

# Ist Miraculin die süsse Zukunft?

Maturarbeit von

Joshua Winterflood

Betreut von Rainer Steiger

Kantonsschule Schaffhausen, Dezember 2020

## Motivation

Vor knapp einem Jahr stand ich vor der Aufgabe ein Thema für die Maturaarbeit zu finden. Ich überlegte lange ob ich im naturwissenschaftlichen oder mathematischen Bereich meine Arbeit schreiben will und schaute mir verschiedene Themen an. Doch keines konnte mich so wirklich begeistern, bis ich durch den Hinweis meines Bruders Dylan auf das mysteriöse «Miraculin» gestossen bin. Die Idee, die Geschmackssinne hinters Licht zu führen, war für mich bis anhin ein unbekanntes Thema. Es packte mich und machte mich neugierig. Zudem erfuhr ich, dass die Anwendung von Miraculin in der Lebensmittelindustrie immer noch ein Bestandteil der heutigen Forschung ist. Dies bildete den Kern der Motivation für meine Maturarbeit. Schon von klein auf begeisterte mich das Experimentieren mit diversen Stoffen. Damals haben meine Brüder und ich ganze Nachmittage damit verbracht, die perfekte Kombination von verschiedenen Kreidepulvern und Wasser herauszufinden. Und genau in diese Richtung, dachte ich, würde das Experimentieren mit Miraculin gehen, nämlich herauszufinden, welche Kombinationen von Miraculin zusammen mit diversen anderen Stoffen künftig in der Lebensmittelindustrie an Popularität gewinnen könnten. Ein weiterer Motivationsgrund, sich in dieses Thema zu vertiefen, ist, dass sich Zucker in sehr vielen Lebensmitteln befindet und dieser so gut es geht ersetzt werden sollte. Auch wenn ich schon immer tendenziell viel Zucker konsumiert habe, war es für mich ein Schock zu erfahren, dass sich zum Beispiel auch in Tiefkühlpizzen oder im Aufschnitt Zucker befindet. Dadurch ist es für den durchschnittlichen Bürger sehr schwierig, seinen Zuckerkonsum zu erfassen und zu regulieren. Auch bin ich schon oft in Kontakt mit zuckerlosen Lebensmitteln gekommen, aber diese empfinde ich in den meisten Fällen als keinen guten Ersatz. Klar könnte man auch die komplette Ernährung umstellen, aber dies wäre mit einem sehr grossen Aufwand verbunden.

## **Abstract**

Im Rahmen dieser Maturaarbeit werden die Eigenschaften und Möglichkeiten von Miraculin untersucht. Die Eigenschaften von Miraculin bewirken, dass das Protein sich in einem sauren Milieu verformt und so den Süßrezeptor stimuliert. Die «Miracle Plant» ist der Träger der «Miracle Fruit», die wiederum das mysteriöse Miraculin in sich birgt. Aber zuerst werden die Grundlagen eingeführt, die zum Verständnis der aktuellen Interessen an Miraculin beitragen. So werden die verschiedenen Aufgaben der Proteine und deren Struktur beschrieben, wobei noch nicht auf die genauere Struktur von Miraculin eingegangen wird. Daraufhin wird auf die gesundheitlichen Folgen des Zuckers für den Menschen hingewiesen, wobei auch die Alternative der künstlichen Süßstoffe mit einbezogen wird. Die Anwendung und Massenproduktion von Miraculin als alternativen Süßstoff stehen bis heute im Fokus der Wissenschaft. Dabei gibt es etliche Versuche Miraculin in transgenetischen Pflanzen herzustellen. Der erhöhte Konsum von zuckerhaltigen Getränken belastet die Schweizer Bevölkerung. Darum wird in den Experimenten innerhalb dieser Maturaarbeit versucht mit Miraculin und sauren Lösungen eine Mischung ausfindig zu machen, die dann geschmacklich dem zuckerhaltigen Energy Drink nahekommt. Als Ergebnis dazu findet man heraus, dass die Mischungen mit Zitronensaft sich wohl am ehesten dafür eignen würden. Die Konzentrationen davon bleiben aber noch offen, da die Versuchsanordnungen für die Probanden zu anspruchsvoll waren.

## Inhalt

Proteine: eine Einführung .....	1
Verschiedene Proteine .....	1
Aufbau eines Proteins .....	2
Funktion und Form eines Proteins .....	3
Proteine im Ausnahmezustand .....	5
Einführung zum Zucker .....	5
Gesundheitliche Folgen .....	7
Süsstoffe .....	9
Miraculin.....	12
Herkunft .....	12
Funktion des Miraculins .....	14
Das Molekül Miraculin.....	14
Die Zunge mit ihren Geschmacksnerven.....	15
pH-Wert.....	16
Molekulare Ebene .....	17
Diskussion der zukünftigen Anwendbarkeit von Miraculin in der Lebensmittelindustrie.....	18
Massenanbau von Miraculin .....	19
Erhöhter Konsum von sauren Produkten und Miraculin .....	21
E-Mail-Verlauf mit Professor Somu von der «Yokohama National University» .....	23
Zusammenfassung.....	23
Quintessenz.....	23
Erster praktischer Test .....	23
Ausgangslage.....	23
Vorgehen .....	24
Hypothesen .....	26
Durchführung .....	26
Fazit .....	26
Zweiter praktischer Test.....	27
Ausgangslage.....	27
Vorgehen .....	28
Hypothesen .....	28
Durchführung .....	29
Schlussfolgerungen .....	30

Dank.....	35
Quellenangabe .....	35
Bildquellen.....	37
Redlichkeitserklärung.....	39
Anhang.....	40
E-Mail-Verlauf mit Professor Somu von der «Yokohama National University».....	40

## Proteine: eine Einführung

Proteine, umgangssprachlich auch als Eiweisse bekannt, sind ein vitales Fundament für das Leben, wie wir es heute kennen. Ob in Form von Blutkörperchen im Blut, als Enzyme oder aber auch als Katalysatoren, Proteine sind an fast jeder körperlichen Funktion beteiligt. Darum wird im Folgenden der Begriff, die Funktion, der Aufbau, Ausnahmezustände und die verschiedenen Arten von Proteinen erklärt.

Das Wort Proteine stammt von dem griechischen Wort «proteios», welches als primär übersetzt wird. Proteine nehmen daher eine primäre Rolle in unserem Körper ein. Die Wahl dieser Bezeichnung wird ausserdem durch den Fakt untermauert, dass Proteine mehr als 50% des Trockengewichts einer Zelle ausmachen. Ein Mensch hat unzählig viel verschiedene Proteine, welche sehr komplexe und hochentwickelte Substanzen sind. Die Funktion eines Proteins wird durch seine räumliche Form determiniert. Die Gesamtheit aller Proteine in einem gewissen Bereich (z.B. Zelle, Lebewesen, etc.) wird zusammenfassend Proteom genannt. Grundsätzlich lassen sich die Proteine in 8 Gruppen unterteilen (Campbell et al., 2018).

### Verschiedene Proteine

**Enzymatische Proteine** beschleunigen selektiv gewisse chemische Reaktionen.

Beispiele dafür wären Verdauungs-Enzyme, welche die Hydrolyse von Nahrung katalysieren.

**Defensive Proteine** sind Antiviren und ein Teil des Immunsystems. Sie können sich an fremde Viren binden, was die Bekämpfung der Fremdkörper erheblich erleichtert.

Ein Beispiel hierzu wäre das Protein APOBEC3H, welches vom Menschen produziert wurde, um den Vorgänger des HIV abzufangen. (*Universität Düsseldorf: Anti-Virus Protein in Menschen Schützte Vor Zoonotischer Übertragung Des HIV-1 Vorläufer Virus, n.d.*)

**Lagerungsproteine** sind für die Erhaltung und Lagerung von Aminosäuren zuständig.

Zum Beispiel gibt es das Protein der Milch, das sogenannte «Casein», welches sich bei den Säugetieren als hilfreich für die Übertragung von Aminosäuren bewährt hat.

**Transportproteine** sind, wie es der Name schon sagt, Proteine, welche im Körper zuständig sind, Stoffe zu transportieren.

Hämoglobin ist ein sehr prominentes Beispiel eines Transport Proteins, denn es transportiert den Sauerstoff zu den Muskeln.

**Hormonale Proteine** sind für die Koordination der Körperaktivitäten verantwortlich.

Ein sehr bekanntes Beispiel hier wäre Anabolika. Das seit Mitte der 1970'er Jahre verbotene Protein sorgt für einen intensiveren Muskelaufbau und wird oft als Doping-Mittel in den Schnellkraftsportarten wie zum Beispiel Leichtathletik oder auch Gewichtheben konsumiert. (*Doping Im Radsport – Wikipedia, n.d.*)

**Motorproteine** sind zuständig für den Transport von Stoffen unter ATP Verbrauch. ATP (Adenosintriphosphat) ist ein wichtiger Energietransporter und wenn es verbraucht wird, gibt es Energie frei, welche die Motorproteine benutzen können.

Ein Beispiel für Motorproteine wäre Kinesin, das auf den Mikro-Tubuli, einer zellulären Struktur, vom Zellkern zur Zellmembran hin und zurück pendelt, wobei es Stoffe, welche in Vesikeln verpackt sind, transportiert. Unter Vesikeln muss man sich ballonartige Pakete vorstellen, in denen Stoffe in der Zelle transportiert werden.

**Strukturproteine** dienen zur Stabilisierung der Körperstrukturen

Collagen ist das Protein, welches 40% aller Proteine eines Menschen ausmacht. Man findet es in Geweben wie der Haut, der Lunge, der Blutgefäße, der Knorpel, der Knochen, der Sehnen und der Bänder. Es fördert ihre Elastizität, Reißfestigkeit und Druckresistenz.

**Rezeptorproteine** arbeiten nach dem Schlüssel-Schloss Prinzip.

Der Insulinrezeptor hat eine Andockstelle für das Protein Insulin. Wenn ein Insulin Molekül andockt, verändert es seine Form und gibt dadurch Signale frei, die die Homöostase wiederherstellen sollte. Homöostase ist ein Überbegriff für die Erhaltung gewisser Standarte innerhalb des Körpers wie zum Beispiel Temperatur. Auf diese Untergruppe der Proteine werde ich später noch zurückkommen, da Miraculin dazu gehört.

### **Aufbau eines Proteins**

Alle Proteine bestehen aus bis zu 20 verschiedenen Aminosäuren. Diese Anzahl sieht zwar nach wenig aus aber die Vielfalt der Proteine wird durch die verschiedenen

Kombinationsmöglichkeiten der Aminosäuren und der Länge der einzelnen Polypeptiden hervorgerufen.



Zum Beispiel bei einem Polypeptid mit 8 Aminosäuren gibt es insgesamt  $20^8 = 2.56 \cdot 10^{10}$  potenzielle Aminosäuresequenzen, da es für jede Aminosäure (Aminosäure1, Aminosäure2, Aminosäure3 etc.) 20 verschiedene Aminosäuren gibt, die in Frage kommen.

Aminosäuren wiederum bestehen grundsätzlich aus einer Amino-Gruppe ( $\text{NH}_2$ ), einer Carboxyl-Gruppe ( $\text{COOH}$ ) und einer C-H-Verbindung, welche die zwei Gruppen zusammenhält. Das Einzige, was eine Aminosäure von einer anderen Aminosäure unterscheidet, ist die Restgruppe R. Da das Molekül, exklusiv der Restgruppe R, neutral geladen ist, bestimmt die Restgruppe, ob die Aminosäure polar oder unpolar resp. elektrisch geladen ist.

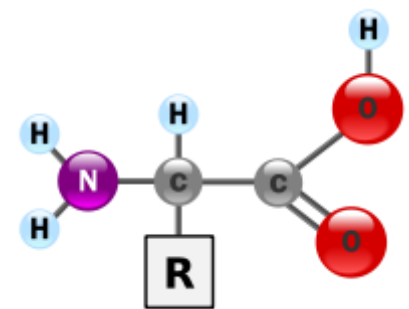


Abbildung 1: Grundaufbau einer Aminosäure

## Funktion und Form eines Proteins

Die Funktion eines Proteins hängt in den meisten Fällen von der Fähigkeit ab, andere Moleküle zu erkennen und mit ihnen Bindungen einzugehen. Daher ist die 3-dimensionale Form eines Proteins eng zusammenhängend mit dessen Funktion. Diesen Umstand sieht man unter anderem auch an dem bereits erwähnten Beispiel der Antikörper, die je nach Form an einen bestimmten Virus andocken. Grundsätzlich unterscheidet man auch zwischen globus-ähnlichen und faser-ähnlichen Proteinen. Diese Formen werden durch die sogenannte Proteinfaltung festgelegt. Dieser Prozess findet in der Zelle statt, der kleinsten Form von Leben. Ein 70 Kilogramm schwerer Menschen besteht aus schätzungsweise 30 Billionen ( $30'000'000'000'000$ ) Zellen. (Mediendatenbank Biologie, Pflanzenzelle, n.d.)



