ist, unter der Annahme, dass jegliche Art von Stärke funktioniert, leicht erhältlich. Dasselbe gilt heutzutage auch für Protein in Pulverform. Es gibt Hunderte solcher Präparate für Proteinshakes oder als Zusatzstoffe fürs Müsli. Darunter gibt es auch vegane Proteinisolate. Das heisst: Sämtliche Stärke und andere Stoffe wurden entfernt, sodass nur die Proteine übrig sind. Erhältlich sind solche veganen Produkte in Schaffhausen im veganen Laden, dem „Little Shop of Ethics“, beim Fronwagplatz. Dort wurde auch das für die spätere Rezeptur verwendete Erbsenproteinpulver gefunden. Vermutlich ist dieses in der Zusammensetzung den Kichererbsenproteinen einigermaßen ähnlich. Auch wenn Kichererbsen und Erbsen keine engen Verwandten sind, so sind sie doch näher verwandt als Kichererbsen und Kartoffeln oder Reis. Zwei Pflanzen von welchen ebenfalls Proteinisolate verfügbar waren.

Um Aquafaba zu gewinnen, muss man die Kichererbsen kochen. Aus diesem Grund wurde entschieden, auch das Erbsenprotein mit Wasser zu vermischen und zu erhitzen. Da man Aquafaba einkochen kann, ohne seine Eigenschaften negativ zu beeinflussen, sollte das auch beim Erbsenprotein der Fall sein. Das Erhitzen dient dazu, die Proteine besser und schneller im Wasser zu lösen.

## 6.2.7 Experimente zum Erbsenprotein

### Testen der Eigenschaften des Erbsenproteins:

Die Idee für nachfolgendes Experiment stammt aus dem Handbuch der Lebensmittelchemie von Friedrich Kiermaier<sup>43</sup>. In diesem Buch wird ein Verfahren zum Bestimmen der Eigenschaften von unterschiedlich frischen Eiern beschrieben, welches in dieser Arbeit leicht angepasst wurde. Das Ziel ist es, einen Ersatz für das Eiklar zu finden. Die Qualität des Eiklars kann durch folgende Grössen ausgedrückt werden:

- Das Flüssigvolumen ist das Volumen des Eiklars vor dem Aufschlagen ( $V_{\text{Flüssig}}$ ).
- Das Schaumvolumen ist das Volumen des Eischnees unmittelbar nach dem Aufschlagen ( $V_{\text{Schaum}}$ ).
- Das Volumen der zurückgebildeten Flüssigkeit nach zehn (später 30) Minuten ( $V_{10\text{Min}}$ ) ist das Volumen des Eiklars, das sich nach einer bestimmten Zeit wieder verflüssigt hat.
- Der Schaumindex ist als  $\frac{V_{\text{Schaum}}}{V_{\text{Flüssig}}}$  definiert. Je höher dieser Wert ist, desto besser ist das Eiklar.
- Die Schaumbeständigkeit ist  $\frac{V_{\text{Flüssig}} - V_{10\text{Min}}}{V_{\text{Flüssig}}}$ . Je grösser dieser Wert ist, desto besser ist das Eiklar.

Um festzustellen, wie gut ein Ersatzstoff ist, werden die gleichen Größen verwendet. Die folgenden Versuche dienen dazu, aus dem Erbsenprotein einen Ersatz für das Eiklar herzustellen. Das Erbsenprotein wird bei den folgenden Versuchen mit Wasser vermischt und kurz erhitzt. Dann wird es stehen gelassen, bis es auf Raumtemperatur ausgekühlt ist. Das Protein wird danach zwei Minuten aufgeschlagen. Alle der oben definierten Größen werden gemessen und berechnet.

### **Vorversuch:**

Bevor mit den eigentlichen Versuchen angefangen wurde, wurde ein kleiner Vorversuch durchgeführt. Die oben definierten Größen wurden noch nicht gemessen. Allerdings resultierte daraus massgeblich der Versuchsaufbau der nachfolgenden Versuche.

Dabei wurden zwei gleiche Mengen an Erbsenprotein mit Wasser vermischt. Die eine Mischung wurde gekocht, die andere nicht.

Wenn man das Ganze zu lange kocht, wird es zu einem Brei und somit schwierig mehr als ein paar Tropfen Flüssigkeit abzufiltrieren. Wenn man es nicht kocht, braucht man aber mehr Proteinpulver. Für ein gutes Ergebnis wird das Gemisch auf 80 Grad Celsius erhitzt und zum Abkühlen stehen gelassen.

### **Material:**

Bei allen folgenden Versuchen ist das Material das gleiche. Das Erbsenprotein wurde in Bechergläsern in einem heissen Wasserbad auf dem Herd erhitzt. Die Temperatur wurde mit einem digitalen Thermometer überprüft. Massen wurden mit einer grammgenauen Küchenwaage gemessen und Volumina mit einem Messzylinder.

### **Versuch 1**

#### **Vorgehen:**

Vier verschiedene Mischverhältnisse von Erbsenprotein zu Wasser wurden auf 80 Grad erhitzt. Nach dem Abkühlen wurden sie jeweils zwei Minuten lang mit einem Stabmixer aufgeschlagen. Das Volumen vor dem Aufschlagen, das Volumen nach dem Aufschlagen und das Volumen der zurückgebildeten Flüssigkeit nach zehn Minuten wurden gemessen.

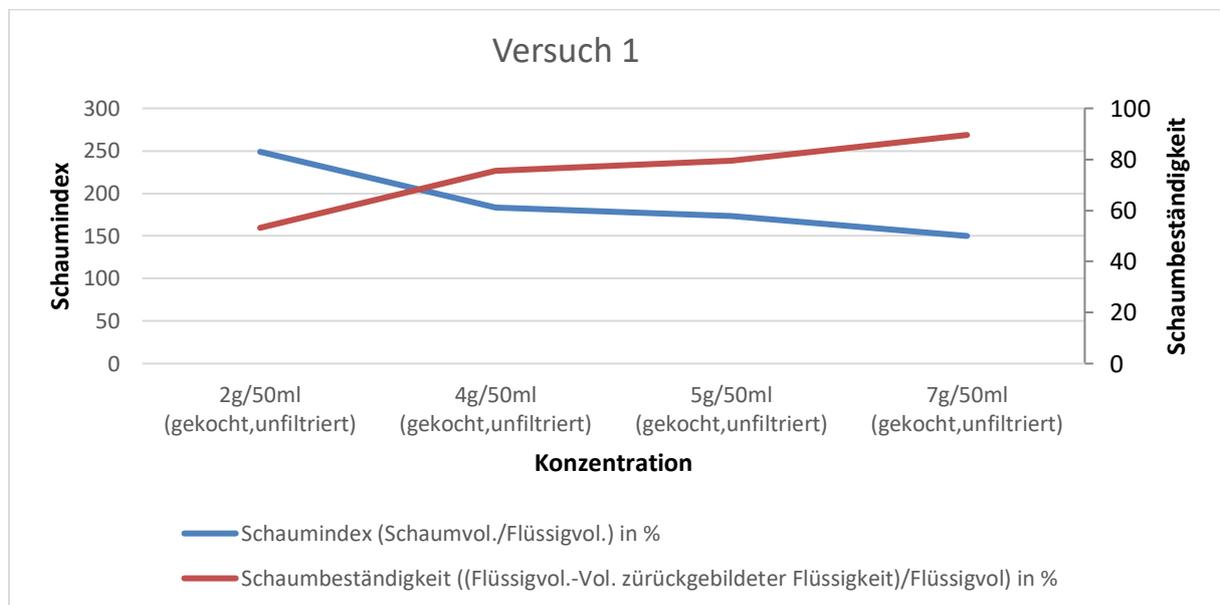


**Ergebnisse:**

Erbsen/H <sub>2</sub> O	V <sub>Flüssig</sub>	V <sub>Schaum</sub>	V <sub>10Min</sub>	Schaumindex	Schaumbeständigkeit
2g/50ml	47 ml	117 ml	22 ml	248.9%	53.2%
4g/50ml	49 ml	90 ml	12 ml	183.7%	75.5%
5g/50ml	49 ml	85 ml	10 ml	173.5%	79.6%
7g/50ml	48 ml	72 ml	5 ml	150%	89.6%

