



Leitfaden Zuckerreduktion in Joghurt

**Technologische Machbarkeit und sensorische
Wahrnehmung**

Autoren

Helena Stoffers, Magali Chollet, Matteo Lucchetti, Barbara
Guggenbühl

Im Auftrag des
Bundesamts für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope

Impressum

Herausgeber	Agroscope Rte de la Tioleyre 4, Postfach 64 1725 Posieux www.agroscope.ch
Auskünfte	barbara.guggenbuehl@agroscope.admin.ch
Übersetzungen	Sprachdienst Agroscope
Gestaltung	Müge Yildirim
Titelbild	Alexandra Schmid Fotografie
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2021
ISSN	2296-729X (online)
DOI	https://doi.org/10.34776/as108g

Inhalt

Zusammenfassung	4
Résumé	5
Sintesi	6
Summary	7
1 Einleitung	8
2 Erkenntnisse aus der Literatur	9
2.1 Schrittweise Reduktion von zugesetztem Zucker	9
2.2 Nutzen von sensorischen Interaktionen	9
2.3 Technologische Anpassungen	10
2.4 Einsatz von Zuckerersatzstoffen	11
3 Strategie «Schrittweise Reduktion von zugesetztem Zucker»	12
3.1 Methodik	13
3.1.1 Joghurtherstellung	13
3.1.2 Sensorische Tests mit objektivem Panel.....	14
3.1.3 Konsumententests	14
3.2 Resultate und Diskussion	15
3.2.1 Unterschiedsschwellenwerte des objektiven Panels.....	15
3.2.2 Konsumentenbeurteilung	16
4 Strategie «Nutzen von sensorischen Interaktionen»	22
5 Strategie «Technologische Anpassungen»	22
5.1 Einfluss von Starterkulturen	22
5.2 Einsatz von Aroma bildenden Kulturen	24
5.3 Einfluss der Herstellverfahren «gerührt» versus «stichfest»	24
5.4 Zusatz von Molkenproteinen, Kaseinaten und süssen Peptiden	25
5.5 Verteilung von Zucker in der Joghurtmatrix und Grösse der Fruchtstücke.....	26
6 Strategie «Einsatz von Zuckerersatzstoffen»	26
7 Schlussfolgerungen	27
8 Empfehlungen	31
9 Literatur	32

Zusammenfassung

Die Weltgesundheitsorganisation WHO empfiehlt, dass weniger als 10% der täglich zugeführten Energiemenge (Kalorien) von Zuckern stammen sollen. Der geschätzte Pro-Kopf-Konsum der Schweizer Bevölkerung an Zucker ist im Durchschnitt mehr als doppelt so hoch und soll daher mittelfristig gesenkt werden. In der Schweiz tragen vor allem Süsswaren (47%), gesüsste Getränke (29%) und Milchprodukte (9%), einschliesslich Joghurt (6%) zur Aufnahme von Zucker bei.

Dieser Bericht beleuchtet vier mögliche Strategien für die Zuckerreduktion in Joghurt: eine schrittweise Reduktion des zugesetzten Zuckers, das Nutzen von sensorischen Interaktionen, technologische Anpassungen und die Verwendung von Zuckerersatzstoffen.

Ziel der Strategie einer schrittweisen, «stillen» Zuckerreduktion ist es, den Konsumenten über die Zeit an eine tiefere Süssintensität von Joghurt zu gewöhnen, ohne dass die Reduktionsschritte wahrgenommen werden. Die Grösse der einzelnen Schritte einer «stillen» Reduktion muss experimentell basierend auf Unterschiedsschwellenwerten bestimmt werden, welche produktspezifisch und abhängig von der Zuckerausgangskonzentration sind.

Mit einem geschulten Sensorikpanel wurden Unterschiedsschwellenwerte für die Süss-Wahrnehmung von Erdbeer-, Himbeer- und Moccajoghurts ausgehend von 6%, 9% und 12% zugesetztem Zucker bestimmt. Die Bestimmung des Unterschiedsschwellenwertes ergab, dass der Gehalt an Saccharose je nach Ausgangskonzentration und Joghurtaroma zwischen 7.3% und 10.4% reduziert werden konnte. Absolut gesehen war das Reduktionspotential bei hohem Ausgangszuckergehalt grösser. Ein anschliessender Konsumententest zeigte, dass bei den getesteten Erdbeerjoghurts die Reduktion um den doppelten Unterschiedsschwellenwert auf allen drei Zuckerausgangskonzentrationen nicht wahrgenommen wurde. Bezogen auf die drei Ausgangskonzentrationen von 6%, 9% und 12% Saccharose war demnach eine Reduktion von 12.5%, 13.9% respektive 16.7% möglich. In Moccajoghurt hingegen nahmen die Konsumenten bei der Zuckerreduktion um den doppelten Schwellenwert auf den Stufen 9% und 12% einen signifikanten Unterschied wahr und es kann daher nur eine Reduktion um den einfachen Schwellenwert empfohlen werden.

Ausschlaggebend für den Erfolg einer stufenweisen Zuckerreduktion ist eine flächendeckende Umsetzung dieser Strategie, damit der gewünschte Effekt einer langfristigen, andauernden Gewöhnung an tiefere Süssintensitäten erreicht werden kann.

Eine weitere Strategie ist das Nutzen von Interaktionen zwischen verschiedenen Sensorikmodalitäten, um die wahrgenommene Süssintensität zu verstärken. Erste Testreihen mit Zusatz von Vanillearoma in Konzentrationen unterhalb des Erkennungsschwellenwerts sowie der bakteriellen Bildung von Aromastoffen mit süssverstärkender Wirkung zeigten aber, dass der Effekt dieser Strategie eher gering sein dürfte. Auch in der Literatur sind nur wenige Studien zum Einsatz von Bakterien und/oder Enzymen zur Erhöhung von Aromastoffen mit Synergiewirkung auf die Süsswahrnehmung von Joghurt zu finden.

Agroscope-Untersuchungen bestätigten, dass mit dem Einsatz von geeigneten Starterkulturen die Süssintensität von Joghurt signifikant beeinflusst werden kann. So zeigten mit mild säuernden Starterkulturen hergestellte Joghurts eine deutlich höhere Süss- und Aromaintensität, aber tiefere Werte für die wahrgenommene Säure gegenüber Joghurts, die mit stark säuernden Kulturen produziert wurden.

Eine interessante Variante könnte eine Kombination von sensorischen Interaktionen sein, wie beispielsweise eine Reduktion der Säure durch geeignete Starterkulturen oder eine Verstärkung der Süssintensität durch Zugabe von süssverstärkenden Aromen bei gleichzeitiger Optimierung der Joghurttextur.

Der Einsatz von Zuckerersatzstoffen ermöglicht es, den durch die Zuckerreduktion bedingten Süssverlust weitgehend zu kompensieren. Bislang ist jedoch kein Zuckerersatzstoff bekannt, dessen qualitatives Süssprofil sich vollständig mit demjenigen von Saccharose deckt. Zudem dürfte sich der anhaltende Trend in Richtung möglichst natürlicher Produkte negativ auf die Konsumentenakzeptanz von Zuckerersatzstoffen auswirken. Ausserdem soll der Konsument an einen weniger süssen Geschmack gewöhnt werden, was bei der Kompensation des Süssintensitätsverlusts nicht gegeben ist.

Résumé

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande de consommer moins de 10 % de l'apport énergétique quotidien (calories) sous forme de sucres. En Suisse, la consommation de sucre estimée par habitant est en moyenne plus de deux fois plus élevée et doit donc être réduite à moyen terme. Dans notre pays, les principaux contributeurs à la consommation de sucre sont les confiseries (47 %), les boissons sucrées (29 %) et les produits laitiers (9 %), dont les yogourts (6 %).

Le présent rapport décrit quatre stratégies possibles pour réduire la teneur en sucre des yogourts: la réduction progressive du sucre ajouté, l'utilisation des interactions sensorielles, les adaptations technologiques et l'utilisation de substituts du sucre.

L'objectif de la stratégie de réduction progressive et «silencieuse» du sucre consiste à habituer petit à petit les consommateurs-trices à une intensité sucrée plus faible des yogourts sans qu'ils ne perçoivent les étapes de réduction. L'ampleur des diverses étapes de réduction «silencieuse» doit être déterminée expérimentalement sur la base de différents seuils, spécifiques au produit et dépendant de la concentration initiale de sucre.

En utilisant un panel entraîné de dégustateurs-trices, différents seuils de perception de la sucrosité des yogourts à la fraise, à la framboise et des yogourts moka ont été déterminés sur la base d'une quantité de sucre ajouté de 6 %, 9 % et 12 %. Il ressort de la détermination du seuil de différence que la teneur en saccharose pouvait être réduite de 7,3 % à 10,4 % en fonction de la concentration initiale de sucre et de l'arôme du yogourt. En valeur absolue, le potentiel de réduction était plus élevé lorsque la teneur initiale en sucre était élevée. Un test ultérieur auprès des consommateurs-trices a montré que, dans les yogourts à la fraise testés, la réduction, qui était égale à deux fois le seuil de différence, n'était pas perçue aux trois concentrations initiales de sucre. Ainsi, une réduction de respectivement 12,5 %, 13,9 % et 16,7 % a été possible pour les trois concentrations initiales de 6 %, 9 % et 12 % de saccharose. En revanche, dans le cas du yogourt moka, les consommateurs-trices ont perçu une différence significative dans la réduction du sucre correspondant à deux fois le seuil de différence aux concentrations de 9 % et 12 %. Par conséquent, on ne peut recommander qu'une réduction équivalente à un seul seuil de différence pour ce type de yogourt.

Le facteur décisif pour le succès d'une réduction progressive du sucre est une mise en œuvre de cette stratégie sur l'ensemble du territoire afin d'obtenir l'effet souhaité, à savoir une accoutumance à long terme et durable à des intensités de sucrosité plus faibles.

Une autre stratégie consiste à utiliser les interactions sensorielles pour améliorer l'intensité de la douceur perçue. Cependant, les premières séries de tests effectués avec l'ajout d'arôme de vanille en concentrations inférieures au seuil de détection et la formation bactérienne d'arômes ayant un effet édulcorant ont montré que l'impact de cette stratégie est probablement assez faible. Il existe également peu d'études dans la littérature sur l'utilisation de bactéries et/ou d'enzymes pour améliorer les arômes avec un effet synergique sur la perception du goût sucré du yogourt.

En revanche, les essais d'Agroscope ont confirmé que l'intensité du goût sucré du yogourt peut être influencée de manière significative par l'utilisation de cultures starter appropriées. Les yogourts produits avec des cultures starter légèrement acidifiantes ont présenté une sucrosité et une intensité de goût sensiblement plus élevées, tandis que les valeurs pour l'acidité perçue étaient plus faibles, comparativement aux yogourts produits avec des cultures fortement acidifiantes. Une variante intéressante pourrait consister en une combinaison d'interactions sensorielles telles que la réduction de l'acidité par des cultures starter appropriées, le renforcement de l'intensité du goût sucré par l'ajout d'arômes rehaussant le goût sucré et l'optimisation de la texture du yogourt. L'utilisation de substituts du sucre permet de compenser largement la perte de sucrosité causée par la réduction du sucre. Toutefois, on ne connaît à ce jour aucun substitut du sucre dont le profil qualitatif de sucrosité soit totalement identique à celui du saccharose. En outre, la tendance actuelle qui privilégie des produits aussi naturels que possible pourrait se traduire par un impact négatif sur l'acceptation des substituts du sucre par les consommateurs-trices. Par ailleurs, l'idée est que les consommateurs-trices s'habituent à un goût moins sucré, ce qui n'est pas le cas si l'on compense la perte d'intensité du goût sucré par un substitut du sucre.

Sintesi

L'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) raccomanda che meno del 10 per cento dell'apporto energetico (calorie) quotidiano provenga dallo zucchero. Per la popolazione svizzera si stima che il consumo medio pro capite di zucchero sia più del doppio e pertanto occorre ridurlo a medio termine. In Svizzera, è assunto principalmente sotto forma di dolci (47 %), bevande zuccherate (29 %) e prodotti lattiero-caseari (9 %), yogurt (6 %) incluso.

Questo rapporto delinea quattro possibili strategie per diminuire la quantità contenuta nello yogurt: riduzione progressiva dello zucchero aggiunto, vantaggi delle interazioni sensoriali, adattamenti tecnologici e impiego di sostanze sostitutive.

L'obiettivo della strategia di una riduzione graduale e «silenziosa» dello zucchero è quello di abituare nel tempo i consumatori a uno yogurt meno dolce, senza accorgersi della progressiva riduzione. L'entità delle singole fasi di una riduzione «silenziosa» va determinata sperimentalmente sulla base di valori soglia differenziati, che sono specifici per il prodotto e dipendono dalla concentrazione iniziale di zucchero.

Insieme a un panel sensoriale di esperti si sono fissati valori soglia differenziati per la percezione della dolcezza dei gusti fragola, lampone e caffè sulla base del 6, 9 e 12 per cento di zuccheri aggiunti. La determinazione dei valori soglia differenziati ha mostrato che il contenuto di saccarosio poteva essere ridotto tra il 7,3 e il 10,4 per cento, a seconda della concentrazione iniziale e del gusto di yogurt. In termini assoluti, il potenziale di riduzione era maggiore se il contenuto iniziale di zucchero era elevato. Un test realizzato poi sui consumatori ha evidenziato che negli yogurt alla fragola esaminati, la riduzione del doppio del valore soglia non è stata percepita in tutte e tre le concentrazioni iniziali di zucchero. In questo modo, è stata possibile una riduzione rispettivamente del 12,5, 13,9 e 16,7 per cento per le tre concentrazioni iniziali del 6, 9 e 12 per cento di saccarosio. Nello yogurt al caffè, invece, i consumatori hanno percepito una differenza significativa nella riduzione dello zucchero del doppio del valore soglia ai livelli del 9 e del 12 per cento e quindi si può raccomandare solo una riduzione del singolo valore soglia. Il successo di una strategia di graduale riduzione dello zucchero dipende dalla sua attuazione su vasta scala per ottenere l'effetto desiderato di adattamento a lungo termine e duraturo a un sapore meno dolce.

Un'altra strategia è quella di utilizzare le interazioni tra le diverse modalità sensoriali per aumentare l'intensità della dolcezza percepita. Tuttavia, le prime serie di test con l'aggiunta di aroma di vaniglia in concentrazioni inferiori alla soglia di rilevazione e la formazione batterica di aromi con effetto dolcificante hanno mostrato che l'efficacia di questa strategia sarebbe forse piuttosto ridotta. Anche in letteratura ci sono solo pochi studi sull'uso di batteri e/o enzimi per esaltare gli aromi con un effetto sinergico sulla percezione della dolcezza dello yogurt.

Gli studi di Agroscope hanno confermato che l'uso di colture starter adeguate può influenzare significativamente l'intensità della dolcezza. Gli yogurt prodotti con colture starter leggermente acide denotano un'intensità della dolcezza e del sapore significativamente più elevata, ma valori più bassi per l'acidità percepita rispetto agli yogurt prodotti con colture fortemente acide.

Un'opzione interessante potrebbe essere una combinazione di interazioni sensoriali, come per esempio la riduzione dell'acidità con colture starter adeguate, l'aumento dell'intensità della dolcezza con l'aggiunta di esaltatori della dolcezza e l'ottimizzazione della consistenza dello yogurt.

L'utilizzo di sostanze sostitutive permette di compensare ampiamente la perdita di dolcezza causata dalla riduzione dello zucchero. Ad oggi, tuttavia, non si conoscono sostituti dello zucchero il cui profilo di dolcezza sia qualitativamente identico a quello del saccarosio. Inoltre, la continua tendenza verso prodotti che siano il più naturale possibile ha probabilmente un impatto negativo sull'accettazione dei sostituti dello zucchero da parte dei consumatori. In aggiunta, i consumatori dovrebbero abituarsi a un sapore meno dolce, risultato che non si ottiene quando si compensa la perdita di dolcezza.

Summary

The World Health Organisation (WHO) recommends that less than 10% of our daily energy intake (calories) should come from sugars. The Swiss population's estimated per capita consumption of sugar is over twice this high on average, and should therefore be reduced in the medium term. In Switzerland, the main contributors to sugar consumption are confectionery (47%), sweetened beverages (29%), and dairy products (9%), including yoghurt (6%). This report examines four possible strategies for sugar reduction in yoghurt: the gradual reduction of added sugar, the use of sensory interactions, technological adaptations, and the use of sugar substitutes.