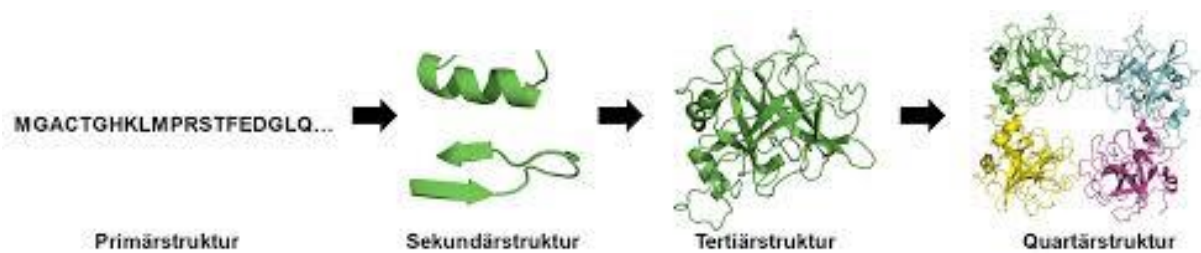


Abbildung 2: Verschiedene Strukturebenen eines Proteins

Die Faltung eines Proteins verläuft spontan im Cytoplasma der Zelle ab. Die Form eines Proteins wird schlussendlich durch die Aminosäuresequenz bestimmt, welche auch als Primärstruktur bezeichnet wird. In der Abbildung (5) sind die Aminosäuren als Buchstaben dargestellt. Die Primärstruktur hat noch keine räumliche Ausdehnung. Die meisten Polypeptide haben Abschnitte, die sich repetieren. Diese sich wiederholenden Abschnitte bilden die Sekundärstruktur, die durch Wasserstoffbindungen stabilisiert wird. Da sich gewisse Abschnitte wiederholen, bilden sich 2 Typen der Sekundärstruktur. Die Alpha-Helix, (in der Abbildung (5) die obere Form der Sekundärstruktur) und das Beta-Faltblatt (in der Abbildung (5) die untere Form der Sekundärstruktur). Das Aneinanderhängen von Alpha-Helices, Beta-Faltblätter und Zwischensequenzen ergibt dann die Tertiärstruktur. Die Tertiärstruktur besteht somit aus mehreren Alpha-Helices und Beta-Faltblättern, jedoch nur aus einem Polypeptidstrang. Die letzte Faltung des Proteins wird durch das Andocken von mehreren Polypeptiden, die natürlich auch selbst eine Tertiärstruktur-, Sekundär- und Primärstruktur besitzen, hervorgerufen. Dieser Theorieteil möchte ich am Beispiel von Hämoglobin veranschaulichen.

Die Funktion des Hämoglobins spielt eine wichtige Rolle beim Transportieren von Sauerstoff, da es den Sauerstoff binden kann. Damit ist es ein Transport-Protein. Das Hämoglobin Protein besteht aus 4 Polypeptiden, (In Abbildung (6) mit den Farben dargestellt) die selbst eine komplizierte Tertiärstruktur aufweisen. Die einzelnen Polypeptiden bestehen hauptsächlich aus Alpha-Helices.

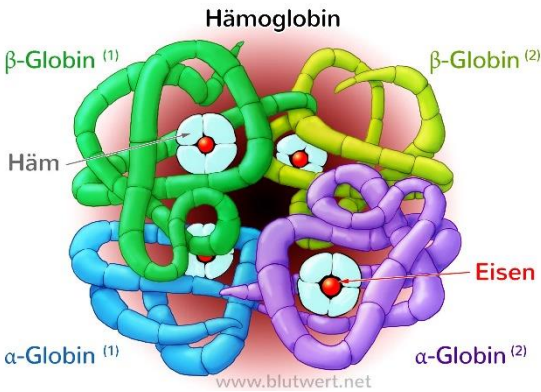


Abbildung 3: Tertiärstruktur von Hämoglobin

Zudem ist auch eine nicht-polypeptid Gruppe Namens Häm an den Polypeptiden angebunden. Das Protein fällt in die Gruppe der

globus-ähnlichen Proteine. Die Rekonstruktion der Tertiärstruktur von gewissen Proteinen ist bis heute ein Teil der Forschung, da die Simulation einer Proteinfaltung von etlichen Variablen abhängt.

## **Proteine im Ausnahmezustand**

Bisher haben wir von dem Normalzustand eines Proteins gesprochen. Dies ist aber nicht immer der Fall. Proteine sind abhängig vom pH-Wert, Temperatur und der Salz-Konzentration, weiteren Umweltfaktoren und sie kommen sogar nur unter gewissen Umweltbedingungen vor. Änderungen dieser Umweltfaktoren können positive als auch negative Folgen haben. Zum Beispiel kann das Hämoglobin bei erhöhter Temperatur effizienter Sauerstoff binden und diesen dann auch im Muskelgewebe einfacher abgeben. Eine zu hohe Temperatur kann dann aber wiederum zu einer Denaturierung des Proteoms führen. Dabei werden die schwachen zwischenmolekularen Kräfte der Aminosäuren aufgelöst und das Protein verliert seine ursprüngliche Form. Durch die denaturierte Form hat das Protein keine Funktion mehr und ist damit biologisch inaktiv.(Campbell et al., 2018)

## **Einführung zum Zucker**

Zucker findet man einfach überall in Lebensmitteln. Ob im Joghurt, im Dessert oder auch in Lebensmitteln, in welchen man ihn nie vermuten würde; die westliche Gesellschaft ist tagtäglich mit zuckerhaltigen Produkten in Kontakt. Laut der «World Health Organization» (WHO) sollte der Mensch durchschnittlich maximal 50 Gramm künstlich zugesetzten Zucker pro Tag konsumieren. In 50cl Cola Flaschen gemessen ist das knapp 1 Flasche pro Tag, denn eine Flasche enthält ca. 54 Gramm Zucker(*Coca-Cola & Zucker*, n.d.). Übersetzt sind das 13.5 Zuckerwürfel à je 4 Gramm pro Würfel. Das Problem dabei aber ist, dass der durchschnittliche Schweizer Bürger am Tag 110 Gramm Zucker konsumiert, was mehr als das Doppelte von der empfohlenen Menge ist. Dieser Wert ist relativ schnell erreicht. Essen wir zum Beispiel ein Emmi Joghurt pur Himbeer (21.5 Gramm auf 150 Gramm)(*Wie Viel Würfelzucker Und Kalorien Hat Ein Fruchtjoghurt? - Blick*, n.d.) zum Frühstück, eine Flasche Cola (54 Gramm auf 50cl) mit einer Tiefkühlpizza (14 Gramm auf 300-455 Gramm)(*Tiefkühlpizza: Reichlich Kalorien | Verbraucherzentrale NRW*, n.d.) zum Mittagessen und eine ordentliche Lasagne Bolognese (9.3 Gramm auf 300 Gramm)(*Zuckergehalt Einer Lasagne - Google Search*, n.d.) zum Abendessen, kommen wir schon auf beträchtliche 98.8 Gramm Zucker und das obwohl man

den Zucker kaum sieht. Der Zucker lässt sich im Joghurt und in der Cola erahnen, aber Viele wissen nicht, dass selbst eine Tiefkühlpizza Zucker enthält.



Abbildung 4: Bildliche Darstellung des Zuckergehaltes einer 50cl Cola Flasche

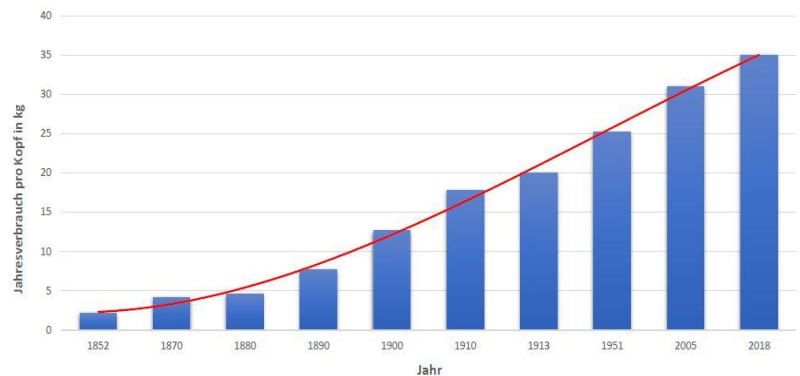


Abbildung 5: Zuckerkonsum pro Jahr und Kopf in Deutschland

Der hohe Zuckerkonsum schockiert. Falls es in Zukunft keine Änderungen zur stark ansteigenden Konsumtendenz gibt, die man in Abbildung (5) sieht, wird sich die allgemeine Gesundheit von uns weiter verschlechtern. Darum gibt es auch schon Gesetze, die den Zuckeranteil von gewissen Lebensmitteln regulieren. Diese kommen dem Konsumenten zugute, da er kein Gefühl für den Zuckeranteil in Lebensmitteln hat. Es stellt sich die Frage, wieso der Zuckerkonsum der westlichen Gesellschaft so hoch ist. Die Antwort ist komplex und ist immer noch eine Frage, die in der Forschung häufig aufgeworfen wird. Daher werden jetzt die Grundursachen vereinfacht dargestellt, die den hohen Zuckerkonsum begründen. Die Grundlage liegt weit zurück in der ursprünglichen Natur des Menschen. Da unsere Vorfahren kein Verfall-Datum bei Lebensmitteln kannten und man damals auch relativ wenig Kenntnisse über giftige und ungiftige Pflanzen hatte, war der Geschmackssinn für das Überleben sehr wichtig. Bevor man etwas hinunterschluckte, nahm man das Essen zuerst durch den Geschmackssinn wahr. Da reife Früchte für uns tendenziell eher süß schmecken und unreife bzw. giftige Pflanzen eher sauer, haben sich Menschen, die den Geschmack süß mit etwas Positivem verbinden, evolutiv gegenüber den anderen durchgesetzt. Und genau diesen Fakt nutzt die heutige Nahrungsindustrie aus, denn ob wir Zucker unbewusst in Form einer Tiefkühlpizza oder bewusst in Form eines Desserts konsumieren, schlussendlich empfinden wir zu zuckerhaltigen Produkten unbewusst oder bewusst eine Zuneigung und kaufen uns das

jeweilige Produkt immer wieder, was das Ziel der Verkaufsindustrie erfüllt. Des Weiteren sind die Firmen bis heute nicht dazu verpflichtet, die Menge an künstlich zugesetzten Zucker im Produkt klar zu deklarieren. Sie müssen lediglich eine Liste mit allen Zutaten angeben, nicht aber deren Menge. Dazu kommt, dass auch der freiwillige Zusatz unter Kohlenhydraten «davon Zucker» nicht die effektive Menge an zugesetztem Zucker angibt, sondern nur die totale Zuckermenge, welche auch die natürliche Zuckermenge beinhaltet. Dadurch ist es für den Konsument fast unmöglich herauszufinden, wie viel künstlicher Zucker in einem Produkt steckt.

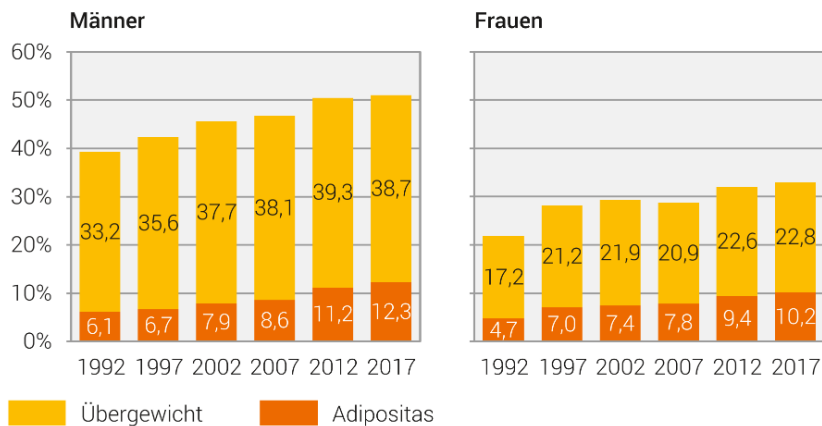
Ein weiterer Grund für den übermäßigen Konsum liegt darin, dass wenn wir zuckerhaltige Nahrung zu uns nehmen, unser Körper Dopamin freisetzt, das an den Dopamin Rezeptoren im Gehirn andockt. Diese Rezeptoren werden jedoch immer unempfindlicher je mehr und je länger Dopamin an sie andockt. Dies hat zur Folge, dass man für dasselbe Belohnungsgefühl immer mehr Zucker konsumieren muss, um das unempfindlich Werden der Rezeptoren zu kompensieren. Dieser Effekt endet dann in einer positiven Rückkoppelung, auch Abwärtsspirale oder Teufelskreis genannt, wobei der Konsument, ohne es wirklich wahrzunehmen, immer mehr Zucker konsumiert.

### **Gesundheitliche Folgen**

Vor allem die heutige westliche Gesellschaft leidet an den daraus folgenden Effekten, und die Tendenz ist sogar noch steigend. Hier scheint genau das Gegenteil des Welthungers stattzufinden, wie die Abbildung 6 zeigt.