**Auswertung:**

Je höher die Konzentration ist, desto höher ist die Schaumbeständigkeit, aber desto kleiner ist auch das Schaumvolumen. Die Idealkonzentration liegt entsprechend etwa zwischen 4g und 5g/50ml. Allerdings löste sich das Protein nicht komplett im Wasser auf, was in einem sehr sandigen Schaum resultierte. Deshalb wird das Gemisch im nächsten Versuch filtriert.

**Schlussfolgerung für Versuch 1:**

Die Konzentrationen der Proteine liegen in einem guten Bereich. Allerdings werden in den folgenden Versuchen die gekochten Gemische mittels eines Kaffeefilters filtriert.

**Versuch 2****Vorgehen:**

Vier verschiedene Mischverhältnisse von Erbsenprotein zu Wasser wurden auf 80 Grad erhitzt. Nach dem Abkühlen der Mischungen wurden sie filtriert und jeweils zwei Minuten lang mit einem Stabmixer aufgeschlagen. Das Volumen vor dem Aufschlagen, das Volumen nach dem Aufschlagen und das Volumen der zurückgebildeten Flüssigkeit nach zehn Minuten wurden gemessen.

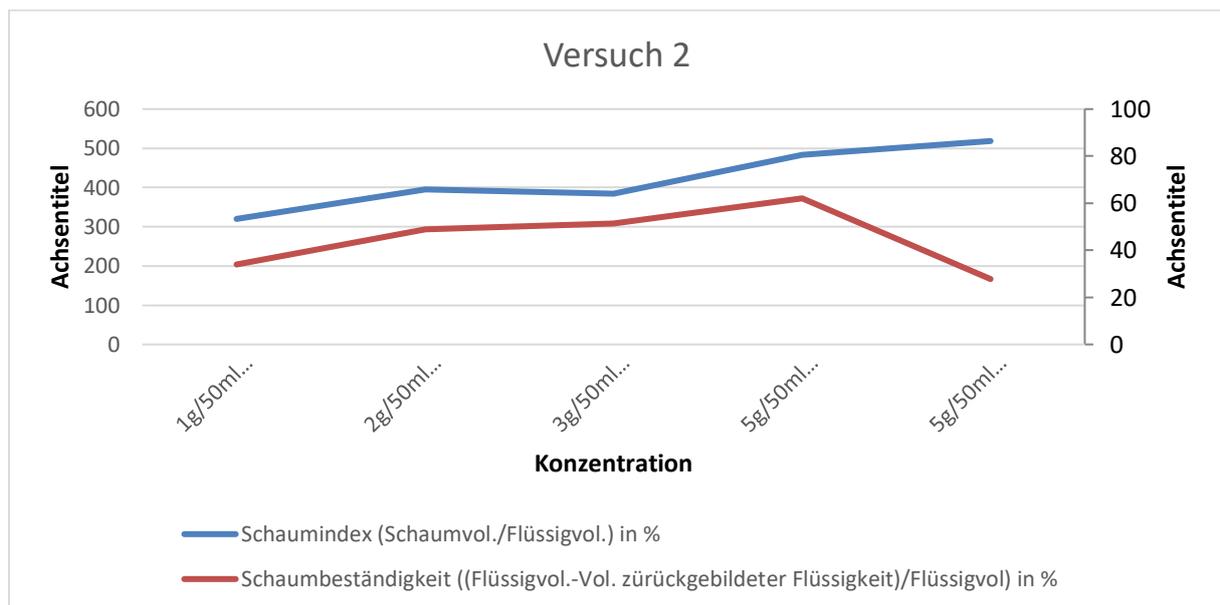
Ausserdem wurde die Mischung mit der höchsten Konzentration noch einmal auf das halbe Volumen eingekocht und ebenfalls getestet, um herauszufinden was bei doppelt so hoher Konzentration passiert.

### Ergebnisse:

Erbsen/H <sub>2</sub> O	V <sub>Flüssig</sub>	V <sub>Schaum</sub>	V <sub>10Min</sub>	Schaumindex	Schaumbeständigkeit
1g/50ml	50 ml	160 ml	33 ml	320%	34%
2g/50ml	43 ml	170 ml	22 ml	395.3%	48.8%
3g/50ml	39 ml	150 ml	19 ml	384.6%	51.3%
5g/50ml	29 ml	140 ml	11 ml	482.8%	62.1%
5g/25ml (eingekocht)	54 ml	280 ml	39 ml	518.5%	27.8%

### Auswertung:

Wenn die Konzentration zu hoch wird, sinkt die Schaumbeständigkeit, auch wenn das Volumen noch einmal um einiges grösser ist. Ausserdem ist die Schaumbeständigkeit absolut gesehen noch zu tief.



### Schlussfolgerung für Versuch 3:

Es wird mit 5g/50ml weitergearbeitet, da diese Konzentration ein Optimum zwischen Schaumindex und Schaumbeständigkeit ergibt. Die filtrierte Lösung hat den Vorteil, dass der Schaum nicht sandig ist und der Schaumindex ausserdem höher ist.

**Versuch 3**

Ab jetzt wird Stärke zur Erhöhung der Schaumbeständigkeit beigegeben. Denn wie schon betrachtet, enthalten auch Kichererbsen und damit auch Aquafaba, Stärke. Die Schaumbeständigkeit ist wichtig, damit der Schaum bei der Verarbeitung zu Macarons nicht zusammenfällt.