The aim of a gradual 'low-profile' sugar-reduction strategy is to habituate consumers over time to a lower sweetness intensity in yoghurt, without the reduction steps being perceived. The size of the individual steps of a 'low-profile' reduction must be determined experimentally, based on differential thresholds which are product-specific and dependent on the initial sugar concentration.

A trained sensory panel was used to determine differential thresholds for sweetness perception for strawberry, raspberry and mocha yoghurts with an initial added-sugar content of 6%, 9% and 12%. Determination of the differential threshold showed that sucrose content could be reduced by between 7.3% and 10.4%, depending on initial concentration and yoghurt flavour. In absolute terms, the reduction potential was greater for a high initial sugar content. A subsequent consumer test showed that for the strawberry yoghurts tested, a reduction by double the differential threshold was not perceived at any of the three initial sugar concentrations. Accordingly, with reference to the three initial concentrations of 6%, 9% and 12% sucrose, reductions of 12.5%, 13.9% and 16.7% respectively were possible. With mocha yoghurt, however, consumers perceived a significant difference when sugar was reduced by double the threshold at the 9% and 12% levels, leading to the recommendation of reduction by a single threshold only.

Across-the-board implementation of this strategy is crucial for the success of gradual sugar reduction, in order for the desired effect of a long-term, sustained habituation to lower sweetness intensities to be achieved.

A further strategy is the use of interactions between different sensory modalities in order to enhance perceived sweetness intensity. Initial test series with the addition of vanilla flavouring in concentrations below the detection threshold as well as the bacterial formation of flavourings with a sweetness-enhancing effect showed, however, that the effect of this strategy would probably be minimal. Nor are there many studies in the literature on the use of bacteria and/or enzymes to increase flavourings with a synergistic effect on the perception of sweetness in yoghurt. Agroscope studies confirmed that the sweetness intensity of yoghurt can be significantly influenced by using suitable starter cultures. Thus, for example, yoghurts produced with mildly acidifying starter cultures exhibited a significantly higher sweetness- and flavour intensity but lower scores for perceived tartness than yoghurts produced with strongly acidifying cultures.

An interesting option might be a combination of sensory interactions, such as the reduction of sourness perception by suitable starter cultures, the increasing of sweetness intensity via the addition of sweetness-enhancing flavours, and the optimisation of the yoghurt's texture.

The use of sugar substitutes enables the loss of sweetness owing to the reduction of sugar content to be largely offset. To date, however, no sugar substitute is known whose sweetness profile completely matches that of sucrose in terms of quality. In addition, the persistent trend towards products that are as natural as possible would likely have a negative effect on consumer acceptance of sugar substitutes. What's more, the aim is to accustom consumers to a less-sweet taste, which would not be achieved by offsetting the loss of sweetness intensity.

1 Einleitung

Die Weltgesundheitsorganisation WHO empfiehlt, dass weniger als 10% der täglich zugeführten Energiemenge (Kalorien) aus Zuckern stammen sollen (WHO 2015), was bei einer täglichen Zufuhr von 2000 kcal maximal 50 g Zucker pro Tag entspricht. Der vom Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) geschätzte durchschnittliche pro-Kopf-Konsum der Schweizer Bevölkerung an Zucker ist mehr als doppelt so hoch und soll daher schrittweise gesenkt werden. Die Hauptlieferanten von zugesetztem Zucker sind Süssigkeiten (47%), Getränke (29%) und Milchprodukte (9%). Innerhalb der Milchprodukte trägt Joghurt mit einem Anteil von 2/3 am stärksten zum Konsum von Zucker bei (Chatelan et al. 2019).

Das BLV und verschiedene Schweizer Lebensmittelhersteller setzten sich daher zum Ziel, zugesetzten Zucker in Joghurts und Cerealien zu reduzieren. Seit 2016 werden jährlich Erhebungen des zugesetzten Zuckers in Joghurts durchgeführt. Von 2016 bis 2018 war für Joghurt eine Reduktion um 3.5 % auf 8.8 g pro 100 g (Medianwert) zu beobachten (BLV 2019).

Der Begriff «zugesetzter Zucker» ist gemäss der europäischen Gruppe für Ernährung und Bewegung wie folgt definiert: Der Begriff «zugesetzter Zucker» bezieht sich auf Saccharose, Fructose, Glucose, Stärkehydrolysate (Glucosesirup, High-Fructose-Sirup) und andere isolierte Zuckerpräparate, unabhängig davon, ob diese als solche verwendet oder während der Zubereitung oder Produktion von Lebensmitteln zugegeben werden. Zuckeralkohole (Polyole) wie Sorbit, Xylit, Mannit und Lactit werden üblicherweise nicht zum zugesetzten Zucker gerechnet. Zuckerarten aus Honig, Sirupen, Fruchtsäften und Fruchtsaftkonzentraten werden ebenfalls zum zugesetzten Zucker gerechnet. Zudem zählt das BLV auch Zuckerarten aus anderen Lebensmitteln mit süssender Wirkung zum zugesetzten Zucker, z. B. Fruchtpulver und -pulpen oder Malzextrakte.

Bei einer Zuckerreduktion in Lebensmitteln wie Joghurt muss berücksichtigt werden, dass Zucker nicht nur als Süssstoff dient, sondern auch andere Produkteigenschaften beeinflusst, welche für das sensorische Profil und die Akzeptanz von Joghurts wichtig sind. So kann beispielsweise mit einem Saccharosezusatz die Säure und Bitterkeit reduziert oder Aromen wie Erdbeere oder Vanille verstärkt werden. Saccharose beeinflusst auch die Textur von Joghurt, indem sie die Viskosität erhöhen und die Koagulation von Proteinen verlangsamen kann. Zudem reduziert Saccharose das freie Wasser im Produkt und kann in hohen Konzentrationen wie beispielsweise in Konfitüren oder Fruchtgrundstoffen das Wachstum von Bakterien verhindern, was die Haltbarkeit solcher Produkte verlängern kann (McCain, Kaliappan, and Drake 2018).

Der vorliegende Leitfaden stellt vier Strategien und mögliche entsprechende Umsetzungsmethoden zur Zuckerreduktion in Joghurt vor, die auf Literaturdaten und verschiedenen von Agroscope durchgeführten Untersuchungen (kursiv notierte Methoden) basieren (Tabelle 1).

Tabelle 1: Strategien und mögliche Methoden zur Zuckerreduktion in Joghurt
(kursiv → Methoden, welche in diesem Leitfaden detaillierter erläutert werden)

Strategien	Methoden
1. Schrittweise Reduktion von zugesetztem Zucker ohne Kompensation der Süssintensität	<ul style="list-style-type: none"> – <i>stille (nicht wahrnehmbare) Reduktion</i> – wahrnehmbare Reduktion
2. Nutzen von sensorischen Interaktionen	<ul style="list-style-type: none"> – <i>süssverstärkende Aromen</i> – Farbe und Gestaltung einer Verpackung verstärken die Süsswahrnehmung
3. Technologische Anpassungen	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Einsatz von mildsäuernden Starterkulturen</i> – <i>Süss- / aromaverstärkende Zusatzkulturen</i> – <i>Herstellverfahren gerührt versus stichfest</i> – <i>Zugabe von Proteinen</i> – Zugabe von Enzymen (Lactase, Proteasen) – Verteilung Zucker in der Joghurtmatrix <ul style="list-style-type: none"> – <i>Grösse der Fruchtstücke</i>
4. Einsatz von Zuckerersatzstoffen	<ul style="list-style-type: none"> – Ersatz von Zucker (Saccharose) durch Zuckerersatzstoffe

2 Erkenntnisse aus der Literatur

Nachfolgend sind ausgewählte praxisrelevante Erkenntnisse aus der Literatur für die vier in Tabelle 1 erwähnten Strategien zusammengefasst.

2.1 Schrittweise Reduktion von zugesetztem Zucker

Gemäss Literatur gibt es keine Studie zur **stillen** (nicht wahrnehmbaren) **Zuckerreduktion** in Joghurt. Für Orangennektar mit einer Ausgangskonzentration von 10.5 g Zucker/100 ml bestimmten Pineli et al. (2016) einen Unterschiedsschwellenwert von 2%. Für Fruchtsäfte wie Passionsfrucht-, Orange/Maracuja- und Orange/Granatapfel-Saft wurden in einer anderen Studie Unterschiedsschwellenwerte zwischen 4.2% und 8.14% bestimmt (Oliveira et al. 2018). In Schokoladenmilch mit einem Ausgangszuckeranteil von 7 bis 9 g Zucker / 100 ml lag der Schwellenwert bei 6.7%, wobei die Autoren zwei Reduktionsschritte innerhalb eines Jahres empfahlen (Oliveira et al. 2016).

Verschiedene in der Literatur beschriebene Untersuchungen zeigten, dass auch eine deutlich **wahrnehmbare Zuckerreduktion** möglich ist, ohne die hedonische Reaktion der Konsumenten (Beliebtheit) zu ändern. So hatte eine Zuckerreduktion von ca. 30%, respektive sogar 40% in Schokoladenmilch keinen negativen Einfluss auf die Akzeptanz der Produkte, wobei die Autoren vermerkten, dass die Ausgangsprodukte sehr süss waren (Li et al. 2015; Oliveira et al. 2016). Studien mit Passionsfrucht-, Orange/Maracuja- und Orange/Granatapfel Säften zeigten, dass bei einer Zuckerreduktion von 20% oder 40% die Konsumentenreaktion in zwei Gruppen aufgeteilt werden konnte. Bei der einen Gruppe sank die Beliebtheit der Säfte bereits bei 20% Zuckerreduktion stark ab, während bei der zweiten Gruppe diese erst bei einer Reduktion von 40% abnahm (Oliveira et al. 2018).

2.2 Nutzen von sensorischen Interaktionen

Die in verschiedenen Modellsystemen beobachteten **Interaktionen zwischen Geschmack, Aroma und Textur** deuten darauf hin, dass die Süsswahrnehmung durch den Zusatz von Aromen, Texturbildnern oder Farbstoffen beeinflusst werden kann (Alcaire et al. 2017; Narumi et al. 2011; Tournier et al. 2009). So erhöhten Aromen wie Pfirsich, Maracuja, Erdbeer, Caramel oder Kaffee die Süsswahrnehmung in wässrigen Zuckerlösungen. Erdbeer-Aroma bewirkte auch in Rahm eine Erhöhung der wahrgenommenen Süssintensität.

Zwei Studien mit Dänischen und Chinesischen Konsumenten mit zuckerhaltigen wässrigen Lösungen mit und ohne Vanillearoma zeigten ebenfalls eine deutliche süssverstärkende Wirkung des Vanillearomas (Bertelsen et al. 2021). Andere Aromen wie z.B. Zitrone zeigten unterschiedliche Wirkung. Je nach Studie wurde die Süsswahrnehmung erhöht, reduziert oder nicht verändert (Valentin, Chrea, and Nguyen 2006). Untersuchungen mit Milchprodukten, welchen Vanillearoma beigegeben wurde, um die Süsswahrnehmung zu erhöhen, zeigten ebenfalls widersprüchliche Resultate (Alcaire et al. 2017; Labbe et al. 2006; Lavin and Lawless 1998; Oliveira et al. 2015; Wang et al. 2018).

Erkenntnisse aus der Literatur deuten darauf hin, dass die einzelnen Interaktionen eher einen geringen Einfluss auf Veränderungen der Süssintensität haben. Mit der Kombination von verschiedenen sensorischen Interaktionen dürfte aber ein grösserer Effekt erzielt werden können. Entsprechende wissenschaftliche Untersuchungen für Joghurt fehlen aber zurzeit.

2.3 Technologische Anpassungen

Verschiedene Stämme von unterschiedlichsten Milchsäurebakterien können aromaaktive Stoffe wie Diacetyl, Acetoin und Laktone mit buttrigen, süssen Noten bilden (Chen et al. 2017). In der Literatur werden diverse Arten (Spezies) beschrieben aber nur wenige, wie zum Beispiel *Propionibacterium jensenii* und *thoenii*, *L. plantarum* oder *L. rhamnosus*, wurden auch in Joghurts getestet (Ekinci and Gurel 2008; Innocente et al. 2016; Tian et al. 2019). Es sind weitere Studien nötig, um verlässliche Angaben des Effekts von bakteriell gebildeten aromaaktiven Verbindungen auf die Süsswahrnehmung zu erhalten.

Molkenprotein, Kaseinate und Milchpulver werden Joghurt üblicherweise beigegeben, um die Textur zu verbessern (Donato and Guyomarc'h 2009; Zhao et al. 2016). Sowohl die Konzentration als auch der Proteintyp beeinflussen die Textur und damit verbunden die Aromafreisetzung und Süsswahrnehmung. Die Wirkung eines Proteinzusatzes scheint aber je nach Zusammensetzung des Proteinpulvers unterschiedlich zu sein. Molkenprotein-konzentrate variieren in ihrem Grad an β -Lactoglobulin, Lactosylierung, Denaturierungsgrad und Mineralgehalt, was ein Grund für die in der Literatur zu findenden widersprüchlichen Ergebnisse für Molkenprotein- und/oder Kasein-angereicherte Joghurts sein dürfte (Chua et al. 2017; Jørgensen et al. 2019; Saint-Eve et al. 2006; Smith et al. 2016; Torres et al. 2018; Wagoner et al. 2018; Zhao et al. 2016).

Die Proteinpulver enthalten teilweise relativ hohe Mengen an Lactose, was sich allenfalls auf die wahrgenommene Süssintensität auswirkt. Eine Proteinanreicherung im Joghurt bedingt auch Prozessanpassungen (z.B. Homogenisationsdruck, Erhitzungszeit, Aufrühren und Bebrütungszeit).

Der **Einsatz von süssen Peptiden** in Joghurt wurde nur in wenigen Studien erläutert. Monellin führte zu einem anhaltend süssen Nachgeschmack, Thaumatin und Miraculin schienen sich besser zu eignen (Miele et al. 2017; Miele et al. 2019; Oliveira et al. 2015; Wong and Kern 2011). Im Moment sind nur der Einsatz von Thaumatin (in der Schweiz zugelassen) sowie von Monellin in Japan erlaubt

Mittels **Spaltung der Lactose** in die beiden Einfachzucker Glucose und Galactose mit dem Enzym β -Galactosidase (Lactase) kann die Süssintensität von Joghurt erhöht werden, da sowohl Glucose als auch Galactose eine höhere relative Süsskraft aufweisen als Lactose. Industrie und Gewerbe verwenden primär Lactase für die Herstellung von Lactose-freien Produkten.

In der Literatur sind weitere Enzyme beschrieben, mit welchen das Aroma von Joghurt optimiert werden könnte. Bis heute sind aber nur wenig Informationen über deren Einsatz in Joghurt zu finden. So wurden in Joghurt mit reduziertem Fettgehalt Nutrease und Trypsine eingesetzt, vor allem um die Eigenschaften von Milchbestandteilen zu beeinflussen, die sich positiv auf die Textur von Joghurt auswirken (Hemantha Kumar et al. 2001; Routray and Mishra 2011).

Verschiedene Studien weisen darauf hin, dass eine **inhomogene Verteilung der Zuckerpartikel** im Produkt eine Verstärkung der Süssintensität bewirken. So zeigte eine Studie in Modellsystemen mit Gelatine, dass die Herstellung von Schichten mit unterschiedlicher Textur die Süssintensität verstärkten (Mosca et al. 2012).

Durch «Spielen» mit der **Grösse von Fruchtstücken** kann ebenfalls eine inhomogene Zuckerverteilung erreicht werden. Neben fruchteigenem Zucker enthalten die Fruchtstücke auch Saccharose vom Herstellungsprozess des Grundstoffs, was beim Konsum von Joghurt mit grossen Fruchtstücken zu einem Kontrast zum eher sauren Geschmack der weissen Joghurtmasse führt. Zusätzlich können die Verweilzeit und die Aromafreisetzung im Mund verändert werden. In der Literatur sind nur wenige Studien zu finden, welche den Faktor der Fruchtstückgrösse systematisch untersucht haben. Entgegen der Erwartung wurden fettfreie Birnen-Joghurts mit den grössten Fruchtstücken eher als weniger süss und als «fetter» wahrgenommen als das Standardjoghurt. Die Festigkeit der Birnenstücke zeigte keinen Einfluss auf die Süsswahrnehmung (Mesurole et al. 2013).

Die **Mikroverkapselung** ist eine weitere Möglichkeit, den Zucker inhomogen zu verteilen und die Geschwindigkeit der Aromafreisetzung zu beeinflussen. Diese Technologie ist im Lebensmittelbereich aber noch wenig verbreitet und muss weiter entwickelt werden (Gouin 2004).