## Übergewicht und Adipositas

Bevölkerung ab 15 Jahren in Privathaushalten



Quelle: BFS – Schweizerische Gesundheitsbefragung (SGB)

© BFS 2018

Abbildung 6: Übergewicht und Adipositas der ü. 15 Bevölkerung in der Schweiz (1992-2017)

Die Ursache der ansteigenden Tendenz liegt in der Entwicklung der Bevölkerung. Früher hatten die Leute noch vermehrt körperliche Arbeit verrichtet, welche im Wandel der Zeit durch Maschinen vereinfacht oder aber auch ersetzt wurden. Die Leute arbeiten vermehrt im tertiären Sektor, auch Dienstleistungssektor genannt, welche zum grössten Teil mit Bürojobs oder generell Jobs, die man im Sitzen ausübt, zusammenhängen. Wie man aus obiger Grafik (6) entnehmen kann sind im Jahre 2017 genau 41% der Schweizer Bevölkerung übergewichtig oder leiden an Adipositas. Die Grenze zwischen Übergewichtigkeit und Adipositas wird durch die WHO definiert. Weitere Beschwerden einer übergewichtigen Person sind Atemnot, starkes Schwitzen, Erhöhung der Öl- und Talgproduktion, welche das Hautbild verschlechtern und zu Akne führen. Nicht zu vergessen ist aber auch die seelische Belastung einer fettleibigen Person, da die heutige Gesellschaft eine Abneigung gegen sie hat und sie sich dadurch eher aus der Gesellschaft zurückziehen. Eine weiter durch übermässigen Zuckerkonsum verursachte und weit verbreitete Krankheit ist Diabetes mellitus, auch Diabetes Typ 2 genannt, welche im Gegensatz zum Diabetes Typ 1 überwiegend mit dem Lebensstil einer Person zusammenhängt und nicht von deren genetischen Veranlagung. Dabei funktioniert der Insulin-Stoffwechsel nicht mehr richtig und die Diabetiker müssen sich künstlich Insulin zuführen. In der Schweiz belaufen sich die Kosten von Behandlungen in Verbindung mit Zuckerkrankheiten auf Millionen und auch hier ist die Tendenz steigend. Es gibt noch etliche weitere Krankheiten, die durch Zucker verursacht werden, aber ich beschränke mich in meiner Arbeit auf die vorangehenden. Bei all diesen Nachteilen von Zucker könnte man sich fragen,

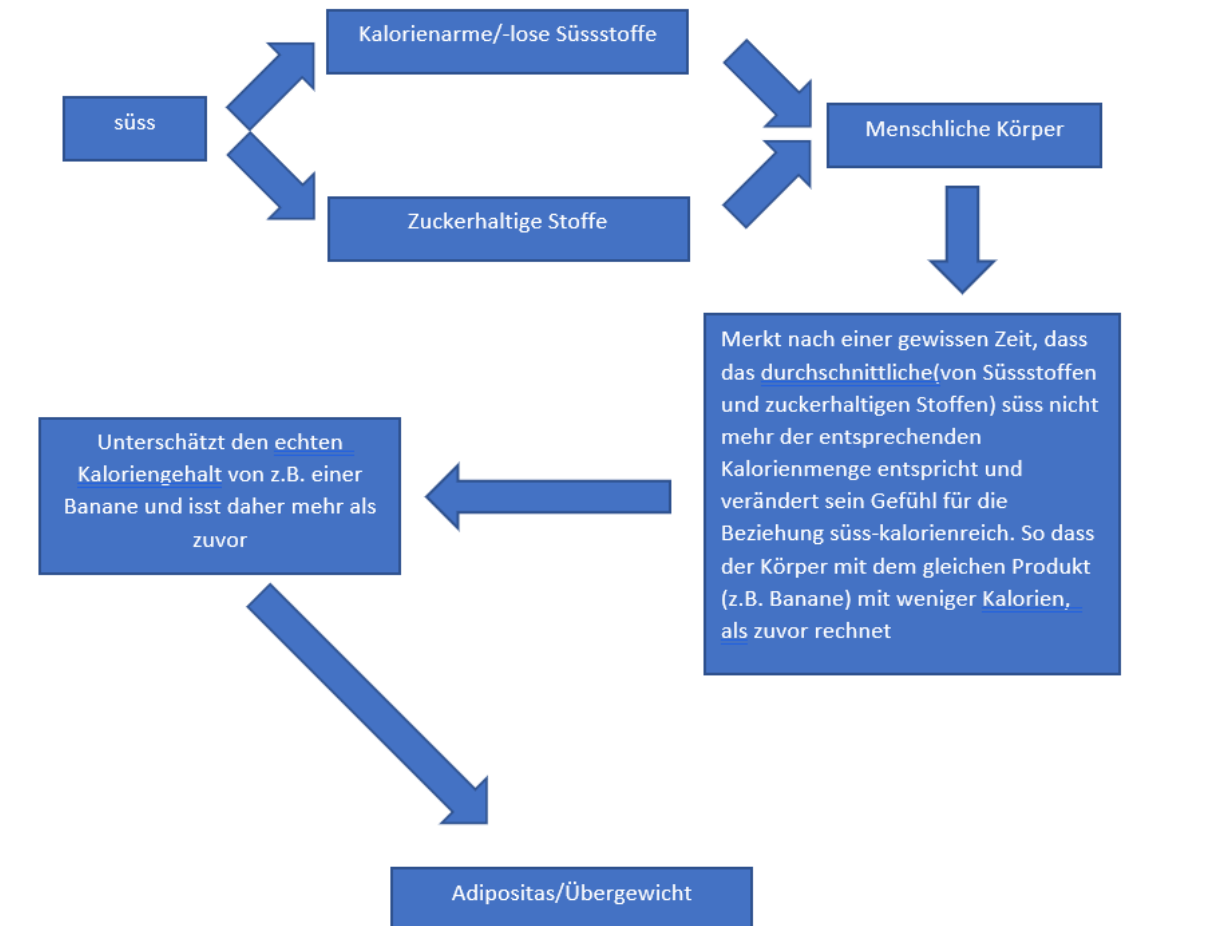
ob es auch Alternativen zu ihm gibt. (*Warum Zu Viel Zucker Ungesund Ist: Die 7 Wichtigsten Gründe* | FOCUS.De, n.d.)

## **Süsstoffe**

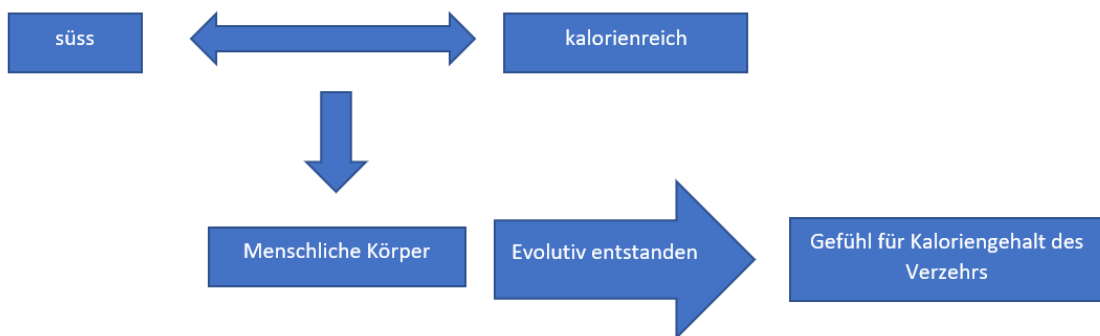
Eine oft praktizierte Alternative ist kalorienarme oder kalorienlose Süsstoffe, d.h. Stoffe die der Mensch nur schlecht oder gar nicht verstoffwechseln kann. Im Jahr 2017 wurden 12 Millionen Tonnen Süsstoffe produziert, welche sich hauptsächlich in Süssgetränken, Fruchtjoghurts, Eiweissshakes, Speiseeis, Konfitüren, Bonbons, Obstkonserven, Fischsalaten und Mayonnaisen wiederfinden. Viele Studien zeigen, dass Süsstoffe gesundheitliche Nebenwirkungen haben. Sie werden jedoch trotzdem von den Behörden zugelassen. Der Grund ist, dass die Süsstoffindustrien eigene aufwändige Studien betreiben, mit denen sie sich auf dem Markt halten können. Laut den unabhängigen Studien machen Süsstoffe dick und müde, da durch die Aufnahme von Süsstoffen mehr Insulin produziert wird und dadurch der Blutzuckerspiegel schnell absinkt, was zu einem grösseren Appetit und Müdigkeit führt. Des Weiteren sind Nebenwirkungen wie Unruhe, Stimmungsschwankungen, eine erhöhte Vergesslichkeit und eine Schwächung des Immunsystems zu beobachten, da Süsstoffe einen negativen Einfluss auf die Darmflora haben (*Achtung Süsstoff-Falle* | Dr. Feil, n.d.). In der Abbildung (7) sind die bekanntesten Süsstoffe aufgelistet und deren spezifischen Nebenwirkungen. Der Körper verbindet automatisch die Geschmacksrichtung «süss» mit kalorienreich. Die Verbindung von süss und kalorienreich hat auch durchaus seinen Grund, da sich dieses Verhältnis evolutiv durchgesetzt hat. Jedoch wird diese Verbindung durch die Einführung von künstlichen Süsstoffen aufgelöst, denn «süss» bedeutet heutzutage nicht immer kalorienreich. Das ist eigentlich eine positive Entwicklung, aber unser Körper könnte dadurch verwirrt werden und die Einschätzung von diesem Verhältnis verlieren. Zum Beispiel weiss der Körper, dass wenn er eine Banane zu sich nimmt, er dann eine bestimmte Anzahl Kalorien zugefügt bekommt. Aber wenn er gemerkt hat, dass süss nicht mehr immer mit kalorienreich übereinstimmt, könnte es sein, dass der Körper den Kaloriengehalt einer Banane dadurch unterschätzt, was dazu führt, dass der Körper noch mehr essen will, obwohl er eigentlich schon genug Kalorien zugeführt bekommen hat. Eine Studie dazu hat herausgefunden, dass Ratten, die Joghurt mit künstlichen Süsstoffen konsumieren, mehr Gewicht zulegen als Ratten, die Joghurt mit Zucker konsumieren. Die Einführung von Süsstoffen habe ich grafisch dargestellt, indem ich zuerst die «Ausgangslage» visualisiere, bei der es noch keine künstlichen Süsstoffe gab. Und in der zweiten Grafik sieht man dann die

Veränderungen für den Körper, die der Konsum von Süsstoffen hat.((9) *The Science of Sweetness - YouTube*, n.d.)

### Einführung von Süsstoffen



### Ausgangslage



In der nachfolgenden Tabelle (7) sieht man mögliche Nebenwirkungen von Süsstoffen.

Süsstoff	kritischer Stoff	Nebenwirkungen
Aspartam	Unbalancierte Aminosäuren Phenylalanin u. Asparaginsäure, Methanol	Überstimulierung im Gehirn, Zellgift mit krebserregendem Potenzial, Begünstigung der Fetteinlagerung durch erhöhte Leptinausschüttung
Sucralose	Chlorverbindung	Immunschwäche durch Veränderung der Darmflora und Schädigung der Darmschleimhaut, höheres krebserregendes Potenzial durch vermehrte Bildung sekundärer Gallensäuren
Acesulfam K	Methylenchlorid	Steigerung des Hungergefühls nach Kohlenhydraten, Dickmacher (GLP-1 Erhöhung), krebserregendes Potenzial
Cyclamat	Cyclohexylamin	spermien- und hodenschädigendes Potenzial, deshalb Tageshöchstmenge auf 7mg/kg Körpergewicht beschränkt
Saccharin		Veränderung der Darmflora, Dickmacher

Abbildung 7: Künstliche Süsstoffe und deren Nebenwirkungen

**Table 1: Comparison of thaumatin, monellin, mabinlin, pentadin, brazzein, curculin and miraculin.**

	Thaumatococcus daniellii Benth	Dioscoreophyllum cumminsii Diels	Capparis masakai Levl	Pentadiplandra brazzeana Baillon	Pentadiplandra brazzeana Baillon	Curculigo latifolia	Richadella dulcifica
Source	West Africa	West Africa	China	West Africa	West Africa	Malaysia	West Africa
Geographic distribution	West Africa	West Africa	China	West Africa	West Africa	Malaysia	West Africa
Variants	I, II, a, b, c <sup>a</sup>	-	I, II- a, III, IV <sup>a</sup>	-	-	-	-
Sweetness factor (weight basis)	3000	3000	100	500	2000	550	-
Molecular mass (active form, kDa)	22.2	10.7	12.4	12.0 <sup>b</sup>	6.5	24.9	98.4
Amino acids	207	45 (A chain) 50 (B chain)	33 (A chain) 72 (B chain)	?	54	114	191
Active form	Monomer	Dimer (A + B)	Dimer (A + B)	?	Monomer	Dimer (A + A)	Tetramer (A+A+A+A)

Source: Adapted from Kurihara (1994). <sup>a</sup>At least five different forms of thaumatin (Lee et al., 1988) and four different forms of mabinlin (Nirasawa et al., 1994) have been identified. <sup>b</sup>A chromatographic fraction containing a 12-kDa protein was sweet. This same fraction, when subjected to electrophoresis under non-reducing conditions showed bands in the region between 22 and 41 kDa, suggesting the presence of subunits.

Abbildung 8: Werte der 7 verschiedenen süß und geschmacksmodifizierenden Proteine

Eine weitere mögliche und in meiner Maturaarbeit zentrale Alternative zu den kalorienarmen/kalorienlosen Süsstoffen sind süße und geschmacksmodifizierende Proteine, wobei deren Vor- und Nachteile, Nebenwirkungen etc. immer noch Bestandteil der heutigen Forschung sind. Nach heutigem Kenntnisstand sind 7 solche Proteinsorten bekannt, welche in der Abbildung (8) aufgelistet sind. Dabei machten mich vor allem die Eigenschaften von Miraculin neugierig. Unter der Rubrik «sweetness factor» sieht man nämlich, dass alle anderen Proteine schon an sich süß sind, aber Miraculin eben nicht. Des



Weiteren zeigen manche Studien, auf die ich später auch noch eingehen werde, was für ein Potenzial Miraculin als Zuckerersatz in der Lebensmittelindustrie in der Zukunft haben kann. (Kant, 2005)

## Miraculin

### Herkunft

Wie bereits erwähnt, ist Miraculin ein geschmacksmodifizierendes Glykoprotein, das beim Konsumieren von saurer Nahrung die Süßrezeptoren der Zunge stimuliert. Dieses Protein fand man zum ersten Mal in der «Miracle» Pflanze (lat. *Richadella dulcifica*) (Abbildung 10), einer ursprünglich in den tropischen Regionen Westafrikas (Abbildung 9) heimischen Pflanze. In ihrer Heimat existieren mehrere andere einheimische Namen für die Pflanze, wie agbayun, taami, asaa, und ledidi.