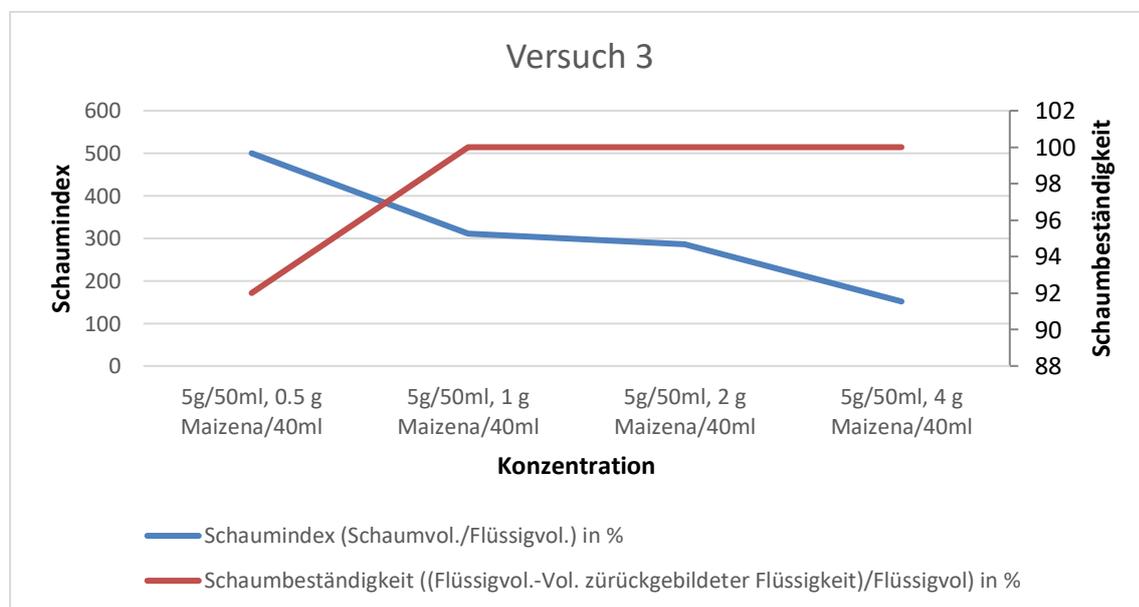
**Vorgehen:**

Vier Mal die gleiche Mischung von Erbsenprotein zu Wasser(5g/50ml) wurde auf 80 Grad erhitzt. Nachdem das Erbsenwasser abgekühlt ist, wurden vier verschiedene Mengen an Maisstärke (Maizena) beigegeben und untergerührt. Die Mischungen wurden auf 90 °C erhitzt. Nach dem Abkühlen wurden die Mischungen zwei Minuten aufgeschlagen. Gemessen und berechnet wurden die gleichen Werte wie oben.

Maizena/Erbsenwasser	V <sub>Flüssig</sub>	V <sub>Schaum</sub>	V <sub>10Min</sub>	Schaumindex	Schaumbeständigkeit
0.5/40ml	50 ml	250 ml	4 ml	500%	92%
1g/40ml	45 ml	140 ml	0 ml	311.1%	100%
2g/40ml	35 ml	100 ml	0 ml	285.7%	100%
4g/40ml	33 ml	50 ml	0 ml	151.5%	100%

**Auswertung:**

Je höher die Konzentration an Maizena ist, desto höher ist die Schaumbeständigkeit. Allerdings sinkt mit höherer Stärkekonzentration auch der Schaumindex. Entsprechend muss ein Kompromiss gefunden werden.



**Schlussfolgerung für weiterführende Versuche:**

Es wird mit 1 g/40 ml weitergearbeitet, da dann der Schaumindex nicht allzu sehr beeinträchtigt wird, der Schaum aber dennoch ausreichend stabil sein sollte, um damit Macarons herzustellen. Diese Zubereitung des Erbsenproteins wird der Einfachheit halber ab jetzt nur noch „Erbsenprotein“ genannt.

**6.2.8 Vergleich von Erbsenprotein, Aquafaba und Eiklar:**

Um die oben herausgefundene Zubereitung für das Erbsenisolat in seiner Qualität beurteilen zu können, wurden von Aquafaba, Eiklar und dem Erbsenprotein nach 2-minütigem Aufschlagen die gleichen Werte erhoben wie in der obigen Versuchsreihe. Allerdings wurde dieses Mal das Volumen der zurückgebildeten Flüssigkeit erst nach 30 Minuten gemessen und mit  $V_{30\text{Min}}$  bezeichnet. Im finalen Rezept wird diese Zubereitung noch einmal auf 75% des Volumens eingekocht. Aus diesem Grund wurden auch für diese Version die entsprechenden Werte erhoben.

Protein	$V_{\text{Flüssig}}$	$V_{\text{Schaum}}$	$V_{30\text{Min}}$	Schaumindex	Schaumbeständigkeit
Erbsenprotein	45 ml	140 ml	8 ml	311.1%	82.2%
Aquafaba	45 ml	140 ml	0 ml	311.1%	100%
Eiklar	31 ml	75 ml	17 ml	241.9%	54.8%
Erbsenprotein auf 75% der Masse eingekocht.	35 ml	80 ml	0 ml	228.6%	100%

**6.2.9 Fazit**

Es ist möglich mit dem Erbsenprotein einen Eiklarersatz herzustellen, welcher dem Aquafaba sehr ähnlich ist und sogar bessere Schaumeigenschaften hat, als echtes Eiklar. Die Schwierigkeit bestand darin, das richtige Verhältnis von Maizena zu Erbsenprotein zu finden. Nun sollen mit dem Erbsenprotein Macarons hergestellt werden.

**6.3 Vegane Macarons mit Erbsenprotein**

An insgesamt 8 Backtagen wurden verschiedene Rezepte mit Erbsenprotein als Eiklarersatz ausprobiert. Diese führten zur besten Rezeptur, welche im Rahmen dieser Arbeit erzielt werden konnte.

### 6.3.1 Backtag 1: Erbsen-Meringue

Zuerst soll geprüft werden, ob eine mit Erbsenprotein hergestellte italienische Meringue möglich ist und ob sie ihre Stabilität auch im Backofen beibehält. Nach einem Rezept von Julien Duvernay<sup>44</sup> wurden 90 g Zucker mit 30 g Wasser aufgekocht; nebenbei wurde das Eiweiss schaumig geschlagen. Sobald der Zucker 121 °C erreicht hat, gibt man ihn zum Eiweiss und schlägt dieses weiter, bis es auf Raumtemperatur abgekühlt ist; bzw. bis es steif geschlagen ist. Dann wurde die Meringue auf ein Backblech dressiert und im Ofen bei ungefähr 110°C getrocknet.



Julien Duvernay und Tanja Grandits vom Restaurant Stucki in Basel<sup>45</sup>

#### Beobachtungen:

Das Ganze funktionierte ausnehmend gut. Die Meringuemasse wurde ohne Probleme steif, liess sich gut mit dem Spritzsack aufdressieren und verfloss nicht. Auch beim Backen behielt sie ihre Form. Die Meringues waren aber sehr hitzeempfindlich. Entsprechend war die Ofentemperatur zu heiss und die Meringues kamen ein wenig zu braun aus dem Ofen; allerdings hielten sie auch dann noch ihre Form.

### 6.3.2 Backtag 2: Vegane Macarons ohne Füllung

Als Ausgangspunkt für die veganen Macarons wurde das Macaron-Rezept von Christian Hümb's (siehe Kapitel 4) verwendet. Das dort verwendete Eiklar wurde 1:1 durch das Erbsenprotein ersetzt. Allerdings mussten diese Macarons 1.5 Stunden trocknen, statt der üblichen 30 Minuten, um eine ausreichende Haut auszubilden. Ausserdem wurde der Ofen, direkt nach dem die Macarons hineingeschoben wurden, auf 130 °C zurückgestellt, damit die Macarons auf keinen Fall platzten. Die Macarons mussten 45 Minuten backen. Die Macaron-Halbschalen wurden nicht gefüllt.



