

Bernburg
Dessau
Köthen



Hochschule Anhalt
Anhalt University of Applied Sciences

Thema:

**Entwicklung und Vergleich von Methoden zur Bestimmung des DE-
Wertes von Zuckersirupen**

Bachelorarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

Kevin Flammig

Matrikelnummer: 4053031

Studiengang: Lebensmitteltechnologie

1. Gutachter: Prof. Dr. Renate Richter

2. Gutachter: Prof. Dr. Thomas Kleinschmidt

Datum der Abgabe: 07.04.2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	iii
Abkürzungsverzeichnis	v
1 Problem- und Zielstellung	1
1.1 Ziel der Bachelorarbeit	1
1.2 Aufbau und Gliederung	2
2 Zucker und Süßungsmittel in der Lebensmittelindustrie	3
2.1 Beispiele für Zucker und Süßungsmittel	3
2.2 Honig.....	4
2.3 Sirupe und Dicksäfte	4
2.4 Zuckerersatzstoffe	6
2.5 Zucker.....	6
2.5.1 Chemische Einteilung der Kohlenhydrate.....	7
2.5.2 Das Handelsprodukt Saccharose	8
2.5.3 Verwendung in der Lebensmittelindustrie.....	8
3 Qualitätsmerkmale und Eigenschaften von Saccharose	10
3.1 Qualitätsparameter für Weißzucker und Raffinade	10
3.2 Technologisch relevante Eigenschaften	12
3.2.1 Süßkraft und Süßqualität	12
3.2.2 Löslichkeit.....	15
3.2.3 Mikrobiologische Eigenschaften	17
4 Maisstärke als Quelle für Stärkesirupe	18
4.1 Stärkeherstellung aus Mais	18
4.1.1 Verfahrensstufen der Maisstärkegewinnung	18
4.1.2 Herstellung von Stärkesirupen	20
4.1.3 Gesundheitliche Risiken.....	22
4.2 Dextrose-Äquivalent	22
4.2.1 Definition.....	22
4.2.2 Hydrolysegrad	23
5 Experimenteller Teil	25
5.1 Methoden zur Bestimmung von Sacchariden	25
5.1.1 Lane-Eynon	26
5.1.2 Luff-Schoorl	27
5.1.3. HPLC	28
5.2 Material	28
5.2.1 Geräte und Chemikalien für Versuchsdurchführung nach Lane-Eynon	28

5.2.2 Geräte und Chemikalien für Versuchsdurchführung nach Luff-Schoorl	29
5.2.3 Versuchsbedingungen HPLC.....	29
5.3 Durchführung.....	29
5.3.1 Versuchsdurchführung Lane-Eynon	29
5.3.2 Versuchsdurchführung Luff-Schoorl	30
5.3.3 Versuchsdurchführung HPLC	30
5.4 Ergebnisse und Diskussion	33
5.4.1 Auswertung Messergebnisse Lane-Eynon	33
5.4.2 Auswertung Messergebnisse Luff-Schoorl	34
5.4.3 Auswertung Messergebnisse HPLC	35
5.4.4 Korrelation und Bestimmtheitsmaß.....	38
5.4.5 Fehlerbetrachtung der experimentellen Analyse	41
5.4.6 Einfluss der Zuckerzusammensetzung auf Dichte und Viskosität	45
5.4.6.1 Dichte.....	45
5.4.6.2 Viskosität	47
6 Fazit und Ausblick	51
Anhang	vi
Literaturverzeichnis	vii
Eidesstattliche Erklärung	x

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Beispiele für Zucker und Süßungsmittel.....	3
Abbildung 2: Klassifizierung Sirup und Dicksaft	5
Abbildung 3: Übersicht Einteilung Kohlenhydrate	7
Abbildung 4: Qualitätsparameter	10
Abbildung 5: Löslichkeitsdiagramm von Saccharose-Invertzucker-Lösungen	16
Abbildung 6: Übersättigungsgebiete wässriger Saccharoselösungen	17
Abbildung 7: Verfahrensstufen.....	19
Abbildung 8: Fließschema zur Stärkeherstellung aus Mais	20
Abbildung 9: Herstellung von High Fructose Corn Syrup (HFCS)	21
Abbildung 10: Methoden zur Bestimmung von Sacchariden	25
Abbildung 11: DE-Wert Bestimmung nach Lane-Eynon	26
Abbildung 12: Ring- und Ketoform Glucose C ₆ H ₁₂ O ₆	27
Abbildung 13: Prinzip eines Säulenchromatographen	31
Abbildung 14: Chromatogramm und seine Kenngrößen.....	32
Abbildung 15: Peakfläche bzw. Peakhöhe für die quantitative Analyse	33
Abbildung 16: Chromatogramm Standardlösung	36
Abbildung 17: Kalibriergerade Glucose M1	37
Abbildung 18: Korrelation der DE-Werte versch. Zuckersirupe analysiert mit Lane-Eynon und Luff-Schoorl.....	39
Abbildung 19: Korrelation der DE-Werte versch. Zuckersirupe analysiert mit Lane-Eynon und HPLC.....	40
Abbildung 20: Vergleich der analysierten DE-Werte mit verschiedenen Analysemethoden	41
Abbildung 21: Zusammenhang DE-Werte und Dichte	46
Abbildung 22: Verlauf der Viskositätsmessung an 15 Messpunkten	48
Abbildung 23: Viskosität und Trockensubstanz.....	49
Tabelle 1: Handelsprodukte der Saccharose	8
Tabelle 2: Funktionen des Zuckers in ausgewählten Lebensmitteln	9
Tabelle 3: Gehalt an Schwermetallen.....	11
Tabelle 4: Spezifikation von Weißzucker.....	12
Tabelle 5: Merkmale Glucosesirup gemäß Richtlinie 2001/111/EG	12
Tabelle 6: Relative Süßkraft ausgewählter Süßungsmittel	13
Tabelle 7: Sensorische Testverfahren	13
Tabelle 8: Süßintensität	14
Tabelle 9: Süßkraft.....	14
Tabelle 10: Sensorische Geschmackseigenschaften.....	15
Tabelle 11: Durchschnittliche Zusammensetzung von Stärkehydrolysaten	23
Tabelle 12: Hydrolysegrad	24
Tabelle 13: Geräte, Hilfsmittel, Chemikalien für Versuchsdurchführung Lane-Eynon	28
Tabelle 14: Geräte, Hilfsmittel, Chemikalien für Versuchsdurchführung Luff-Schoorl	29
Tabelle 15: Versuchsbedingungen HPLC	29
Tabelle 16: Experimentelle Daten zur DE-Wert-Bestimmung nach Lane-Eynon (M1-M7)	34
Tabelle 17: Experimentelle Daten zur DE-Wert-Bestimmung nach Luff-Schoorl (M1).....	34
Tabelle 18: DE-Werte nach Luff-Schoorl (M1-M7)	35
Tabelle 19: Retentionszeiten Standardlösung.....	36
Tabelle 20: Werte Chromatogramm M1	37
Tabelle 21: Ermittlung DE-Wert mittels HPLC am Muster M1	38

Tabelle 22: Übersicht DE-Werte Lane-Eynon, Luff-Schoorl, HPLC (M1 – M7)	41
Tabelle 23: Statistische Fehlerrechnung	42
Tabelle 24: Fehlerrechnung M1	42
Tabelle 25: Werte für Dichte, DE-Werte und Werte für Trockensubstanz	46
Tabelle 26: Zusammenhang Viskosität und Trockensubstanz	48

Abkürzungsverzeichnis

BMEL	Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
DE	Dextrose-Äquivalent
EG	Europäische Gemeinschaft
EU	Europäische Union
HFCS	High Fructose Corn Syrup
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
ICUMSA	International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis
Inaro	Informationssystem für nachwachsende Rohstoffe
LCI	Lebensmittelchemisches Institut
transGen	Transparenz Gentechnik
TS	Trockensubstanz
VdZ	Verein der Zuckerindustrie e.V.
vTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut - Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
WVZ	Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V.

1 Problem- und Zielstellung

1.1 Ziel der Bachelorarbeit

Laut Angaben der Wirtschaftlichen Vereinigung Zucker (WVZ) und dem Verein der Zuckerindustrie (VdZ), denen Zucker herstellende Unternehmen, Rübenbauer und Unternehmen des Zuckerimports und –exports angehören, wurden 2013/14 in Deutschland 2,901 Mio. t Zucker umgesetzt.[1] In den Lebensmittelhandel gingen davon rund 12 Prozent, wobei Zucker dort als Haushaltszucker u. a. in Form von Raffinade sowie Würfel- und Puderzucker erhältlich war.[1] 58,6 Prozent wurden in der verarbeitenden Lebensmittelindustrie zur Herstellung von Getränken (17,9 %), Süßwaren (17,3 %), Backwaren (14,3 %), Brotaufstrichen und Obstkonserven (5,0 %) sowie Milchprodukten und Speiseeis (4,1 %) verwendet.[1]

In der Lebensmittelindustrie wird eine Vielzahl an Zucker und Zuckeralternativen eingesetzt. Es gibt heutzutage kaum ein verarbeitetes Lebensmittel, das ohne Zucker und Zuckeralternativen auskommt. So findet sich Zucker in Süßigkeiten, Backwaren, Getränken, Milch- und Tiefkühlprodukten (z. B. Pizza). Zucker und Zuckeralternativen verleihen Lebensmitteln einen süßen Geschmack. Darüber hinaus weisen sie wichtige funktionelle Eigenschaften auf, die somit ihren Einsatz in der Lebensmittelindustrie unabdingbar machen. So können sie Lebensmitteln ein bestimmtes Aussehen (z. B. Braunfärbung) verleihen oder zur Haltbarkeit selbiger entscheidend beitragen. Hierbei wird nicht nur Zucker in kristalliner Form, sondern auch flüssige Zuckeralternativen wie der Industriezucker Isoglucose eingesetzt.

Dieser aus Mais und durch eine enzymatische Stärkehydrolyse gewonnene Industriezucker, wird schon seit Jahren in den USA für die Herstellung von Limonaden und Erfrischungsgetränken genutzt. Der Einsatz von Isoglucose ist in der Europäischen Union bisher durch eine Quotenregelung der EU-Zuckermarktverordnung begrenzt, die bis zum 30. September 2017 gültig bleibt. Danach fallen auch die Quotenregelungen weg, wobei hiervon auch die Isoglucosequote betroffen ist.[2]

Eine im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMEL) vom Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) durchgeführte Analyse zur Reform der Zuckermarktordnung schlussfolgert, dass eine Substitution von Zucker durch Isoglucose stattfinden wird.[2] In Amerika spielt Isoglucose eine große Rolle, da der Industriezucker als Substitut für Zucker genutzt wird.[2] Im Jahr 2010 lag dessen Verbrauch dort bei ca. 40 Prozent.[2] Durch die Abschaffung der Produktionsquoten ist auch eine Produktionsausdehnung für Isoglucose in der EU möglich.[2] Besonders in der Getränkeindustrie, die nahezu ein Fünftel (Wirtschaftsjahr 2013/14, Verbrauch 17,9 %) des

gesamten Zuckerverbrauchs ausmacht, kann ein größerer Anteil Isoglucose verarbeitet werden.[2]

In der Bachelorarbeit werden verschiedene Zucker und Zuckeralternativen in Hinblick auf ihre Bedeutung für die Lebensmitteltechnologie und –industrie betrachtet, wobei insbesondere dem Industriesirup Isoglucose besondere Beachtung geschenkt wird. Die theoretischen Grundlagen werden durch experimentelle Untersuchungen gestützt. Hierbei werden Stärkesirupe, die die Cargill AG (Standort: Barby) bereitstellte und unbekannte Sirupe, mittels verschiedener Analyseverfahren untersucht.