2.4 Einsatz von Zuckerersatzstoffen

In der Fachliteratur ist eine Fülle an Studien zum Einsatz von Zuckerersatzstoffen zu finden. Zuckerersatzstoffe werden einerseits eingesetzt, um die Reduktion der Süßintensität in zuckerreduzierten Joghurt zu kompensieren, andererseits dienen sie als Füllstoff, um die Textur zu verbessern. Keiner der bis heute bekannten Zuckerersatzstoffe weist aber das gleiche qualitative Süßprofil wie Saccharose auf. Im Gegenteil, viele Süßstoffe zeigen einen unerwünschten Bei- oder Fehlgeschmack. Aus diesem Grund müssen viele Zuckerersatzstoffe häufig in Kombination eingesetzt werden, um eine qualitativ ähnliche Süßempfindung wie Saccharose hervorzurufen.

Die Vor- und Nachteile der gemäss Literatur am häufigsten eingesetzten Zuckerersatzstoffgruppen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Wichtigste Gruppen von Zuckerersatzstoffen und deren Eigenschaften (modifiziert nach (Lê, Robin, and Roger 2016))

Ersatz der Süsse	Füllstoffersatz
Hochintensive Süßungsmittel (HIS) <ul style="list-style-type: none"> – hohe Süßkraft – sehr niedrige bis niedrige Kaloriendichte – am besten geeignet für flüssige Produkte 	Zuckeralkohole <ul style="list-style-type: none"> – niedrige Süßkraft – niedrige Kaloriendichte – ähnliche physikalisch-chemische Eigenschaften wie Saccharose – kann je nach Tagesdosis abführende Wirkung haben
Geschmacksverstärker <ul style="list-style-type: none"> – keine Süßkraft – sehr niedrige Kaloriendichte – bestens geeignet für flüssige und halb feste Produkte – muss als Zusatzstoffe deklariert werden 	Alternativer/seltener Zucker <ul style="list-style-type: none"> – niedrige bis mittlere Süßkraft – niedrigere bis ähnliche Kaloriendichte im Vergleich zu Saccharose – ähnliche physikalisch-chemische Eigenschaften wie Saccharose
Aromen mit modifizierenden Eigenschaften <ul style="list-style-type: none"> – keine Süßkraft – sehr niedrige Kaloriendichte – gut geeignet für flüssige und halb feste Produkte 	Ballaststoffe <ul style="list-style-type: none"> – keine Süßkraft – niedrige Kaloriendichte – gut geeignet für halbflüssige und feste Produkte – ungünstiges Geschmacks- und Texturprofil im Einzelfall
	Malto-Oligosaccharide <ul style="list-style-type: none"> – niedrige bis keine Süßkraft – neutrale Kaloriendichte

Der anhaltende Trend in Richtung natürliche Produkte macht den Einsatz von Zuckerersatzstoffen nicht attraktiv, da viele Konsumenten Produkte mit für sie oft unbekanntem Zusatzstoffen ablehnen. Hingegen schneiden Lebensmittel und Getränke, die mit künstlichen Süßstoffen hergestellt wurden, bei Blindversuchen häufig besser ab als Produkte mit natürlichen Süßungsmitteln. Viele Verbraucher entscheiden sich beim Kauf aber trotzdem für ein "natürlich gesüßtes" Produkt (McCain, Kaliappan, and Drake 2018). Auch wenn Zuckerersatzstoffe von entsprechenden Zulassungsbehörden als sicher beurteilt wurden, werden sie in den Medien oft kontrovers diskutiert, was zu einer zusätzlichen Verunsicherung der Konsumenten über die Langzeitwirkung von solchen Ersatzstoffen führt.

3 Strategie «Schrittweise Reduktion von zugesetztem Zucker»

Das Ziel einer schrittweisen Reduktion von zugesetztem Zucker ist es, die Konsumenten langfristig an eine tiefere Süßintensität zu gewöhnen, ohne dass die Akzeptanz des Joghurts negativ beeinflusst wird. Der Unterschied in der Süßintensität zwischen ursprünglichem und dem zuckerreduzierten Produkt wird nicht ausgeglichen.

Die zwei wichtigsten Strategien einer schrittweisen Reduktion des Zuckergehalts sind:

1. *Nicht wahrnehmbare Reduktion des Zuckergehalts = «stille Reduktion»*

Der Konsument nimmt die mit der Reduktion verbundene verminderte Süßintensität nicht wahr.

2. *Wahrnehmbare Reduktion des Zuckergehalts*

Der Konsument nimmt die mit der Reduktion verbundene tiefere Süßintensität wahr. Die Reduktion des Zuckergehalts ist bewusst hoch gewählt und wird häufig in neuen Produktlinien umgesetzt und beworben. Die durch die Zuckerreduktion bedingte Änderung des sensorischen Profils des Produktes führt nicht in jedem Fall zu einer Reduktion der Akzeptanz/Beliebtheit des Produktes.

Der Vorteil der «stillen Reduktion» besteht darin, dass die Hersteller die Menge an zugesetztem Zucker ohne oder mit nur sehr kleinen Rezepturanpassungen reduzieren können. Dabei darf die Saccharosereduktion andere wichtige sensorische Eigenschaften von Joghurt, wie beispielsweise Aroma und Textur, nicht oder nur geringfügig beeinflussen.

Bei einer stillen Zuckerreduktion dient der Unterschiedsschwellenwert (englisch: just noticeable difference, JND) als Basis zur Bestimmung der Grösse der Reduktionsschritte. Dieser bezeichnet den gerade noch wahrnehmbaren Unterschied zwischen zwei Reizen der gleichen Sinnesmodalität (Geschmack, z.B. Süsse). Anders ausgedrückt, um wie viel muss ein Reiz stärker oder schwächer werden, damit ein Unterschied zwischen dem Ausgangswert und dem verstärkten oder abgeschwächten Reiz wahrgenommen werden kann?

Bereits vor mehr als 100 Jahren erkannte der deutsche Physiologe Ernst Heinrich Weber in seinen Untersuchungen, dass Unterschiedsschwellenwerte nicht absolut sind, sondern sich proportional zum Ausgangsreiz verändern.

$$k = \frac{\Delta R}{R}$$

Gemäss dem Gesetz nach Weber ist demzufolge der Unterschiedsschwellenwert (absoluter Wert) bei einer hohen Saccharose-Ausgangskonzentration grösser als bei einer tieferen Konzentration.

Diese Gesetzmässigkeit ist allerdings nur in einem mittleren Intensitätsbereich gültig. Bei sehr tiefen respektive sehr hohen Intensitätsniveaus ist die Proportionalität nicht mehr gegeben. Zudem ist bekannt, dass Unterschiedsschwellenwerte matrix- und produktspezifisch sind und nicht auf andere Lebensmittelsysteme übertragen werden können.

3.1 Methodik

3.1.1 Joghurtherstellung

Die gemeinsam mit interessierten Branchenvertretern entwickelte Rezeptur und das Herstellungsverfahren für die Testjoghurts deckte die in der Praxis verwendete Palette an Produktionsparametern soweit als möglich ab. Für die Fruchtjoghurts wurde ein modifiziertes Warm-Rührverfahren gewählt (Abbildung 1). Bei diesem modifizierten Verfahren wurde sowohl der Fruchtgrundstoff als auch der Zucker (Saccharose) in die warme Joghurtmasse eingerührt. Die Joghurtmasse wurde aber erst am Folgetag in Becher abgefüllt. Für die Moccajoghurts kam ein klassisches Verfahren zur Herstellung von stichfesten Joghurts zur Anwendung (Abbildung 1). Der Fettgehalt der Milch wurde auf 3.5%, der Proteingehalt durch Zugabe von Milchpulver (PROMILK® 600C, Cremo SA) auf 4.6% standardisiert. Für die Fermentation wurde eine mildsäuernde Starterkultur (YF-L811, Chr. Hansen) eingesetzt; alle Grundstoffe (Frulino: Mocca, Erdbeer geschnitten und Himbeer) stammten von Frutarom Schweiz AG.

Bei allen Joghurtrezepturen variierte nur die Menge der zugegebenen Saccharose, um die gewünschte Konzentration an zugesetztem Zucker zu erreichen, während das Verhältnis «Joghurt nature : Grundstoff» konstant blieb. Die Grundstoffmenge war so gewählt, dass beim Joghurt mit der tiefsten Zuckerkonzentration die zugesetzte Saccharose einzig aus dem Grundstoff stammte. Entsprechend betrug das Verhältnis «Joghurt nature : Grundstoff» bei Erdbeeryoghurt 10.6 : 1, bei Himbeeryoghurt 10.7 : 1 und bei Moccajoghurt 17.4 : 1. Um einen breiten Zuckerkonzentrationsbereich abzudecken, wurden die Ausgangskonzentrationen 6%, 9% und 12% gewählt.

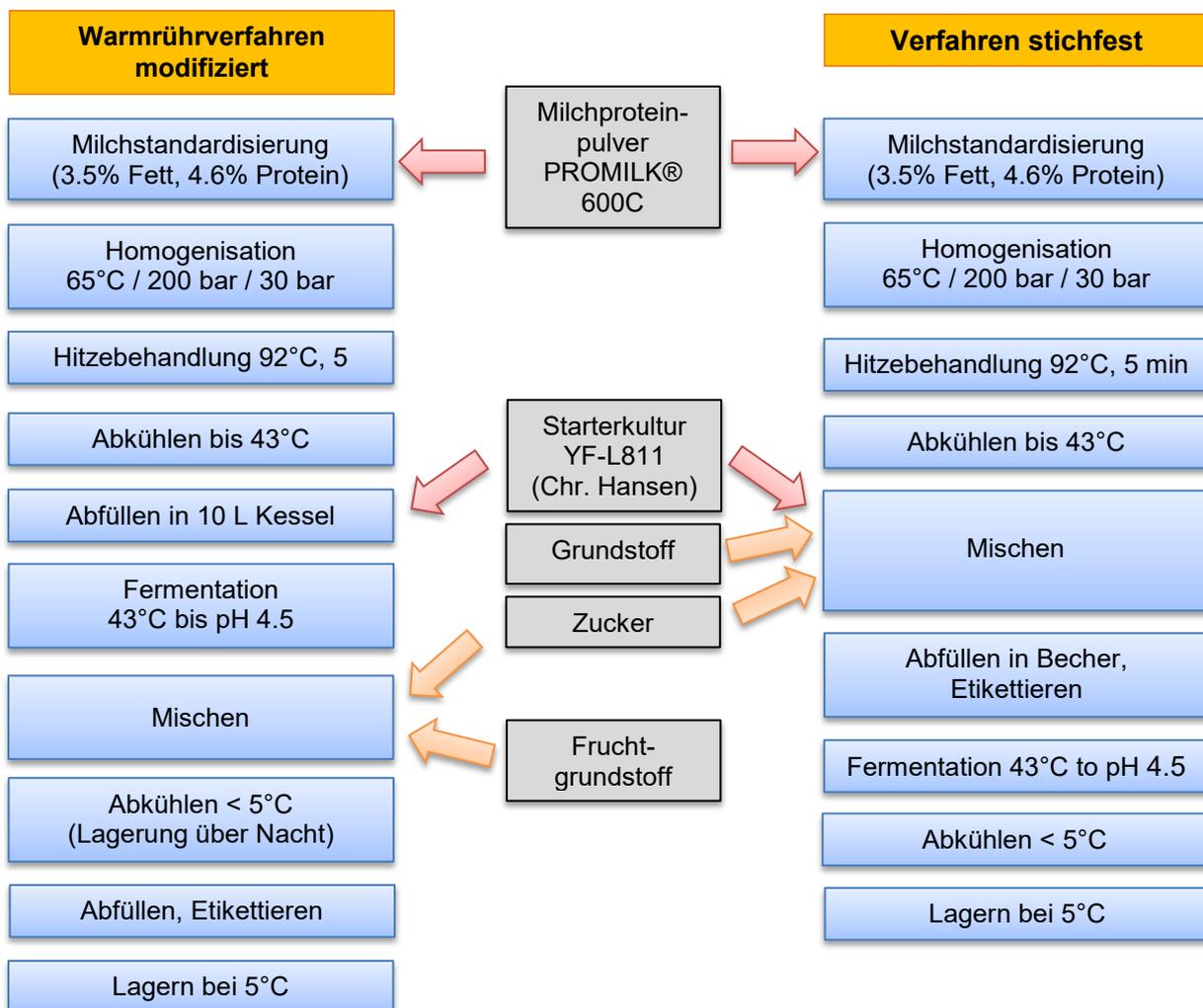


Abbildung 1: Herstellverfahren der Test-Joghurts mit modifiziertem Warmrührverfahren für Erdbeer- und Himbeeryoghurt, sowie Verfahren «stichfest» für Mocca-Joghurt

In Abbildung 2 ist die gemäss Rezeptur berechnete Zusammensetzung der Erdbeer-, Himbeer- und Moccajoghurts dargestellt.

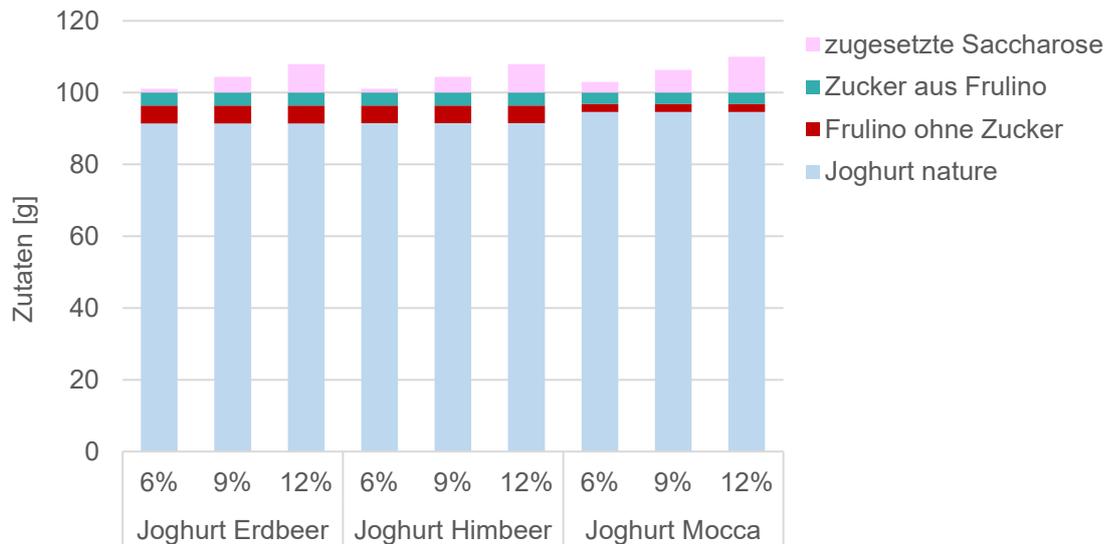


Abbildung 2: Zusammensetzung der Erdbeer-, Himbeer- und Moccajoghurts mit 6%, 9% und 12% zugesetztem Zucker unter Beibehaltung eines konstanten Mengenverhältnisses von Joghurt nature zu Frulino

3.1.2 Sensorische Tests mit objektivem Panel

Der Unterschiedsschwellenwert wurde mittels der Methode des paarweisen Vergleichs bestimmt. Jedes Probenpaar bestand aus einem Joghurt mit einer der drei Zuckerausgangskonzentrationen (=Referenz 6%, 9% oder 12%) und einer gegenüber der Referenz zuckerreduzierten Probe. Die Testpersonen mussten für jedes Probenpaar angeben, welche Probe die süssere war. Für alle drei Aromen (Erdbeere, Himbeere und Mocca) und für alle drei Zuckerausgangsniveaus (6%, 9% und 12%) wurden jeweils sieben Reduktionsstufen getestet. Die Reduktion der Zuckerkonzentration erfolgte linear und in gleich grossen Schritten. Innerhalb einer Testserie wurden die Probenpaare in absteigender Zuckerkonzentration verkostet, das heisst der Unterschied in der Zuckerkonzentration zwischen den zwei Proben nahm vom ersten zum letzten Probenpaar zu.

An den sensorischen Tests nahmen pro Konzentrationsstufe 14 bis 16 Mitglieder des geschulten Agroscope Panels teil. Pro Testsession wurden jeweils 6 Joghurtpaare beurteilt. Die Testpersonen beurteilten jedes Probenpaar mindestens drei Mal in unterschiedlichen Testsessionen.