Abbildung 9: Ursprüngliche Regionen, in den «Miracle Plant» wachsen



Abbildung 10: "Miracle Plant"



Abbildung 11: "Miracle Berries"

Der englische Name hat die Pflanze und deren Früchte von dem Effekt des Miraculins auf die Geschmackswahrnehmung. Dadurch findet man auch die Begriffe «Sweet Berry» /«Miraculous Berry» zu Deutsch Süsse-/Wunderbeere (Abbildung 3). Der Begriff süsse Beere ist aber irreführend, da, wie bereits erwähnt, das Protein nicht süß ist und die Frucht als Ganzes nur ganz wenig süßlich schmeckt.



Abbildung 12: "Miracle Fruit and Tablet"

Ausserdem teilt die Frucht den Namen «Miracle Fruit» mit zwei weiteren verschiedenen Früchten von Pflanzen Namens «Gymnema sylvestre» und «Thaumatococcus daniellii». Die erste Pflanze ist eine Rebe, die man unter anderem in Asien, China, Australien und auch Afrika findet. Anders als bei der «Richardella dulcifica» befindet sich der geschmacksmodifizierende Stoff dort nicht in der Frucht, sondern in den Blättern der Pflanze. Diese beinhalten nämlich eine Säure, die die Süßrezeptoren der Zunge behindern und so den süßen Geschmack von der Nahrung unterdrücken. Die «Thaumatococcus daniellii» produziert ein Protein, welches schon weiter oben in der Grafik (8) erschien, nämlich Thaumatin.

Doch nun zurück zu der Pflanze «Richardella dulcifica» und deren Frucht. In Westafrika ist es schon seit langem Brauch, dass man vor dem Verzehr von saurem oder abgestandenem Maisbrot auf dem Fruchtfleisch der Frucht kaut und dadurch den erwünschten süßlichen Geschmack beim Verzehr des Brotes erreicht. Die Pflanze gedeiht am besten bei 20 bis 35 °C , einem sauren Untergrund mit einem pH-Wert in dem Bereich von 4.5-5.8 und einem humiden aber nicht nassen Boden wo sie 2-4 Meter hoch wird. Es ist eine immergrüne Pflanze mit länglichen dunkelgrünen Blättern, aber es sind auch Varianten mit größeren Blättern oder auch beharften Blättern bekannt. Die kleine ca. 0.5 cm breite Blüte der «Miracle Plant» bildet



Abbildung 13: «Miracle Berry and Seed»

sich schubartig über Monate hinweg. Die Frucht ist eine kleine hellrote, Ellipsoid-förmige Beere die ungefähr 2 bis 3 cm lang ist und einen einzigen Samen enthält. (*Synsepalum Dulcificum* {*Sapotaceae*} *Miracle Fruit*, n.d.)

### **Funktion des Miraculins**

Miraculin wurde 1968 zum ersten Mal extrahiert. Die Forschungen wurden damals hauptsächlich in Frankreich, Japan und den Niederlanden durchgeführt. Diese Forscher fanden heraus, dass sich Miraculin an den Süßrezeptor (hT1R2-hT1R3) bindet. Die meisten anderen Moleküle, die sich an diesen Rezeptor binden, führen direkt zu einer süßen Geschmackswahrnehmung. Im Kontrast dazu verändert Miraculin seine Form nur, wenn es sich in einer sauren Umgebung befindet. Beim Verändern seiner Form stimuliert Miraculin dann den Süßrezeptor und man empfindet die Nahrung als süß. Für die Wirkung von Miraculin ist auch noch das Protein T1R2 essenziell. Diese stellte man anhand von Experimenten mit Mäusen fest. Die Wissenschaftler fanden auch heraus, dass Miraculin mit anderen Molekülen wie Saccharose kompetitiv um diese Süßrezeptoren bindet. «Kompetitiv» heisst hier, dass ein Süßrezeptor sich zur selben Zeit nur mit entweder einem Süßstoff oder mit Miraculin binden kann und die Stoffe daher um den Platz «kämpfen».

Wenn sich dann aber ein Miraculin gebunden hat, ist eine Bindung für andere Süßstoffe unmöglich. «Unmöglich» muss man hier im Kontext relativ verstehen, da sich Miraculin nur für ca. 30 bis 60 Minuten an den Süßrezeptor bindet (Misaka, 2013). Nachher könnte sich der Süßrezeptor wieder neu mit anderen Proteinen oder Süßstoffen verbinden. Um die Funktion von Miraculin verstehen zu können, muss man zuerst die einzelnen Teile näher beleuchten.

### **Das Molekül Miraculin**

Um nun auf die Theorie von «Proteine: eine Einführung» zurückzuverweisen wird nun die genauere Struktur von Miraculin abgehandelt. Miraculin ist ein Glykoprotein, wobei «glyko» aus dem Griechischen als «süß, Zucker übersetzt wird. Es ist zudem ein Rezeptorprotein, da es sich an den Süßrezeptor (hT1R2-hT1R3) bindet. Wie man der Abbildung (8) entnehmen kann besteht Miraculin aus 191 Aminosäuren. Da es nur 20 verschiedene Aminosäuren muss es daher etliche Aminosäuren



Abbildung 14: Das Molekül Miraculin

geben, die öfters vorkommen. Miraculin besteht aus 18 verschiedenen Aminosäuren, wobei die Häufigste davon 21-mal auftaucht.(Theerasilps et al., 1989) In Abbildung (14) sieht man auch die 2 verschiedenen Tertiärstrukturen, nämlich die Alpha-Helices ( violett) und die Beta-Faltblätter (gelb). Zudem besitzt Miraculin keine Tertiärstruktur, da das Molekül aus einem einzigen Polypeptidstrang besteht.

## Die Zunge mit ihren Geschmacksnerven

Der verbreitete Irrtum, dass verschiedene Geschmacksrezeptoren nur auf einem gewissen Teil der Zunge gefunden werden können, ist heutzutage noch oft Teil des Unterrichts, obwohl dies schon oft widerlegt wurde. Die Abbildung (1) zeigt die vermeintliche Aufteilung dieses Irrtums.

Dabei liegt es nicht an den Resultaten, die der deutsche Wissenschaftler David P Hänig in seiner Arbeit „Zur Psychophysik des Geschmackssinnes» präsentiert hat, sondern vielmehr an der Interpretation von diesen Resultaten. Denn die Resultate besagten nur, dass gewisse Bereiche der Zunge sensibler sind für gewisse Geschmacksrichtungen. Das sich daraus interpretieren lässt, dass man gewisse Geschmackrezeptoren nur auf gewissen Bereichen findet, ist schlichtweg falsch. Auch Fakten aus der

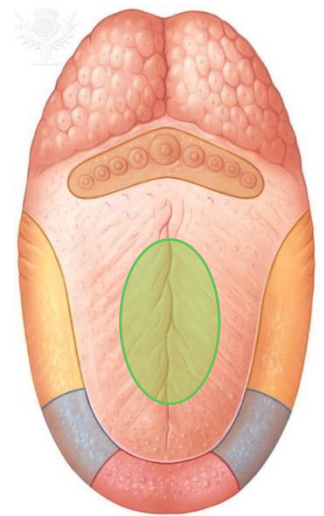


Abbildung 15: Aufbau der Zunge

Medizin untermauern diese Theorie, da auch nach der Entfernung eines Nervs namens «chorda tympani» der Patient immer noch alle Geschmäcker wahrnehmen konnte. Also um es zusammenzufassen, hat die Zunge Bereiche, die gewisse

Geschmacksrichtungen besser wahrnehmen können und aufgrund deren

Lage kann man auch sagen, dass die Zunge generell Geschmacksrichtungen besser am Rand wahrnimmt (*The Taste Map of the Tongue You Learned in School Is All Wrong | Science | Smithsonian Magazine*, n.d.). Die verschiedenen geschmacksempfindlichen

Regionen sind in Abbildung (14) zu sehen, wobei die braune Region bitter-,

die gelbe Region sauer-, die grüne Region umami-, die blaue Region salz- und die rote Region süssempfindlich ist. Die umami Region war ursprünglich noch nicht eingezeichnet, da diese Geschmacksrichtung vor nicht allzu langer Zeit entdeckt wurde. Es gibt auch noch einen umami Geschmack, der seine empfindlichste Region Im Genaueren betrachtet sieht man Vertiefungen auf der Zungenoberfläche, sogenannte Papillae (6) (Campbell et al., 2018).

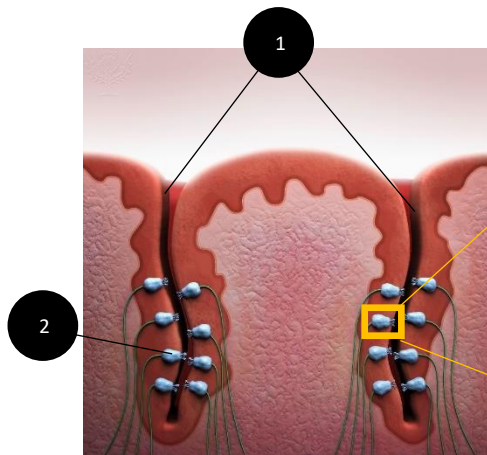


Abbildung 16: Die Zunge im Querschnitt

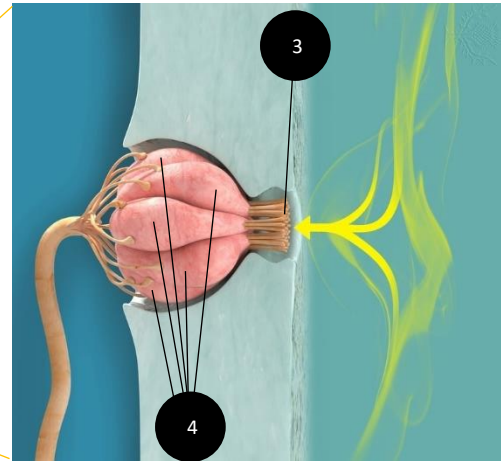


Abbildung 17: Geschmacksknospe mit ihren 5 unterschiedlichen Geschmacksnerven

Für meinen Zweck interessieren aber primär die Süßrezeptoren auf der Zunge. Die befinden sich, wie vorhin schon erwähnt, überall auf der Zunge, nur findet man an der Spitze (roter Bereich) der Zunge mehr davon, was zu einer erhöhten Empfindlichkeit in dieser Region führt. Falls ein Stoff in diese Papillae (1) fällt, kann er sich dort an eine Geschmacksknospe (2) binden, wobei er sich jeweils nur an einen bestimmten Geschmacksnerv (3) binden kann. Es gibt 5 Geschmacksrichtungen und daher auch 5 verschiedene Geschmacksnerven (4), an deren Rezeptoren (3) sich ein Molekül binden kann. Das heißt falls das Molekül ein Süßstoff oder ein Zucker ist, binden sich diese Moleküle an Rezeptoren, deren Geschmacksnerv im Gehirn den Eindruck «süß» verbreitet. Diese Information wird mit Hilfe des Nervensystems und sogenannten Aktionspotenzialen, welche grob gesagt elektrische Signale sind, ins Gehirn geleitet (Campbell et al., 2018).

## pH-Wert

Bis anhin habe ich mit dem Begriff «sauer» an die menschliche Erfahrung anknüpft, da man sicher schon einmal im Leben mit sauren Lebensmitteln zu tun hatte. Um nun aber die Funktion von Miraculin näher definieren zu können, bedarf es eines neuen Begriffs: Der pH-Wert-. Er gibt an, wie sauer bzw. wie basisch etwas ist. Wenn man sich zum Beispiel über den Boden unterhält, spricht man auch von saurem/alkalischem Untergrund. Die Bezeichnungen basisch und alkalisch beschreiben daher dasselbe Phänomen. Die pH-Werte können von 1 bis 14 variieren, wobei 7 neutral ist und alle Werte kleiner als 7 ( $7 >$ ) als sauer und alle Werte über

7 ( $7 <$ ) als basisch definiert werden. Anhand dieser Zahlen kann man auch ablesen, wie viele «Säuremoleküle sich in einer Lösung befinden», da der pH-Wert als Formel wie folgend definiert ist: (pH-Wert - DocCheck Flexikon, n.d.)

$$pH = -\log_{10}(c[H_3O^+])$$

Bemerkenswert ist hier, dass aufgrund der logarithmischen Natur des pH Wertes, der pH Wert 3 10 mal so viele „Säureteilchen ( $H_3O^+$ )“ hat wie der pH Wert 4 (Ausgehend davon, dass man das gleiche Volumen betrachtet).

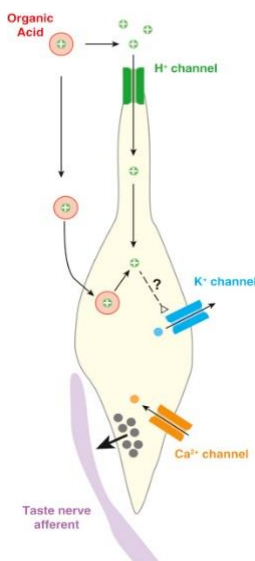


Abbildung 18: Molekulare Ebene der Süssrezeptor-Miraculin

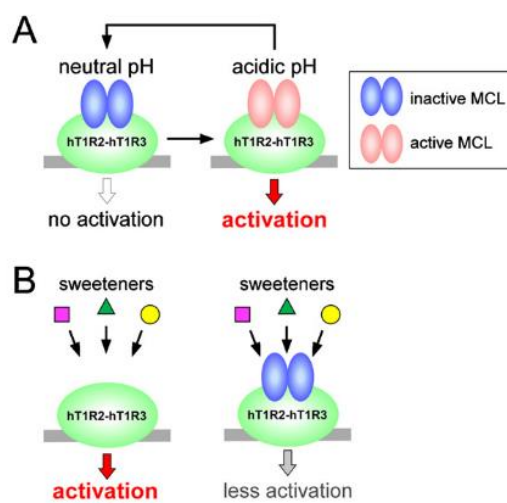


Abbildung 19: Interaktionen von Miraculin (MCL), Süssrezeptor (hT1R2-hT1R3) und Süßstoffen (sweeteners)

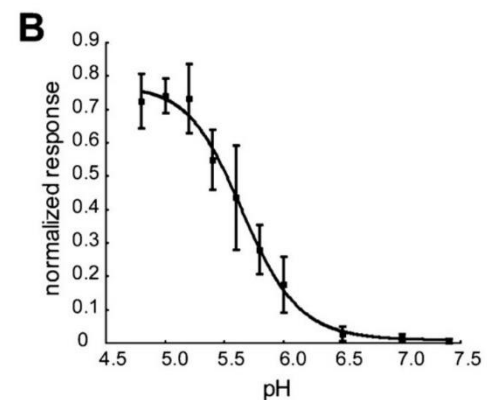


Abbildung 20: Antwort der Süssrezeptoren, and die Miraculin gebunden ist, in Abhängigkeit vom pH-Wert.