**Beobachtungen:**

<b>Kriterium</b>	<b>Beobachtung</b>	<b>Folgerung</b>
<b>Meringue</b>	Zu flüssig.	Beim nächsten Mal weniger Zuckersirup verwenden. Am besten so, wie im Rezept von Julien Duvernay (siehe oben).
<b>Konsistenz des Teiges</b>	Zu flüssig; der Teig trocknete nicht schnell genug und floss aus den Formen.	Einerseits muss die Meringue weniger flüssig sein, andererseits kann auch die Menge an Erbsenprotein, die mit den Mandeln vermischt wird, verringert werden.
<b>Backprozess</b>	Sehr langsam; die Macarons buken kaum von unten.	Die Ofentemperatur muss höher sein. Ausserdem sollte versucht werden, die Macarons weiter unten im Ofen zu backen, um mehr Unterhitze zu haben.
<b>Füsschenbildung</b>	Es bildeten sich schnell sehr hohe Füsschen aus, die dann auch so blieben.	Das ist an sich kein Problem, allerdings bildet sich dadurch ein Hohlraum. Vermutlich liegt es daran, dass der Teig zu flüssig war.
<b>Konsistenz der Schalen</b>	Die Schalen waren hohl und eher gummig.	Damit sich kein Hohlraum bildet, müssen die Macarons schneller (=heisser) gebacken werden. Gummig sind sie, da sie zu lange im Ofen waren.
<b>Geschmack der Schalen</b>	Mandeln ohne Nebengeschmack.	Das Erbsenprotein riecht man aufgrund der Mandeln gar nicht mehr, was gut ist.

**6.3.3 Backtag 3: Vegane Macarons mit Ganache-Füllung**

Es wurde wieder das Rezept von Christian Hümb's verwendet. Allerdings wurde der Ofen dieses Mal nur auf 130 °C eingestellt. Ausserdem wurde nach Folgendem selbst entwickeltem Rezept eine Ganache für die Füllung hergestellt. Statt veganem Rahm wird eine Mischung aus Mandelmilch und Kokosöl verwendet, um der Ganache die nötige Geschmeidigkeit zu verleihen.

**Vegane Vanille-Ganache mit Kokosöl:****Zutaten:**

150 g vegane weisse Schokolade

100 ml Mandelmilch

50 g Kokosöl

½ Vanillebohne

1 EL Zucker

Salz

**Zubereitung:** Die Schokolade klein hacken und in eine Schüssel geben. In einer Pfanne die Mandelmilch und das Kokosfett erhitzen. Das Mark der Vanillebohne und den Zucker dazugeben und das ganze kurz aufkochen; mit einer Prise Salz abschmecken. Die heisse Mandelmilch über die Schokolade geben und gut verrühren, bis die Masse homogen ist. Die Ganache im Kühlschrank komplett auskühlen lassen.

**Beobachtungen:**

Im Folgenden werden nur noch die Parameter aufgelistet, bei welchen eine wesentliche Änderung festzustellen war.

Kriterium	Beobachtung	Folgerung
<b>Füsschenbildung</b>	Es bildeten sich normal hohe Füsschen aus.	Die Änderung der Backtemperatur hat bewirkt, dass die Schalen nicht so hohe Füsschen bildeten, was gut ist.
<b>Konsistenz der Schalen</b>	Die Schalen waren hohl aber nicht mehr gummig.	Damit sich kein Hohlraum bildet, müssen die Macarons schneller (=heisser) gebacken werden. Die tiefere Backtemperatur bei gleicher Backzeit sorgte dafür, dass die Macarons nicht mehr gummig waren.

**Bewertung der Füllung:**

<b>Geschmack</b>	Nicht zu süß. Der Vanillegeschmack ist aber aufgrund der Verwendung von Schokolade welche bereits Vanille enthält, weitaus zu stark, womit auf die Vanilleschote verzichtet werden kann.
<b>Konsistenz</b>	Die Füllung war angenehm cremig. Allerdings hätte sie noch fester sein können. Entweder sollte also weniger Mandelmilch oder mehr Schokolade verwendet werden.

### 6.3.4 Backtag 4: Vegane Macarons mit Zitronenfüllung

In dieser Variante wurde die Italienische Meringue nach Julien Duvernays Rezept hergestellt (siehe oben). Ausserdem wurden (auf 325 Gramm Mandeln) 30 Gramm weniger Erbsenprotein zu der Mandel-Zucker-Mischung gegeben. Beides sollte dazu dienen, den Teig dickflüssiger zu machen. Weiter wurde eine Zitronenfüllung hergestellt, um die Macarons zu füllen.

#### **Vegane Zitronencreme (eigenes Rezept, reicht für ca. 30 Macarons):**

##### **Zutaten Sirup:**

- 1 Zitrone
- 4 EL Zucker
- 3 EL Rohrzucker
- 1.5 dl Wasser

**Zubereitung:** Die Zitrone komplett schälen und die Schale in kleine Streifen schneiden (Darauf achten, nichts vom weissen Teil zu erwischen, da dieser bitter schmeckt.). Die Zitrone auspressen. Zwei EL Zucker in einer Pfanne karamellisieren lassen. Die Zitronenschalen begeben und mitkaramellisieren. Das Ganze mit dem Zitronensaft ablöschen und mit dem Wasser aufgiessen. Den restlichen Zucker begeben und den Sirup für zehn Minuten köcheln lassen. Dann am besten im Kühlschrank über Nacht ziehen lassen.

##### **Zutaten Creme:**

- 200 g Sirup
- 15 g Maisstärke
- 100 g veganer Sauerrahm
- 100 g veganer Schlagrahm
- 50 g vegane Schokolade
- Abgeriebene Schale einer Zitrone
- Saft einer Zitrone

**Zubereitung:** Den Sirup, den Zitronensaft und die Maisstärke vermischen. Die Schokolade kleinhacken. Den Sauerrahm und den Schlagrahm in eine Schüssel geben. Den Sirup unter Rühren aufkochen (er sollte aufgrund der Stärke eindicken) dann vom Herd nehmen und die Schokolade dazugeben und komplett verrühren. Die Sirup-Schokoladen-Mischung zum Sauerrahm geben und verrühren. Die Zitronenschale untermischen. Die Creme im Kühlschrank komplett auskühlen lassen.

**Beobachtungen:**

Kriterium	Beobachtung	Folgerung
<b>Meringue</b>	Die Meringue blieb stehen, wie eine, welche mit Eiklar hergestellt wurde.	Die Veränderung hat sich positiv auf die Konsistenz ausgewirkt.
<b>Konsistenz des Teiges</b>	Der Teig war eher flüssig. Allerdings weniger als zuvor.	Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit könnte sein, weniger Meringue im Teig zu verwenden

**Bewertung der Füllung:**

<b>Geschmack</b>	Richtige Süsse. Der Geschmack war gut. Allerdings war der Sirup klar verbesserungswürdig, da er zu wenig Karamellgeschmack hatte.
<b>Konsistenz</b>	Die Füllung war angenehm cremig. Allerdings ist sie zu flüssig. Es sollte mehr Schokolade und weniger Rahm verwendet werden.

**6.3.5 Verkostungsrunde**

Da, das eigene Urteil nie ausreichend ist, wurde mit den Zitronenmacarons eine Verkostungsrunde durchgeführt. Das Ziel ist, am Ende der Arbeit eine weitere Verkostung durchzuführen; als Abschluss dieser Maturaarbeit. In der Verkostungsrunde soll ausser den Macarons auch das Bewertungsraster getestet werden.