Für jede Testperson (Panelist) wurde ein individueller Unterschiedsschwellenwert bestimmt. Dieser war definiert als kleinster Konzentrationsunterschied, für welchen eine Prüfperson in 75% der mindestens drei Wiederholungen die Probe mit dem höheren Zuckergehalt, das heisst das Referenzjoghurt, gewählt hatte. Der Unterschiedsschwellenwert für das gesamte Panel wurde aus den individuellen Schwellenwerten ermittelt und war definiert als die kleinste Reduktion der Saccharosekonzentration, die 50% der Panelisten wahrgenommen hatten.

3.1.3 Konsumententests

In zwei Konsumententests wurden die mit dem geschulten Panel bestimmten Unterschiedsschwellenwerte für Erdbeer- und Moccajoghurt überprüft. Es wurde davon ausgegangen, dass Konsumenten grössere Differenzen im Zuckergehalt benötigen, um Unterschiede in der Süssintensität von Joghurts wahrzunehmen als ein geschultes Panel. Um diese Hypothese zu testen, wurde in Zusammenarbeit mit den Schweizer Milchproduzenten (SMP) eine Beurteilung mit Personen durchgeführt, die regelmässig, d.h. 2-3 Mal wöchentlich, Joghurt konsumieren.

Für die Konsumentenbeurteilung der Joghurts fiel die Wahl auf den sogenannten «A / nicht A» Test, da diese Methode soweit als möglich den realen Konsumationsbedingungen entspricht. Dazu erhielten die Teilnehmenden als erstes eine Referenzprobe (6%, 9% oder 12% zugesetzter Zucker), deren sensorisches Profil sie sich einprägen mussten. Die anschliessende Beurteilung der codierten Joghurtproben erfolgte, ohne dass die Referenzprobe zum Vergleichen zur Verfügung stand. Die Testpersonen mussten für die codierten Proben angeben, ob diese identisch oder unterschiedlich zur Referenz waren.

Zusätzlich beurteilten die Teilnehmenden die Beliebtheit der Mocca- und Erdbeerjoghurts mit 6%, 9% und 12% Saccharose auf einer 9-Punkte Skala (1=ausserordentlich schlecht; 9=ausserordentlich gut) sowie den subjektiven Intensitätseindruck der Attribute «Süsse», «Säure» und «Aroma» auf einer «Just about right» (JAR) Skala. Bei dieser Skala bedeutete der Wert in der Skalenmitte, dass die Intensität der gefragten Eigenschaft gerade richtig ausgeprägt ist, während das linke Skalenende mit einer viel zu schwachen und das rechte Ende mit einer viel zu starken Intensität gleichgesetzt war.

3.2 Resultate und Diskussion

3.2.1 Unterschiedsschwellenwerte des objektiven Panels

Abbildung 3 zeigt die Unterschiedsschwellenwerte des geschulten Panels für Erdbeer-, Himbeer- und Moccajoghurts für die drei gewählten Zuckerausgangskonzentrationen.

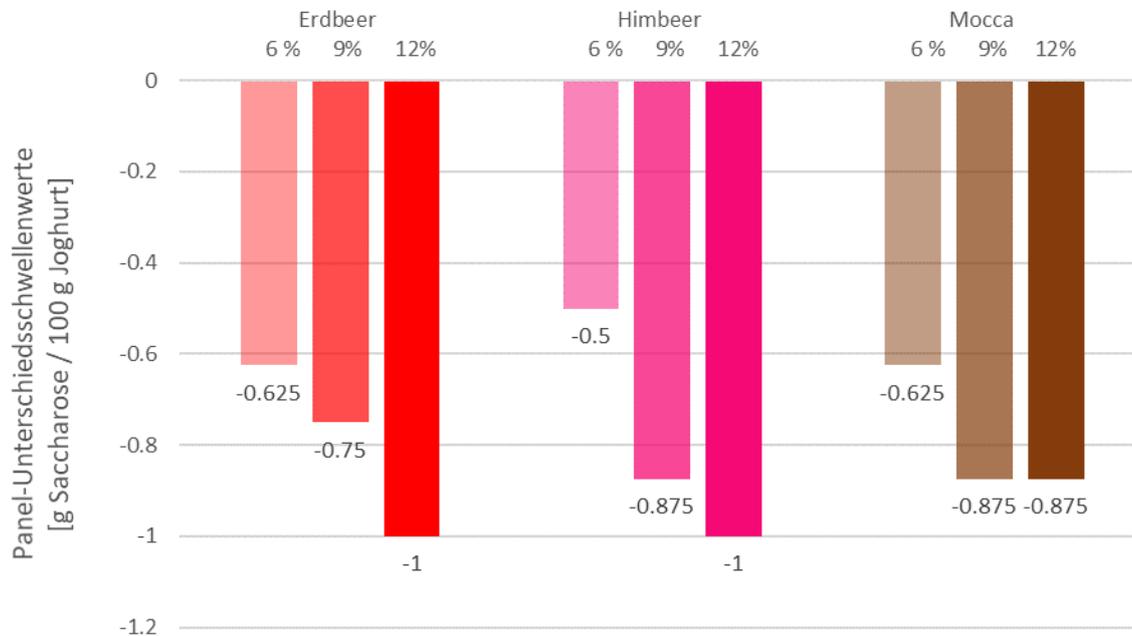


Abbildung 3: Unterschiedsschwellenwerte für Erdbeer-, Himbeer- und Moccajoghurt mit 6%, 9% und 12% zugesetztem Zucker. Ausgangswerte beinhalten Fructose, Glucose und Saccharose aus dem (Frucht)-Grundstoff sowie zugegebene Saccharose, reduziert wurde hingegen nur Saccharose

Wie erwartet, waren die Unterschiedsschwellenwerte abhängig von der Ausgangszuckerkonzentration und dem Joghurtaroma (Abbildung 3). Bei den Moccajoghurts wichen die Unterschiedsschwellenwerte aber von der gemäss Theorie zu erwartenden Linearität ab. Sowohl die komplexe Joghurtmatrix, eine mögliche Interaktion zwischen süss und bitter, als auch die Zusammensetzung des Panels dürften für die beobachteten Abweichungen verantwortlich sein.

Die mögliche prozentuale Reduktion von Saccharose lag zwischen 7.3% und 10.4%, abhängig von der Ausgangskonzentration und des Joghurtflavors (Tabelle 3). Absolut gesehen war das Reduktionspotential bei hohem Ausgangszuckeranteil grösser. Dabei ist zu erwähnen, dass die Zuckerreduktion nicht kontinuierlich erfolgte, sondern in definierten Reduktionsstufen getestet wurde. Daher können die vorliegenden Zahlen nur als Richtwerte angesehen werden.

Tabelle 3: Mögliche prozentuale Reduktion von Saccharose für Erdbeer-, Himbeer- und Moccajoghurt mit unterschiedlichem Ausgangszuckeranteil, für eine «stille» Reduktion, d.h. ohne dass eine Reduktion der Süssintensität wahrgenommen wurde (Saccharose-Ausgangskonzentration = 100%)

Zuckergehalt	Erdbeerjoghurt	Himbeerjoghurt	Moccajoghurt
6 g / 100 g	-10.4%	-8.3%	-10.4%
9 g / 100 g	-8.3%	-9.7%	-9.7%
12 g / 100 g	-8.3%	-8.3%	-7.3%

3.2.2 Konsumentenbeurteilung

In zwei Testrunden beurteilten zwischen 150 und 212 nicht geschulte Testpersonen Erdbeer- und Moccajoghurt mit verschiedenen Saccharose-Ausgangskonzentrationen mittels A/nicht A Test.

Insgesamt 209 resp. 212 Testpersonen beurteilten zudem die Beliebtheit und subjektive Intensität ausgewählter Attribute (JAR Skala) von Erdbeerjoghurt resp. Moccajoghurt (stichfest) mit 6%, 9% und 12% zugesetzter Saccharose.

In allen Tests waren rund die Hälfte der Teilnehmenden Frauen. Ca. 1/3 der Teilnehmenden war 36 Jahre alt oder jünger. Das Alter des zweiten Drittels lag zwischen 37 und 54 Jahre, während das restliche Drittel 55 Jahre und älter war.

«A / nicht A-Test» Erdbeerjoghurt

Bei den Erdbeerjoghurts nahmen die Testpersonen für alle drei Zuckerausgangskonzentrationen keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Ausgangsprobe (Referenz) und den zuckerreduzierten Joghurt wahr (Tabelle 4). Dies deutet darauf hin, dass bei Erdbeerjoghurts eine Reduktion der Saccharose in der Höhe des doppelten Unterschiedsschwellenwerts möglich ist, ohne dass die Mehrheit der Konsumenten einen Unterschied wahrnimmt. Bezogen auf die drei Ausgangskonzentrationen von 6%, 9% und 12% Saccharose war demnach eine Reduktion von 12.5% (6% Zuckerniveau), 13.9% (9% Zuckerniveau) und von 16.7% (12% Zuckerniveau) möglich.

Tabelle 4: Zuckergehalt und Resultate des «A / nicht A Tests» für die beurteilten Erdbeerjoghurts

	Erdbeer 6% Zucker			Erdbeer 9% Zucker			Erdbeer 12% Zucker		
	½ JND	JND	2xJND	½ JND	JND	2xJND	½ JND	JND	2xJND
Zuckergehalt (%)	5.6875	5.375	4.75	8.625	8.25	7.5	11.5	11	10
Total Testpersonen	122	120	118	119	125	115	116	105	118
Anzahl korrekte Antworten	68	75	80	63	75	71	61	50	63
Signifikanz	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns

JND (just noticeable difference) wurde mit geschultem Panel von Agroscope bestimmt

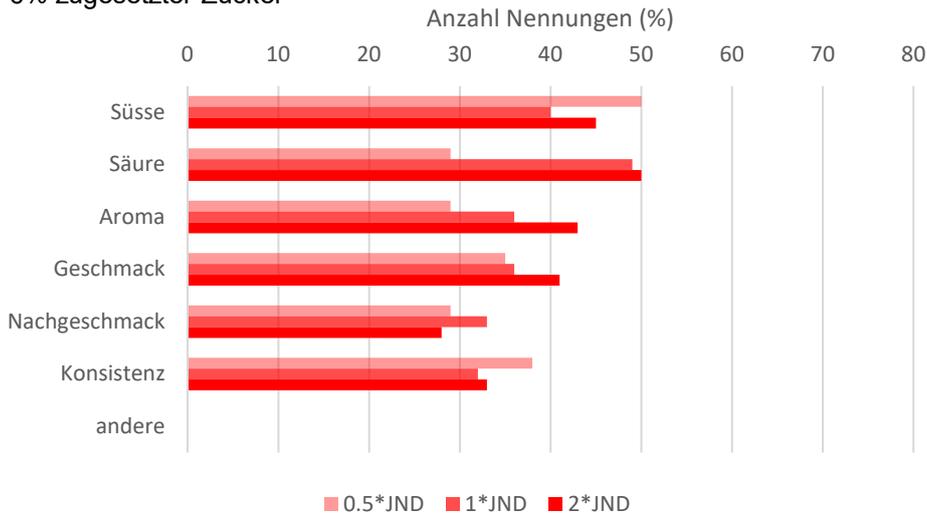
½ JND Saccharose Konzentration wurde so gewählt, dass sie in der Mitte zwischen JND und Referenz liegt

2xJND doppelter JND von Ausgangsreferenz

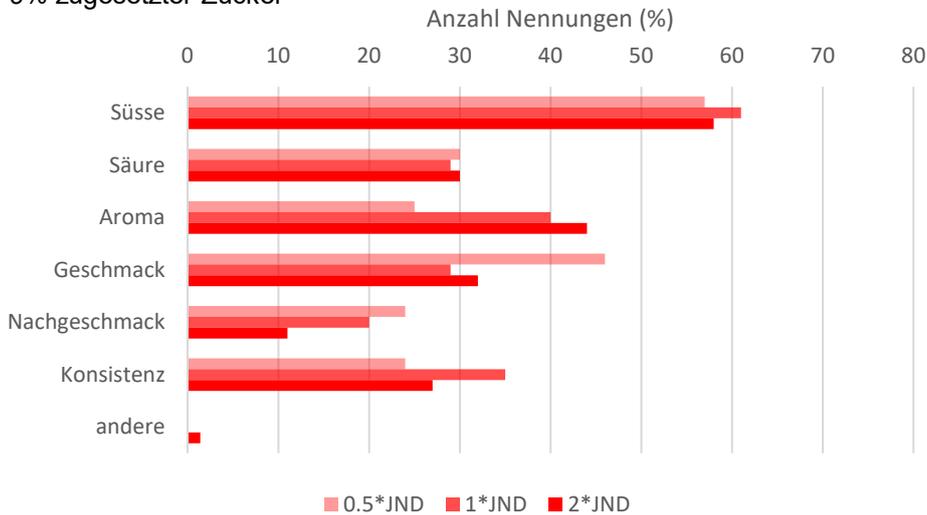
ns: nicht signifikant

Testpersonen, welche einen Unterschied wahrgenommen hatten, beschrieben die Qualität des Unterschieds der Erdbeerjoghurts mit 6% Zuckerzusatz etwa gleich oft mit der Säure und der Süsse (Abbildung 4). Je höher der Zuckergehalt war, desto öfter wurde die Süsse genannt. Beim Aroma hingegen war eine gegenläufige Tendenz zu erkennen. Je tiefer der Zuckergehalt war, umso öfter wurde das Aroma, resp. Aroma und Geschmack (umgangssprachlich verstehen darunter viele Konsumenten das Aroma) als Unterschied genannt. Dieser Trend eines «Aromaverlusts» bei tiefen Ausgangskonzentrationen zeigte sich auch in der Beurteilung auf der just-about-right Skala (Abbildung 7).

6% zugesetzter Zucker



9% zugesetzter Zucker



12% zugesetzter Zucker

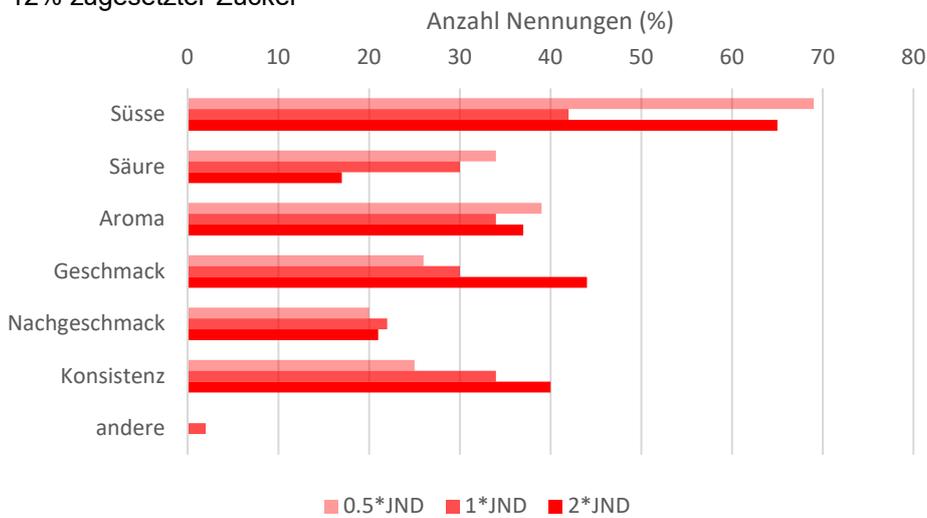


Abbildung 4: Angaben (%) zur Qualität des Unterschieds der als unterschiedlich wahrgenommenen zuckerreduzierten Erdbeeryoghurts (Mehrfachnennungen erlaubt) bezogen auf die Anzahl korrekter Antworten des «A / nicht A» Tests

«A / nicht A-Test» Moccajoghurt

Bei den Moccajoghurts nahmen die Testpersonen für die zuckerreduzierten Proben auf dem 6% Zucker- Ausgangsniveau keinen Unterschied wahr. Auf dem 9% und 12% Zuckerkonzentrationsniveau wurden die um den doppelten Unterschiedsschwellenwert zuckerreduzierten Joghurts im Vergleich zur Ausgangskonzentration (Referenz) signifikant unterschiedlich wahrgenommen (Tabelle 5). Dies bedeutet, dass die Konsumenten die Probe mit 7.25% Zucker von der Probe mit 9% Zucker sowie das Joghurt mit 12% von demjenigen mit 10.25% zugesetztem Zucker unterscheiden konnten.