## Molekulare Ebene

Aus der Abbildung (18) kann man folgende Eigenschaften herauslesen:

1. Die erste Eigenschaft von Miraculin, dass Saures als süß empfunden wird, habe ich schon öfters erwähnt. Nachfolgend erkläre ich dieses Phänomen. Man betrachte die beiden Situationen bei A. Hier sieht man, dass sich das Miraculin-Teilchen nur dann aktiviert, wenn es sich in einem sauren Milieu befindet. Bei der Aktivierung des Miraculins kann man sich das vereinfacht so vorstellen: Aufgrund einer bis heute rätselhaften Beziehung in Abbildung (17) verändert sich die Form des Miraculin-Teilchens in saurer Umgebung so, dass der Zuckerteil des Moleküls an den (hT1R2-hT1R3) Süssrezeptor der Zunge andockt und ihn dabei aktiviert, wobei das Empfinden «süß» ausgelöst wird. Wie süß dann schlussendlich die Substanz empfunden wird hängt direkt von der Antwort der Geschmacksnerven ab. Die Antwort der

Geschmacksnerven wird in Abbildung (19) dargestellt, wobei in den Versuchen Miraculin Moleküle an die Süßrezeptoren gebunden haben. Die Antwort wird immer grösser je kleiner der pH-Wert d.h. je saurer das Milieu ist.

2. In Situation B sieht man, dass verschiedene herkömmliche Süßstoffe wie Saccharose, dem herkömmlichen Haushaltszucker, Stevia, Saccharin, Aspartam und Sucralose ebenfalls den Süß Rezeptor (hT1R2-hT1R3) aktivieren. (Misaka, 2013)

Falls man aber nun die gleiche Situation schafft, aber dieses Mal mit Miraculin, führt es zu einer kleineren Aktivierung. Dies muss man aber über die ganze Zunge hinweg betrachtet verstehen, da Miraculin und die vorhin genannten Süßstoffe kompetitiv an die Süßrezeptoren binden. Wie vorhin schon erwähnt, muss man kompetitiv so verstehen, dass nur ein Stoff, (Süßstoffe oder Miraculin), sich an den Rezeptor binden kann. Deshalb ist die Aktivierung kleiner, da ja schon etliche Süßrezeptoren von Miraculin «besetzt» sind. Diese besetzten Rezeptoren werden aber nicht aktiviert, da in dieser Situation das Miraculin sich nicht in einem sauren, sondern in einem süßen Milieu befindet. Daher werden gewisse Rezeptoren besetzt aber nicht aktiviert, was bedeutet, dass die restlichen Süßstoffe an weniger Rezeptoren binden können und es daher zu einer Minderung der süßlichen Wahrnehmung kommt.

## **Diskussion der zukünftigen Anwendbarkeit von Miraculin in der Lebensmittelindustrie**

Um nun auf die Frage zurück zu kommen, ob «Miraculin» sich als Zuckerersatz in der Lebensmittelindustrie eignen und durchsetzen würde, gibt es zwei wesentliche Punkte, die zu diskutieren sind. Der Erste handelt von der Möglichkeit, die Pflanze im grossen Masse anzubauen und zu gewinnen. Der zweite Punkt geht von der Hypothese aus, dass Miraculin sich als Zuckerersatz bewährt hat und handelt von den Folgen vom erhöhten Konsum von Miraculin und übermässig sauren Produkten.

Ob die Kombination von Säure und Miraculin sich als potenzieller Zuckerersatz für Lebensmittel herausgestellt hat, habe ich versucht mit meinen Experimenten herauszufinden und bin zum Schluss gekommen, dass manche Säure-Miraculin Kombinationen durchaus vorstellbar wären, manche, zum Beispiel Kombinationen mit Limettensaft, aber eher weniger.

## Massenanbau von Miraculin

Ob man aber nun Miraculin im grossen Stil anbauen und gewinnen kann, ist bis heute Teil der Forschung. Mit der stetigen Zunahme der Erdbevölkerung ist es Fakt, dass kontinuierlich immer mehr Menschen in den Wohlstand gelangen. Die Nachfrage nach Luxusgütern wie z.B. Zucker wird ansteigen. Daher ist man heutzutage stark daran interessiert die Effizienz, bzw. die Ausbeute von diesen Gütern zu maximieren oder zumindest zu erhöhen. Sollte sich in der Zukunft die Kombination von Miraculin mit Säuren als Süssungsmittel erfolgreicher durchsetzen als der herkömmliche Zucker oder andere Süsstoffe, wird man früher oder später auch darin interessiert sein, die Effizienz vom Miraculin-Anbau zu optimieren. Genau mit diesem Gedanken hat das japanische Team bestehend aus den Forschern Kyoko Hiwasa-Tanase, Tadayoshi Hirai, Kazuhisa Kato, Narendra Duhita und Hiroshi Ezura am 8. Dezember 2011 den Artikel «From miracle fruit to transgenic tomato: mass production of the taste-modifying protein miraculin in transgenic plants» (Hiwasa-Tanase et al., 2012) veröffentlicht. In dem Artikel handelt es sich unter anderem von früheren Versuchen Miraculin in transgenetischen Pflanzen zu rekonstruieren. Der Grund, warum man mit anderen Pflanzen als der «Miracle Plant» (lat. *Synsepalum dulcificum*) experimentiert, liegt an ihrer Ineffizienz. Aufgrund ihrer tropischen Herkunft stirbt die immergrüne Pflanze ab, sobald die Temperaturen die Schwelle von 7 °C unterschreiten. Dazu kommt, dass die Pflanze die ersten 3 bis 4 Jahre keine Früchte trägt und auch relativ langsam anfängt diese dann schliesslich zu bilden. Es dauert nämlich bis zu 6 Wochen, bis die Miraculin-Produktion nach der Bestäubung beginnt. Das heisst, falls man eine geeignete Pflanze finden würde, welche diese Nachteile nicht in diesem Ausmass besitzt, könnte man vielleicht sogar die Wirkungsdauer von Miraculin steigern, die sich momentan auf max. 2-3 Stunden bei Raumtemperatur beschränkt. Die ersten beiden Versuche wurden mit einer Bakterienart namens *E. coli* durchgeführt. Beim Ersten gelang es den Forschern zwar Miraculin mit Hilfe von diesen Bakterien herzustellen und auch die Präsenz von Miraculin mit dem SDS-PAGE Verfahren und einer westlichen Fleck Analyse nachweisen, sie konnten jedoch keine geschmacksmodifizierende Aktivität feststellen. Beim zweiten Versuch brachte man auch die geschmacksmodifizierende Aktivität hin, diese war aber verglichen mit der Aktivität vom herkömmlichen Miraculin 6-mal schwächer. Der Erfolg des zweiten Versuches weist darauf hin, dass die Glykolisierung von Miraculin essenziell für dessen Faltung und Stabilität ist. Mit anderen Organismen wie *A. oryzae*, einem in Ostasien vorkommenden Pilzart und *S. cerevisiae*, einer Hefe Art, konnte man die Aktivität von



genetisch hergestelltem Miraculin von 6-mal auf 5-mal schwächer verbessern. Zudem klärten diese Versuche auf, dass die Art der Zuckerketten des Miraculins auch entscheidend sind für dessen hohe Aktivität und Stabilität. Danach experimentierte man noch mit vielen verschiedenen transgenetischen Pflanzen wie Kopfsalat, Erdbeeren und Tomaten. Dabei fand man bei den Tomaten die höchste Miraculinkonzentration von 90.7 Mikrogramm Miraculin pro Kilogramm Tomaten. Zum Vergleich dazu hat die natürliche «Miracle Plant» einen Gehalt von 400 Mikrogramm Miraculin pro Kilogramm «Miracle Fruit». Bis heute hat sich die Tomate als beste transgenetische Pflanze herausgestellt, bei der man versucht hat, künstliches Miraculin herzustellen. Ein entscheidender Faktor für die effiziente Anreicherung von Miraculin in einer Pflanze spielt der interzelluläre Platz, da dies der Ort ist, wo sich Miraculin in den transgenetischen Tomaten und auch in der natürlichen «Miracle Plant» anreichert. Das sieht man in der Abbildung (19) wobei sich Miraculin primär in der Region «pericarp» ansammelt, welche wiederum in die zwei Unterregionen «mesocarp» und «exocarp» unterteilt werden kann.

Obwohl fast überall auf der Welt Tomaten angebaut werden, sehen Studien zunächst die Anbauung von transgenetischem Miraculin in sogenannten geschlossenen Anbausystemen. Anders als der herkömmliche wirtschaftliche Tomatenanbau sorgen die geschlossenen Anbausysteme für eine konsistente und angepasste Umgebung. Das ist ein gängiges Verfahren zur Untersuchung von neuen transgenetischen Pflanzen, da man zu diesem Standpunkt noch nicht genug über die Wechselwirkungen weiss. Zumal könnten die transgenetischen Pflanzen einen negativen Einfluss auf die unangepasste Umgebung haben. Es ist zu vermuten, dass die neuen im Labor hergestellten Tomatensorten auch anfällig auf gewisse Krankheiten sind, gegen welche die natürlichen Tomaten resistent ist. Auch wenn man sich für den Ertrag der Tomate interessiert ist eine konsistente Umgebung vorteilhaft, da man dadurch genauere Aussagen machen kann. Studien besagen, dass man dadurch den Ertrag von 45 Tonnen Tomaten und 4

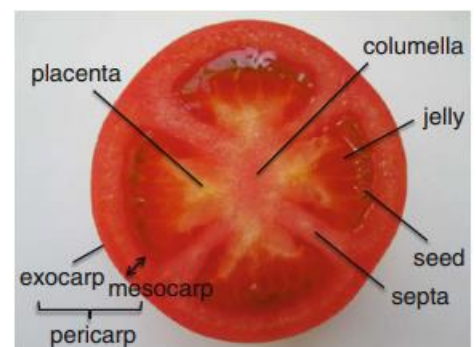


Abbildung 21: Aufbau einer Tomate

Kilogramm transgenetisches Miraculin auf 1'000 Quadratmeter pro Jahr erreichen konnte. 4 Kilogramm Miraculin mag nach nicht viel klingen, aber wenn man bedenkt, dass lediglich eine Dosis von 300 Milligramm in einer Tablette stecken, kann man demnach aus 4 Kilogramm

13'333 Tabletten herstellen. Um die Kommerzialisierung von Miraculin voranzutreiben, muss man sich auch mit den Herstellungskosten auseinandersetzen. In einem abgeschlossenen Anbausystem spielt die künstliche Belichtung der Pflanzen eine wesentliche Rolle. Die Studie schlägt daher vor, man solle hinsichtlich der Energie Effizienz noch weiter Forschung betreiben. Denn die Tomaten, die am meisten Miraculin angereichert haben, brauchten auch verhältnismässig viel Energie. Ein weiteres Problem stellt die Extraktion von Miraculin dar, da man in der Tomate auch noch andere Proteine antrifft, welche man dann durch einen zusätzlichen Schritt herausfiltern muss. Aber diese Hürden müsste man eventuell auch gar nicht bewältigen, da man Miraculin auch einfach als ganze Frucht verkaufen könnte. Der ganze Prozess des potenziellen Massenanbaus von Miraculin in Form von Tomaten wird in der Abbildung (20) verbildlicht.(Hiwasa-Tanase et al., 2012)

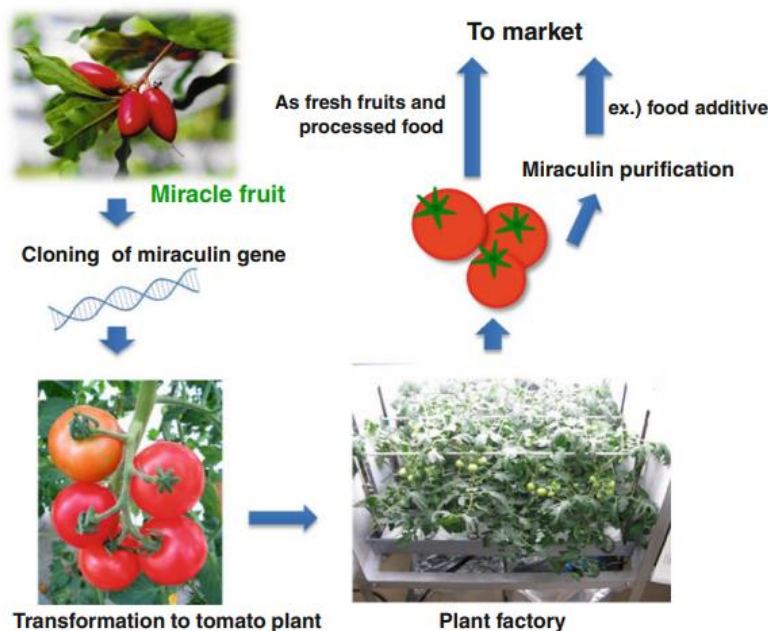


Abbildung (22):  
Massenproduktionsmodell  
von Miraculin

### Erhöhter Konsum von sauren Produkten und Miraculin

Davon ausgehend, dass man es geschafft hatte, die Massenproduktion von Miraculin rentabel zu machen und auch, dass die Lebensmittelindustrie darauf aufgesprungen wäre, welche Folgen hätte der nun erhöhte saure Konsum?