Bewertet werden sollen jeweils der Geschmack und die Konsistenz der Füllung und der Macaron-Halbschalen, sowie das Aussehen. Dabei wird auf dem Bewertungsblatt jeweils kurz erklärt, auf was zu achten ist. Bewertet wird in Punkten von 1-6, wobei 1 am schlechtesten und 6 am besten ist. Die Skala geht bis 6, damit es keine Mitte gibt und man immer eine Meinung haben muss. Weiter können zu jedem Kriterium Kommentare (Verbesserungsvorschläge) abgegeben werden und ein Feld für weitere Bemerkungen ist ebenfalls vorhanden.

Die Testpersonen waren in diesem Fall einige Bekannte und die eigene Familie. Sie wurden durch die ganze Verkostung geführt und die einzelnen Kriterien wurden noch einmal erläutert.

**Ergebnisse:**

Hier werden die Ergebnisse der Verkostung zusammengefasst. Die originalen Bewertungen sind im Anhang zu finden.

<u>Kriterium</u>	Geschmack Füllung	Konsistenz Füllung	Geschmack Schalen	Konsistenz Schalen	Aussehen
<u>Durchschnittliche Bewertung</u> (1= schlechtester Wert, 6= bester Wert)	5.4/6	4.9/6	5.2/6	5.2/6	5/6
<u>Kommentar</u>	Den meisten Testern gefiel der Geschmack. Jeweils einer Testperson war die Füllung aber zu sauer, zu dominant oder zu süß	Die Füllung sollte weniger flüssig und ein wenig luftiger sein.	Das Mandelaroma wurde nicht von allen Testern wahrgenommen und war einigen zu schwach.	Der Hohlraum war klar zu gross. Die Schalen waren zu gummig.	Die Macarons waren in ihrer Form inkonsistent; nicht alle waren rund.

**Auswertung:**

Die Rückmeldung zu den Macarons deckt sich grösstenteils mit den eigenen Einschätzungen.

Das Bewertungsraster funktioniert in dieser Form gut. Allerdings muss die Verkostung unbedingt geführt und sämtliche Kriterien vorher erklärt werden.

**6.3.6 Backtag 5: Vegane Macarons ohne Füllung**

Es wurde wieder das gleiche Rezept verwendet. Um das Problem mit den hohlen Macaron Halbschalen zu lösen, soll man angeblich die Backtemperatur erhöhen<sup>46</sup>. Entsprechend wurde dieses Mal bei 140 Grad Umluft gebacken. Umluft aus dem Grund, damit die Temperatur im ganzen Ofen gleich ist.

**Beobachtungen:**

Kriterium	Beobachtung	Folgerung
<b>Backprozess</b>	Schneller als vorhin. Allerdings sind die Macarons immer noch hohl.	Die Ofentemperatur muss noch höher sein.

**6.3.7 Backtag 6: Vegane Macarons ohne Füllung**

Damit der Teig dicker wird, wurde nur halb so viel Meringue verwendet wie vorhin. Die Menge an Mandeln und Puderzucker blieb gleich. Ausserdem wurden diese Macarons bei 150 Grad Umluft gebacken, in der Hoffnung, dass sie nicht hohl werden. Nach 15 Minuten backen, wurde der Ofen ausgeschaltet.

**Beobachtungen:**

Kriterium	Beobachtung	Folgerung
<b>Backprozess</b>	Schnell. Die Macarons buken innerhalb von 20 Minuten.	Die Ofentemperatur stimmt ungefähr.
<b>Füsschenbildung</b>	Die Füsschen wurden hoch und verflossen dann.	Die meisten Macarons sind leider verlaufen. Nur diejenigen, welche in der Ofenmitte gebacken wurden waren einigermaßen normal.
<b>Konsistenz der Schalen</b>	Die Schalen waren weniger Hohl als vorher und auch weniger gummig.	Die Verbesserungen haben funktioniert, allerdings könnte das Ergebnis noch besser sein.

Diese Macarons waren ganz klar die besten bisher. Zumindest diejenigen, welche ihre Form hielten. Allerdings müsste der Ofen wohl länger auf 150 Grad bleiben (ungefähr 20 Minuten).

**6.3.8 Backtag 7: Vegane Macarons auf Backpapier ohne Füllung**

Der Teig wurde nach dem gleichen Rezept hergestellt wie bei Versuch 5. Allerdings wurde schon der Teig verdächtig flüssig. Die Macarons wurden auf normalen Backpapier gebacken, da die Silikonmatte möglicherweise einen Einfluss auf das Backverhalten hat. Die Macarons sind komplett verfließen und

leicht verbrannt. An die vorherigen erinnerten sie gar nicht. Entsprechend hatte das Backpapier entweder einen unglaublich negativen Effekt, oder, was wahrscheinlicher scheint, es ist im Prozess irgendwo ein Fehler unterlaufen, der nicht bemerkt wurde.

### 6.3.9 Backtag 8. Vegane Macarons mit Kaffeecreme

Das Rezept wurde bei diesem Mal stark abgeändert. Statt weniger Erbsenprotein wurde nahezu das doppelte verwendet. Gemäss den Resultaten der vorangehenden Experimente (Kapitel 6.2.7) führt eine höhere Eiweisskonzentration zu einem stabileren Schaum. Ausserdem wurde das Erbsenprotein noch einmal auf 75% des Volumens eingekocht um hoffentlich einen noch stabileren Schaum zu erhalten. Einfach mehr Proteinisolat oder eine höhere Temperatur bei der Herstellung des Eiklarersatzes zu verwenden ist nicht möglich, da dann das komplette Wasser zu einem Brei wird und die Ausbeute auf nahezu null sinken würde. Die Macarons wurden für 18 Minuten bei 130 Grad Umluft gebacken und dann noch etwa 30 Minuten im Ofen gelassen, damit sie nicht so schnell auskühlen und noch ein wenig weiter backen. Ausserdem wurde eine Kaffeecreme als Füllung hergestellt.

#### (Vegane) Kaffeecreme (eigenes Rezept, reicht für ca. 35 Macarons):

##### Zutaten Creme:

1 dl Kaffee

1 dl Rahm (vegan oder tierisch)

150 g weisse Schokolade (vegan oder tierisch)

Salz

Je nach Süsse der Schokolade: Zucker

##### Zubereitung:

Die Schokolade kleinhacken und in eine Schüssel geben. Den Kaffee mit dem Rahm erhitzen, mit einer Prise Salz abschmecken und allenfalls hier auch den Zucker hinzufügen und komplett auflösen lassen. Den heissen Rahm zur Schokolade geben und zu einer homogenen Masse verrühren. Die Creme im Kühlschrank auskühlen lassen. Wenn die Creme ausgekühlt ist, aus dem Kühlschrank nehmen und aufschlagen. Darauf achten, dass man die Creme nicht überschlägt. Die Creme noch einmal kurz durchkühlen lassen und die Macarons damit befüllen.



Veganes Kaffeemacaron

**Beobachtungen:**

<b>Kriterium</b>	<b>Beobachtung</b>	<b>Folgerung</b>
<b>Meringue</b>	Der Variante mit Eiklar in der Konsistenz sehr ähnlich.	
<b>Konsistenz des Teiges</b>	Gerade richtig.	
<b>Backprozess</b>	Die Macarons backen gleichmässig und schnell genug.	
<b>Füsschenbildung</b>	Zuerst sind die Füsschen sehr hoch, sinken aber während dem auskühlen auf eine gute Höhe zusammen.	
<b>Konsistenz der Schalen</b>	Die Schalen sind leider immer noch nicht ganz ausgefüllt. Die Konsistenz ist gut.	Damit sich kein Hohlraum bildet, müssen die Macarons schneller (=heisser) gebacken werden.