Tabelle 5: Zuckergehalt und Resultate des «A / nicht A Tests» für die beurteilten Moccajoghurts

	Mocca 6% Zucker			Mocca 9% Zucker			Mocca 12% Zucker		
	½ JND	JND	2xJND	½JND	JND	2xJND	½JND	JND	2xJND
Zuckergehalt (%)	5.6875	5.375	4.75	8.567 5	8.125	7.25	11.625	11.125	10.25
Total Testpersonen	114	111	114	115	113	113	102	102	106
Anzahl korrekte Antworten	65	63	72	62	60	78	59	59	63
Signifikanz	ns	Ns	ns	ns	ns	***	ns ¹	ns ¹	*

JND Unterschiedsschwellenwert → wurde mit geschultem Panel von Agroscope bestimmt

½ JND Saccharosekonzentration wurde so gewählt, dass sie in der Mitte zwischen JND und Referenz liegt

2xJND doppelter JND von Ausgangsreferenz

*: signifikant 5% Niveau

**.: signifikant 1% Niveau

***.: signifikant 0.1% Niveau

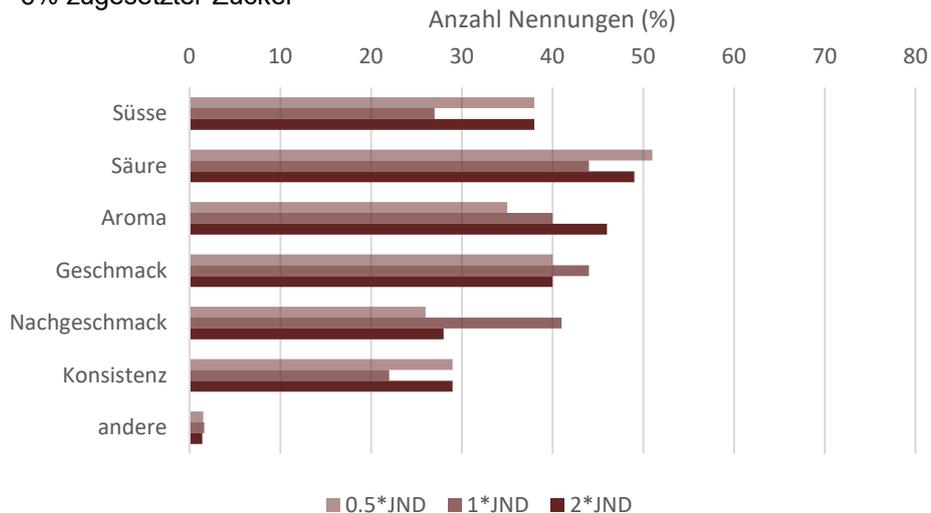
ns: nicht signifikant

ns¹: Wert der Teststatistik (χ^2) liegt sehr nahe bei der statistischen Signifikanzgrenze von 5%

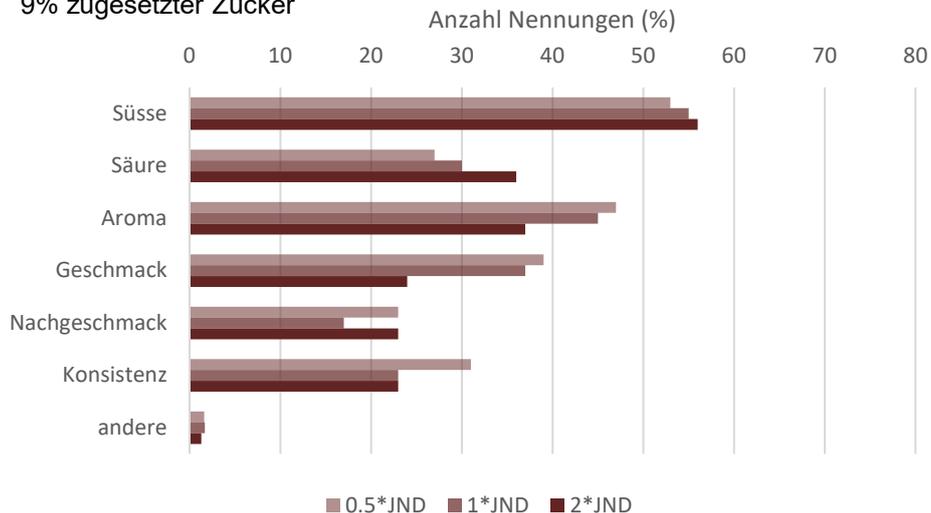
Diese Resultate lassen den Schluss zu, dass für Moccajoghurts eine Reduktion von ungefähr der Grösse des mit dem objektiven Panel bestimmten Unterschiedsschwellenwerts realisierbar ist, ohne dass die Konsumenten einen Unterschied wahrnehmen. Bezogen auf die drei Ausgangskonzentrationen von 6%, 9% und 12% Saccharose war demnach eine Reduktion von 12,5% (6% Zuckerniveau), 9.7% (9% Zuckerniveau) respektive von 8.3% (12% Zuckerniveau) möglich.

Die Qualität des Unterschieds der Moccajoghurts mit 6% Zuckerzusatz wurde hauptsächlich mit der Säure, Mocca-Aroma und Geschmack und zu einem geringeren Prozentsatz mit der Süsse beschrieben. Die Joghurts mit einer Ausgangskonzentration von 9% und diejenigen mit 12% Zuckerzusatz unterschieden sich vor allem in der Süsse und im Aroma sowie zu einem geringeren Prozentsatz im Geschmack und in der Säure. Daneben wurden vor allem die Joghurts mit 9% Saccharosezusatz als unterschiedlich in der Konsistenz (51%) wahrgenommen (Abbildung 5).

6% zugesetzter Zucker



9% zugesetzter Zucker



12% zugesetzter Zucker

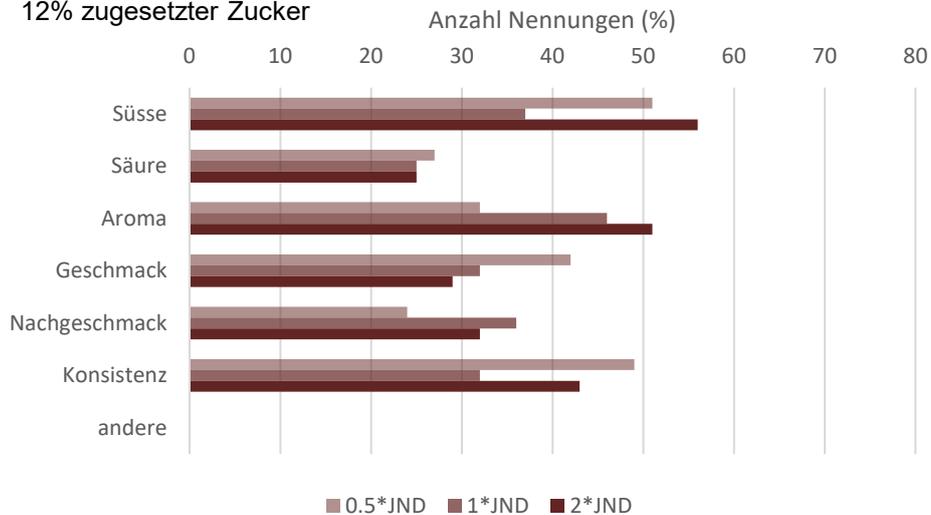


Abbildung 5: Angaben (%) zur Qualität des Unterschieds der als unterschiedlich wahrgenommenen zuckerreduzierten Moccajoghurts (Mehrfachnennungen erlaubt) bezogen auf die Anzahl korrekter Antworten des «A / nicht A» Tests

Beliebtheit

Erdbeeryoghurt mit 9% Zuckerzusatz war mit einem Mittelwert (MW) von 6.64 auf der hedonischen 9-Punkte Skala am beliebtesten, gefolgt vom Joghurt mit 12 % Zucker (MW = 6.29). Das Erdbeeryoghurt mit 6% Zucker erhielt die tiefste Bewertung und wurde signifikant tiefer bewertet als die Joghurts mit 9% resp. 12% Zucker (Abbildung 6).

Bei den Moccajoghurts war die Variante mit 12% zugesetztem Zucker mit einem Mittelwert von 6.49 am beliebtesten. Dieses Joghurt war signifikant beliebter als das Moccajoghurt mit 6% Zucker (MW = 6.19). Das Joghurt mit 9% zugesetztem Zucker lag mit einem Mittelwert von 6.30 dazwischen und unterschied sich in der Beliebtheit weder vom Joghurt mit 12% noch vom Joghurt mit 6% zugesetztem Zucker (Abbildung 6).

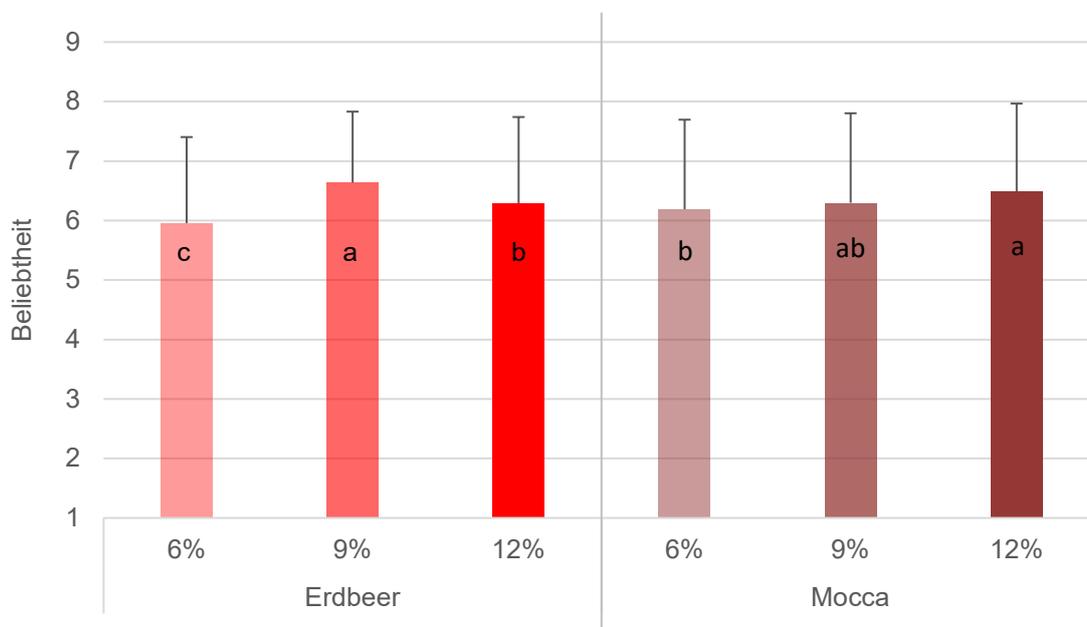


Abbildung 6: Beliebtheit (1= ausserordentlich schlecht; 9 = ausserordentlich gut) von Erdbeer- und Moccajoghurt in Abhängigkeit der zugesetzten Saccharosemenge (Balken mit unterschiedlichen Buchstaben: signifikanter Unterschied (p=0.05))

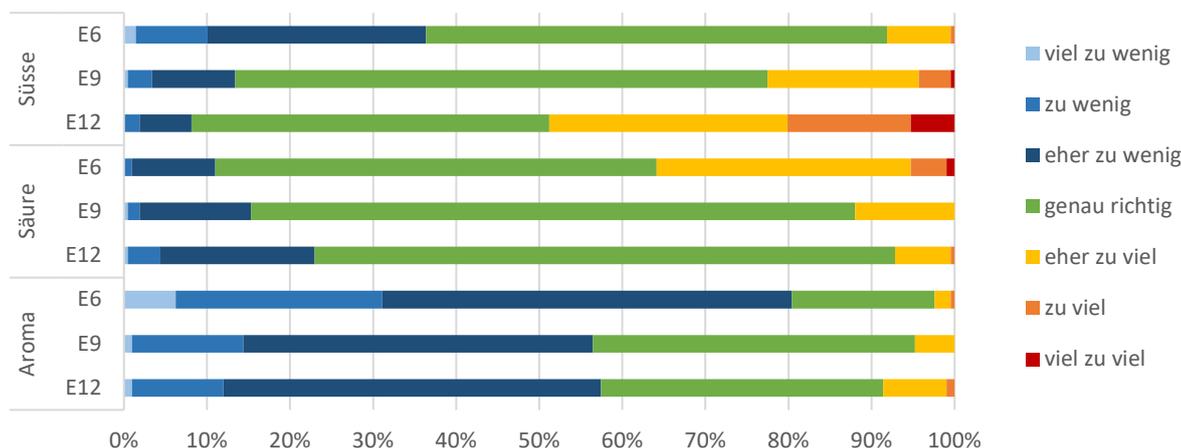


Abbildung 7: Beurteilung (JAR Skala) der Süsse, Säure und Erdbeer-Aromaintensität von Erdbeeryoghurts mit 6% (E6), 9% (E9) und 12% (E12) zugesetztem Zucker

Für 56% der Testpersonen war die Süsse von Erdbeeryoghurt mit 6% Zucker (E6) «genau richtig», die restlichen 44% der Bewertungen bewegten sich eher in Richtung «zu wenig süss» (Abbildung 7). Das Joghurt mit 6% zugesetztem Zucker wurde häufig als «viel zu wenig intensiv» im Aroma bewertet (49%). Nur 17% der Testpersonen empfanden das Aroma als «genau richtig». Dieses Joghurt wurde im Vergleich zu den Joghurts mit 9% resp. 12% Zucker auch häufiger als «eher zu sauer» bewertet.

Die Süßintensität des Erdbeerrjoghurts mit 9% Zucker (E9) empfanden 64% der Konsumenten als «genau richtig». Die restlichen 36% der Bewertungen bewegten sich eher in Richtung «zu süß». Für 39% der Testpersonen war das Aroma dieses Joghurts «genau richtig», während 42% das Aroma als «eher zu wenig intensiv» beurteilten. Signifikant weniger Personen (43%) bewerteten die Süße von Erdbeerrjoghurt mit 12% Zucker (E12) im Vergleich zu E9 und E6 als «genau richtig», E12 wurde entsprechend eher als «zu süß» beurteilt. 45% der Testpersonen empfanden das Aroma als «eher zu wenig intensiv» und 34% als «genau richtig». E12 erhielt auch mehr Bewertungen der Kategorie «eher zu wenig sauer» im Vergleich zu den beiden Joghurts mit den tieferen Konzentrationen an zugesetztem Zucker.

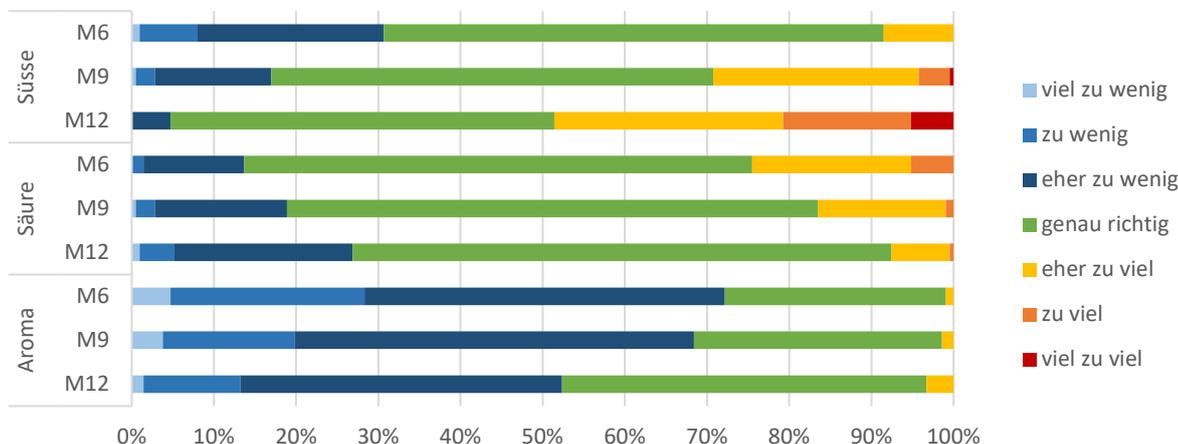


Abbildung 8: Beurteilung (JAR Skala) der Süße, Säure und Mocca-Aromaintensität von Moccaryoghurt mit 6% (M6), 9% (M9) und 12% (M12) zugesetztem Zucker

Die Süße des Moccaryoghurts mit 6% Zucker (M6) wurde von 61% der Konsumenten als «genau richtig» bewertet (Abbildung 8). Die restlichen 39% der Bewertungen bewegten sich eher in Richtung «zu wenig süß». Demgegenüber war das Joghurt mit 9% zugesetztem Zucker (M9) für 25% der Testpersonen «eher zu süß» resp. «viel zu süß», während 54% der Probanden die Süßintensität dieses Produktes als «genau richtig» beurteilten. Für das Joghurt mit 12% Zucker (M12) betrug der Anteil für die zwei Süßintensitäts-Kategorien «eher zu süß» resp. «viel zu süß» total 28%. M12 wurde im Vergleich zum Moccaryoghurt mit 6% Zucker signifikant weniger oft als «genau richtig» süß empfunden (47%).