Wer sich vorstellt, dass der Konsum von sauren Produkten zu einem saureren Körperhaushalt führt, liegt falsch. Genau das Gegenteil der Fall. Man muss in diesem Kontext also klar trennen, was sauer schmeckt und was säurebildend ist. Die organischen Säuren von z.B. Zitrusfrüchten werden nämlich im Körper zu CO<sub>2</sub> und basisch wirkende Substanzen verstoffwechselt das CO<sub>2</sub> wird dann über die Lunge aus dem Körperkreislauf entlassen, währenddem die basisch

wirkenden Substanzen wie z.B. Kalium und Magnesium ins Blut gelangen. Im Gegensatz dazu gibt es auch säurebildende Stoffe. Auch hier ist der Gegensatz von «sauer» schmecken und «säurebildend sein» zu beachten. Der allseits bekannte «Parmesan» Käse, etliche Fleischsorten und Zucker gelten als sehr stark säurebildend und das, obwohl man Käse, Fleisch und Zucker nicht mit dem geschmacklichen sauer verbinden würde. (*Basische Lebensmittel: Tabelle, Liste, Lebensmittel, Erfahrungen - CARA CARE, n.d.*)

Es gibt eine prominente Tabelle, die ausdrückt wie säure- respektive basenbildend gewisse Lebensmittel sind, nämlich die Säure-Base Tabelle. Die Werte innerhalb der Tabelle werden Pral-Werte genannt, wobei ein negativer Pral-Wert mit basebildend und ein positiver Pral-Wert mit säurebildend verbunden wird.

Die meisten Früchte, Nüsse, Fruchtsäfte und Gemüsesorten einen negativen Pral-Wert und sind daher basenbildend, währenddem die Milchprodukte, Eier, Getreideprodukte, Fleisch- und Wurstwaren einen positiven Pral Wert haben und daher säurebildend sind.

Aufgrund des westlichen Trends Fleisch-, Milch- und Zuckersorten vermehrt zu konsumieren, wäre es sinnvoll mehr gesundes Obst, Gemüse etc. zu konsumieren, um den Konsum von Milch-, Fleisch- und Getreideprodukten zu kompensieren. Dabei soll beachtet werden, dass eine allfällige Übersäuerung des Körpers mit einem sogenannten Blut-Buffer, einen Überschuss an Säuren und Basen abfedern kann. Das Problem hier wird nur über einen längeren Zeitraum ersichtbar. Um diesen Blutpuffer herzustellen entnimmt der Körper den Knochen Kalzium, was zu Knochenschwund (Osteoporose) führen kann. Falls die Kapazität vom Körper, diese Säuren abzufedern, über einen längeren Zeitraum überschritten wird, lagert der Körper die Säuren auch unter Anderem im Fett- und Bindegewebe ab. Das kann zu einer verfrühten Alterung der Haut und zu Faltenbildung führen (*Saure Lebensmittel I Überblick, n.d.*).

Eine basenbildende Ernährung wird als gesund eingestuft, da die westliche Gesellschaft tendenziell mehr säurebildende Lebensmittel konsumieren und dieser auch stärker ins Gewicht fallen. Daher könnte meiner Meinung nach in der Zukunft der Trend aufkommen, dass man vermehrt sauer schmeckende Lebensmittel konsumiert, da die basenbildend wirken und dadurch den säurebildenden Lebensmitteln entgegensteuern. Dies würde also das Durchsetzen von Miraculin-abhängigen Produkten begünstigen. Denn z.B. Zitrusfrüchte, die man für diese Produkte gebrauchen könnte, haben einen negativen Pral-Wert und steuern so den säurebildenden Produkten entgegen.

## **E-Mail-Verlauf mit Professor Somu von der «Yokohama National University»**

### **Zusammenfassung**

In dem Online-Artikel (Theerasilps et al., 1989) bin ich auf die Yokohama National University in Japan gestossen. In dem Artikel hiess es, dass die Universität selbst die «Miracle Plant» herangezüchtet hat. Daraufhin habe ich die Kontaktperson der Universität (Prof. Somu) angeschrieben, ob es möglich wäre mit der Person, welche die Studie über die «Miracle Plant» durchgeführt, in Kontakt zu treten. Es stellte sich heraus, dass die Person gar nicht mehr an der Universität arbeitet. Trotzdem war die Kontaktperson sehr freundlich und verlinkte mich mir einer japanischen Webseite über Miraculin, die ich dann mit dem Hilfsmittel «Google Translate» ins Deutsche übersetzte. Dies funktionierte überraschenderweise relativ gut und so konnte man dem roten Faden der japanischen Webseite folgen Das ist der Hintergrund und der grobe Inhalt des E-Mail-Verlaufs. Den exakten E-Mail-Verlauf findet man im Anhang.

### **Quintessenz**

Es wäre sehr interessant gewesen mehr über die Zucht von «Miracle Plants» ausserhalb von Westafrika zu erfahren. Durch diese Erkenntnisse hätte man zum Beispiel auch den Anbau von «Miracle Plants» in der Schweiz diskutieren können.

## **Erster praktischer Test**

### **Ausgangslage**

Wie im Kapitel «Eine Einführung zum Zucker» erwähnt, steckt Zucker fast überall. Unter anderem in Süssgetränken wie Cola, Fanta, Sprite aber auch in den sogenannten Energy Drinks, welche gemäss Schweizer Gesetz durch ihren Mindestgehalt an Koffein von 25Miligramm/100ml(Sucht Schweiz, 2015) definiert sind. Abgesehen davon beinhalten diese Drinks aber auch einen sehr hohen Zuckeranteil wie z.B. 27.5g Zucker in einer normalen Energy Drink Dose(250ml) von der Marke Red Bull(*Red Bull Inhaltsstoffe: Zutaten & Zusammensetzung | Red Bull :: Energy Drink :: Red Bull DE*, n.d.). Vor allem unter jungen Leuten finden die Energy Drinks Zuspruch. Allein schon der weitaus bekannteste Hersteller dieser Getränke, «Red Bull», verkaufte im Jahre 2015 sechs Milliarden Dosen auf der ganzen Welt. In der Schweiz wurde im selben Jahr rund 127 Millionen Dosen von Red Bull verkauft. Dies erfasst bei Weitem nicht alle Dosen, die verkauft wurden, da es ja auch noch andere

Marken gibt. Der durchschnittliche Schweizer trinkt 7,9 Liter Energy Drink jährlich (*Darum Trinken Schweizer Jugendliche so Viele Aufputsch-Drinks: Energie in Hohen Dosen*, n.d.) was bedeutet, dass der durchschnittliche Schweizer alle 12 Tage eine 250ml Dose trinkt, wobei die Tendenz immer noch steigend ist. Daher wollte ich mit verschiedenen Versuchsreihen herausfinden, ob es möglich wäre mit Miraculin-Tabletten und säurehaltigen Getränken ein gleiches positives Geschmackserlebnis zu erreichen wie bei einem Energy Drink. Dabei spielte mir der Fakt in die Hände, dass es generell viele verschiedene Geschmacksrichtungen bei Energydrinks gibt und es daher nicht zu sehr auf die Geschmacksrichtung darauf ankommt. Hätte ich mir zum Beispiel vorgenommen, eine klassische Cola nachzuahmen, hätte ich auf die empfundene Süssigkeit aber auch auf den richtigen Geschmack Rücksicht nehmen müssen.

## **Vorgehen**

Um die verschiedenen Versuchsreihen aufzustellen, brauchte ich unterschiedliche Säuren, die beim Kontakt mit dem Miraculin die Form von Miraculin verändern und daher die Süssrezeptoren der Zunge stimulieren würden. Zudem brauchte ich eine grobe Vorstellung, mit welchen Säurekonzentrationen das Experimentieren Sinn machen würde. Als Quellen dafür nahm ich ein auf Miraculin basierendes Kochbuch («The Miracle Berry Diet Cookbook») und einen Artikel, der unter anderem sich mit der optimalen Zitronensaftkonzentration in Limonaden beschäftigte,(Rodrigues et al., 2016). Aus dem Artikel konnte ich die Konzentration von 1: 3(Säure: Wasser) herauslesen, welches sich auch mit dem Durchschnitt deckte, den ich aus dem «Diet Cookbook» entnommen hatte. Um mich nicht nur auf diesen einen Wert zu konzentrieren, erweiterte ich die Versuchsreihen in beide Richtungen um jeweils ein Element, sprich ich stellte Versuchsreihen her, welche die Abfolge von 1:4 / 1:3 / 1:2 (Säure: NichtSäure) verkörperten. Aus dem «Diet Cookbook» entnahm ich auch noch, dass sich nicht nur Zitronensäure eignen würde, sondern auch Limettensaft. Hinzu kommt, dass ich einen künstlichen Zitronensaft hergestellt habe gemäss den ich in der Tabelle mit «Künstlicher Zitronensaft» beschriftet habe und eine Versuchsreihe mit herkömmlichen Zitronensaft, der von einer frisch gepressten Zitrone kommt.Mit diesen Überlegungen stellte ich dann schliesslich die 3 verschiedenen Versuchsreihen auf. Ich vernachlässigte den Fakt, dass Wasser, Zitronen- und Limettensaft verschiedene Dichten (Verhältnis Masse zu Volumen) aufweisen, das heisst bei gleicher Menge, sprich gleichem Volumen, nicht gleich schwer sind. Da Wasser, Zitronensaft und

Limettensaft eine unterschiedliche Dichte haben, müsste man dies jedes Mal berücksichtigen. Da ich beabsichtigte, 100ml Lösungen herzustellen, war die Differenz zwischen Wasser und natürlichem Zitronensaft nur 4 Gramm (100ml Wasser wiegen bei 20°C, 100g und 100ml Zitronensaft 104 Gramm gemäss (*Wieviel Zitronensäure Ist in Zitronensaft?* - *Kuechenlatein.Com*, n.d.). Zudem kommt, dass es für meinen Zweck nicht wirklich eine Rolle spielt, da es nicht auf die exakte Menge, sondern mehr auf die Wirkung ankommt.



Verhältnis Säure : Wasser	Künstlicher Zitronensaft	Natürlicher Zitronensaft	Limettensaft
1:4	VR 1,1	VR 2,1	VR 3,1
1:3	VR 1,2	VR 2,2	VR 3,2
1:2	VR 1,3	VR 2,3	VR 3,3

Neben den Versuchsreihen beschaffte ich mir auch noch 2 verschiedene Sorten von Energy Drinks der Marke OK.-. Ziel der Versuchsreihen war es, möglichst nahe an den Süßigkeitsgrad des originalen Energy Drinks heranzukommen. Der zuckerlose Energy Zero (weisse Dose) spielte dabei hauptsächlich eine Rolle nach der Einnahme der Miraculin Tabletten. Den Grund dafür erkläre ich später.



## **Hypothesen**

1. Aufgrund des Aufbaus des Experiments und der Funktion von Miraculin würde ich erwarten, dass alle 3 Versuchsreihen mit zunehmender Säurekonzentration süsser werden.
2. Es wird eventuell eine Mischung geben, welche nahe an den Süssigkeitsgrad des zuckerhaltigen Energy Drinks herankommt.
3. Der zuckerhaltige Energy wird nach der Einnahme der Miraculin Tablette weniger süsslich schmecken als zuvor, da der Zucker kompetitiv mit Miraculin um die Süssrezeptoren kämpft.

## **Durchführung**

Zuerst sollte ich vielleicht erwähnen, dass ich den ersten Versuch des Experiments alleine durchgeführt habe und darum keine Referenzen habe. Weil daher ein potenzieller Placebo Effekt die Resultate oder mein Empfinden beeinflusst/verfälscht haben könnte, liess ich dann in meinem zweiten Versuch auch meine Familie mitmachen. Nun möchte ich jedoch ein paar Worte über meine persönlichen Ergebnisse und Empfindungen festhalten. Der zuckerreiche Energy schmeckt wie erwartet süsslich, während dem der Zuckerlose fad süsslich bis geschmackslos schmeckt und auch einen komischen metallenen Nachgeschmack hat. Wie erwartet, beobachtete ich im Generellen den Trend, dass es von hinten nach vorn immer süsser wurde. Die erste Versuchsreihe (VR 1,1 / VR 1,2 / VR 1,3) mit dem künstlichen Zitronensaft schmeckte weiterhin sauer. Die Versuchsreihe mit natürlichem Zitronensaft (VR 2,1 / VR 2,2 / VR 2,3) war um Welten besser. Der Geschmack war angenehm süsslich und hielt gleichmässig an, das heisst keine Lösung hatte einen Nachgeschmack. Die Limettensaft Versuchsreihen (VR 3,1 / VR 3,2 / VR 3,3) waren zwar ebenfalls süss, aber nicht so süss wie die (VR 2,1 / VR 2,2 / VR 2,3) Reihe. Vielleicht bin ich nicht ein grosser Fan von Limetten, aber der Geschmack war ziemlich bescheiden und alle 3 Lösungen besaßen einen Nachgeschmack.