Ziel ist es, die Standardmethode nach Lane-Eynon, die zur Bestimmung von DE-Werten dient, mit Alternativmethoden wie Luff-Schoorl und der chromatographischen Bestimmungsmethode HPLC (High Performance Liquid Chromatography) zu vergleichen. Das Dextrose-Äquivalent (DE) ist eine Messgröße, die den Gehalt an reduzierenden Zuckern in Lösungen angibt. Eine Auswertung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse wird erfolgen, wobei auch eine statistische Fehlerbetrachtung durchgeführt wird.

1.2 Aufbau und Gliederung

Nach einer Heranleitung an das Thema wird zunächst ein Überblick über Zucker und Zuckeralternativen gegeben sowie deren Bedeutung für die Lebensmittelindustrie erläutert. Anschließend wird sich mit der Definition von Zucker auseinandergesetzt. Zudem werden Einsatzbereiche des Zuckers in der Lebensmittelindustrie aufgezeigt. Eine Beurteilung der Qualität von Zucker ist möglich, da dieser verschiedene Qualitätsmerkmale aufweist. Die Parameter, die Löslichkeit sowie das mikrobiologische Verhalten von Zucker werden beschrieben.

In Europa ist der Einsatz von Isoglucose bisher beschränkt, in den USA hingegen ist deren Einsatz in der Lebensmittelindustrie recht bedeutend. Mit dem Wegfall der EU-Zuckermarktverordnung wird die Isoglucose, einen Teil des bisher verwendeten Zuckers in der Lebensmittelindustrie substituieren. Daher wird sich auch der Thematik Maisstärke gewidmet. Es wird deren industrielle Bedeutung herausgestellt als auch die Verfahrensstufen zur Gewinnung der Maisstärke durch die enzymatische Stärkehydrolyse aufgezeigt.

Es schließt sich die Auswertung des experimentellen Teils an. Es werden die angewendeten Messmethoden vorgestellt und die Durchführung der Versuche detailliert beschrieben. Des Weiteren werden die Untersuchungsergebnisse auch mittels statistischer Analysen ausgewertet.

2 Zucker und Süßungsmittel in der Lebensmittelindustrie

2.1 Beispiele für Zucker und Süßungsmittel

Zucker und Süßungsmittel dienen vorrangig dazu, Lebensmitteln einen süßen Geschmack zu verleihen. Es gibt eine Reihe an Süßungsmittel, die in der Lebensmittelindustrie von mehr oder weniger großer Bedeutung sind (vgl. Abb. 1). In der Lebensmittelindustrie werden so u. a. Zucker, Sirupe und Zuckerersatzstoffe eingesetzt.

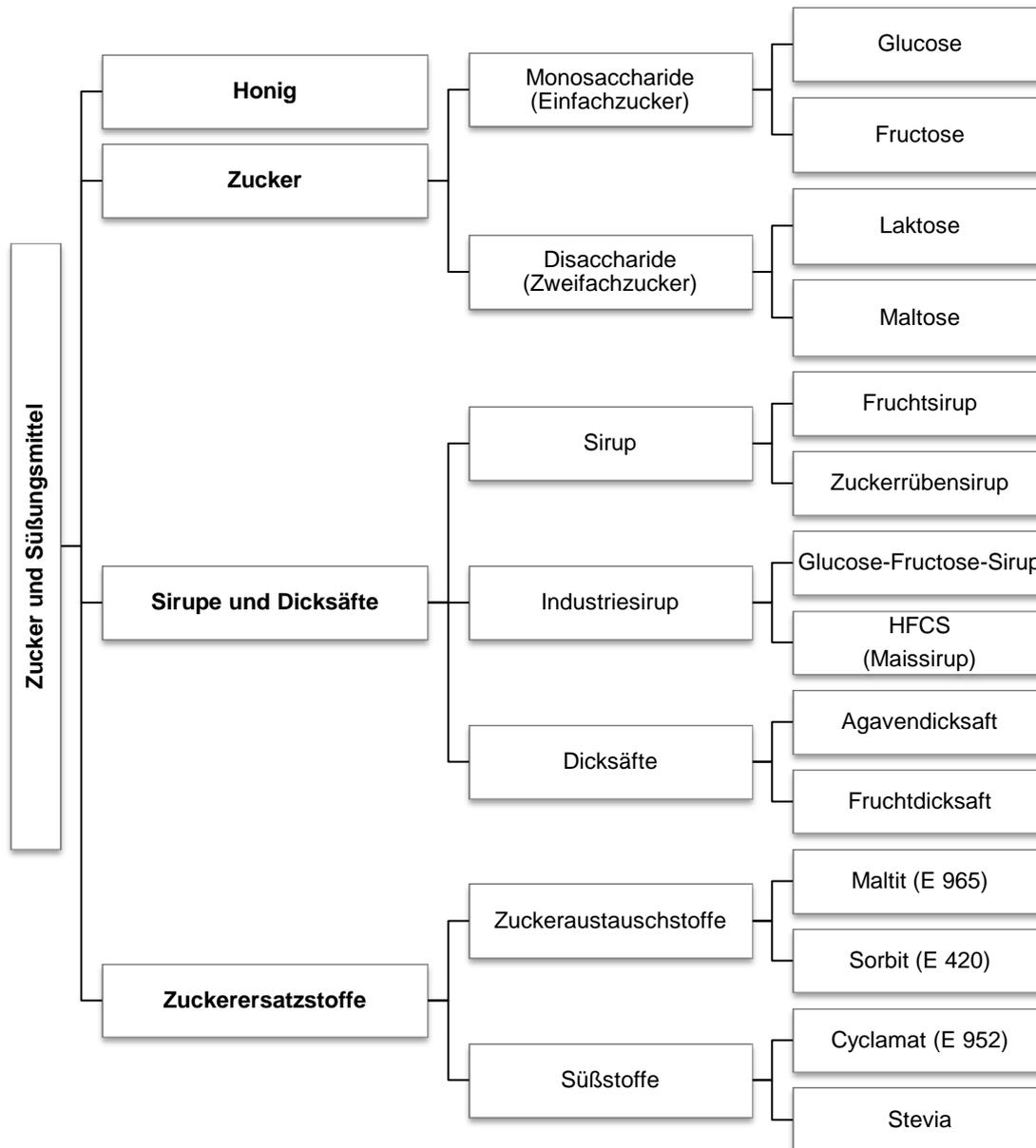


Abbildung 1: Beispiele für Zucker und Süßungsmittel

2.2 Honig

Der Einsatz von Honig spielt seit der Massenproduktion von Zucker, in der weiterverarbeitenden Lebensmittelindustrie eine untergeordnete Rolle.[3] Die Einsatzgebiete des Honigs sind die Lebensmittel- und Genussindustrie. Zudem ist Honig in pharmazeutischen Produkten (z. B. Arzneimittel wie Hustensaft) sowie in kosmetischen Produkten enthalten.[3] Honig hat einen speziellen Geschmack und weist einen hohen Zuckergehalt auf. Zudem handelt es sich um einen beliebten Brotaufstrich und um ein alternatives Süßungsmittel (z. B. Tee, Gebäck).[3]

2.3 Sirupe und Dicksäfte

In der Lebensmittelindustrie werden Dicksäfte und Sirupe eingesetzt (vgl. Abb. 2). Dicksäfte werden kalt hergestellt. Es handelt sich hierbei um dickflüssige, konzentrierte Fruchtsäfte, deren Eindickung in einer Vakuumanlage und unter Druck erfolgt.[3] Als Rohstoff für die Herstellung von Dicksäften dient Obstsaft (z. B. aus Äpfel, Birnen).[3] Dieser wird eingedickt und überschüssige Säuren werden entfernt.[3] Dicksäfte bestehen zu einem überwiegenden Teil aus Fruchtzucker (Fructose) und enthalten je nach verwendeter Fruchtart, geringe Mengen an Mineralstoffen sowie typische Geschmacks- und Aromastoffe.[3]

Sirupe sind dickflüssige, konzentrierte und zuckerreiche Lösungen wie Zuckerlösungen, Fruchtsäfte, Zuckerrübensaft oder Pflanzenextrakte, bei denen Wasser durch Wärme (z. B. Kochen) entzogen wurde.[3] Sirupe enthalten je nach verwendetem Rohstoff zwischen 65 % und 67 % Zucker.[3]

Es erfolgt zudem eine Unterscheidung von Sirupen und Industriesirupen, die aus Zuckerrüben oder Mais gewonnen und in der weiterverarbeitenden Lebensmittelindustrie eingesetzt werden. Hierzu gehört Glucosesirup, der ein Produkt der Stärkeverzuckerung ist.[4] Stärke setzt sich aus chemisch miteinander verbundenen Zuckern (Sacchariden) zusammen und ist in allen Pflanzen enthalten.[4] Die chemischen Verbindungen können gelöst werden, so dass Stärke in einzelne Zuckerbausteine zerfällt.[4] Somit ist eine Gewinnung von Zucker aus Zuckerrohr, Zuckerrüben und pflanzlicher Stärke möglich.[4] Glucosesirup wird durch die enzymatische Stärkehydrolyse gewonnen, wobei zu den wichtigsten Stärkelieferanten Mais, Kartoffeln oder Weizen zählen.[5] Glucosesirup gibt es verschiedenen Varianten, die sich bezüglich ihrer Süßkraft und ihrer technologischen Eigenschaften wie Zähigkeit und Konsistenz unterscheiden.[6] Im Vergleich zu Zucker weist Glucosesirup andere physikalische Eigenschaften auf und kristallisiert zudem weniger.[6] Zucker wird folglich in einer Vielzahl an Lebensmitteln ganz oder teilweise durch Glucose ersetzt.[6] Glucosesirup wird z. B. in Süßwaren, in Backwaren, in Konfitüren, in Limonaden und Erfrischungsgetränken sowie in

Tomatenketchup verwendet und weist eine geringere Süßkraft als Zucker (Saccharose) und Fructose auf.[5]

Glucose–Fructose–Sirup ist ein Konzentrat, das durch die enzymatische Maisstärkehydrolyse hergestellt wird und auch die Bezeichnungen Stärkesirup, Bonbonsirup, Isoglucose oder Maissirup trägt.[5] Die Deklaration als Glucose-Fructose-Sirup ist erforderlich, sofern der Sirup mehr als 5 % Fructose bezogen auf die Trockenmasse enthält.[5] Liegt der Fructoseanteil im Sirup bei mehr als 50 %, so wird dieser als Fructose–Glucose–Sirup bezeichnet.[5] Der Sirup wird insbesondere zum Süßen von Getränken, Süßwaren und anderen Lebensmitteln verwendet.[5]

Der aus Maisstärke gewonnene High Fructose Corn Syrup (HFCS) wird insbesondere in den USA verwendet und verdrängt dort den Einsatz des traditionellen Zuckers in einigen Bereichen (z. B. Limonaden und Erfrischungsgetränken).[7]