Das Mocca-Aroma von allen 3 Zuckerstufen, insbesondere M6 (24%) wurde häufig als «zu wenig intensiv» beurteilt. Das Joghurt mit 6% Zucker war zudem häufiger als «zu sauer» bewertet im Vergleich zu den beiden anderen Zuckerstufen. Im Gegensatz dazu erhielt M12 mehr Bewertungen «eher zu wenig sauer» als M6.

Die Resultate der Konsumententests lassen den Schluss zu, dass bei den Erdbeerrjoghurts eine grössere Zuckerreduktion möglich ist, die von den Konsumenten nicht wahrgenommen wird als bei den Moccaryoghurts. Ein möglicher Grund dafür ist die durch den Süßverlust der zuckerreduzierten Proben abgeschwächte Maskierung der Bitterkeit.

Sowohl bei den Erdbeer- als auch Moccaryoghurts wurden die Proben mit 12% zugesetztem Zucker von rund 20% der Konsumenten als «zu süß» empfunden, während rund ein Drittel der Testpersonen die Joghurts mit der tiefen Ausgangskonzentration (6% Zucker) als «zu wenig süß» eingestuft. Zudem zeigten diese Joghurts bei der Bewertung des Aromas einen hohen Anteil an Antworten in den drei Kategorien «eher zu wenig», «zu wenig» und «viel zu wenig». Insbesondere bei den Moccaryoghurts deuteten die JAR Resultate für die Aromaintensität darauf hin, dass mit einer Zuckerreduktion auch die Aromawahrnehmung deutlich reduziert wird. Bei einer Zuckerreduktion muss also darauf geachtet werden, dass ein Gleichgewicht zwischen Süß- und Aromawahrnehmung gewährleistet ist.

Frühere Untersuchungen an Agroscope (Chollet et al. 2013) zeigten, dass eine Erhöhung des Aromas die Beliebtheit sogar negativ beeinflussen kann.

4 Strategie «Nutzen von sensorischen Interaktionen»

Erste Versuche an Agroscope mit Moccajoghurts, welchen Vanillearoma in Konzentrationen unterhalb des Erkennungsschwellenwerts zugesetzt wurde, zeigten keine Erhöhung der Süßwahrnehmung. Es wurde aber nicht getestet, ob der Zusatz von Vanillearoma im Konzentrationsbereich oberhalb des Wahrnehmungsschwellenwerts einen Einfluss auf die Süßwahrnehmung hat. Der Effekt von Wechselwirkungen zwischen Süßwahrnehmung und gezielt ausgewählten Aromazusätzen müsste in systematischen Studien weiter untersucht werden.

5 Strategie «Technologische Anpassungen»

5.1 Einfluss von Starterkulturen

Eine bereits häufig genutzte Möglichkeit, die Süßintensität von Joghurt zu beeinflussen, ist der Einsatz von sogenannten «mildsäuernden» Starterkulturen. Dazu werden Stämme der beiden für Joghurt charakteristischen Milchsäurebakterienarten *Streptococcus thermophilus* und *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* gezielt ausgewählt und zusammengemischt, damit die Kultur weniger stark säuert resp. nach Ende der Bebrütung nicht nachsäuert. Alle grossen Kulturenhersteller bieten mild säuernde Joghurtkulturen und auch massgeschneiderte Kulturen für die Herstellung von zuckerreduzierten Produkten an.

Agroscope verglich die Eigenschaften von Erdbeerjoghurts mit 9% zugesetztem Zucker, welche mit zwei mild säuernden (YF-L811 von Chr. Hansen und Yomix 401 von Danisco) und zwei stark säuernden Kulturen (YC-381 von Chr. Hansen und B1 von Agroscope) hergestellt wurden. Die Hälfte der Joghurts wurde kurz (43°C bis pH-Wert 4.6 / ca. 5.5 h), die andere Hälfte lang (37°C / 16 h, ohne festgesetzten pH-Endwert) bebrütet. Das trainierte Agroscope Panel (n=13) beurteilte die Intensität der Attribute «viskos», «süß», «sauer», «Aroma» und «cremig» der acht unterschiedlichen Joghurts.

Tabelle 6: pH-Werte und Milchsäuregehalte (n=2) von Erdbeerjoghurts hergestellt mit verschiedenen Starterkulturen und Bebrütungszeiten

Kultur	Säuerung	Bebrütung	End-pH 1 Tag nach Bebrütung	L-Milchsäure [g/kg]	D-Milchsäure [g/kg]	Gesamt-Milchsäure
YF-L811	mild	kurz	4.3	7.4	0.0	7.4
YF-L811	mild	lang	4.1	7.7	0.0	7.7
Yomix 401	mild	kurz	4.3	6.9	0.0	6.9
Yomix 401	mild	lang	4.1	7.7	0.0	7.7
YC-L381	stark	kurz	4.0	5.4	4.7	10.1
YC-L381	stark	lang	3.7	5.6	7.5	13.1
B1	stark	kurz	3.9	5.9	4.5	10.4
B1	stark	lang	3.7	5.9	7.5	13.4

Tabelle 7: Gehalte an ausgewählten Mono- und Disacchariden (n=2) von Erdbeeryoghurts hergestellt mit verschiedenen Starterkulturen und Bebrütungszeiten

Kultur	Säuerung	Bebrütung	Lactose [g/kg]	Galactose [g/kg]	Saccharose [g/kg]	Glucose [g/kg]
YF-L811	mild	kurz	26.1	7.0	81.2	5.1
YF-L811	mild	lang	24.7	7.2	82.2	5.6
Yomix 401	mild	kurz	26.7	6.4	81.1	5.3
Yomix 401	mild	lang	26.0	6.7	80.9	5.5
YC-L381	stark	kurz	22.1	7.8	79.6	4.8
YC-L381	stark	lang	16.5	6.1	80.8	5.4
B1	stark	kurz	20.8	8.0	78.5	4.7
B1	stark	lang	15.1	6.3	77.8	5.1

Die mit den mildsäuernden Kulturen hergestellten Joghurts wiesen, wie erwartet, höhere pH-Werte, tiefere Gesamt-Milchsäuregehalte und keine D-Milchsäure auf (Tabelle 6). Das Fehlen der D-Milchsäure, welche normalerweise durch *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* gebildet wird, deutet darauf hin, dass sich in diesen Joghurts die Laktobazillen nicht vermehrten, was mikroskopische Bilder und Wachstumsversuche bestätigten. Sensorisch wurden die mild gesäuerten Joghurts auch als weniger sauer jedoch süßer und aromaintensiver empfunden (Abbildung 9). Die stark säuernden Kulturen YC-L381 und B1 bauten während der Lagerung auch einen Teil der Saccharose ab, was sich negativ auf die Süsse auswirkt, da Saccharose eine höhere Süßkraft als Lactose hat (1 : 0.3). Demgegenüber zeigten die lang bebrüteten Joghurts einen leicht tieferen pH und einen höheren Gehalt an Gesamt-Milchsäure sowie D-Milchsäure. Das Panel beurteilte diese lang bebrüteten Joghurts, wie erwartet, sensorisch als saurer und weniger süß als die kurz bebrüteten (Abbildung 9).

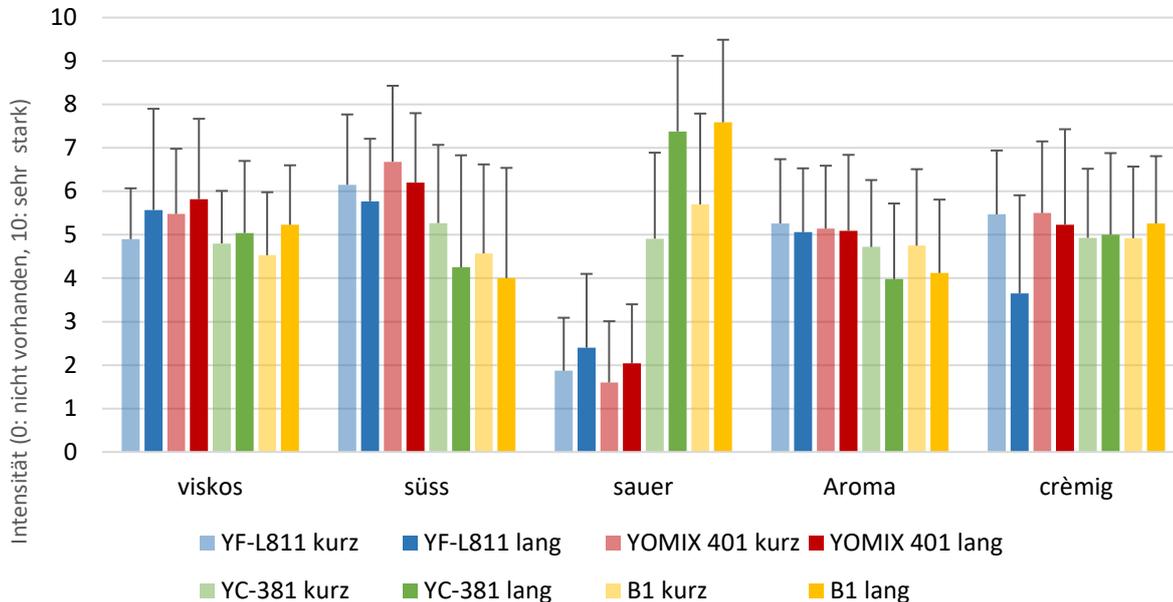


Abbildung 9: Intensität (Mittelwert & Standardabweichung) ausgewählter Attribute von Erdbeeryoghurts hergestellt mit verschiedenen Starterkulturen und Bebrütungszeiten (kurz und lang) beurteilt durch geschultes Panel (n=13)

Die statistische Analyse der Daten zeigte einen signifikanten Einfluss der Bebrütungszeit und der Starterkultur auf die wahrgenommene Intensität der Süsse, Säure und des Erdbeer-Aromas. Eine lange Bebrütungsdauer bewirkte im Vergleich zur kürzeren Bebrütung eine statistisch signifikante Reduktion der Süss- und Aromaintensität und eine erhöhte Säureintensität. Der Einsatz der beiden mild säuernden Kulturen resultierte, wie erwartet, in deutlich weniger sauren, dafür süsseren und aromaintensiveren Joghurts (Tabelle 8).

Tabelle 8: Signifikant unterschiedliche Mittelwerte ($p \leq 0.05$) für die Faktoren Bebrütungszeit und Starterkultur für die drei Attribute «süss», «sauer» und «Aroma»

	Bebrütungszeit		Starterkultur mild vs. stark säuernd	
	kurz	lang	mild	stark
süss	5.7	5.1	6.2	4.5
sauer	3.5	4.9	2.0	6.4
Aroma	5.0	4.6	5.1	4.4

5.2 Einsatz von Aroma bildenden Kulturen

Erste Versuche mit verschiedenen Stämmen von *Lactococcus lactis* susp. *lactis* biovar. *diacetylactis*, *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *plantarum*, *Lacticaseibacillus casei*, *Lacticaseibacillus paracasei* subsp. *paracasei*, *Leuconostoc* und *Propionibacterium freudenreichii* aus der Agroscope Stammsammlung zeigten keine süssverstärkende Wirkung durch Zusatz von aromabildenden Stämmen, auch wenn diese Stämme in Milch gezüchtet nachweisbar verschiedene Aromastoffe bildeten. Es braucht weitere Studien, um Faktoren wie beispielsweise die Zugabe von verschiedenen Stammkombinationen und deren Wechselwirkung, Zeitpunkt der Zugabe etc. systematisch zu untersuchen, bevor eine Aussage zur Effektgrösse einer aromabildenden Zusatzkultur gemacht werden kann.

5.3 Einfluss der Herstellverfahren «gerührt» versus «stichfest»

Moccajoghurts mit 6% und 9% zugesetzter Saccharose wurden sowohl als gerührte Joghurts als auch stichfeste Variante hergestellt. Ein grundlegender Unterschied der beiden Herstellverfahren ist der Zeitpunkt der Zugabe der zusätzlichen Saccharose und des Mocca-Grundstoffs. Beim gerührten Verfahren wird die Kultur der Milch hinzugefügt und bis zum gewünschten pH-Wert von üblicherweise 4.6 bebrütet, bevor der Aromagrundstoff und die zusätzliche Saccharose beigefügt werden. Anschliessend wird die Masse gerührt und in Becher abgefüllt. Bei der Herstellung von stichfestem Joghurt werden die Milch, die Starterkultur, der Grundstoff und die zusätzliche Saccharose gleichzeitig gemischt, in Becher abgefüllt und anschliessend im Becher bis zum Erreichen des gewünschten pH-Werts fermentiert. Dementsprechend stehen der Starterkultur bei der Herstellung von stichfesten Moccajoghurts bereits zu Beginn der Fermentation Saccharose und teilweise auch Fructose zur Verfügung. Letztere entsteht durch Spaltung der aus Fructose und Glucose bestehenden Saccharose. Bei der gerührten Variante stehen Saccharose und Fructose erst nach Abschluss der Bebrütung zur Verfügung.

Die in den stichfesten und gerührten Moccajoghurts gemessenen Gehalte an Mono- und Disacchariden deuten darauf hin, dass die Milchsäurebakterien der verwendeten Starterkultur YF-L811 vermehrt auch Saccharose als Energiequelle verwendet haben, wenn diese zur Verfügung stand. So enthielten die stichfesten Joghurts deutlich mehr Lactose und Fructose aber weniger Saccharose und Galactose als die gerührten Moccajoghurts (Abbildung 10). Bei den gerührten Varianten waren die Milchsäurebakterien der Starterkultur gezwungen, die Lactose als Energiequelle zu nutzen, da während der Bebrütung keine Saccharose zur Verfügung stand, was die tieferen Mengen an Lactose und höheren Werte an Galactose in diesen Joghurts erklärt.

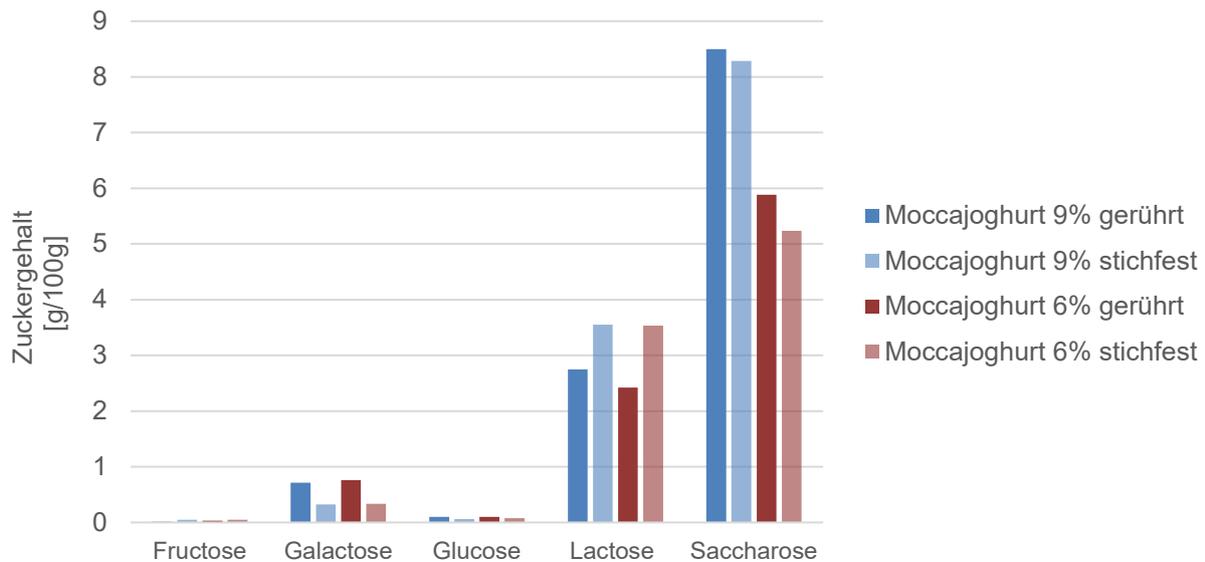


Abbildung 10: Zuckergehalte von Moccajoghurt mit 6% resp. 9% zugesetztem Zucker in Abhängigkeit des Herstellverfahrens (gerührt versus stichfest)

Berechnungen der relativen Süßkraft für die gerührten und stichfesten Joghurts zeigten für die Joghurts mit 9% zugesetztem Zucker praktisch identische Werte für die beiden Herstellungsvarianten. Für die Joghurts mit 6% zugesetztem Zucker war die berechnete Süßkraft für die stichfeste Variante etwas tiefer als für die gerührten Proben (Daten nicht gezeigt). Innerhalb der beiden Produktionsvarianten war die Differenz der relativen Süßkraft zwischen dem Referenzjoghurt (Ausgangskonzentration) und dem Joghurt mit dem grössten Konzentrationsunterschied zur Referenz aber vergleichbar. Das bedeutet, dass der Unterschiedsschwellenwert aus Sicht der Süßkraft für die beiden Varianten in etwa gleich gross sein müsste. Daraus kann geschlossen werden, dass der beobachtete grössere Unterschiedsschwellenwert für die stichfesten Joghurts wahrscheinlich eher auf textuelle Unterschiede der beiden Varianten zurück zu führen sein dürfte.