**Bewertung der Füllung:**

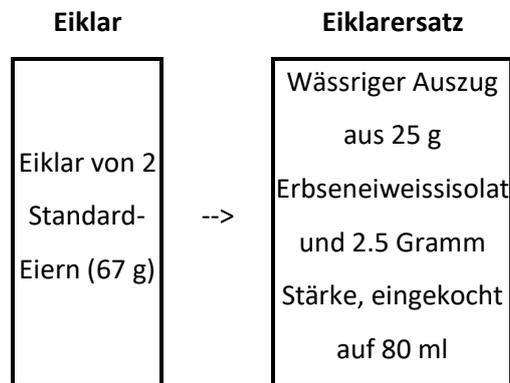
<b>Kriterium</b>	<b>Beobachtung</b>
<b>Geschmack</b>	Richtige Süsse. Der Geschmack war sehr intensiv aber angenehm.
<b>Konsistenz</b>	Die Füllung war, da sie aufgeschlagen wurde, sehr luftig. Ausserdem war sie weder zu flüssig noch zu fest.

**Beobachtungen:**

Diese Macarons sind nahezu perfekt. Sie sollten nur etwa 3 Minuten länger gebacken werden.

## 6.4 Fazit

Die Herstellung veganer Macarons ist gut möglich, ohne dabei Kompromisse eingehen zu müssen. Das Eiklar wird dabei mit einer Erbsenproteinlösung wie folgt ersetzt.



Das Schwierigste war mit dem Erbsenprotein ein gutes Macaronrezept zu finden und den Backofen in den Griff zu bekommen. Ausserdem war die Konsistenz des Teigs lange problematisch, bis schliesslich die Konzentration des Erbsenproteins erhöht wurde. Die zweite Schwierigkeit bestand darin, mit dem gleichen Rezept konstante Ergebnisse zu erzielen.

Das aus dieser Arbeit resultierende vollständige Rezept für vegane Macarons befindet sich im Anhang.

## 6.5 Ausblick

Das hier präsentierte Rezept funktioniert grundsätzlich gut. Allerdings wäre vor allem beim Backprozess noch eine Verbesserung möglich, damit die Macarons nicht hohl werden. Ausserdem kann noch eine grössere Vielfalt an Herstellungsarten für Füllungen ausprobiert werden. Wer die Macarons selbst probieren will, sollte die Präsentation dieser Arbeit auf keinen Fall verpassen!

## 7 Glossar

**Eiklar:** Der durchsichtige Teil im Inneren eines frischen Eis. Da der gebräuchlichere Name „Eiweiss“ sich nicht eindeutig auf Eier bezieht, sondern auf alle Proteine, wird in dieser Arbeit konsequent das Wort Eiklar verwendet.

**Ganache:** Eine Ganache ist eine Creme, bestehend aus Schokolade und Rahm, welche zum Füllen und Bestreichen von Gebäcken verwendet wird.

**Französische und italienische Methode:** Diese beiden Methoden sind die häufigsten zur Herstellung von Macarons. Bei der französischen Methode wird das Eiklar mit Zucker zu einer sogenannten Meringue aufgeschlagen und dann unter die Mandel-Zucker Mischung gehoben. Bei der italienischen Methode wird die Mandel-Zucker-Mischung mit flüssigem Eiklar vermischt. Das restliche Eiklar wird mit heissem Zuckersirup aufgeschlagen und unter die Mandelmasse gehoben.

**Matcha:** Matcha ist ein japanisches Grünteepulver, welches sich vor allem in der Dessertküche grosser Beliebtheit erfreut.

**Italienische Meringue:** Dem Eiklar wird beim Aufschlagen 105-121 °C heisser Zuckersirup beigegeben.

**Macaronage:** Nur bei der französischen Methode. Die Mandeln und der Zucker werden mit dem Eischnee vermengt und Luft aus dem Teig gedrückt, um die richtige Konsistenz zu erhalten.

**Protein<sup>47</sup>:** Ein Protein ist ein Makromolekül, welches aus Aminosäuren aufgebaut ist.

**Stärke:** Stärke ist eine Zuckerart, welche aus  $\alpha$ -Glucose besteht. Sie dient Organismen als Kohlenhydratspeicher (z.B. Maisstärke).

**Aminosäure<sup>48</sup>:** Aminosäuren sind chemische Verbindungen, die aus einer Aminogruppe, einer Carbonsäure und einer Restgruppe aufgebaut sind.

**Emulgator:** Ein Emulgator ist ein Stoff, der zwei nicht mischbare Flüssigkeiten (z.B. Öl und Wasser) zusammenbringen kann. Das ist möglich, da jedes Emulgator Molekül eine hydrophile und eine hydrophobe Seite hat. An die hydrophobe Seite kann sich Öl o.ä. anlagern und an die hydrophile Seite lagern sich die Wassermoleküle an. So werden Wasser und Öl zusammengebracht. Emulgatoren gehören zu den Tensiden.

**Brownsche Bewegung:** Die Bewegung der Elementarteilen eines Stoffs. Je höher die Temperatur und somit die Energie ist, desto grösser ist auch die Brownsche Bewegung.

## Anhang

### Anhang 1 (Rezept)

#### Vegane Macarons - Rezept des Autors

##### **Erbsenprotein**

##### **Zutaten für ungefähr 180 Gramm**

50 Gramm Erbsenproteinisolat  
500 ml Wasser  
Stärke

##### **Zubereitung**

Das Wasser mit dem Erbsenproteinisolat in einem Topf auf 80 Grad erhitzen. Die Mischung durch ein feinmaschiges Tuch oder einen Kaffeefilter abfiltrieren. Das gesammelte Erbsenwasser abwägen und auf jeweils 40 Gramm Erbsenwasser 1 Gramm Stärke hinzufügen. Die Ganze Mischung aufkochen und auf 75% der Masse einkochen. Das Erbsenprotein dann im Kühlschrank komplett durchkühlen lassen. Überschüssiges Erbsenprotein kann gut eingefroren werden.

##### **Macaron-Halbschalen (ergibt ca. 24 Macarons von 2.5cm Durchmesser)**

##### **Zutaten**

100 Gramm geschälte, gemahlene Mandeln  
100 Gramm Puderzucker  
85 Gramm Erbsenprotein  
30 Gramm Wasser  
80 Gramm Kristallzucker  
Optional: Lebensmittelfarbe (Gelfarbe)

##### **Zubereitung**

Die Mandeln und den Puderzucker vermischen. Das Ganze in einem Mixer/Cutter zu einem feinen Mehl mahlen. Das Mandelmehl sieben und übriggebliebene grobe Stücke noch einmal mahlen. Das Mandelmehl mit 25 Gramm des Erbsenproteins zu einer dicken Paste vermischen.