## **Fazit**

Die erste und die dritte Hypothese konnte ich anhand meines kleinen Experiments restlos bestätigen. Das heisst aber nicht, dass diese Hypothesen zwangsläufig auch wahr sind, da die Versuchsreihen, die ich aufgestellt habe, relativ klein sind und auch nur meine eigene

Meinung, die aufgrund meiner persönlichen Wahrnehmung entstand. Hier festgehalten ist nicht etwas statistisch Wertvolles, jedoch kann man sagen, dass ich die beschriebene Tendenz wahrgenommen habe. Es ist schwierig über die zweite Hypothese zu urteilen, denn die Lösung herauszusuchen, welche dem Energy Drink am nächsten kommt, war eine schwierige Herausforderung aber mein Favorit war die Lösung (VR 2,2). Damit war die optimale Säurekonzentration bei 1.125 g Zitronensäure pro 100ml oder 11.25 g pro Liter, was bei einer Molmasse von 210.14 Gramm/Mol zu einer gerundeten 0.05 molaren Lösung führt. Im direkten Vergleich dazu ist Zitronensaft eine 0.21 molare Lösung, was bedeutet, dass es im Zitronensaft vier Mal so viele Zitronensäuremoleküle hat wie in der Lösung, welche ich als optimale Lösung identifiziert habe. Was ich auch feststellte war, dass die erste Versuchsreihe trotz Miraculin sauer schmeckte. Ob dies daran lag, dass die benutzte Tablette schon etwas zu alt war, ob diese Art von Säure schlichtweg nicht an das Miraculin Molekül band oder ob es eventuell wegen einem anderen Grund sauer schmeckte, werde ich in meinem 2. Versuch des beinahe gleichen Experiments herausfinden.

## **Zweiter praktischer Test**

### **Ausgangslage**

Bei dem zweiten Test sind die Hintergründe dieselben wie beim ersten Test, aber hier verfügt man über mehrere Versuchspersonen (Dylan, Melvin, Carmen, Joshua) und es kommt die Substanz Taurin vor. Taurin ist eine in Energy Drinks vorhandene Substanz, die auch der menschliche Körper selbst produziert. Sie gilt bis anhin als eine nicht schädliche Substanz und darüber hinaus spekulieren die Energy Drinks produzierenden Konzerne, dass die Substanz auch ähnlich wie Koffein wirken könnte, was bis heute aber noch nicht wissenschaftlich fundiert ist. Eine 70 Kilogramm schwere Person hat bis zu 70 Gramm körpereigenes Taurin zur Verfügung. Daher ist der Tauringehalt von einem Gramm pro 250ml Dose (*Red Bull Inhaltsstoffe: Zutaten & Zusammensetzung | Red Bull :: Energy Drink :: Red Bull DE*, n.d.) relativ unbedenklich. Da Taurin süß ist, wird man in der vierten Versuchsreihe eine potenzielle Wechselwirkung von Taurin und Miraculin beobachten können. (*Taurin: Was Ist Das Und Wie Wirkt Es? - FOCUS Online*, n.d.)



## Vorgehen

Die Anordnungen im zweiten Test sind die gleichen wie beim ersten Test, d.h. man stelle künstlichen Zitronensaft mit reiner Zitronensäure her gemäss (*Wieviel Zitronensäure Ist in Zitronensaft?* - *Kuechenlatein.Com*, n.d.) und besorge auch natürlichen Zitronen- und Limettensaft. Zusätzlich dazu stellt man auch noch eine Versuchsreihe mit Taurin her, um den Effekt von Taurin auf die Lösung zu betrachten

Verhältnis Säure : Wasser	Künstlicher Zitronensaft	Natürlicher Zitronensaft	Limettensaft	Natürlicher Zitronensaft mit Taurin
1:4	VR 1,1	VR 2,1	VR 3,1	VR 4,1
1:3	VR 1,2	VR 2,2	VR 3,2	VR 4,2
1:2	VR 1,3	VR 2,3	VR 3,3	VR 4,3

## Hypothesen

Die Hypothesen für den zweiten Test sind die gleich wie die beim ersten Test nur ist durch die hinzugefügte Versuchsreihe von Taurin mit Zitronensaft noch etwas weiteres zu beobachten. Dies widerspiegelt sich in der 4. Hypothese

1. Aufgrund des Aufbaus des Experiments und der Funktion von Miraculin würde ich erwarten, dass alle 3 Versuchsreihen mit zunehmender Säurekonzentration süsser werden.
2. Es wird eventuell eine Mischung geben, welche nahe an den Süssigkeitsgrad des zuckerhaltigen Energy Drinks herankommt.
3. Der zuckerhaltige Energy wird nach der Einnahme der Miraculin Tablette weniger süsslich schmecken als zuvor, da der Zucker kompetitiv mit Miraculin um die Süssrezeptoren kämpft.

4. Taurin wird die Mischung entweder gar nicht beeinflussen, oder so, dass die Versuchsreihe (VR 4,1 / VR 4,2 / VR 4,3) weniger süss schmeckt als die (VR 1,1 / VR 1,2 / VR 1,3)

### **Durchführung**

Bei der Durchführung wird ein A4 Blatt ausgeteilt, wobei man die darauf stehenden Anweisungen ausführen sollte. Das heisst man findet sich zuerst mit der Skala ab in dem man abwechselnd Energy, was als (10) definiert ist und Zitronensaft, was als (-10) definiert ist, probiert. Danach lässt man sich die Miraculin Tablette auf der Zunge zergehen, sodass alle Bereiche auf der Zunge mit Miraculin beschichtet sind. Wenn sich die Tablette vollständig aufgelöst hat probiert man die verschiedenen Mischungen und trägt gemäss der vorher definierten Skala die empfundenden Werte ein. Wobei auch Zahlen unter -10 und über 10 erlaubt sind, da die Mischungen auch saurer bzw. süsser als Zitronensaft bzw. Energy sein können. Man probiert auch nochmals den Energy Zero und den zuckerhaltigen Energy, um dort eine potentielle Veränderung des Geschmacks festzustellen. Diese Werte wurden dann in die zweite Tabelle eingefügt.

# Versuchsreihen zum Thema Miraculin (Dylan/8.11.2020)

VR1,1 <del>12</del> 9	VR2,1 13	VR3,1 12	VR4,1 17
VR1,2 <del>12</del> 8	VR2,2 11	VR3,2 11	VR4,1 12
VR1,3 10	VR2,3 13	VR3,3 13	VR4,1 14

Energy Zero 17	Energy mit Zucker <del>13</del> 17
-------------------	---------------------------------------

⇒ viel süßer mit  
Miraculin

**! Die Werte für Energy Zero und Energy mit Zucker sind nach der Einnahme von den Miraculin-Tabletten zu bewerten!**

Geschmacksorientierung:

Zitronensaft: sauer: -10 (! **Negativ !**)

Energy Zero(weiss): 0

Energy mit Zucker(schwarz):10

Durchführung:

Zuerst Energy Zero, Energy mit Zucker und Zitronensaft konsumieren, um sich mit der Skala vertraut zu machen.

- ➔ Miraculin-Tablette auf der Zunge zergehen lassen.
- ➔ Die Versuchsreihen probieren und die Tabelle gemäss der Skala ausfüllen, wobei auch Werte (unter -10 und) über 10 zugelassen sind
- ➔ Energy Zero und Energy mit Zucker erneut probieren und auch hier die Tabelle wieder ausfüllen

# Versuchsreihen zum Thema Miraculin (Carmen/8.11.2020)

VR1,1 -2	VR2,1 6	VR3,1 5	VR4,1 8
VR1,2 -3	VR2,2 5	VR3,2 4	VR4,1 7
VR1,3 <del>-4</del>	VR2,3 4	VR3,3 3	VR4,1 6

Energy Zero 4	Energy mit Zucker 0 <del>9</del>
------------------	-------------------------------------

**! Die Werte für Energy Zero und Energy mit Zucker sind nach der Einnahme von den Miraculin-Tabletten zu bewerten!**

Geschmacksorientierung:

Zitronensaft: sauer: -10 (! **Negativ !**)

Energy Zero(weiss): 0

Energy mit Zucker(schwarz):10

Durchführung:

Zuerst Energy Zero, Energy mit Zucker und Zitronensaft konsumieren, um sich mit der Skala vertraut zu machen.

- ➔ Miraculin-Tablette auf der Zunge zergehen lassen.
- ➔ Die Versuchsreihen probieren und die Tabelle gemäss der Skala ausfüllen, wobei auch Werte (unter -10 und) über 10 zugelassen sind
- ➔ Energy Zero und Energy mit Zucker erneut probieren und auch hier die Tabelle wieder ausfüllen

# Versuchsreihen zum Thema Miraculin (Melvin/8.11.2020)

VR1,1 -85	VR2,1 -106	VR3,1 -8	VR4,1 -8
VR1,2 -4	VR2,2 -106	VR3,2 -9	VR4,1 -7
VR1,3 -106	VR2,3 -106	VR3,3 -109	VR4,1 -5

Energy Zero	Energy mit Zucker
4	8

**! Die Werte für Energy Zero und Energy mit Zucker sind nach der Einnahme von den Miraculin-Tabletten zu bewerten!**

Geschmacksorientierung:

Zitronensaft: sauer: -10 (! **Negativ !**)

Energy Zero(weiss): 0

Energy mit Zucker(schwarz):10

Durchführung:

Zuerst Energy Zero, Energy mit Zucker und Zitronensaft konsumieren, um sich mit der Skala vertraut zu machen.

- ➔ Miraculin-Tablette auf der Zunge zergehen lassen.
- ➔ Die Versuchsreihen probieren und die Tabelle gemäss der Skala ausfüllen, wobei auch Werte (unter -10 und) über 10 zugelassen sind
- ➔ Energy Zero und Energy mit Zucker erneut probieren und auch hier die Tabelle wieder ausfüllen

# Versuchsreihen zum Thema Miraculin (Joshua/8.11.2020)

VR1,1 3	VR2,1 5	VR3,1 1	VR4,1 0
VR1,2 4	VR2,2 3	VR3,2 3	VR4,1 1
VR1,3 4	VR2,3 6	VR3,3 5	VR4,1 2

Energy Zero	Energy mit Zucker
3	4

**! Die Werte für Energy Zero und Energy mit Zucker sind nach der Einnahme von den Miraculin-Tabletten zu bewerten!**

Geschmacksorientierung:

Zitronensaft: sauer: -10 (! **Negativ !**)

Energy Zero(weiss): 0

Energy mit Zucker(schwarz):10

Durchführung:

Zuerst Energy Zero, Energy mit Zucker und Zitronensaft konsumieren, um sich mit der Skala vertraut zu machen.

- ➔ Miraculin-Tablette auf der Zunge zergehen lassen.
- ➔ Die Versuchsreihen probieren und die Tabelle gemäss der Skala ausfüllen, wobei auch Werte (unter -10 und) über 10 zugelassen sind
- ➔ Energy Zero und Energy mit Zucker erneut probieren und auch hier die Tabelle wieder ausfüllen

## **Fazit**

Die erhobenen Werte der Probanden bilden entgegen meinen Erwartungen keine Tendenz ab. Der Proband Dylan hatte erstaunlich hohe Werte für die sauren Mischungen, währenddem der Proband Melvin ausschliesslich negative Werte herausgeschmeckt hat. Eine Wiederholung des Tests wäre aber auch nicht von Nutzen, da die Probanden aussagten, dass die Versuchsanordnung sie schlichtweg überforderten. Im Hinblick auf weitere Versuche wäre es daher definitiv von Vorteil, die Versuchsreihen kleiner und mit klaren herauszuschmeckenden Unterschieden zu gestalten. Der Fakt, dass man dadurch weniger Informationen erheben kann, könnte man dadurch kompensieren, dass man mehrere Tests macht, deren Umfang aber nicht allzu gross ist. Vielleicht könnte man auch die Anzahl Probanden erhöhen, indem man auf der Strasse einen Stand aufmacht und fremde Leute den Test machen lässt. Das war aber innerhalb meiner Frist nicht günstig, da man in meiner Frist Ansammlungen von Menschen vermeiden sollte.

## **Schlussfolgerungen**

Zum Schluss möchte ich noch auf die Herangehensweise meinerseits an das Thema wiedergeben. Ich denke, dass die Herangehensweise, im Grunde genommen, gut war, aber für die Details waren in manchen Fällen schwerer ersichtlich. Auch der Fakt, dass die meisten wertvollen Artikel auf Englisch geschrieben sind spielt dort mit. Für zukünftige Arbeiten werde ich daher nach der Möglichkeit ausschauen, die Arbeit auf Englisch zu schreiben. Es war auch schade, dass der Austausch, zwischen mir und der «Yokohama National University» nur so kurz ausgefallen ist. Es wäre sehr interessant gewesen zu erfahren, wie man die «Miracle Plant» ausserhalb Afrikas zum Gedeihen bringen kann.

## Dank

Bei der Entstehung meiner Maturaarbeit habe ich Unterstützung von Personen bekommen, die mir sehr stark dabei geholfen haben, die Arbeit voranzubringen. Ratschläge und auch mentale Unterstützung waren für mich sehr wichtig und darum möchte ich diesen Personen einen speziellen Dank aussprechen:

Rainer Steiger, meiner Betreuungsperson, welcher mir massgebend geholfen hat die Maturaarbeit inhaltlich, aber auch strukturell auf Vordermann zu bringen.

Herr Somu, Professor an der «Yokohama National University» für die freundlichen Auskünfte und für die weiterführenden Informationen.

Meine Familie, für die mentale Unterstützung, für die Bereitschaft an meinem Experiment teilzunehmen, für die Hilfe bei der Such nach Fachartikeln und für das Korrekturlesen der Arbeit.