Diese Resultate machen deutlich, dass die Süßwahrnehmung mit der Wahl der Starterkultur stark beeinflusst werden kann. Neben dem Aspekt der Säuerung sollte auch berücksichtigt werden, ob die Bakterien der Starterkultur Saccharose als Energiequelle nutzen. In welchem Mass die Verwertung der Lactose und zugesetzten Saccharose durch die Starterkultur die Süßwahrnehmung beeinflusst, muss für jede Starterkultur ausgetestet werden.

Neben dem unterschiedlichen Zuckerprofil spielen auch sensorische Interaktionen eine Rolle. Sensorische Beurteilungen zeigten, dass die Grösse der möglichen Zuckerreduktionsschritte vom Joghurtaroma und vom Herstellprozess (gerührt / stichfest) beeinflusst wird. Ein Grund dafür dürfte einerseits in der Wechselwirkung zwischen der Süß- und Bitterwahrnehmung in Moccajoghurt zu suchen sein. Die tiefere Süßintensität der zuckerreduzierten Joghurts bewirkt eine Verstärkung der Bitterkeit, da diese von der Süße nicht mehr so stark maskiert wird. Andererseits spielt die Textur eine Rolle bei der Freisetzung der Geschmacks- und Geruchsverbindungen (Saint-Eve et al. 2006). Es kann davon ausgegangen werden, dass aromaaktive Verbindungen in stichfesten Joghurts langsamer freigesetzt werden als in gerührten Proben.

5.4 Zusatz von Molkenproteinen, Kaseinaten und süssen Peptiden

Erste Versuche an Agroscope mit Proteinpulvern mit unterschiedlichen Kasein:Molkenprotein Verhältnissen zeigten keine süßverstärkende Wirkung in Joghurts. Es müssten weitere systematische Untersuchungen durchgeführt werden, um fundierte Aussagen zu einer allfälligen süßverstärkenden Wirkung von Proteinen machen zu können. Dabei sollten folgende Faktoren betrachtet werden: Zusammensetzung der Pulver, Denaturierungsgrad der Proteine, Verhältnis Kasein zu Molkenprotein, Gesamtmenge an Protein, Lagerung der Pulver, Fettgehalt der Joghurt sowie Wechselwirkung der Pulver mit der Starterkultur.

5.5 Verteilung von Zucker in der Joghurtmatrix und Grösse der Fruchtstücke

Die Hypothese, dass Joghurts mit Schichten mit unterschiedlichem Zuckergehalt (z.B. fruchtunterlegtes Joghurt) gegenüber nicht geschichteten Produkten süsser schmecken, hat sich in ersten Untersuchungen bei Agroscope nur ansatzweise bestätigt. Eine Schichtung der Joghurtmasse mit unterschiedlichen Zuckerkonzentrationen wäre technologisch aufwändig. Zudem dürfte es aufgrund von Diffusionsprozessen schwierig sein, die inhomogene Zuckerverteilung während der Lagerdauer bis zum Verbrauchsdatum aufrecht zu erhalten. Ein möglicher Lösungsansatz wäre eine Verkapselung von Zucker, was jedoch das Produkt verteuert und wahrscheinlich kaum im Verhältnis zum erzielbaren Effekt auf die Süsswahrnehmung stehen würde.

Die Variation der Grösse von Fruchtstücken wäre eine weitere mögliche Strategie. In ersten Versuchen hat das Agroscope Panel die Süssintensität von Erdbeerjoghurts mit grösseren Erdbeerstücken mit Joghurts mit kleineren Fruchtstücken verglichen. Die Produkte mit grösseren Fruchtstücken wurden als süsser beurteilt. Gleichzeitig wurde vermerkt, dass die Fruchtstücke im Vergleich zum Rest der Masse sehr süss waren und einen kurzzeitigen «Aromaboost» erzeugten. Diese ersten Resultate lassen vermuten, dass die Grösse der Erdbeerstücke in der Fruchtmasse die Zuckerwahrnehmung verändern können. Es sind jedoch weitere Versuche nötig, um die Grösse des Effekts auf die Süsswahrnehmung verlässlich abschätzen zu können.

6 Strategie «Einsatz von Zuckerersatzstoffen»

In der Literatur sind zahlreiche Studien zum Einsatz von Zuckerersatzstoffen zu finden. Ziel des vorliegenden Projekts war es jedoch, die Zuckerkonzentration zu senken, ohne eine allfällig wahrgenommene Reduktion der Süssintensität zu kompensieren. Die Konsumentinnen und Konsumenten sollen sich langfristig an Produkte gewöhnen, welche weniger süss sind. Daher wurden im Rahmen dieses Projektes keine Versuche mit Zuckerersatzstoffen durchgeführt.

7 Schlussfolgerungen

In den Tabellen 9 bis 11 sind die vier im Bericht vorgestellten Strategien mit deren Vor- und Nachteilen zusammengefasst.

Die für Erdbeer-, Himbeer- und Moccajoghurt bestimmten Unterschiedsschwellenwerte waren, wie erwartet, abhängig vom Zuckerausgangsniveau (Tabelle 9). Die Resultate zeigten zudem, dass der Unterschiedsschwellenwert aroma-spezifisch ist. Das bedeutet, dass die Resultate, insbesondere die im Bericht erwähnten Konzentrationsangaben der Saccharosereduktion, nicht auf andere Joghurtaromen übertragen werden können, ohne weitere Abklärungen und Tests durchzuführen. Die Resultate geben aber einen Anhaltspunkt, in welcher Grössenordnung Saccharose reduziert werden kann, ohne dass Konsumenten den mit einer Reduktion verbundenen Verlust an Süssintensität mit hoher Wahrscheinlichkeit wahrnehmen. Abhängig von der Konsumhäufigkeit und der Markentreue gibt es jedoch immer Konsumenten, welche auch sehr kleine Veränderungen wahrnehmen werden.

Die Resultate des Konsumententests für Erdbeerjoghurts bestätigten die Annahme, dass eine wesentlich grössere «stille» Zuckerreduktion möglich ist, als der mit einem geschulten Panel bestimmte Unterschiedsschwellenwert. Im Vergleich dazu nahmen die Konsumenten bei Moccajoghurt kleinere Differenzen in der Zuckerkonzentration wahr. Dabei könnten auch Unterschiede in der Textur oder die Wechselwirkung von «süss» und «bitter» eine Rolle gespielt haben. Wichtig ist zu erwähnen, dass für die Beurteilung der Unterschiede zwischen Referenz und zuckerreduzierten Joghurts im Konsumententest nicht die gleiche Methode verwendet wurde wie für das objektive Panel.

Die bekannte Beobachtung, dass Zucker das Aroma erhöht und die Säurewahrnehmung reduziert, wurde im Konsumententest bestätigt. Sowohl Erdbeer- als auch Moccajoghurts mit 6% zugesetztem Zucker wurden häufig als zu wenig süss, zu sauer und als zu wenig aromaintensiv wahrgenommen. Bei tiefen Zuckerkonzentrationen wird es also zunehmend wichtig, den Aromaverlust zu kompensieren, wobei das Gleichgewicht zwischen Süsse, Säure und Aroma beachtet werden muss.

Es sind keine wissenschaftlichen Studien mit Joghurts bekannt, welche untersucht haben, wie gross die Zeitabstände zwischen den einzelnen Reduktionsschritten sein müssen und wie viele Reduktionsschritte möglich sind, bis sich der Verlust an Süssintensität und/oder mit einer Zuckerreduktion einhergehende Texturänderungen der Joghurts negativ auf die Konsumentenakzeptanz auswirken. In Schokolademilch mit einem Ausgangszuckergehalt von 7 bis 9% empfehlen Oliveira et al. (2016) zwei Reduktionsschritte innerhalb eines Jahres.

Ausschlaggebend für den Erfolg einer stufenweisen Reduktion ist eine flächendeckende Umsetzung einer schrittweisen Zuckerreduktion. Ansonsten können die Konsumenten problemlos auf nicht zuckerreduzierte Produkte anderer Produzenten umsteigen, wodurch der gewünschte Effekt einer langfristigen, dauerhaften Gewöhnung an tiefere Süssintensitäten nicht erreicht wird.

Um eine höhere Zuckerreduktion zu realisieren, ohne die wahrgenommene Süssintensität zu senken, könnte eine Kombination von verschiedenen sensorischen Interaktionen interessant sein. Ein Beispiel wäre eine Reduktion der Säure durch geeignete Starterkulturen zusammen mit einer Verstärkung der Süssintensität durch Zugabe von süssverstärkenden Aromen und einer Optimierung der Textur (Einsatz von Molkenprotein, Enzyme). Erste Versuche bei Agroscope haben aber gezeigt, dass der Effekt eines Aromazusatzes klein sein dürfte, insbesondere wenn das Aroma in Konzentrationsbereichen eingesetzt wird, welche unterhalb des Wahrnehmungs-/ Erkennungsschwellenwerts liegen. Die Wahl des Aromas sowie der zugesetzten Menge muss in jedem Fall für jede Joghurtsorte ausgetestet und gezielt untersucht werden.

Es wurde nicht untersucht, ob Kinder und Jugendliche auf eine Zuckerreduktion gleich reagieren wie Erwachsene. Diese Bevölkerungsgruppe müsste separat betrachtet werden.

Tabelle 9: Beurteilung der Strategien «Schrittweise Zuckerreduktion» und «Nutzen von sensorischen Interaktionen» bezüglich Effektgrösse, Kostenschätzung sowie Vor- und Nachteilen

	Methoden	Agroscope Resultate	Effektgrösse	Vorteile	Nachteile	Kostenschätzung	Bemerkungen
Schrittweise Zuckerreduktion	Stille (nicht wahrnehmbare) Reduktion	Grösse der Reduktionsschritte ist abhängig von Flavor, Zuckerausgangskonzentration und Matrix (Textur)	xx	<ul style="list-style-type: none"> geringfügige oder keine Rezepturanpassung Mehrheit der Konsumenten nimmt Zuckerreduktion nicht wahr --> kein Akzeptanzverlust langfristig Gewöhnung an tiefere Süssintensität / Zuckermenge 	<ul style="list-style-type: none"> Aromaverlust, sensitive Konsumenten nehmen auch sehr kleine Reduktionsschritte wahr Reduktionsschritte stark produktabhängig --> grosser Aufwand, da Schwellenwert produktspezifisch bestimmt werden muss 	x(x)	<ul style="list-style-type: none"> Zeitintervalle zwischen Reduktionsschritten unbekannt und schwierig zu bestimmen flächendeckende Umsetzung nötig Kosten für fundierte Abklärung Schwellenwert hoch
	Wahrnehmbare Reduktion		xxx	<ul style="list-style-type: none"> grosse Reduktionsschritte sind möglich Ausloben der Zuckerreduktion teilweise möglich langfristig Gewöhnung an tiefere Süssintensität / Zuckermenge 	<ul style="list-style-type: none"> Einfluss auf Akzeptanz schwierig voraussehbar allenfalls grössere Rezepturanpassung notwendig Verlust Marktanteile? 	x(x)	<ul style="list-style-type: none"> Flächendeckende Umsetzung nötig
Nutzen von sensorischen Interaktionen	süßverstärkende Aromen	Einsatz von Vanillearoma im Konzentrationsbereich unterhalb des Erkennungsschwellenwerts zeigte keinen Effekt auf die Süssintensität von Erdbeeryoghurt	(x)	<ul style="list-style-type: none"> Süßintensität bleibt gleich trotz Zuckerreduktion unterstützt Trend in Richtung natürliche Produkte, falls natürliche Aromen 	<ul style="list-style-type: none"> Effekt ist aromaspezifisch --> grosser Aufwand, da Rezeptur produktspezifisch angepasst werden muss Deklaration notwendig (in Abhängigkeit der zugesetzten Menge) 	x(x)	<ul style="list-style-type: none"> Kosten abhängig von Aromastoffen Umsetzung in Zusammenarbeit mit Grundstoffhersteller
	Farbe und Verpackung		(x)	<ul style="list-style-type: none"> geringfügige oder keine Rezepturanpassung kann schrittweise Reduktion ev. unterstützen 	<ul style="list-style-type: none"> keine Erfahrung nur wenige Hinweise aus Literatur Produkt könnte künstlich aussehen mehr Zusatzstoffe 	x	<ul style="list-style-type: none"> Kosten und Konsumentenakzeptanz abhängig vom Typ der Farbstoffe

x eher gering, xx mittel, xxx sehr hoch

Im Bereich der technologischen Anpassungen ist die Wahl einer «mild säuernden» Starterkultur eine wirkungsvolle Massnahme (Tabelle 10). Durch die fehlende Säure wird die Süßwahrnehmung verstärkt, wodurch der Zuckergehalt im Produkt gesenkt werden kann, ohne dass der Konsument das Joghurt als weniger süß empfindet. Auch der Zeitpunkt der Zugabe des Grundstoffes spielt eine Rolle. Je nach Stammzusammensetzung der Starterkultur baut diese Saccharose anstelle von Lactose ab. Wenn der Grundstoff also vor der Fermentation zugegeben wird, wie beispielsweise bei stichfesten Joghurts, kann dies im Vergleich zur gerührten Variante zu einem Süßverlust führen, da Saccharose eine höhere Süßkraft hat als Lactose.

Die Spaltung von Lactose durch das Enzym Lactase bringt eine leichte Verstärkung der Süßkraft. Dabei ist jedoch insbesondere auch der Kostenaspekt zu berücksichtigen. Andere technologische Ansätze wie Verkapselung und Schichtung sind sehr teuer und wahrscheinlich schwierig umsetzbar.

Im Rahmen des Projektes führte Agroscope keine Untersuchungen zum Einsatz von Zuckerersatzstoffen durch. In der Literatur sind jedoch zahlreiche Anwendungen auch in Milchprodukten zu finden (Tabelle 11).

