

1 Einleitung

Süßungsmittel werden in vielen Lebensmitteln eingesetzt, nicht nur um einen süßen Geschmack zu erzeugen, sondern auch um die physikalisch-chemischen Eigenschaften (z.B. Textur) zu verbessern. Sie beeinflussen wichtige Eigenschaften wie Viskosität und Wasseraktivität und damit die mechanische und mikrobielle Stabilität der Produkte. Da Süßungsmittel gerade in wasserarmen Süßwaren den wichtigsten Bestandteil bilden, bestimmen sie deren physikalisch-chemische und technologische Eigenschaften in hohem Maße.

Saccharide können im festem Zustand sowohl kristallin als auch amorph vorliegen. Im kristallinen Zustand sind die Atome, Ionen oder Moleküle nach einem bestimmten Bauplan, dem Kristallgitter, regelmäßig angeordnet („Fernordnung“). Viele organische Substanzen treten in unterschiedlichen polymorphen Phasen auf, die sich in der Anordnung der Moleküle im Kristallgitter und/oder in der Orientierung der Moleküle oder Molekülteile auf den Gitterplätzen unterscheiden. Außerdem gibt es sog. Pseudopolymorphe, d.h. Solvate, die sich durch ihren Gehalt an in das Kristallgitter eingebauten Lösemittelmolekülen unterscheiden. Solche mit eingebauten Wassermolekülen nennt man Hydrate. Amorphe Feststoffe können als ordnungslos erstarrte Körper mit einer „Nahordnung“ betrachtet werden, wobei die Moleküle in einer Zufallsanordnung vorliegen, wie sie auch ähnlich im flüssigen Zustand auftritt. Nach ihren wichtigsten Vertretern werden amorphe Stoffe auch häufig als Gläser bezeichnet. Zucker liegt in Kandis kristallin und in Hartkaramellen bzw. Zuckerwatte amorph vor.

Die verschiedenen Phasen eines Stoffes unterscheiden sich in ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften wie Dichte, Härte, Schmelztemperatur, Löslichkeit und Lösungswärme. Manche dieser verschiedenen Phasen sind nur unter bestimmten Bedingungen stabil. Einige kristalline Phasen sind mechanisch oder thermisch nicht stabil. So wandelt sich z.B. die instabile Phase von Erythrit schon beim Mörsern oder bei Erschütterungen wieder in die stabile Phase um. Hydrate geben häufig beim Erwärmen ihr Kristallwasser ab. Amorphe Kohlenhydrate sind hygroskopisch, was (abhängig von der relativen Feuchte) zu einer Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Umgebung führt. So entstehen übersättigte Lösungen, aus denen die jeweiligen Kohlenhydrate auskristallisieren. Die Kinetik dieser Rekristallisation sollte für einige Zucker und Zuckeraustauschstoffe bei verschiedenen Temperaturen systematisch untersucht werden, denn sie bestimmt die Lagerungseigenschaften der amorphen Phase (z.B. Hartkaramellen).

Je nach Feststoffmodifikation kann ein und dieselbe chemische Substanz bei ihrem Auflöseprozess unterschiedliche Wärmetönungen verursachen. So wird für den Zuckeraustauschstoff Lactit in seiner kristallinen Modifikation beim Lösen in Wasser ein Energiebetrag von 9.55 kJ/mol benötigt (endothermer Vorgang), während bei dem exothermen Lösevorgang der amorphen Phase 12.89 kJ/mol frei werden. Daher ist es bei der Herstellung von Süßwaren wichtig, die Süßungsmittel in der richtigen

Phase einzusetzen, damit es beim Verzehr nicht zu unerwünschten Wärmetönungen kommt. Aus einem vollständigen Datensatz der Lösungsenthalpien lassen sich außerdem die energetische Abfolge und die relative Stabilität der verschiedenen Phasen genau angeben.

Vielfach kommen Zucker und Zuckeraustauschstoffe als Gemisch oder Gemenge verschiedener Phasen vor. Für die Praxis ist es wichtig, den Anteil der einzelnen Phasen -besonders der amorphen- zu ermitteln. Dazu sind in der Literatur schon einige Methoden beschrieben, weitere sollten erprobt und miteinander verglichen werden.

Es sollten die kristallinen und amorphen Phasen der Zucker Glucose, Saccharose und Lactose sowie der Zuckeraustauschstoffe Erythrit, Xylit, Mannit, Sorbit, Lactit, Maltit und Isomalt untersucht werden.