Den Zucker und das Wasser in einer kleinen Pfanne aufkochen lassen. Nebenbei die restlichen 60 Gramm des Erbsenproteins mit dem Mixer schaumig schlagen. Wenn der Zuckersirup 117 Grad erreicht vom Herd nehmen und unter ständigem Schlagen zum Erbsenprotein geben. Das Erbsenprotein so lange weiterschlagen, bis sich beim Herausziehen der Mixstäbe weiche Spitzen bilden. Das kann bis zu 8 Minuten dauern. Falls Lebensmittelfarbe verwendet wird, muss diese in diesem Schritt zum Erbsenschaum gegeben werden.

Dann den Erbsenschaum in 2 oder 3 Portionen zur Mandelmasse geben und gut verrühren. Der Teig sollte so flüssig sein, dass er in dicken Bahnen vom Löffel fließt.

Den Teig in einen Spritzsack (6mm Tülle) abfüllen. Die Macarons auf das vorbereitete Blech dressieren. Das geht am besten, wenn die Tülle etwa 0.5 cm über dem Blech gehalten und der

Spritzsack konstant gedrückt wird. Man bedenke, dass die Macarons später noch ein wenig zerfliessen.

Das Blech mit dem Macarons einige Male von unten klopfen, damit alle Luftblasen im Teig platzen. Die Macarons dann zum Trocknen an einen kühlen, trockenen Ort stellen. Dass sie gut getrocknet sind merkt man, wenn sich auf den Macarons eine Haut gebildet hat, welche bei Berührung nicht zerreist. Das kann je nach Luftfeuchtigkeit bis zu 5 Stunden dauern.

Den Ofen auf 130 Grad Umluft vorheizen und die Macarons für 18 Minuten backen. Dann den Ofen ausschalten und die Macarons weitere 20 Minuten im Ofen auskühlen lassen. Den Ofen während dem Backen nie öffnen!

### **Zitronenfüllung (reicht für ca. 24 Macarons)**

#### **Zutaten**

- 150 Gramm vegane weisse Schokolade
- 100 Gramm veganer Rahm
- 50 Gramm veganer Sauerrahm
- 1 Zitrone; Schale und Saft

#### **Zubereitung**

Den Rahm und den Sauerrahm vermischen. Die Schokolade über einem heissen Wasserbad schmelzen und mit dem Rahm vermischen. Dann die Zitronenschale und den Zitronensaft nach eigenem Ermessen dazugeben. Die Creme im Kühlschrank komplett durchkühlen lassen und danach mit einem Mixer aufschlagen und bis zur Verwendung kühlstellen.

Um die Macarons zu füllen, die Creme in einen Spritzsack geben. Die Creme in die Mitte einer Macaron-Halbschale dressieren und die zweite Halbschale mit gleichmässigem Druck daraufsetzen, damit sich die Füllung gleichmässig verteilt.

#### **Varianten**

##### **Schokoladenfüllung**

Statt der weissen dunkle Schokolade verwenden und den Sauerrahm durch Rahm ersetzen. Die Zitrone ganz weglassen.

##### **Kaffeefüllung**

Die Zitrone weglassen und statt dem Sauerrahm 50 ml Kaffee verwenden.

#### **Tipp**

Die Zutaten müssen nicht unbedingt vegan sein, das Rezept funktioniert mit herkömmlichen Zutaten genauso gut.

**Anhang 2(Verkostung)**

<u>Kriterium</u>	Geschmack Füllung (richtige Süsse, klarer Geschmack, Nuancen)	Konsistenz Füllung (cremig, weich)	Geschmack Schalen (Mandelaroma, richtige Süsse)	Konsistenz Schalen (ausse knusprig, innen weich, nicht zu klebrig/gummig)	Aussehen (Form, Farbe, Grösse)
<u>Bewertung</u> (1= schlechtester Wert, 6= bester Wert)	<b>6/6</b>	<b>4/6</b>	<b>6/6</b>	<b>5/6</b>	<b>5.5/6</b>
<u>Kommentar</u>		Vielleicht etwas fester		Das weiche Innere vielleicht etwas weicher	
<u>Weitere Bemerkungen:</u> Lieber Domogov ich bin äusserst beeindruckt von deinen Backkünsten, die können einen wirklich aus den Socken hauen! Der Geschmack hat einen flauschigen Abgang auf der Zunge und lässt einen einen Zitronenbaum zu reinbeissen erträumen. Hochachtungsvoll, Skoda Fabia					

<u>Kriterium</u>	Geschmack Füllung (richtige Süsse, klarer Geschmack, Nuancen)	Konsistenz Füllung (cremig, weich)	Geschmack Schalen (Mandelaroma, richtige Süsse)	Konsistenz Schalen (ausse knusprig, innen weich, nicht zu klebrig/gummig)	Aussehen (Form, Farbe, Grösse)
<u>Bewertung</u> (1= schlechtester Wert, 6= bester Wert)	<b>6/6</b>	<b>6/6</b>	<b>4.5/6</b>	<b>6/6</b>	<b>5.5/6</b>
<u>Kommentar</u>			Man schmeckt das Mandelaroma nicht sehr stark		Sie sind nicht immer rund
<u>Weitere Bemerkungen:</u> Lieber Domogov die Macaronisb sind sehr fein Liebe Grüsse Vasili					

<u>Kriterium</u>	Geschmack Füllung (richtige Süsse, klarer Geschmack, Nuancen)	Konsistenz Füllung (cremig, weich)	Geschmack Schalen (Mandelaroma, richtige Süsse)	Konsistenz Schalen (ausen knusprig, innen weich, nicht zu klebrig/gummig)	Aussehen (Form, Farbe, Grösse)
<u>Bewertung</u> (1= schlechtester Wert, 6= besten Wert)	3/6	5/6	5/6	6/6	5/6
<u>Kommentar</u>	Zu dominant,	gut	Wird von Füllung dominiert	Sehr gut	Oberer Teil der Schale etwas schmal
<u>Weitere Bemerkungen:</u> Wenn ich über den Tellerrand schaue: Grössenunterschiede.					

<u>Kriterium</u>	Geschmack Füllung (richtige Süsse, klarer Geschmack, Nuancen)	Konsistenz Füllung (cremig, weich)	Geschmack Schalen (Mandelaroma, richtige Süsse)	Konsistenz Schalen (ausen knusprig, innen weich, nicht zu klebrig/gummig)	Aussehen (Form, Farbe, Grösse)
<u>Bewertung</u> (1= schlechtester Wert, 6= bester Wert)	6/6	6/6	6/6	6/6	5/6
<u>Kommentar</u>	Weniger süss				unregelmässig
<u>Weitere Bemerkungen:</u>					

<u>Kriterium</u>	Geschmack Füllung (richtige Süsse, klarer Geschmack, Nuancen)	Konsistenz Füllung (cremig, weich)	Geschmack Schalen (Mandelaroma, richtige Süsse)	Konsistenz Schalen (ausen knusprig, innen weich, nicht zu klebrig/gummig)	Aussehen (Form, Farbe, Grösse)
<u>Bewertung</u> (1= schlechtester Wert, 6= bester Wert)	<b>6/6</b>	<b>5/6</b>	<b>6/6</b>	<b>5/6</b>	<b>6/6</b>
<u>Kommentar</u>		Zu flüssig		Luftiger, weniger gebacken?	
<u>Weitere Bemerkungen:</u>					