Tabelle 10: Beurteilung der Strategie «Technologische Anpassungen» bezüglich Effektgrösse, Kostenschätzung sowie Vor- und Nachteilen

	Methoden	Agroscope Resultate	Effektgrösse	Vorteile	Nachteile	Kostenschätzung	Bemerkungen
Technologische Anpassungen	Einsatz von "mild säuernden" Starterkulturen	"mild säuernde" Kulturen bewirken eine höhere Süß- und Aromaintensität bei gleichbleibendem Saccharosegehalt	x(x)	<ul style="list-style-type: none"> einfach umsetzbar Saccharose-Zusatz kann ohne Verlust der Süßintensität reduziert werden 	<ul style="list-style-type: none"> sensorisches Profil von Produkt ändert --> Einfluss auf Konsumentenakzeptanz nicht voraussehbar 	x	<ul style="list-style-type: none"> viele Produzenten setzen bereits mild säuernde Kulturen ein
	Süss- / Aromaverstärkende Zusatzkulturen		(x)	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung der Süßintensität über natürliche Bildung von süßverstärkenden Verbindungen --> bis dato keine Deklaration notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> Prozessanpassungen notwendig 	x	<ul style="list-style-type: none"> zusätzliche Bakterienstämme führen zu Mehrkosten
	Herstellungsverfahren gerührt versus stichfest	bei Zugabe des Grundstoffes vor der Bebrütung (Herstellungsverfahren stichfest) wurde ein Teil der Saccharose anstelle der Lactose abgebaut	-	<ul style="list-style-type: none"> keine Rezepturänderung keine Zusatzkosten Saccharosegehalt in stichfestem Joghurt ist bereits etwas tiefer als angenommen 	<ul style="list-style-type: none"> nicht für Produkte ohne stückigen Grundstoff möglich Joghurt schmeckt weniger süß trotz hoher Zuckerzugabe 	x(x)	<ul style="list-style-type: none"> Einfluss der Zuckerzugabe während der Herstellung der weissen Masse wurde nicht überprüft, könnte aber einen Effekt haben
	Zugabe von Proteinen		?	<ul style="list-style-type: none"> Einsatz von milcheigenen Inhaltsstoffen Saccharosezusatz kann eventuell reduziert werden 	<ul style="list-style-type: none"> negative Veränderung der Textur in Abhängigkeit der Konzentration Off-flavours bei hohen Konzentrationen möglich 	x(x)	<ul style="list-style-type: none"> Beeinflussung pH-Wert durch Pufferkapazität der zusätzlichen Proteine
	Zugabe von Enzymen						
	Lactase		x	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung der Süßintensität Saccharosezusatz kann reduziert werden Joghurt kann als lactosefreies Produkt vermarktet werden, falls Lactose vollständig gespalten 	<ul style="list-style-type: none"> Anpassung Herstellungsprozess 	x(x)	
	Proteasen --> "süsse Peptide" / süßverstärkende Peptide		?	<ul style="list-style-type: none"> Peptide kommen in der Natur vor 	<ul style="list-style-type: none"> wenig Wissen vorhanden Prozessanpassungen notwendig 	?	
	Verteilung Zucker in Joghurtmatrix und Grösse der Fruchtstücke	Erste Versuche mit Verteilung Zucker sowie Testreihen mit unterschiedlichen Fruchtstückgrößen ergaben keine eindeutigen Resultate		<ul style="list-style-type: none"> keine anderen Süsstoffe notwendig Aromaverlust ist nicht zu erwarten, da basierend auf Konzept einer konzentrierten Freisetzung und Wahrnehmung von Süße und Flavor erfolgt (physiologischer Impuls) 	<ul style="list-style-type: none"> kann teuer sein (Verkapselung von Zucker, coating von Fruchtstücken) inhomogene Verteilung im Produkt ist schwierig, da es ein halbflüssiges Produkt ist und der Zucker sich aufgrund der Diffusion im Produkt verteilt 		<ul style="list-style-type: none"> Verkapselung von Zucker ist teuer und wurde von potentieller Partnerfirma, welche bereits Salz verkapselt, nicht als Projekt aufgenommen

x eher gering, xx mittel xxx sehr hoch

Tabelle 11: Beurteilung der Strategie «Zuckerersatzstoffe» bezüglich Effektgrösse, Kostenschätzung sowie Vor- und Nachteilen

	Methoden	Agroscope Resultate	Effektgrösse	Vorteile	Nachteile	Kostenschätzung	Bemerkungen
Zuckerersatzstoffe	Einsatz von Zuckerersatzstoffen		xxx	<ul style="list-style-type: none"> • Süssintensität bleibt gleich • hohe Süsskraft • Kalorienreduktion möglich • Erfahrung in Anwendung vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrnehmung durch sensitive Konsumenten • Reformulierung notwendig • Süssprofil unterscheidet sich von Saccharose --> unerwünschte Flavournoten • Konsumentenakzeptanz eingeschränkt • keine Gewöhnung an weniger süssen Geschmack 	xx	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten abhängig von Ersatzstoff

xx mittel, xxx sehr hoch

8 Empfehlungen

Basierend auf einer Literaturrecherche und Untersuchungen an Agroscope sind für eine Zuckerreduktion in Joghurt folgende Aspekte zu beachten:

- Es kann keine allgemein gültige Aussage zur Grösse des Unterschiedsschwellenwerts für Saccharose in Joghurt gemacht werden. Verschiedene Untersuchungen an Agroscope bestätigten Resultate aus der Literatur, dass der Unterschiedsschwellenwert von der Zuckerausgangskonzentration abhängig ist. Die im vorliegenden Projekt mit dem geschulten Panel bestimmten Unterschiedsschwellenwerte lagen zwischen 0.5 und 1 g Saccharose / 100g Joghurt je nach Ausgangskonzentration (6%, 9% und 12%) und Joghurtaroma (Erdbeer / Mocca / Himbeer). Dies bedeutet, dass zwischen 7.3% und 10.4% Saccharose bezogen auf das jeweilige Zuckerausgangsniveau reduziert werden kann, ohne dass eine Veränderung der Süssintensität wahrgenommen wird.
- Bei hohem Ausgangszuckergehalt ist eine grössere absolute Zuckerreduktion (g Zucker / 100g Joghurt) möglich. Für Erdbeerbjoghurt ist beispielsweise eine Reduktion von 1 g Saccharose bei 12% Zuckerausgangskonzentration, resp. 0.625 g Saccharose bei 6% Zuckerausgangskonzentration möglich.
- Die Resultate des Konsumententests deuten darauf hin, dass bei Erdbeerbjoghurts sogar eine Reduktion der Saccharose in der Höhe des doppelten Unterschiedsschwellenwerts möglich ist, ohne dass die Mehrheit der Konsumenten einen Unterschied wahrnimmt. Bezogen auf die drei Ausgangskonzentrationen von 6%, 9% und 12% Saccharose war demnach eine Reduktion von 12.5% (6% Zuckerniveau), 13.9% (9% Zuckerniveau) und von 16.7% (12% Zuckerniveau) möglich.
- Bei Moccabjoghurts hingegen kann eine Reduktion um den doppelten Schwellenwert nicht empfohlen werden, da die Konsumenten auf dem 9% und 12% Zuckerkonzentrationsniveau die um den doppelten Unterschiedsschwellenwert zuckerreduzierten Joghurts als signifikant unterschiedlich wahrgenommen haben.
- Da der Unterschiedsschwellenwert aromaspezifisch ist, kann er nicht auf andere Joghurtaromen übertragen werden. Das bedeutet, dass für jedes Aroma und jedes Zuckerniveau ein Schwellenwert bestimmt werden muss. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die Konsumenten die Zuckerreduktion wahrnehmen. Ansatzweise kann der für eine spezifische Zucker-/Aromakombination ermittelte Schwellenwert aber als Basis für die Unterschiedsschwellenwert-Bestimmung von vergleichbaren Aroma-Zuckerkombinationen verwendet werden.
- Bei sehr tiefen Zuckerkonzentrationen (4-6%) müssen Strategien entwickelt werden, um die damit verbundene Reduktion der wahrgenommenen Aromaintensität zu kompensieren. Mögliche Massnahmen sind:
 - Einsatz von mildsäuernden Starterkulturen
 - Einsatz von spezifischen mikrobiellen Kulturen, beispielsweise eine Kombination von verschiedenen Stämmen, die süssverstärkende Stoffwechselprodukte bilden
 - Einsatz von Lactase zur Spaltung von Laktose in Glucose und Galactose
 - Einsatz von Aromen (z.B. Testen von Vanille-Konzentrationen über den Schwellenwert) und/oder Geschmacksverstärker und/oder Aromen mit modifizierenden Eigenschaften
 - Beeinflussung der Textur (z.B. Proteine, Enzyme)
 - Einsatz von süssen Aminosäuren und Peptiden
 - Kombinationen von verschiedenen Massnahmen
- Die Umsetzung der schrittweisen Zuckerreduktion muss flächendeckend über die ganze Branche erfolgen, um das Ziel eines verminderten Zuckerkonsums zu erreichen.
- Es sind keine wissenschaftlichen Studien mit Joghurts bekannt, welche untersucht haben, wie gross die Zeitabstände zwischen den einzelnen Reduktionsschritten sein müssen und wie viele Reduktionsschritte möglich sind, bis sich der Verlust an Süssintensität und/oder mit einer Zuckerreduktion einhergehende Texturänderungen der Joghurts negativ auf die Konsumentenakzeptanz auswirken. Für Schokoladenmilch mit ca. 7 bis 9% Zuckergehalte wurden zwei Reduktionsschritte von je 6.7% Zucker in einem Jahr vorgeschlagen (Oliveira et al. 2016).

9 Literatur

- Alcaire, F., L. Antunez, L. Vidal, A. Gimenez, and G. Ares. 2017. 'Aroma-related cross-modal interactions for sugar reduction in milk desserts: Influence on consumer perception', *Food Res Int*, 97: 45-50.
- Bertelsen, A. S., Y. Zeng, L. A. Mielby, Y. X. Sun, D. V. Byrne, and U. Kidmose. 2021. 'Cross-modal Effect of Vanilla Aroma on Sweetness of Different Sweeteners among Chinese and Danish Consumers', *Food Quality and Preference*, 87.
- BLV. 2019. 'Zugesetzter Zucker in Joghurt und Frühstückscerealien auf dem Schweizer Markt'. <http://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/ernaehrung/produktzusammensetzung/zuckerreduktion/joghurts-und-fruehstueckscerealien.html>.
- Chatelan, A., P. Gaillard, M. Kruseman, and A. Keller. 2019. 'Total, added, and free sugar consumption and adherence to guidelines in Switzerland: Results from the first national nutrition survey menuCH', *Nutrients*, 11.
- Chen, C., S. Zhao, G. Hao, H. Yu, H. Tian, and G. Zhao. 2017. 'Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review', *International Journal of Food Properties*, 20: S316-S330.
- Chollet, M., D. Gille, A. Schmid, B. Walther, and P. Piccinali. 2013. 'Acceptance of sugar reduction in flavored yogurt', *Journal of Dairy Science*, 96: 5501-11.
- Chua, D., H. C. Deeth, H. E. Oh, and N. Bansal. 2017. 'Altering the casein to whey protein ratio to enhance structural characteristics and release of major yoghurt volatile aroma compounds of non-fat stirred yoghurts', *International Dairy Journal*, 74: 63-73.
- Donato, L., and F. Guyomarc'h. 2009. 'Formation and properties of the whey protein/k-casein complexes in heated skim milk – A review', *Dairy Science and Technology*, 89: 3-29.
- Ekinci, F.Y., and M. Gurel. 2008. 'Effect of using propionic acid bacteria as an adjunct culture in yogurt production', *Journal of Dairy Science*, 91: 892-99.
- Gouin, S. 2004. 'Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends', *Trends in Food Science & Technology*, 15: 330-47.
- Hemantha Kumar, H.R., P. V. Monteiro, G. S. Bhat, and H.G. Ramachandra Rao. 2001. 'Effects of enzymatic modification of milk proteins on flavour and textural qualities of set yoghurt', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 42-45.
- Innocente, N., M. Biasutti, F. Rita, R. Brichese, G. Comi, and L. Iacumin. 2016. 'Effect of indigenous *Lactobacillus rhamnosus* isolated from bovine milk on microbiological characteristics and aromatic profile of traditional yogurt', *LWT - Food Science and Technology*, 66: 158-64.
- Jørgensen, C. E., R. K. Abrahamsen, E. Rukke, T. K. Hoffmann, A. Johansen, and S. B. Skeie. 2019. 'Processing of high-protein yoghurt – A review', *International Dairy Journal*, 88: 42-59.
- Labbe, D., L. Damevin, C. Vaccher, C. Morgenegg, and N. Martin. 2006. 'Modulation of perceived taste by olfaction in familiar and unfamiliar beverages', *Food Quality and Preference*, 17: 582-89.
- Lavin, J. G., and H. T. Lawless. 1998. 'Effects of color and odor on judgments of sweetness among children and adults', *Food Quality and Preference*, 9: 283-89.
- Lê, K. A., F. Robin, and O. Roger. 2016. 'Sugar replacers: from technological challenges to consequences on health', *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 19: 310-15.
- Li, X. E., K. Lopetcharat, Y. Qiu, and M. A. Drake. 2015. 'Sugar reduction of skim chocolate milk and viability of alternative sweetening through lactose hydrolysis', *Journal of Dairy Science*, 98: 1455-66.
- McCain, H. R., S. Kaliappan, and M. A. Drake. 2018. 'Invited review: Sugar reduction in dairy products', *J Dairy Sci*, 101: 8619-40.
- Mesurole, J., A. Saint-Eve, I. Deleris, and I. Souchon. 2013. 'Impact of fruit piece structure in yogurts on the dynamics of aroma release and sensory perception', *Molecules*, 18: 6035-56.
- Miele, N. A., E. K. Cabisidan, G. Blaiotta, S. Leone, P. Masi, R. Di Monaco, and S. Cavella. 2017. 'Rheological and sensory performance of a protein-based sweetener (MNEI), sucrose, and aspartame in yogurt', *Journal of Dairy Science*, 100: 9539-50.
- Miele, N. A., S. Leone, E. K. Cabisidan, D. Picone, R. Di Monaco, and S. Cavella. 2019. 'Temporal sweetness profile of the emerging sweetener MNEI in stirred yogurt', *Journal of Sensory Studies*.

- Mosca, A. C., F. van de Velde, Johannes H. F. Bult, Martinus A. J. S. van Boekel, and M. Stieger. 2012. 'Effect of gel texture and sucrose spatial distribution on sweetness perception', *LWT - Food Science and Technology*, 46: 183-88.
- Narumi, T., S. Nishizaka, T. Kajinami, T. Tanikawa, and M. Hirose. 2011. "Augmented reality flavors: gustatory display based on edible marker and cross-modal interaction." In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, 93-102. ACM.
- Oliveira, D., L. Antúnez, A. Giménez, J.C. Castura, R. Deliza, and G. Ares. 2015. 'Sugar reduction in probiotic chocolate-flavored milk: Impact on dynamic sensory profile and liking', *Food Research International*, 75: 148-56.
- Oliveira, D., J. Galhardo, G. Ares, L. M. Cunha, and R. Deliza. 2018. 'Sugar reduction in fruit nectars: Impact on consumers' sensory and hedonic perception', *Food Research International*, 107: 371-77.
- Oliveira, D., F. Reis, R. Deliza, A. Rosenthal, A. Giménez, and G. Ares. 2016. 'Difference thresholds for added sugar in chocolate-flavoured milk: Recommendations for gradual sugar reduction', *Food Research International*, 89: 448-53.
- Pineli, L., L.A. Aguiar, A. Fiusa, R. Botelho, R.P. Zandonadi, and L. Melo. 2016. 'Sensory impact of lowering sugar content in orange nectars to design healthier, low-sugar industrialized beverages', *Appetite*, 96: 239-44.
- Routray, W., and H. N. Mishra. 2011. 'Scientific and Technical Aspects of Yogurt Aroma and Taste: A Review', *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10: 208-20.
- Saint-Eve, A., C. Lévy, N. Martin, and I. Souchon. 2006. 'Influence of proteins on the perception of flavored stirred yogurts', *Journal of Dairy Science*, 89: 922-33.
- Smith, T. J., R. E. Campbell, Y. Jo, and M. A. Drake. 2016. 'Flavor and stability of milk proteins', *J Dairy Sci*, 99: 4325-46.
- Tian, H., Y. Shi, Y. Zhang, H. Yu, H. Mu, and C. Chen. 2019. 'Screening of aroma-producing lactic acid bacteria and their application in improving the aromatic profile of yogurt', *Journal of Food Biochemistry*, 0: e12837.
- Torres, I. C., J. M. Amigo, J. C. Knudsen, A. Tolkach, B. Ø. Mikkelsen, and R. Ipsen. 2018. 'Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer', *International Dairy Journal*, 81: 62-71.
- Tournier, C., C. Sulmont-Rossé, E. Sémon, A. Vignon, S. Issanchou, and E. Guichard. 2009. 'A study on texture-taste-aroma interactions: Physico-chemical and cognitive mechanisms', *International Dairy Journal*, 19: 450-58.
- Valentin, D., C. Chrea, and D. H. Nguyen. 2006. "Taste-odour interactions in sweet taste perception." In, edited by CNRS CESG, Dijon, France and Chemical Engineering Faculty, University of Technology, HCMC, Vietnam.
- Wagoner, T. B., H. R. McCain, E. A. Foegeding, and M. A. Drake. 2018. 'Food texture and sweetener type modify sweetness perception in whey protein-based model foods', *Journal of Sensory Studies*, 33.
- Wang, G., J. E. Hayes, G. Ziegler, R. J. Roberts, and H. Hopfer. 2018. 'Dose-Response Relationships for Vanilla Flavor and Sucrose in Skim Milk: Evidence of Synergy', *Beverages*, 4.
- WHO. 2015. 'Guideline: Sugars intake for adults and children'.
- Wong, J. M., and M. Kern. 2011. 'Miracle fruit improves sweetness of a low-calorie dessert without promoting subsequent energy compensation', *Appetite*, 56: 163-66.
- Zhao, L. L., X. L. Wang, Q. Tian, and X. Y. Mao. 2016. 'Effect of casein to whey protein ratios on the protein interactions and coagulation properties of low-fat yogurt', *J Dairy Sci*, 99: 7768-75.