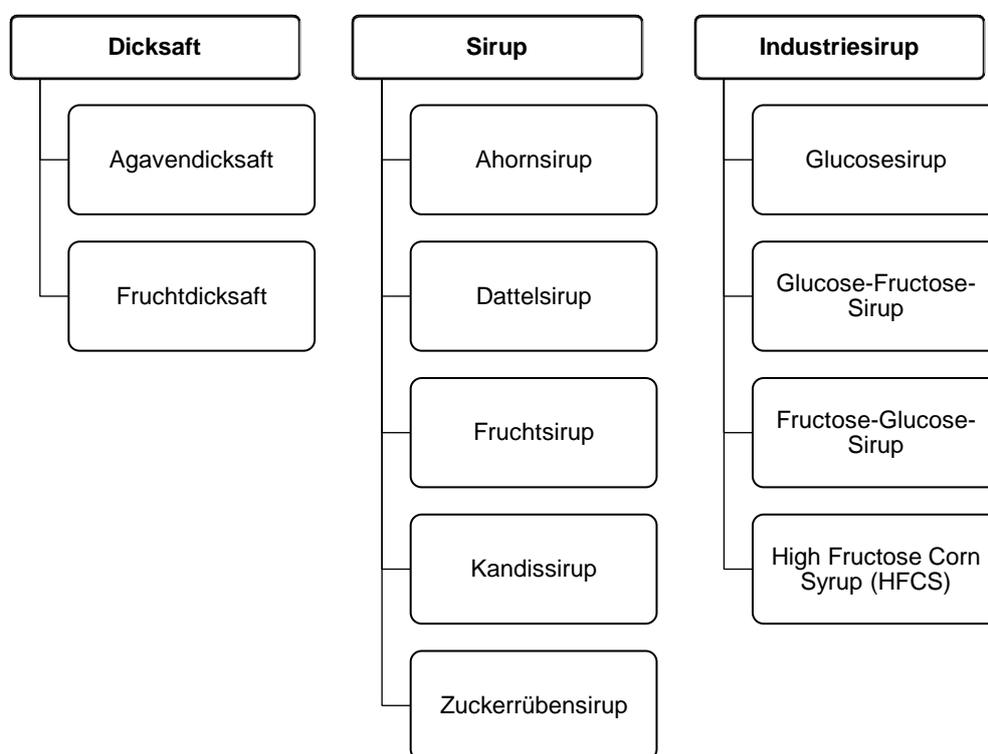


Abbildung 2: Klassifizierung Sirup und Dicksaft

Sirupe und kalt hergestellte Saftkonzentrate (Dicksaft) sind lange haltbar und weisen ein geringes Transportgewicht auf.[3] Aufgrund dieser Eigenschaften werden sie daher in der Lebensmittelindustrie verwendet.

2.4 Zuckerersatzstoffe

Zu den Zuckerersatzstoffen zählen die Zuckeraustauschstoffe sowie die Süßstoffe. Zuckeraustauschstoffe sind Lebensmittelzusatzstoffe, die Lebensmitteln einen süßen Geschmack verleihen und als Feuchthaltemittel eingesetzt werden. Hierzu gehören z. B. die Polyole (Zuckeralkohole) Maltit (E965) und Sorbit (E420). Lebensmittel, die Zuckeraustauschstoffe enthalten, sind mit der Kennzeichnung 'zuckerfrei' oder 'ohne Zuckerzusatz' deklariert.

Maltit ist ein kennzeichnungspflichtiger Lebensmittelzusatzstoff, der aus Mais- oder Weizenstärke gewonnen wird und seine Verwendung in zuckerfreien und kalorienreduzierten Lebensmitteln (z. B. für Diabetiker) findet.[8] Sorbit ist ebenso ein kennzeichnungspflichtiger Lebensmittelzusatzstoff und Bestandteil vieler Früchte und insbesondere von Kernobstsorten (z. B. Pflaume, Pfirsiche).[9] Industriell wird Sorbit aus Mais- oder Weizenstärke gewonnen. Der Zusatzstoff wird zum Süßen von Diabetikerlebensmitteln eingesetzt.[9] In der Lebensmittelindustrie findet Sorbit zudem seine Verwendung als Feuchthaltemittel, da es aufgrund seiner hygroskopischen Eigenschaften über die Fähigkeit verfügt, Feuchtigkeit zu binden. Sorbit schützt z. B. Senf, Mayonnaise, Toast, Pralinenfüllungen und auch Kosmetika vor dem Austrocknen.[10]

Synthetisch hergestellte oder natürliche Ersatzstoffe für Zucker werden als Süßstoffe bezeichnet.[11] Süßstoffe stellen eine Alternative zum herkömmlichen Haushaltszucker dar. Sie sind nicht hitzestabil, wodurch ihr Einsatz in der Lebensmittelindustrie beschränkt ist.[11] Zudem verleihen sie Lebensmitteln bei einer Überdosierung, einen bitteren Geschmack. Sie haben einen geringen physiologischen Brennwert, so dass sie daher oftmals Bestandteil von Light-Produkten bzw. kalorienreduzierten Produkten sind.[11]

Seit geraumer Zeit gelangt Stevia bzw. Steviosid (E960), ein Süßstoff, der aus der Steviapflanze gewonnen wird, größere Bekanntheit.[12] Stevia besitzt eine deutlich höhere Süße als Haushaltszucker und hat kaum Kalorien.[12] Es gibt vereinzelte Lebensmittel, die mit Stevia gesüßt sind. So brachte die Firma Haribo Lakritz mit Stevia auf den Markt. Im Handel gibt es Stevia für den Endverbraucher zumeist in Pulverform oder als Flüssigsüße.

2.5 Zucker

Der Begriff Zucker umfasst generell alle süßschmeckenden, kristallisierten und wasserlöslichen Kohlenhydrate, die gewöhnlich aus Zuckerrüben oder den tropischen Zuckerrohr gewonnen werden.[13, 14] Ausgehend vom Ausgangsmaterial trägt Zucker auch die Bezeichnung Rüben-

oder Rohrzucker. In anderen Ländern der Welt kann Zucker auch aus Ahorn oder Palmen gewonnen werden und wird folglich als Ahorn- oder Palmzucker bezeichnet.[14]

Der Handelsbegriff Zucker beschränkt sich lediglich auf das Disaccharid Saccharose.[13] Zudem werden Zuckergemische insbesondere in der Industrie verwendet, die durch die Hydrolyse von Saccharose entstehen.[14] Hierzu zählen z. B. Invertflüssigzucker, Invertzuckersirup, D-Glucose und D-Fructose.

Die primäre Funktion des Zuckers ist der Einsatz als Süßungsmittel, wobei Zucker nach Stärke der wichtigste Kohlenhydratlieferant für den menschlichen Organismus ist.[13] Saccharose ist heutzutage leicht und preiswert verfügbar. Dies birgt aus ernährungsphysiologischer Sicht auch Nachteile. Der Anteil langsam verdaulicher und hochmolekularer Kohlenhydrate (z. B. Stärke aus Getreide und Kartoffeln), die der Mensch über die Nahrung aufnimmt, sinkt. Der Anteil leicht verdaulicher niedermolekularer Kohlenhydrate (z. B. Fructose und Glucose in gesüßten Getränken) hingegen, die über die Nahrung aufgenommen werden, steigt.[13]

2.5.1 Chemische Einteilung der Kohlenhydrate

Kohlenhydrate werden als Saccharide bezeichnet. Der Begriff leitet sich vom griechischen Wort saccharos, das 'Zucker' bedeutet ab.[15] Grundsätzlich lassen sich Mono-, Oligo- und Polysaccharide unterscheiden (vgl. Abb. 3), wobei im allgemeinen Sprachgebrauch die zwei Erstgenannten als Zucker bezeichnet werden. Monosaccharide sind die Einfachzucker, die durch Hydrolyse nicht weiter in einfachere Zucker zerlegt werden können.[15] Oligosaccharide sind chemische Verbindungen, bei denen mindestens zwei Monosaccharide miteinander verknüpft sind.[15] Die Verbindung aus zwei Monosacchariden wird als Disaccharid bezeichnet. Es können bis zu sechs Monosaccharide miteinander verknüpft sein, wobei es sich dann um ein Hexasaccharid handelt.[15] Von großer Bedeutung sind die Disaccharide, wie bspw. die in Zuckerrüben enthaltene Saccharose und der Milchzucker Lactose.[15] Polysaccharide bestehen aus vielen Molekülen eines Monosaccharids. Ein bedeutendes Polysaccharid für den Lebensmittelbereich ist die Stärke.

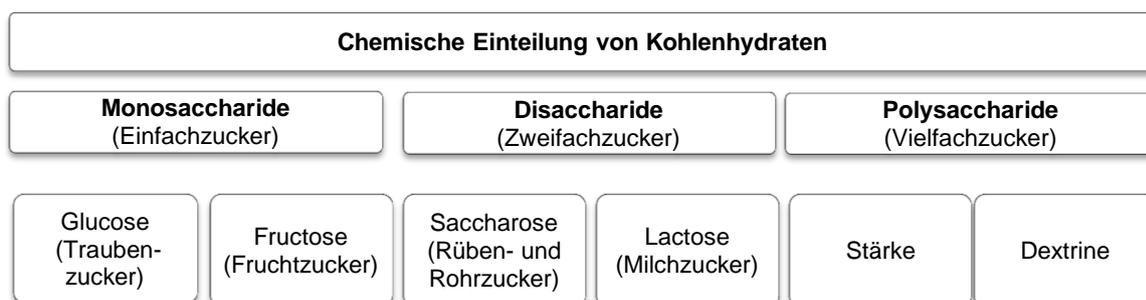


Abbildung 3: Übersicht Einteilung Kohlenhydrate

2.5.2 Das Handelsprodukt Saccharose

Rohr- und Rübenzucker (Saccharose) ist farb- und geruchlos und weist eine gute Wasserlöslichkeit auf.[13] Schon der Einsatz einer geringen Konzentration von zwei Prozent, führt in wässrigen Lösungen zu einem süßen Geschmack.[13] Saccharose besitzt wertvolle funktionelle Eigenschaften, so dass es als Bestandteil von Lebensmitteln nur schlecht gegen andere Substanzen ausgetauscht werden kann. Das Handelsprodukt Saccharose wird aufgrund seiner Reinheit und der Angebotsform in verschiedenen Sorten angeboten (vgl. Tab. 1).[13]

Tabelle 1: Handelsprodukte der Saccharose

Quelle: in Anlehnung an [13] Glomb: Kohlenhydrate in: Fischer/ Glomb (Hrsg.):
Moderne Lebensmittelchemie, Behr's Verlag Hamburg 2015, S. 185