<u>Kriterium</u>	Geschmack Füllung (richtige Süsse, klarer Geschmack, Nuancen)	Konsistenz Füllung (cremig, weich)	Geschmack Schalen (Mandelaroma, richtige Süsse)	Konsistenz Schalen (ausen knusprig, innen weich, nicht zu klebrig/gummig)	Aussehen (Form, Farbe, Grösse)
<u>Bewertung</u> (1= schlechtester Wert, 6= bester Wert)	<b>6/6</b>	<b>4/6</b>	<b>5/6</b>	<b>4.5/6</b>	<b>5/6</b>
<u>Kommentar</u>		Zu flüssig		Hohlraum	
<u>Weitere Bemerkungen:</u>					

<u>Kriterium</u>	Geschmack Füllung (richtige Süsse, klarer Geschmack, Nuancen)	Konsistenz Füllung (cremig, weich)	Geschmack Schalen (Mandelaroma, richtige Süsse)	Konsistenz Schalen (ausser knusprig, innen weich, nicht zu klebrig/gummig)	Aussehen (Form, Farbe, Grösse)
<u>Bewertung</u> (1= schlechtester Wert, 6= bester Wert)	<b>5/6</b>	<b>4/6</b>	<b>4/6</b>	<b>4/6</b>	<b>3/6</b>
<u>Kommentar</u>	Eher sauer	Flüssig, cremiger, luftiger	neutral	fluffiger	Rund, füsschen
<u>Weitere Bemerkungen:</u>					

## Redlichkeitserklärung

«Ich bestätige hiermit, dass ich meine Maturaarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet.»

Unterschrift \_\_\_\_\_

- 1 <https://de.wikipedia.org/wiki/Macaron> bzw. <https://en.wikipedia.org/wiki/Macaron>
- 2 <https://image.brigitte.de/10326728/large1x1-622-622/3ad20d45878433b448322e2e71603fa1/dD/kokos-vanille-makronen.jpg>
- 3 <https://de.wikipedia.org/wiki/Makronen>
- 4 <https://de.wikipedia.org/wiki/Amaretti>
- 5 <https://www.schweizer-illustrierte.ch/sites/default/files/styles/square-1280x1280/public/gallery/44949056.jpg?itok=WwaNylyB>
- 6 <https://www.spruengli.ch/cms/de/inspiration/luxemburgerli/>
- 7 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/59/Pierre\\_herme.jpg/220px-Pierre\\_herme.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/59/Pierre_herme.jpg/220px-Pierre_herme.jpg)
- 8 <https://www.instagram.com/ayseyamanbutikpasta/>
- 9 [https://www.instagram.com/p/Blr47UqFhtz/?hl=de&taken-by=christian\\_huembs](https://www.instagram.com/p/Blr47UqFhtz/?hl=de&taken-by=christian_huembs)
- 10 [https://www.nzz.ch/wer\\_macht\\_die\\_besten\\_mac\\_a\\_rons-1.3878825](https://www.nzz.ch/wer_macht_die_besten_mac_a_rons-1.3878825)
- 11 <https://www.confiserie.ch/bachmann/fileadmin/download/presseberichte/Produkte/937-SI-Macaron-Test-2009-12-07.pdf>
- 12 <https://www.experience.panasonic.de/rezepte/die-koenigsdisziplin-matcha-macarons-mit-yuzu>
- 13 [https://www.besserhaushalten.de/wp-content/uploads/2016/07/Christian\\_Huembs-3\\_b98b3e894a-1.jpg](https://www.besserhaushalten.de/wp-content/uploads/2016/07/Christian_Huembs-3_b98b3e894a-1.jpg)
- 14 [https://www.besserhaushalten.de/wp-content/uploads/2016/07/Christian\\_Huembs-3\\_b98b3e894a-1.jpg](https://www.besserhaushalten.de/wp-content/uploads/2016/07/Christian_Huembs-3_b98b3e894a-1.jpg)
- 15 <https://www.experience.panasonic.de/rezepte/die-koenigsdisziplin-matcha-macarons-mit-yuzu>
- 16 [https://professional.silikomart.com/prodotti/3\\_View.asp?Articolo=&n=0&np=0&ar\\_codart=33.041.00.0060&P=MAC01%20MACARONS&#TopMenu](https://professional.silikomart.com/prodotti/3_View.asp?Articolo=&n=0&np=0&ar_codart=33.041.00.0060&P=MAC01%20MACARONS&#TopMenu)
- 17 <https://www.lekue.com/es/utensilios-de-cocina/tapete-de-coccion-en-silicona-40-lekue.html>
- 18 <https://www.eierfans.de/eierwissen-aufbau-erzeugung-und-statistische-daten-zum->
- 19 Handbuch der Lebensmittelchemie Band 3.2; Friedrich Kiermaier; Seite 886
- 20 <https://de.wikipedia.org/wiki/Eischnee>
- 21 <https://makeitsweet.de/tipps-zum-eischnee-schlagen/>
- 22 <https://www.swissmilk.ch/de/rezepte-kochideen/tipps-tricks/detail/tipp/eiweiss-steif-schlagen/>
- 23 <https://www.swissmilk.ch/de/rezepte-kochideen/tipps-tricks/detail/tipp/eiweiss-steif-schlagen/>
- 24 <https://makeitsweet.de/tipps-zum-eischnee-schlagen/>
- 25 <https://www.annabelle.ch/kochen/rezepte/alles-was-sie-%C3%BCber-eier-wissen-m%C3%BCssen-23002>
- 26 <https://www.umwelt-im-unterricht.de/hintergrund/nahrungsmittel-und-ihre-klimabilanz/>
- 27 Julien Duvernay; Desserts; Seite 229
- 28 <https://de.wikipedia.org/wiki/Aquafaba> und <https://www.wildeisen.ch/magazin/aquafaba>
- 29 <https://www.klamm.de/schlafuchs/ist-aquafaba-gesundheitlich-unbedenklich-3088.html>
- 30 <http://www.chemie.de/lexikon/Phasin.html>
- 31 <http://www.orgran.com/products/no-egg-egg-replacer/>
- 32 <https://de.wikipedia.org/wiki/St%C3%A4rke>
- 33 <https://de.wikipedia.org/wiki/Sago>
- 34 <https://de.wikipedia.org/wiki/Calciumcarbonat>

- 35 <https://de.wikipedia.org/wiki/Citronens%C3%A4ure>
- 36 <http://das-ist-drin.de/glossar/e-nummern/e461-methylcellulose/>
- 37 <https://myey.info/eyweiss/>
- 38 <https://freefromthat.com/vegan-potato-protein-proteina-de-patata-powder-for-replacing-eggs/>
- 39 <https://de.wikipedia.org/wiki/Soda>
- 40 [https://de.wikipedia.org/wiki/Kala\\_Namak](https://de.wikipedia.org/wiki/Kala_Namak)
- 41 <https://www.lolavegan.ch/vegwhite-arche-90g>
- 42 <https://de.wikipedia.org/wiki/Maltodextrin>
- 43 Handbuch der Lebensmittelchemie Band 3.2; Friedrich Kiermaier; Seite 887
- 44 Julien Duvernay; Desserts; Seite 226
- 45 <https://www.gaultmillau.ch/starchefs/julien-duvernay-der-susse-tanjas-team>
- 46 <https://www.indulgewithmimi.com/what-causes-hollow-macaron-shells/>
- 47 <https://de.wikipedia.org/wiki/Protein>
- 48 <https://de.wikipedia.org/wiki/Aminos%C3%A4uren>