2 Theorie

2.1 Unterteilung der Süßungsmittel

Um Lebensmitteln einen süßen Geschmack zu geben, werden Süßungsmittel eingesetzt. Diese unterteilen sich in drei Klassen:

- Zuckerstoffe, z.B. Glucose, Fructose, Saccharose und Maltose, kommen in der Natur vor oder werden durch Spaltung von Naturprodukten erhalten. Ihr physiologischer Brennwert entspricht dem chemischen Brennwert, daher dienen sie in hohem Maße der Energiezufuhr bei der Nahrungsaufnahme. Außer dem süßen Geschmack geben sie den Lebensmitteln auch „Körper“ und Textur und beeinflussen die Wasseraktivität und damit die Haltbarkeit.
- Zuckeraustauschstoffe werden häufig aus Zuckerstoffen durch Hydrierung hergestellt. Sie haben einen verminderten Brennwert, was in Diät-Nahrungsmitteln erwünscht ist. Da sie durch die Bakterien in der Mundhöhle nicht verstoffwechselt werden, sind sie zahnschonend. Auch sie geben den Nahrungsmitteln Körper und Textur, haben aber meist eine geringere Süßkraft als die Zuckerstoffe. Diese kann manchmal erwünscht sein, damit die Aromen besser zur Geltung kommen. Beim Mischen mehrerer Zuckeraustauschstoffe ergeben sich synergistische Effekte, so dass meist auf ein Aufsüßen mit Süßstoffen verzichtet werden kann. Im Gegensatz zu Glucose, Saccharose und Maltose erhöhen die meisten Zuckeraustauschstoffe (Ausnahme: Maltit) den Glucose-Spiegel des Blutes nicht und sind somit für Diabetiker geeignet.
- Süßstoffe haben eine sehr viel höhere Süßkraft als Zuckerstoffe. Sie werden daher nur in ganz geringer Menge zugesetzt und geben den Lebensmitteln weder Körper noch Textur. Da sie ganz andere Strukturen haben als die Zucker- und Zuckeraustauschstoffe, werden sie vom Organismus nicht metabolisiert und haben keinen physiologischen Brennwert.

Zucker, Zuckeraustauschstoffe und Süßstoffe unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Strukturen deutlich in ihrer Süßkraft, die außer von der Substanz auch von Temperatur, Konzentration und pH-Wert abhängt. Zuckeraustauschstoffe sind im allgemeinen weniger süß als Zucker, Süßstoffe um etwa das Hundertfache süßer. Die Süßkraft wird gewöhnlich durch sensorischen Vergleich mit Saccharose-lösungen verschiedener Konzentration ermittelt (Isosüße). In Tabelle 2.1 sind die Werte für einige Zucker und Zuckeraustauschstoffe zusammengestellt.

Tabelle 2.1: Süßkraft einiger Zucker und Zuckeraustauschstoffe in 10 %-iger wässriger Lösung

Substanz	Süßkraft	Literatur
Saccharose	100	[Bel82]
D-Fructose	114	[Bel82]
D-Glucose	69	[Bel82]
Lactose	39	[Bel82]
Erythrit	60 ... 70	[Röp93]
Xylit	102	[Bel82]
Mannit	69	[Bel82]
Sorbit	51	[Bel82]
Lactit	42	[Col93]
Maltit	60	[Lic82]
Isomalt	45	[Lic82]

In kalorienreduzierten, zahnschonenden und Diabetikernahrungsmitteln werden heutzutage die Zuckerstoffe durch Zuckeraustauschstoffe ersetzt. Dabei muss häufig die Rezeptur verändert werden, weil sich die Zuckeraustauschstoffe in ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften von den Zuckerstoffen unterscheiden, sonst kristallisiert z.B. der Zuckeraustauschstoff wegen seiner geringeren Löslichkeit aus der Diabetikermarmelade aus. Für die Lebensmittelherstellung sind besonders die Eigenschaften Löslichkeit, Lösungswärme, Glasbildung, Schmelzverhalten und Rekristallisation von Bedeutung.

Viele Zucker und Zuckeraustauschstoffe können in verschiedenen polymorphen und amorphen Phasen vorliegen. Obwohl die Substanzen schon lange bekannt und wegen ihrer wichtigen Funktion in der Lebensmittel- und Arzneimittelherstellung gut untersucht sind, besteht bei vielen physikalisch-chemischen Daten in der Literatur Unklarheit darüber, auf welche Phase sich diese Daten beziehen. Daher mussten die aus der Literatur bekannten Phasen zunächst hergestellt, charakterisiert und auf ihre Stabilität (Schmelztemperaturen, Wasserabgabe der Hydrate und Rekristallisation der amorphen Phasen) untersucht werden.

Als kristalline Phasen wurden die Zucker und Zuckeraustauschstoffe teils in ihrer kommerziellen Form eingesetzt, teils aus Wasser oder organischen Lösemitteln umkristallisiert oder aus der Schmelze kristallisiert.

Die kristallinen Phasen wurden mittels Dynamischer Differenz-Kalorimetrie durch ihre Schmelztemperaturen und -enthalpien charakterisiert.