Zuckerart	Herstellung	Verwendung
Puder-Erzeugnisse	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellung durch Feinvermahlung von Raffinade oder Weißzucker ▪ geringer Zusatz von Stärke 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bestäuben von Gebäck und Kuchen ▪ Bestandteil von Glasuren
Hartzucker	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellung durch Formpressung einer (Raffinade-)Kristallmasse mit 1-2 %Wassergehalt 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Saccharose in kompakter Form (z. B. Würfelzucker)
Kandis	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellung durch Kristallisation von Klären, die mit Zuckercouleur eingefärbt sind ▪ Saccharose mit Kristalldurchmesser von 7-30 mm 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Süßen von Tee und anderen Heißgetränken
Zuckerrübensirup	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellung durch Einkochen von Zuckerrübensaft ▪ enthält mind. 60 % Gesamtzucker und höchstens 21,5 % Wasser 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Brotaufstrich ▪ Back- und Kochzutat
Flüssigsaccharose	<ul style="list-style-type: none"> ▪ in Weißzucker- oder Raffinadequalität ▪ als Flüssigzucker karamellisiert → rotbraun mit leichter Karamellnote ▪ Saccharosegehalt von mind. 62 % 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vorgesehen für den industriellen Gebrauch
Primitivzucker	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Saccharoseprodukt ohne vorherige intensive Reinigung ▪ gelb bis braun-schwarze Farbe ▪ karamelliger bis schokoladig-bitterer Geschmack 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nichtzentrifugierter Zucker ▪ kein Handelsprodukt

2.5.3 Verwendung in der Lebensmittelindustrie

Zucker wird in einer ganzen Bandbreite von Lebensmitteln verwendet. Er erfüllt dabei verschiedene Eigenschaften (vgl. Tab. 2). Zucker als Zutat dient vorrangig dazu, Lebensmitteln einen süßen Geschmack zu verleihen und zudem ist Zucker ein Energielieferant, der leichte und schnell verwertbare Energie liefert.[16] Des Weiteren besitzt Zucker eine Reihe funktioneller Eigenschaften, die seinen Einsatz bei der Herstellung von Verarbeitung von Lebensmitteln unabdingbar machen. Hierzu gehören u. a.:[13, 16]

- die Aroma- und Geschmacksstoffbildung, um den Geschmack von Lebensmitteln zu verbessern bzw. abzurunden sowie den Lebensmitteln ein Aroma zu verleihen (z. B. Karamellnote).
- die Verbesserung des Geruchs.
- die Funktion als Nährsubstrat für Mikroorganismen (z. B. für die Milchsäuregärung).

- die Haltbarmachung durch osmotischen Wasserentzug (Konservierung).
- die Feucht- und Weichhaltung.
- die Verleihung eines Körpers („body“) insbesondere bei Getränken.
- die Textur- und Strukturbeeinflussung (z. B. Fruchtfleischverfestigung infolge Komplexbildung mit Zellwandpolysacchariden).
- Beeinflussung der Konsistenz eines Lebensmittels.
- die thermische Braunfärbung von Lebensmitteln.

Tabelle 2: Funktionen des Zuckers in ausgewählten Lebensmitteln
 Quelle: in Anlehnung an [16] Jung: Saccharose in: Rosenplenter/ Nöhle (Hrsg.):
 Handbuch Süßungsmittel, 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2007, S. 81 ff.

	Steigerung des Alkoholgehalts	Süße	Viskosität	Energielieferant	Geschmack	Aroma	Stabilisierung Farbe	Verhinderung Trübung	Textur und Konsistenz	Mikrobiologische Stabilität	Kristallisations- und Schmelzverhalten	Gärung	Braunfärbung	Nährwert	Regulierung Wassergehalt
Alkohohaltige Getränke															
Wein	•	•	•												
Liköre	•	•	•												
Sekt	•	•	•												
Alkoholfreie Getränke															
Energy-Drinks		•	•	•	•	•	•	•							
Fruchtsäfte		•	•	•	•	•	•	•							
Fruchtnektar		•	•	•	•	•	•	•							
Molkereiprodukte															
Gezuckerte Kondensmilch		•			•	•			•	•					
Milchprodukte (z. B. Joghurt)		•			•	•			•	•					
Dessertprodukte (z. B. Pudding)		•			•	•			•	•					
Speiseeis															
Milchspeiseeis		•			•	•			•		•				
Fruchteis		•			•	•			•		•				
Softeis		•			•	•			•		•				
Backwaren															
Toastbrot		•			•	•			•			•	•		
Kekse		•			•	•			•			•	•		
Rühr- und Sandkuchen		•			•	•			•			•	•		
Süßwaren															
Schokolade		•							•						
Gummi- und Geleezuckerwaren		•							•						
Weichkaramellen (z. B. Toffees)		•							•						
Obsterzeugnisse															
Obstkonserven		•			•	•	•		•	•				•	•
Konfitüren		•			•	•	•		•	•				•	•

3 Qualitätsmerkmale und Eigenschaften von Saccharose

3.1 Qualitätsparameter für Weißzucker und Raffinade

Anhand verschiedener Parameter wird die Qualität von Zucker beurteilt (vgl. Abb. 4). Weißzucker ist eines der reinsten Lebensmittel und weist einen Saccharosegehalt von mindestens 99,7 % auf, wobei Wasser mit max. 0,06 % die Hauptverunreinigung darstellt.[16] International vereinbarte standardisierte Untersuchungsmethoden der International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA) werden zur Bestimmung der Qualitätsparameter herangezogen.[16]



Abbildung 4: Qualitätsparameter

In der EU werden Zucker-Standardsorten produziert, die sich im Gehalt an wasserlöslichen Mineralstoffen (Asche), an der Farbtype des Kristallzuckers sowie in der Farbe in wässrigen Lösungen unterscheiden.[16] Neben diesen Parametern sind auch Angaben zum Gehalt an Schwermetallen, Pflanzenrückständen, Schwefeldioxid, die Korngrößenverteilung und der Staub(zucker)-Anteil von Bedeutung, um die Qualität von Zucker zu beurteilen.[16]

Die Reinheit des Zuckers ist messbar, wobei hierfür ein Polarimeter eingesetzt wird.[16] Aufgrund der optischen Aktivität des Zuckers, lassen sich Verunreinigungen im Zucker feststellen.[16]

Zucker kann Wasser enthalten, wobei zwischen an der Oberfläche der Kristalle adsorbiertes („freies“) und im Kristall eingeschlossenes Wasser („inneres“) unterschieden wird.[16] Der Wassergehalt lässt sich gravimetrisch durch Trocknen der Probe sowie durch Titration mit Karl-Fischer-Lösung ermitteln.[16]

Der Invertzuckergehalt gibt den Gehalt an D-Glucose, D-Fructose und anderen reduzierenden Zuckern an und lässt sich i.d.R. nach dem Verfahren von Lane-Eynon bestimmen.[16] Der Invertzucker beeinflusst die Lagerfähigkeit des Zuckers, da er dessen Hygroskopizität erhöht, also die Neigung Feuchtigkeit aus der Luft aufzunehmen.[16]

Anorganische Bestandteile, die nach einer vollständigen anorganischen Verbrennung übrig bleiben, werden als Asche bezeichnet.[16] Es erfolgt die Messung der konduktometrischen Leitfähigkeitsasche, wobei zu deren Bestandteilen überwiegend Kalium-, Natrium-, Calcium-, Eisen-, Chlorid-, Sulfat-, Carbonat- und Phosphat-Ionen gehören.[16]

Die Qualität von Zucker wird anhand des optischen Eindrucks beurteilt.[16] Mittels Standardmustern einer Farbtypenreihe, denen Zahlenwerte zugeordnet sind, werden Zucker verglichen.[16] Des Weiteren dienen reflektometrische Messungen zur Ermittlung der Farbtype.[16]

Während des Zuckerfabrikationsprozesses finden Bräunungsreaktionen statt, durch die färbende Stoffe entstehen (z. B. Maillard-Reaktion).[16] Zur Bestimmung der Farbe erfolgt eine Filtration einer Zuckerlösung durch Membranfilter, wobei Trübstoffe entfernt werden.[16] Es schließt sich eine Extinktion bei 420 Nanometer mittels Photometer an, wobei die Farbe auch abhängig vom pH-Wert ist.[16]

Bei der Produktion von Weißzucker in deutschen Fabriken liegt der Gesamtgehalt an Schwermetallen deutlich unter 0,5 mg/kg (vgl. Tab. 3).[16] Rückstände an Pflanzenschutzmitteln sind bei deutschem Weißzucker kaum oder gar nicht nachweisbar.[16]

Tabelle 3: Gehalt an Schwermetallen

Quelle: in Anlehnung an [16] Jung: Saccharose in: Rosenplenter/ Nöhle (Hrsg.): Handbuch Süßungsmittel, 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2007, S. 52

Schwermetall	Gehalt in mg/kg
Blei	< 0,001 - 0,167
Kupfer	ca. 0,1
Arsen	0,046 – 0,610
Quecksilber	unter 0,03
Cadmium	0,002 – 0,05

Kristallzucker weist verschiedene Korngrößen auf, die für die industrielle Verarbeitung von Bedeutung sind und sich demzufolge auf die Rieselfähigkeit, den Abrieb oder die Lösegeschwindigkeit auswirken.[16] Mittels genormter Prüfsiebe erfolgt eine Siebanalyse, um die Kristallgrößenverteilung zu ermitteln.[16] Je kleiner die Korngröße des Zuckers ist, desto schneller erfolgt eine Auflösung in wässrigen Medien.

Die Europäische Union (EU) definiert Standardsorten für Zucker und gibt entsprechende Qualitätsparameter vor (vgl. Tab. 4). Die nachfolgende Tabelle zeigt, die durch die Zuckerarten-Richtlinie 2001/111/EG und die Zuckermarktordnung EG Nr. 318/2006 für Raffinade und Weißzucker festgelegten Parameter.

Tabelle 4: Spezifikation von Weißzucker

Quelle: [17] Nordzucker AG (2011) [letzter Abruf: 23.11.2015] und [18] EUR-Lex (2001) [letzter Abruf: 18.03.2016]

		Raffinade	Weißzucker
		(EG-Kategorie 1)	(EG-Kategorie 2)
Messgröße	Einheit	Zuckerarten-Verordnung Zuckermarktordnung	Zuckerarten-Verordnung Zuckermarktordnung
Polarisation	°Z	≥ 99,7	≥ 99,7
Farbe in Lösung	%	≤ 0,06	≤ 0,06
Farbe in Lösung	Punkte	≤ 3	≤ 6
Farbtype	Punkte	≤ 4	≤ 9
Aschegehalt	Punkte	≤ 6	≤ 15
Gesamtpunktzahl	Punkte	≤ 8	≤ 22
Gehalt an Invertzucker	%	≤ 0,04	≤ 0,04

Doch nicht nur für Weißzucker und Raffinade sind klare Merkmale definiert sondern u. a. auch für Glucosesirup (vgl. Tab. 5), der aus Stärke und/oder Inulin gewonnen wird. Glucosesirup muss bspw. über einen DE-Wert von mindestens 20 Prozent verfügen.

Tabelle 5: Merkmale Glucosesirup gemäß Richtlinie 2001/111/EG

Quelle: [18] EUR-Lex (2001) [letzter Abruf: 18.03.2016]

Messgröße	Einheit	Zuckerarten-Verordnung Zuckermarktordnung
Trockenmasse	%	mind. 70% in Gewicht
Dextrose-Äquivalent	%	mind. 20% in Gewicht in der Trockenmasse, ausgedrückt in D-Glucose
Sulfatasche	%	höchstens 1% in Gewicht in der Trockenmasse

3.2 Technologisch relevante Eigenschaften

3.2.1 Süßkraft und Süßqualität

Der Mensch kann die Geschmacksrichtungen salzig, sauer, bitter und süß schmecken. Zu den wichtigsten Energielieferanten des menschlichen Organismus zählen Kohlenhydrate, die zudem einen süßen Geschmack aufweisen. Die Beliebtheit des süßen Geschmacks ist angeboren.[19] Der süße Geschmack ist ein sensorischer Parameter und kann sich auf die Süßkraft und die Süßqualität beziehen, wobei sich die Parameter zur präzisen Darstellung und Differenzierung des süßen Geschmacks eines Lebensmittels heranziehen lassen.[19] Die Süßungsmittel weisen eine unterschiedliche Süßkraft auf (vgl. Tab. 6).