## Quellenangabe

(9) *The Science of Sweetness - YouTube*. (n.d.). Retrieved October 10, 2020, from <https://www.youtube.com/watch?v=qQarsq-1ykE>

*Achtung Süßstoff-Falle | Dr. Feil*. (n.d.). Retrieved October 10, 2020, from <https://www.dr-feil.com/blog/allgemein/achtung-suessstoff-falle.html>

*Basische Lebensmittel: Tabelle, Liste, Lebensmittel, Erfahrungen - CARA CARE*. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from <https://cara.care/de/ernaehrung/lebensmittel/basische-lebensmittel/>

Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2018). Campbell Biology, A Global Approach. 11th edition. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).

*Coca-Cola & Zucker*. (n.d.). Retrieved October 10, 2020, from <https://de.coca-cola.ch/stories/verantwortung/coca-cola-und-zucker>

*Darum trinken Schweizer Jugendliche so viele Aufputsch-Drinks: Energie in hohen Dosen*. (n.d.). Retrieved November 9, 2020, from <https://www.blick.ch/wirtschaft/energie-in-hohen-dosen-darum-trinken-junge-schweizer-so-viele-aufputsch-drinks-id4858913.html>

*Doping im Radsport – Wikipedia*. (n.d.). Retrieved October 11, 2020, from [https://de.wikipedia.org/wiki/Doping\\_im\\_Radsport](https://de.wikipedia.org/wiki/Doping_im_Radsport)

Hiwasa-Tanase, K., Hirai, T., Kato, K., Duhita, N., & Ezura, H. (2012). From miracle fruit to transgenic tomato: Mass production of the taste-modifying protein miraculin in transgenic plants. *Plant Cell Reports*, 31(3), 513–525. <https://doi.org/10.1007/s00299-011-1197-5>

Kant, R. (2005). Sweet proteins - Potential replacement for artificial low calorie sweeteners. *Nutrition Journal*, 4, 1–6. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-4-5>

*Mediendatenbank Biologie, Pflanzenzelle*. (n.d.). Retrieved November 25, 2020, from <https://www.digitalefolien.de/biologie/pflanzen/aufbau/zell.html>

Misaka, T. (2013). Molecular mechanisms of the action of miraculin, a taste-modifying protein. In



- Seminars in Cell and Developmental Biology* (Vol. 24, Issue 3, pp. 222–225). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2013.02.008>
- PH-Wert - DocCheck Flexikon*. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from  
<https://flexikon.doccheck.com/de/PH-Wert>
- Red Bull Inhaltsstoffe: Zutaten & Zusammensetzung | Red Bull :: Energy Drink :: Red Bull DE*. (n.d.). Retrieved November 9, 2020, from <https://www.redbull.com/de-de/energydrink/red-bull-energy-drink-zutaten>
- Rodrigues, J. F., Andrade, R. da S., Bastos, S. C., Coelho, S. B., & Pinheiro, A. C. M. (2016). Miracle fruit: An alternative sugar substitute in sour beverages. *Appetite*, *107*, 645–653.  
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.09.014>
- Saure Lebensmittel I Überblick*. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from <https://www.saeure-basen-ratgeber.de/faq/saure-lebensmittel-i-ueberblick-auswirkungen-und-tipps/>
- Sucht Schweiz. (2015). *Factsheet Energy Drinks*.  
<http://shop.addictionsuisse.ch/download/f003ee0180d9e85a809e04c29c2e8a9c05198ca3.pdf>
- Synsepalum dulcificum {Sapotaceae} Miracle Fruit*. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from  
<http://florawww.eeb.uconn.edu/199900066.html>
- Taurin: Was ist das und wie wirkt es? - FOCUS Online*. (n.d.). Retrieved November 23, 2020, from  
[https://www.focus.de/gesundheit/praxistipps/taurin-was-ist-das-und-wie-wirkt-es\\_id\\_7470892.html](https://www.focus.de/gesundheit/praxistipps/taurin-was-ist-das-und-wie-wirkt-es_id_7470892.html)
- The Taste Map of the Tongue You Learned in School Is All Wrong | Science | Smithsonian Magazine*. (n.d.). Retrieved November 15, 2020, from <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/neat-and-tidy-map-tastes-tongue-you-learned-school-all-wrong-180963407/>
- Theerasilps, S., Hitotsuya, H., Nakajoq, S., Nakayaq, K., Nakamuraq, Y., & Kuriharall, Y. (1989). Complete Amino Acid Sequence and Structure Characterization of the Taste-modifying Protein, Miraculin\*. In *THE JOURNAL OF BIOLOGICAL CHEMISTRY* (Vol. 264).
- Tiefkühlpizza: Reichlich Kalorien | Verbraucherzentrale NRW*. (n.d.). Retrieved October 10, 2020, from <https://www.verbraucherzentrale.nrw/wissen/lebensmittel/gesund-ernaehren/tiefkuehlpizza-reichlich-kalorien-30702>
- Universität Düsseldorf: Anti-Virus Protein in Menschen schützte vor zoonotischer Übertragung des HIV-1 Vorläufer Virus*. (n.d.). Retrieved October 11, 2020, from  
<https://www.medizin.hhu.de/aktuelles/detailansicht/article/anti-virus-protein-in-menschenschuetzte-vor-zoonotischer-uebertragung-des-hiv-1-vorlaeufer-virus.html>
- Warum zu viel Zucker ungesund ist: Die 7 wichtigsten Gründe | FOCUS.de*. (n.d.). Retrieved October 15, 2020, from [https://praxistipps.focus.de/warum-zu-viel-zucker-ungesund-ist-die-7-wichtigsten-gruende\\_114859](https://praxistipps.focus.de/warum-zu-viel-zucker-ungesund-ist-die-7-wichtigsten-gruende_114859)
- Wie viel Würfelzucker und Kalorien hat ein Fruchtjoghurt? - Blick*. (n.d.). Retrieved October 10, 2020, from [https://www.blick.ch/life/gesundheit/ernaehrung/kalorien\\_sparen/fit-mit-blick-tipp-so-viel-wuerfelzucker-steckt-in-einem-fruchtjoghurt-id3873507.html](https://www.blick.ch/life/gesundheit/ernaehrung/kalorien_sparen/fit-mit-blick-tipp-so-viel-wuerfelzucker-steckt-in-einem-fruchtjoghurt-id3873507.html)
- Wieviel Zitronensäure ist in Zitronensaft? - kuechenlatein.com*. (n.d.). Retrieved November 12, 2020, from <https://kuechenlatein.com/wieviel-zitronensaure-ist-in-zitronensaft/>
- Zuckergehalt einer lasage - Google Search*. (n.d.). Retrieved October 10, 2020, from  
<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Zuckergehalt+einer+lasage>

## Bildquellen

Titelbild:

Abb. 1: Aminosäuren– Wikipedia. (n.d.). Retrieved October 11, 2020, from <https://de.wikipedia.org/wiki/Aminos%C3%A4uren>

Abb. 2: Steffen. (2018). *Strukturelle Charakterisierung von drei phloemmobilen Proteinen*.

Abb. 3: Hämoglobin: Aufbau, Funktion, Blutwerte. (n.d.). Retrieved October 11, 2020, from <https://www.blutwert.net/haemoglobin/>

Abb. 4: So viel Zucker ist in deinem Essen › ze.tt. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from <https://ze.tt/so-viel-zucker-ist-in-deinem-essen/>

Abb 5: Zuckersucht bekämpfen - 7 Tipps! | Zucker-Ersatz.net. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from <https://zucker-ersatz.net/zuckersucht/>

Abb 6: Übergewicht | Bundesamt für Statistik. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/determinanten/uebergewicht.html>

Abb. 7: Achtung Süßstoff-Falle | Dr. Feil. (n.d.). Retrieved October 10, 2020, from <https://www.dr-feil.com/blog/allgemein/achtung-suessstoff-falle.html>

Abb. 8: Kant, R. (2005). Sweet proteins - Potential replacement for artificial low calorie sweeteners. *Nutrition Journal*, 4, 1–6. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-4-5>

Abb. 9: *Synsepalum dulcificum* {Sapotaceae} Miracle Fruit. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from <http://florawww.eeb.uconn.edu/199900066.html>

Abb. 10: *Synsepalum dulcificum*, *Richardella dulcifica*, Miracle Fruit - TopTropicals.com. (n.d.). Retrieved October 19, 2020, from [https://toptropicals.com/cgi-bin/garden\\_catalog/cat.cgi?find=Synsepalum+dulcificum&sale=1&forsaleonly=1&namesonly=1](https://toptropicals.com/cgi-bin/garden_catalog/cat.cgi?find=Synsepalum+dulcificum&sale=1&forsaleonly=1&namesonly=1)

Abb. 11: *Synsepalum dulcificum* - Wikipedia. (n.d.). Retrieved October 16, 2020, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Synsepalum\\_dulcificum](https://en.wikipedia.org/wiki/Synsepalum_dulcificum)

Abb. 12: Miracle Berry - Flavor Tripping dishes and cocktails! (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from <http://bestmiracleberry.com/>

Abb. 13: Fruit tree 🌳 Miracle Fruit Seed 神秘果, Gardening on Carousel. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from <https://www.carousel.sg/p/fruit-tree-%F0%9F%8C%B3-miracle-fruit-seed-%E7%A5%9E%E7%A7%98%E6%9E%9C-99712491/>

Abb. 14: Miraculin – Wikipedia. (n.d.). Retrieved November 28, 2020, from <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Miraculin.png#file>

Abb. 15: Illustration of human tongue showing fungiform papillae and sweet. Photograph. *Britannica ImageQuest*, Encyclopædia Britannica, 25 May 2016. [quest.eb.com/search/118\\_820193/1/118\\_820193/cite](http://quest.eb.com/search/118_820193/1/118_820193/cite). Accessed 28 Nov 2020.

Abb. 16: A cross-section diagram of a taste bud on a human tongue.. Photograph. *Britannica ImageQuest*, Encyclopædia Britannica, 25 May 2016. [quest.eb.com/search/107\\_284301/1/107\\_284301/cite](http://quest.eb.com/search/107_284301/1/107_284301/cite). Accessed 28 Nov 2020.

Abb. 17: *Catfish taste bud, illustration*. Photograph. *Britannica ImageQuest*, Encyclopædia Britannica, 2 Nov 2020.

[quest.eb.com/search/132\\_3026918/1/132\\_3026918/cite](https://quest.eb.com/search/132_3026918/1/132_3026918/cite). Accessed 28 Nov 2020.

Abb. 18: *Sweet and Umami Taste - ScienceDirect*. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128093245237498>

Abb. 19: Misaka, T. (2013). Molecular mechanisms of the action of miraculin, a taste-modifying protein. In *Seminars in Cell and Developmental Biology* (Vol. 24, Issue 3, pp. 222–225). Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2013.02.008>

Abb. 20: Misaka, T. (2013). Molecular mechanisms of the action of miraculin, a taste-modifying protein. In *Seminars in Cell and Developmental Biology* (Vol. 24, Issue 3, pp. 222–225). Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2013.02.008>

Abb. 21: *From miracle fruit to transgenic tomato: mass production of the taste-modifying protein miraculin in transgenic plants | SpringerLink*. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00299-011-1197-5>

Abb. 22: *From miracle fruit to transgenic tomato: mass production of the taste-modifying protein miraculin in transgenic plants | SpringerLink*. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00299-011-1197-5>

## **Redlichkeitserklärung**

Hiermit bestätige ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst habe und nur erlaubte Hilfsmittel benutzt habe. Alle Quellen, die ich verwendet habe, sind vollständig angegeben.

Joshua Winterflood

1.12.2020, Neuhausen am Rheinfall

## Anhang

### E-Mail-Verlauf mit Professor Somu von der «Yokohama National University»

Hello Mr.Somu

My Name is Joshua Winterflood and i live in Switzerland. Currently I'm doing research on Miraculin, which is a protein found in the so-called Miracle Fruit. As I was looking for some information online I saw a study which claimed that Yokohama National University had grown their own plants, which I found to be really interesting. Therefore my question is whether you have some further information on the growth of Miracle Fruits as I would be highly interested in writing about the growth of miracle fruit at your University compared to the native growth of them in West-Africa. So if you have any more information or even an expert on the section of growing miracle fruit, who could give me an Interview I would be very thankful if you would let me know.

Best regards

Joshua Winterflood

---

Dear Joshua Winterflood.

Thank you for contacting Yokohama National university.

I send you researcher's overview at Yokohama National University.  
You can contact the researcher who is researching the information you want to know.  
If there is no e-mail address in researcher's overview, I will send you researcher's e-mail address which you want to contact, so please tell me the researcher.

researcher's overview

<https://er-web.ynu.ac.jp/search?m=home&l=en>

---

Thank You for your response

I looked for the researcher who conducted the study on the miracle fruits but i couldn't really find him. But i would be greatly pleased if you could give me the email adress of SUGIYAMA Kuniko as he is a researcher on the section of "food science" and "eating habits". Maybe he knows more on my interests.

Best Regards

Joshua Winterflood

---

Dear Joshua Winterflood.

I asked prof. Sugiyama whether she researches miracle fruit. but she doesn't research

miracle fruit.

The researcher studying miracle fruit used to belong to Yokohama National University in the past, but she doesn't enrolled now.

So, I'm sorry, I cannot help you anymore.

But, I found the website of Japan Miraclefruit Society. You may be able to obtain useful information for your research by contacting this Society using the contact form on this website.

However, this website is written in Japanese, so please translate into English.

↓ website of Japan Miraclefruit Society

<http://www.w-agri.biz/wms/>

Dear Mr. Yuya YAMAZAKI

Thank you for your help and effort I appreciate it very much and wish you a pleasant day

Kind Regards from Switzerland

Joshua Winterflood