Tabelle 6: Relative Süßkraft ausgewählter Süßungsmittel

Quelle: [19] Paulus/ Seidel: Sensorik und sensorische Eigenschaften von Zuckern und Süßungsmitteln in: Rosenplenter/ Nöhle (Hrsg.): Handbuch Süßungsmittel, 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2007, S. 25

Süßungsmittel	Relative Süßkraft
Saccharose	1
Glucose	0,5 – 0,8
Fructose	0,8 – 1,7
Isoglucose	0,95
Glucosesirup	0,75

Süße ist jedoch nicht gleich Süße, so können sich süß schmeckende Substanzen vom Charakter der Süße, von der Intensität und von der Reinheit her unterschieden. Es gibt eine Reihe sensorischer Testverfahren, um die Süße zu charakterisieren (vgl. Tab. 7).

Tabelle 7: Sensorische Testverfahren

Quelle: in Anlehnung an [19] Paulus/ Seidel: Sensorik und sensorische Eigenschaften von Zuckern und Süßungsmitteln in: Rosenplenter/ Nöhle (Hrsg.): Handbuch Süßungsmittel, 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2007, S. 17

Ziel	Testmethode
Ermittlung der Empfindlichkeit gegenüber süß	Schwellenwert
Erfassung der Süßintensität	Modifizierte Fechnerskalierung
Bestimmung der Süßgleichheit	Reihe von Paarvergleichen
Ermittlung der Süßqualität	Profilprüfung
Ermittlung der Einstellung zu süß	Verbrauchertest

Als Vergleichsobjekt dient Saccharose. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Konzentration des süßenden Stoffes und der wahrgenommenen Süßintensität.[19] Die Süßkraft wird als relative Süßkraft angegeben. Parameter wie die Temperatur, der Salzgehalt, die Säurekonzentration und der pH-Wert nehmen Einfluss auf die Süßkraft. Durch die Mischung von Sacchariden kann eine höhere Süßkraft, im Vergleich zu den Einzelkomponenten, erzielt werden.

Bei der Schwellenwertprüfung wird ermittelt, wie hoch die Konzentration eines süßenden Stoffes sein muss, damit bspw. in einer wässrigen Lösung, ein süßer Geschmack wahrgenommen wird.[19] Mit steigender Konzentration des Süßstoffs nimmt auch die Intensität an Süße zu, jedoch tritt irgendwann eine Sättigungsschwelle ein, in der keine Intensitätssteigerung mehr bewirkt wird.[19] Bei diesem Testverfahren können in der Praxis Schwankungen zwischen den Ergebnissen der Testpersonen auftreten.[19] Die Erkennungsschwelle, also der Wert an der Konzentration von Saccharose in wässriger Lösung, bei der die Süße wahrgenommen wird, beträgt nur wenige g/l.

Die Erfassung der Süßintensität kann mittels der Fechner-Skalierung erfolgen. Hierbei handelt es sich um eine Exponentialfunktion (vgl. Tab. 8), bei der die funktionelle Abhängigkeit der Süßintensität von der Konzentration an Saccharose angegeben wird. Mittels dieser Funktion lassen sich Saccharoseäquivalentkonzentrationen bzw. Süßintensitäten vorausberechnen. Es

können verschiedene süßende Stoffe gemischt werden, wobei eine computergestützte Berechnung der Mischeffekte erfolgt (z. B. bei Flüssigkeiten wie Erfrischungsgetränken). [19]

Tabelle 8: Süßintensität

Quelle: [19] Paulus/ Seidel: Sensorik und sensorische Eigenschaften von Zuckern und Süßungsmitteln in: Rosenplenter/ Nöhle (Hrsg.): Handbuch Süßungsmittel, 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2007, S. 18

$R=R_m(1-\exp(-bS/R_m))$	
Werte für Saccharose	
R = Süßintensität bei S	$R_m/b = 83,33 \text{ g/l}$
S = Basiskonzentration	
b = Konzentrationskoeffizient	$b = 1,068 \text{ l/g}$
R_m = maximale Süßeintensität	$R_m = 89$

Die Süßkraft SK (vgl. Tab. 9) gibt das Verhältnis der Konzentration der Bezugsgröße Saccharose und die Konzentration der zu untersuchenden süßen Verbindung an, die zum Erzielen ein und derselben Süßintensität erforderlich sind.[19] Sie dient zur Charakterisierung süßer Verbindungen und zum Vergleich von Einsatzmöglichkeiten süßer Verbindungen.[19] Die Ermittlung der Süßkraft kann mittels analytisch sensorischer Tests erfolgen, wobei diese zum Vergleich von Verbindungen mit steigender Konzentration an süßen Verbindungen dienen.

Tabelle 9: Süßkraft

Quelle: [19] Paulus/ Seidel: Sensorik und sensorische Eigenschaften von Zuckern und Süßungsmitteln in: Rosenplenter/ Nöhle (Hrsg.): Handbuch Süßungsmittel, 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2007, S. 19

$SK = S_s/S_x$
SK = die Süßkraft bei Saccharosekonzentrationen S_s
S_s = Saccharosekonzentration bei der die Süßkraft für Verbindung x bestimmt wird
S_x = Konzentration der Verbindung x, um gleiche Süße zu bewirken

Die Süßkraft ist eine Vergleichszahl, die Auskunft darüber gibt, ob eine Verbindung die gleiche Süßkraft wie Saccharose ($S_x=S_s$), eine kleinere ($S_x>S_s$) oder eine größere ($S_x<S_s$) Süßkraft wie Saccharose aufweist.[19]

Für die Lebensmittelhersteller und –verarbeiter ist die Süßintensität eine entscheidende Größe, da sie für technische und ökonomische Aspekte von Relevanz ist. Sie stehen vor der Frage, welches Süßungsmittel eingesetzt werden kann, um eine vorgegebene Süßintensität kostengünstig zu erhalten. Aus Verbrauchersicht ist die Süßqualität relevant, da für diese der Geschmack von Lebensmitteln, die mit einem Süßstoff statt mit Saccharose gesüßt sind, zu stark abweicht. Die Süßqualität der Saccharose ist das Süßungsmittel an dem alle anderen gemessen werden. Mittels sensorischer Testverfahren kann für ein Produkt ein quantitatives Profil erstellt werden, das eine umfassende sensorische Beschreibung des Produktes liefert. Hierbei werden sensorische Merkmale wie Farbe, Form, Geruch und Geschmack sowie die Süßintensität (z. B. sehr stark, nicht wahrnehmbar) erfasst. [19]

Für die sensorische Unterscheidung süßender Stoffe ist der Geschmack und bedingt auch das Mundgefühl von Bedeutung.[19] Süßungsmittel weisen wie Saccharose einen süßen Geschmack auf, jedoch verfügen sie auch über weitere Geschmackseigenschaften (vgl. Tab. 10).

Tabelle 10: Sensorische Geschmackseigenschaften

Quelle: [19] Paulus/ Seidel: Sensorik und sensorische Eigenschaften von Zuckern und Süßungsmitteln in: Rosenplenter/ Nöhle (Hrsg.): Handbuch Süßungsmittel, 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2007, S. 21

Sensorische Geschmackseigenschaften	
Süßeigenschaften	Zusätzliche Eigenschaften
volle Süße	bitter
wässrige Süße	metallisch
spitze Süße	seifig/laugig
langanhaltende Süße	lakritzartig (adstringierend/kratzend)

Zusammenfassend wird deutlich, dass analytisch sensorische Tests zur Bestimmung von Süßeigenschaften der süßenden Stoffe in reinen Lösungen als auch in fertig verarbeiteten Lebensmitteln, herangezogen werden können. Die Ergebnisse der Profilierung liefern detaillierte Informationen, die Aufschluss darüber geben, welches Süßungsmittel für ein bestimmtes Lebensmittel geeignet ist.

3.2.2 Löslichkeit

Die physikalischen Eigenschaften von Saccharoselösungen sind für deren lebensmitteltechnologische Verarbeitung von Bedeutung.[20] Glucoselösungen mit gleichen DE-Werten weisen zwangsläufig nicht die gleiche chemische Struktur auf. Sie können sich aus anderen Saccharidfraktionen zusammensetzen, so dass sie auch andere physikalische Eigenschaften aufweisen.[14]

Saccharose ist in Wasser sowie in organischen Lösungsmitteln löslich.[20] Die Löslichkeit in Wasser ist hoch, die in polaren organischen Lösungsmitteln niedrig.[20] Bei einer Temperatur von 20°C lösen sich ca. 2.005 Gramm Saccharose in einem Liter Wasser auf.[20] Auch die Temperatur beeinflusst die Löslichkeit, je höher diese ist, umso besser lösen sich Saccharose und Saccharide.[20] Sind in einer Lösung Nichtsaccharosestoffe enthalten, so können diese die Löslichkeit erhöhen oder senken.[20] Mit zunehmender Konzentration und zunehmender Temperatur erhöhen bspw. Alkalisalze die Löslichkeit der Saccharose.[14] Stickstoffverbindungen und andere Saccharide wiederum, senken die Löslichkeit der Saccharose.[14]

Steigt der Anteil an Glucosesirup in einer Lösung, so nimmt der Sättigungsgehalt der Saccharose ab. Der Gehalt an Trockensubstanz wiederum steigt an (Vgl. Abb. 5).

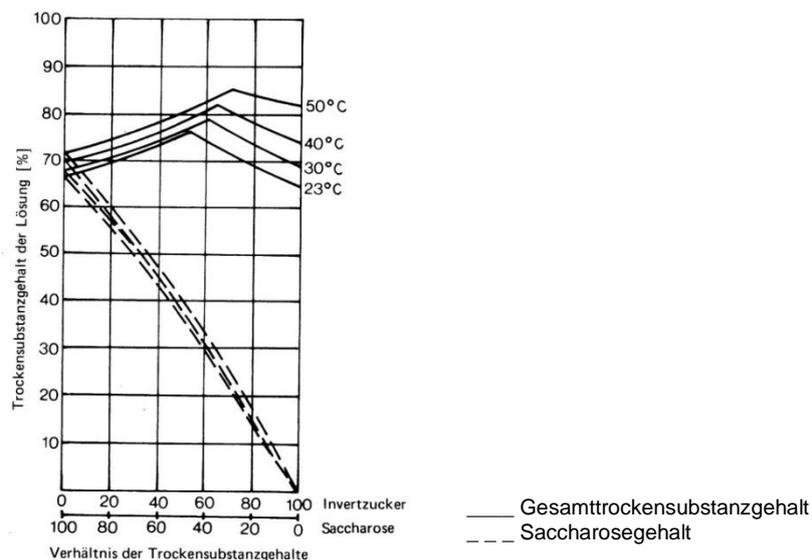


Abbildung 5: Löslichkeitsdiagramm von Saccharose-Invertzucker-Lösungen

Quelle: [20] Mauch: Zucker in: Hoffmann/ Mauch/ Untze: Zucker und Zuckerwaren. 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2002, S. 13

Die Löslichkeit wird mit der Löslichkeitszahl q_L angegeben, die Auskunft darüber gibt, wieviel Saccharose [g] in Wasser [1g oder 100g] löslich ist. Die Löslichkeit kann auch mit dem Sättigungsgehalt s [g/100g Lösung oder %] angegeben werden.[20] In Lösungen, die ungesättigt sind, kann noch Substanz gelöst werden.[14] Ist die Grenzkonzentration jedoch überschritten, tritt in der Lösung ein Übersättigungszustand ein, d. h. Substanz kann aus der Lösung auskristallisieren.[20] Die Übersättigungszahl charakterisiert den Übersättigungszustand und gibt das Verhältnis der Löslichkeit von Saccharose in übersättigter Lösung zur gesättigten Lösung wieder ($y=q/q_L$).[20] Es wird zwischen drei Übersättigungsgebieten unterschieden (vgl. Abb. 6):[20]

1. Metastabiles Gebiet
 - keine Bildung von Kristallkeimen
 - Wachstum vorhandener Kristallkeime
2. Intermediäres Gebiet
 - Bildung von Kristallkeimen, sofern bereits welche vorhanden sind
3. Labiles Gebiet
 - spontane Bildung von Kristallkeimen

Ein Auslösen bzw. ein Steuern der Kristallisation ist durch eine Änderung der Konzentration und der Temperatur sowie durch eine Zugabe von Lösungsmitteln (z. B. Ethanol) möglich.[20] Hierbei wird der Übersättigungszustand geändert. Trotz hoher Übersättigung nimmt die Neigung der Saccharose zum Kristallisieren ab, wenn der Anteil an mehreren Sacchariden zunimmt.[20] Das Auskristallisieren stellt z. B. bei der Herstellung von Süßwaren eine Qualitätsverschlechterung dar.[14]

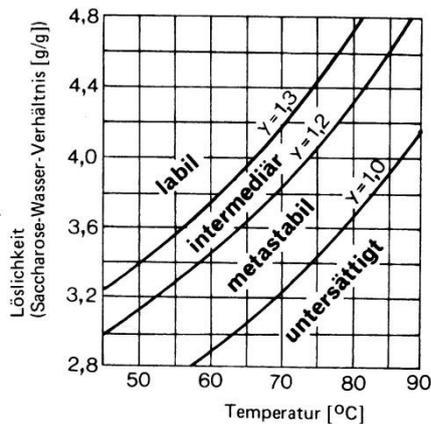


Abbildung 6: Übersättigungsgebiete wässriger Saccharoselösungen

Quelle: [20] Mauch: Zucker in: Hoffmann/ Mauch/ Untze: Zucker und Zuckerwaren. 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2002, S. 14

3.2.3 Mikrobiologische Eigenschaften

Aufgrund seines geringen Wassergehalts, bietet trockener Kristallzucker keinen Nährboden für Mikroorganismen.[16] Wird auch während der Lagerung ein Eindringen von Feuchtigkeit vermieden, dann bleibt Zucker ein mikrobiologisch stabiles und nahezu keimfreies Produkt.[16] Neben trockenem Kristallzucker sind auch konzentrierte Zuckerlösungen mit mehr als 60 % Trockenstoffgehalt mikrobiologisch stabil.[16] Die Zuckerlösungen verfügen über selbstkonservierende Eigenschaften, wobei dieser Effekt insbesondere bei Speisesirupen, Invertzuckercremes, Gelees, Marmeladen oder gezuckerter Kondensmilch zum Tragen kommt.[16] Dennoch können auch diese Lebensmittel verderben, sofern sich auf der Oberfläche Kondenswasser bildet. Die Zuckerkonzentration an der Oberfläche sinkt infolgedessen, wodurch ein Sirupfilm entsteht, der den Mikroorganismen einen geeigneten Nährboden bietet.[16]

4 Maisstärke als Quelle für Stärkesirupe

4.1 Stärkeherstellung aus Mais

Neben der Gewinnung von Kartoffel- und Weizenstärke ist auch die Gewinnung von Maisstärke im europäischen Raum und Amerika von großer Bedeutung.[21] Die Maisstärkengewinnung bietet aus Sicht der Prozesstechnik bessere Ergebnisse im Gegensatz zur Gewinnung von Weizenstärke.

Um aus Weizen, Kartoffeln oder Mais, Stärke für die Weiterverarbeitung zu gewinnen, werden Industriezentrifugen eingesetzt. Der Mais enthält Stärke, die aus dem Zellverband gelöst werden muss ohne hierbei den Keimling zu beschädigen. Dieser ist ölhaltig und kann daher zu einem hohen Fettgehalt in der Maisstärke sorgen.[21] Der Mais wird zunächst einer Quellung unterzogen, wobei das Maiskorn seine Struktur verliert.[21] Der Keimling kann durch den Vorgang des Vermahlens schonend herausgetrennt werden.[21] Durch den Einsatz von Maschinen wird der Mais in seine einzelnen Komponenten wie Stärke, Gluten, Schalen und Fasern sowie den Keimling aufgetrennt.[21] Die Nebenprodukte Fasern sowie Maisgluten und Maiskeimlinge der Maisstärkegewinnung, finden ihren Einsatz in der Verarbeitung von Mischfuttermitteln.[21]

4.1.1 Verfahrensstufen der Maisstärkegewinnung

Die Gewinnung von Maisstärke aus getrockneten Maiskörnern umfasst mehrere Prozessstufen (vgl. Abb. 7 und Abb. 8), wobei ein Nassverfahren angewandt wird. Vor der Verarbeitung wird der Mais zunächst gründlich gereinigt. Durch den Einsatz von Sieben und Aspirationsanlagen werden Verunreinigungen wie Staub, Steine, Maisspindeln, Stroh und Sand entfernt.[21] Anschließend wird der Mais in große Behälter zur Quellung gelagert.

Für die Quellung wird Wasser mit einer Temperatur von 48°C bis 50°C verwendet.[21] Dieser Vorgang dauert zwischen 30 und 60 Stunden. Später kann eine Eindickung des Quellwassers erfolgen, das anschließend gemeinsam mit den Schalen getrocknet wird. Dem Quell- und Prozesswasser wird Schwefeldioxid (0,1-0,3 %) zugegeben, um unkontrollierte mikrobielle Vorgänge zu unterbinden.[21] Die kontrollierte Milchsäuregärung, die hierdurch erreicht wird, führt zu einer Umsetzung von Zucker zu Milchsäure (0,8-1,5 %).[21] Die löslichen Substanzen diffundieren in das Prozesswasser.

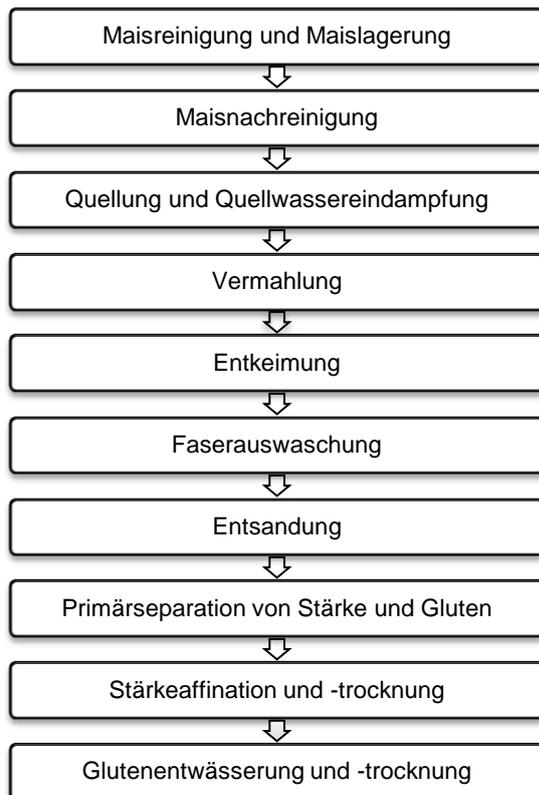


Abbildung 7: Verfahrensstufen

Quelle: in Anlehnung an [21] Tscheuschner: Grundzüge der Lebensmitteltechnik, 3. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2010, S. 401

Der Keimling muss vom gequollenen Mais getrennt werden. Im Zuge der Quellung hat der Keimling an Elastizität gewonnen und bleibt somit bei der Vermahlung in den Zahnscheibenmühlen weitestgehend erhalten.[21] Durch den Einsatz von Keimzyklonen erfolgt schließlich die Abtrennung.[21] Der Keimling wird von anhaftender Stärke befreit und für die Weiterverarbeitung getrocknet.[21] Die entstandene Maissuspension muss nun noch von den Schalen und Fasern getrennt werden, wobei spezielle Stifmühlen eingesetzt werden.[21] Die Auswaschung der Stärke erfolgt in einem mehrstufigen Siebprozess. Die Entwässerung der Schalen und Fasern erfolgt in Schneckenpressen, wobei die Produkte später mit dem Quellwasser getrocknet werden.[21]

Die nun entstandene Rohstärkemilch bzw. Mühlenstärke, die auch nach dem Sieben noch Sand enthält, wird von diesem mittels Entsandungszyklonen befreit.[21] Es schließt sich die Primärseparation an, bei der die in der Flüssigkeit enthaltene Stärke und das enthaltene Gluten z. B. in Separatoren voneinander getrennt werden. Zum Einsatz kommen:[21]

1. ein Teller-Düsenseparator, der die Mühlenstärke vorkonzentriert und
2. ein Primär-Separator mit Wascheinrichtung, der die Stärke und das Gluten auftrennt.

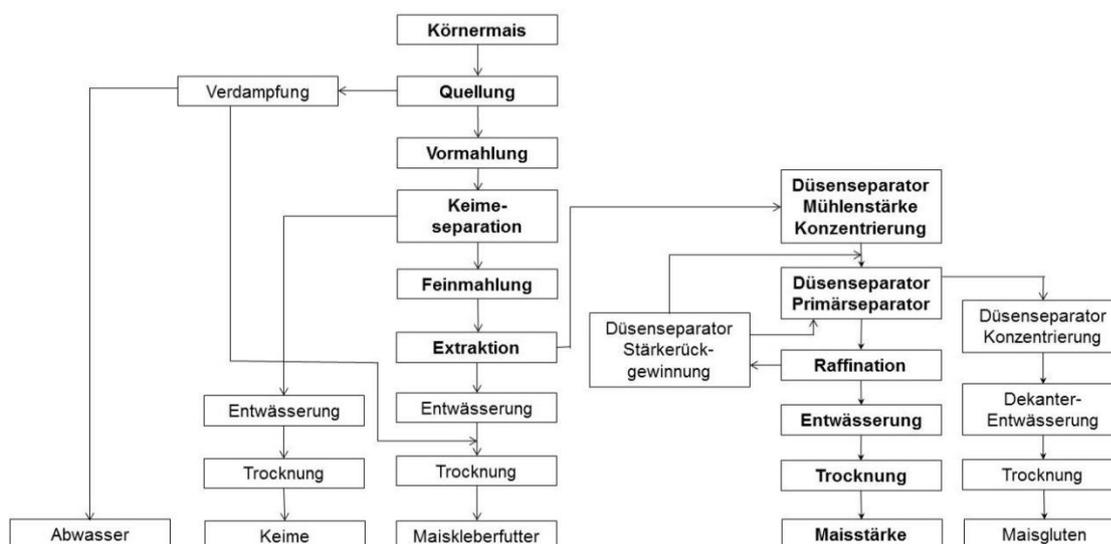


Abbildung 8: Fließschema zur Stärkeherstellung aus Mais
 Quelle: in Anlehnung an [21] Tscheuschner: Grundzüge der Lebensmitteltechnik, 3. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2010, S. 401

Die Maisstärke wird nach der Primärseparation z. B. in einem mehrstufigen Teller-Düsenseparator gewaschen und raffiniert.[21] Durch diesen Vorgang erfolgt eine Herabsetzung des Proteingehalts in der Maisstärke auf 0,3 Prozent.[21] Die Maisstärke wird soweit entwässert, dass eine Restfeuchte von 35 % bis 42 % zurückbleibt.[21] Hierbei werden Vakuum-Drehfilter, Siebschleudern oder Entwässerungszentrifugen eingesetzt. Abschließend erfolgt die Trocknung der Maisstärke in Stromtrocknern mit Heißluftstrom, dies trägt zur Vermeidung einer Überhitzung der Stärke erheblich bei.[21] Der native Zustand der Maisstärke bleibt erhalten.

4.1.2 Herstellung von Stärkesirupen

Im Gegensatz zur direkten Gewinnung von Zucker aus Zuckerrüben oder Zuckerrohr, dient auch Stärke aus Kartoffeln und Mais als Ausgangsstoff für die Herstellung von Isoglucosesirupen. Bei diesem Verfahren werden Stärkemoleküle in ihre einzelnen Zuckerbausteine (Stärkehydrolysate) aufgelöst.[22]

Es bedarf mehrerer Prozessschritte und dem Einsatz von Enzymen, damit aus Stärke HFCS entsteht (vgl. Abb. 9). In einem ersten Schritt erfolgt die Verflüssigung der Stärke, wobei das Enzym α -Amylase eingesetzt wird.[23] Es schließt sich die Verzuckerung der Stärke an, wobei es sich um eine enzymatische Hydrolyse handelt, bei der gentechnisch hergestellte Enzyme zum Einsatz kommen. Durch das Enzym Glucoamylase (Exo-Amylase) bzw. Amyloglucosidase werden die Spaltprodukte zum Monosaccharid Glucose abgebaut.[22] Die Spaltprodukte Glucose und Fructose werden durch die weiteren Prozessschritte Reinigen, Filtrieren und Konzentrieren behandelt. Durch den Einsatz des gentechnisch hergestellten Enzyms

Glucoseisomerase erfolgt anschließend eine Überführung in ein Glucose/Fructose – Gemisch (Isomeratzucker), das sich aus 48–49 % Glucose und 51–52 % Fructose zusammensetzt.[24] Dieser chemische Prozess wird als Isomerisierung bezeichnet. Das Gemisch wird gereinigt und vakuumiert und findet seinen vielfältigen Einsatz in der Lebensmittelproduktion.[24] Das Gemisch besitzt annähernd die Süßkraft von Haushaltszucker (Saccharose).[22] Eine Steigerung der Süßkraft kann durch weitere Prozessdurchläufe erreicht werden. Es entsteht Fructosesirup HFCS (High Fructose Corn Syrup), der bereits seit Jahren die Verwendung von Saccharose in den USA verdrängt hat.[22] Durch eine Reihe an Verfahren lassen sich Chargen mit bis zu 90% Fructose wie dem VEHFCS erhalten.

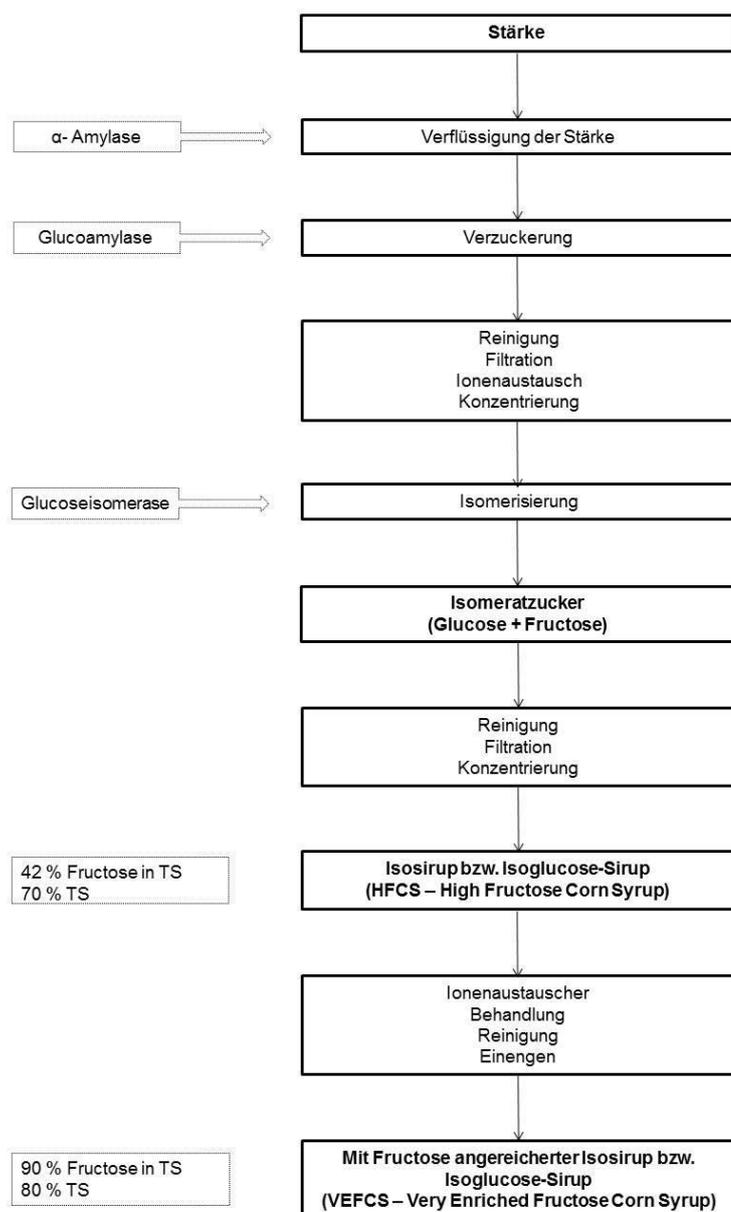


Abbildung 9: Herstellung von High Fructose Corn Syrup (HFCS)
 Quelle: in Anlehnung an [23] Präve et al.: Handbuch der Biotechnologie, 4. Auflage, Oldenbourg Verlag München 1994, S. 649 und [24] Ruttloff/ Proll/ Leuchtenberger: Lebensmittel-Biotechnologie: Probleme und Lösungsansätze, Springer-Verlag Berlin 1996, S. 217

4.1.3 Gesundheitliche Risiken

Insbesondere in den USA verdoppelte sich in den letzten drei Jahrzehnten der Verbrauch an HFCS, der als Süßungsmittel in Lebensmitteln und insbesondere in Getränken eingesetzt wird.[25, 27] Der Konsum überschüssiger Fructose steht im Verdacht, Stoffwechselerkrankungen wie Fettleibigkeit zu fördern.[27] Fettleibigkeit steht in direktem Zusammenhang mit Herz-Kreislaufkrankungen, Typ-2-Diabetes, Schlaganfall, Lebererkrankungen und Krebs. [26] Bei der Entstehung von Fettleibigkeit spielt insbesondere die Ernährung und der damit einhergehende übermäßige Verzehr fett- und zuckerhaltiger Lebensmittel eine bedeutende Rolle.[26] Der Einsatz von HFCS in Lebensmitteln ist daher nicht unumstritten. Während Befürworter argumentieren, dass HFCS ein natürlicher Zucker ist, der aus Fructose und Glucose besteht, stufen Gegner den Zucker kritischer ein.[25] Wirtschaftlich gesehen, stellt Fructose im Gegensatz zu Saccharose die bessere Wahl dar, da Fructose um eine Vielfach höhere Süßkraft verfügt und Lebensmitteln bzw. Getränken schnell einen süßen Geschmack verleiht.[25]

In den USA wurden bereits diverse Studien durchgeführt, um die Auswirkungen eines erhöhten Konsums von HFCS auf den Fett- und Kohlehydratstoffwechsel des menschlichen Organismus zu untersuchen. Dabei wurde der Hypothese nachgegangen, dass der Konsum von Lebensmitteln, die stark fructosehaltige Sirupe wie HFCS enthalten, im Gegensatz zu Saccharose gesüßten Lebensmitteln, erheblich zu Stoffwechselerkrankungen wie Fettleibigkeit beiträgt. Während Glucose als wichtiger Energielieferant gilt, wird Fructose, die nicht über Obst und Gemüse aufgenommen wird, weniger gut eingestuft. Fructose, die die Leber verlässt, wird in der Mehrheit in Fettsäuren umgewandelt.[25] Die zusätzlich aufgenommenen Kalorien werden nicht verbrannt und daher weitestgehend als Fett gespeichert.[25] Ein übermäßiger Konsum von HFCS trägt daher zur Verfettung bei.[25] Experimente an Ratten zeigen, dass der Konsum von Zuckern mit einem höheren Fructose- als Glucoseanteil Veränderungen im Organismus erzeugen, die in Zusammenhang mit Stoffwechselerkrankungen stehen. [26]

4.2 Dextrose-Äquivalent

4.2.1 Definition

Die Stärke ist ein Rohstoff, der sich zur Verzuckerung eignet.[28] Die Verzuckerung der Stärke erfolgt durch enzymatische Hydrolyse oder durch eine Säurehydrolyse. Während dieses Prozesses entstehen Verzuckerungsprodukte in unterschiedlicher Zusammensetzung.[28] Der Verzuckerungsgrad wird in Dextrose-Äquivalenten (DE-Wert) angegeben. Der Wert beschreibt die Summe der reduzierenden Zucker, die als Glucose berechnet werden.[28]

$$R_p \cdot 100$$

$$M_T$$

R_p – Reduktionsvermögen der Probe in Masseprozent

M_T – Trockenmasse der Probe in Masseprozent

Der Verzuckerungsgrad ist entscheidend für die Intensität des süßen Geschmacks von Stärkehydrolysaten.[28]

Tabelle 11: Durchschnittliche Zusammensetzung von Stärkehydrolysaten

Quelle: in Anlehnung an [28] Belitz/ Grosch/ Schieberle: Lehrbuch der Lebensmittelchemie, 5. Auflage, Springer-Verlag Berlin 2001, S. 862

Enzymatische Hydrolyse				
DE-Wert	Glucose	Maltose	Maltotriose	Höhere Oligosaccharide
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
20	1	5	6	88
45	5	50	20	25
65	39	35	11	15
97	96	2	-	2

Stärkesirupe können sich aus Glucose, Maltose, Maltotriose und anderen Oligosacchariden zusammensetzen, wobei der Anteil der einzelnen reduzierenden Zucker sich unterscheidet (vgl. Tab. 11). Ein Stärkesirup, der einen DE-Wert von 20 % aufweist, kann z. B. zu einem Prozent aus Glucose, zu fünf Prozent aus Maltose, zu sechs Prozent aus Maltotriose und zu 88 Prozent aus höheren Oligosacchariden bestehen. Jedoch können sich die Stärkesirupe, die einen gleichen oder ähnlichen DE-Wert aufweisen, in ihrer Zusammensetzung unterscheiden. Entscheidend Einfluss auf den DE-Wert eines Sirups, nimmt der Anteil von Fructose und Glucose. Ist deren Anteil sehr hoch, ergibt sich auch ein hoher DE-Wert.

4.2.2 Hydrolysegrad

Glucose- bzw. Stärkesirupe enthalten etwa 20 Prozent Wasser, Glucose, Maltose sowie Oligo- und Polymere.[23] Mittels chromatographischer Messverfahren kann die Zusammensetzung der Kohlenhydrate genauer bestimmt werden.[29] Die Enzyme, die zur Stärkeverzuckerung eingesetzt werden, bestimmen maßgeblich den Verzuckerungsgrad und den Anteil an Gluco-Oligosacchariden.[24] Das Rohprodukt nach der Verzuckerung wird u. a. filtriert und entfärbt.[24] Eine Unterscheidung der Glucosesirupe mit verschiedenen Hydrolysegraden ist möglich (vgl. Tab. 12).[24]

Der Einsatz von Glucose- bzw. Stärkesirupen ist in der Lebensmittelindustrie sehr bedeutend. Die Sirupe dienen als Feuchtestabilisatoren, als Frisch- und Weichhaltemittel sowie als Kristallisationshemmer und Dickungsmittel.[24]

Tabelle 12: Hydrolysegrad

DE	Hydrolysegrad
20-30 %	niedrig verzuckert
36-48 %	mittelverzuckert
63-70 %	hochverzuckert
>95 %	Flüssigdextrose

Der Einsatz von Stärkesirupen in der Süßwarenindustrie ist von großem Vorteil, da diese eine Kristallisation der Saccharose (z. B. Hartkaramellen) verhindern.[29] Zudem wirken die Sirupe als Feuchthaltemittel (z. B. Weichkaramellen, Fondant, Kaugummi).[29] Die Sirupe werden darüber hinaus zur Herstellung von Speiseeis, alkoholischen Getränken, Erfrischungsgetränken, Obstprodukten und der Backwarenindustrie eingesetzt.[29] Des Weiteren erfolgt ein Einsatz in fettarmen und energiereduzierenden Lebensmitteln, wobei die Sirupe dort zur Verbesserung der Emulsions- und Schaumstabilität dienen.[24]

5 Experimenteller Teil

5.1 Methoden zur Bestimmung von Sacchariden

Für den Nachweis von Sacchariden in Lebensmitteln können verschiedene Methoden angewandt werden. So gehören zu den Messprinzipien u. a. polarimetrische Methoden chromatographische Methoden und chemische Summenmethoden (vgl. Abb. 10).[30]

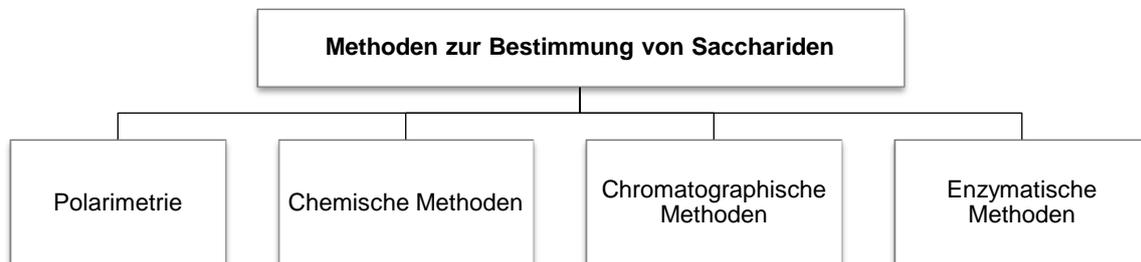


Abbildung 10: Methoden zur Bestimmung von Sacchariden

Zur quantitativen Bestimmung von Saccharose erfolgt der Einsatz polarimetrischer Methoden. Die Polarimetrie ist eine Methode zur Reinheitsprüfung und zur Bestimmung von Lösungen optisch aktiver Stoffe.[30] Die Lösungen drehen die Ebene des polarisierten Lichts in Abhängigkeit ihrer Konzentration um einen bestimmten Betrag.[30] Eine Bestimmung des Drehwinkels erfolgt vor und nach der Säurehydrolyse (Inversion) mittels Polarimeter.[30] Zur Bestimmung des Saccharosegehalts wird die Differenz der Drehwerte herangezogen. Die Methode kann schnell und einfach durchgeführt werden.[30]

Bei den chemischen Summenmethoden erfolgt der Einsatz von Salzlösungen, die Schwermetalle enthalten. Insbesondere Lösungen, die Kupfer enthalten, (z. B. Fehlingsche Lösung, Luffische Lösung) werden verwendet. Das Reduktionsvermögen vieler Zucker auf Schwermetalle wird sich daher in der Zuckeranalytik zu Nutze gemacht.[31] Mono- und Disaccharide (z. B. Glucose, Fructose, Lactose) weisen aufgrund ihrer chemischen Struktur als Halbacetal eine reduzierende Wirkung auf.[30] Durch den Einsatz alkalischer Lösung wie Fehlingsche Lösung oder Luffische Lösung, wird eine Zerstörung der Halbacetalstruktur bewirkt und Kupferionen oxidiert.[30] In Abhängigkeit der Zuckermenge entsteht Kupferoxid.

In der Industrie kommen jedoch vermehrt moderne chromatographische Analysemethoden zum Einsatz. Hierzu gehören die Gaschromatographie (GC) und die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC). Bei den chromatographischen Methoden handelt es sich um Trennverfahren, bei denen eine Trennung von Gemischen aus mehreren Zuckern erfolgt.[30] In einem weiteren Schritt werden die getrennten Zucker identifiziert. Die Methoden liefern somit recht genaue Werte.

Als eine weitere Methode zur Bestimmung von Zuckern können enzymatische Verfahren angewendet werden, die eine hohe Messgenauigkeit aufweisen.[30] Zudem können verschiedene Zucker nebeneinander bestimmt werden.[30] Die enzymatische Analyse ist durch zwei grundlegende Verfahrensweisen charakterisiert. In einem ersten Schritt werden die Zucker mithilfe von Enzymen bestimmt und in einem zweiten Schritt erfolgt die Ermittlung der Enzym-Aktivität, wobei photometrische Bestimmungsmethoden (z. B. UV-Spektralphotometer) zum Einsatz kommen.[30]

Für den experimentellen Abschnitt standen fünf verschiedene Muster an Industriesirupen und zwei unbekannte Sirupe zur Verfügung. Die Industriesirupe wurden durch die Cargill Deutschland GmbH (Standort Barby) bereitgestellt. Ziel war es, die DE-Werte der Sirupe mittels verschiedener Verfahren zu bestimmen und die ermittelten Werte, mit der Standardmethode Lane-Eynon zu vergleichen.

Zu den alternativen Verfahren, die zur DE-Wert-Bestimmung herangezogen wurden, gehörten die chemische Methode nach Luff-Schoorl sowie die chromatographische Bestimmungsmethode HPLC (High Performance Liquid Chromatography). Die Untersuchungsergebnisse werden in diesem Kapitel ausgewertet und bewertet.

5.1.1 Lane-Eynon

Lane-Eynon ist eine Standardmethode, um den DE-Wert mittels Titration zu bestimmen. Hierbei wird mit der Probelösung statt wie üblich mit der Maßlösung titriert. Der DE-Wert wird nach folgender Formel ermittelt (vgl. Abb. 11). Zur Berechnung werden der Verbrauch an Dextroselösung, der Verbrauch an Probelösung als auch die Trockensubstanz herangezogen. Die Trockensubstanz wurde im Vorfeld mittels eines Refraktometers bestimmt.

$$\text{DE-Wert} = \frac{\text{ml Verbrauch Dextroselösung} \times 0,6 \times 500 \text{ ml} \times 100 \%}{\text{ml Verbrauch Probelösung} \times \text{g Einwaage} \times \% \text{ TS}}$$

Abbildung 11: DE-Wert Bestimmung nach Lane-Eynon

Als Prüflösung wird die Fehlingsche Lösung eingesetzt. Hierbei handelt es sich um eine Komplexlösung mit Kupfer(II)-Ionen. Durch die Zugabe von zuckerhaltigen Lösungen werden die Kupfer-Ionen reduziert und es tritt ein Farbumschlag ein. Die Kupfer-Ionen in der blauen Lösung fallen als rotbrauner Niederschlag aus.

5.1.2 Luff-Schoorl

Bei der DE-Wert Bestimmung nach Luff-Schoorl handelt es sich um eine reduktometrische Methode, um den Gehalt direkt reduzierender Zucker in einer Probe zu bestimmen. Hierbei wird Luffsche Lösung eingesetzt, wobei es sich um ein Gemisch aus drei Teillösungen handelt. Die Teillösung A enthält Citronensäure, die Teillösung B enthält Natriumcarbonat und die Teillösung C enthält Kupfersulfat.[30] Die Teillösungen werden in destilliertem Wasser gelöst.[30]

Glucose und Fructose zählen zu den wichtigsten reduzierenden Monosacchariden und Maltose sowie Lactose wiederum zu den wichtigsten reduzierenden Disacchariden in Lebensmitteln.[30] In alkalischer Lösung liegen reduzierende Zucker statt in der Ringform in der offenkettigen Aldehyd- bzw. Ketoform vor (vgl. Abb. 12).[30]

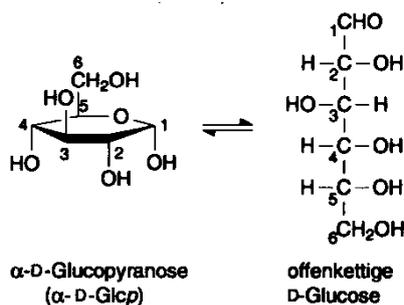
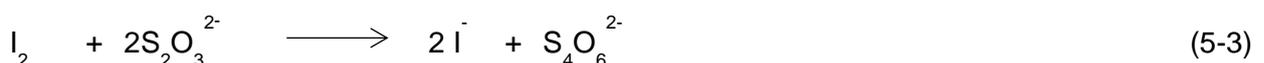


Abbildung 12: Ring- und Ketoform Glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

Quelle: [9] Falbe/ Regitz (Hrsg.): Römpp Chemie-Lexikon: Lebensmittelchemie, 9. Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart 1995, S. 346

In der Luffschen Lösung sind Kupfer (II)-Ionen enthalten, mit denen der reduzierende Zucker reagiert.[30] Das Zusammenspiel reduzierender Zucker mit der Luffschen Lösung und einem anschließendem Erhitzen der Lösung, führt dazu, dass die reduzierenden Zucker oxidieren und Cu^{2+} -Ionen zu Cu^+ -Ionen reduzieren.[30] Es fällt Kupfer(I)-oxid (Cu_2O) aus (Gl. 5-1).[30] Durch Iodometrie, eine chemisch analytische Methode, kann der Überschuss an Cu^{2+} -Ionen bestimmt werden, wobei die Cu^{2+} -Ionen mit Kaliumiodid versetzt werden (Gl. 5-2). Der Probenansatz wurde zuvor mit 25%iger Schwefelsäure versetzt. Es entsteht ein Kupfer(II)-Ion, welches zu Kupferiodid (CuI) reduziert und ein Iodid, welches zu Iod oxidiert (I_2). Die Iod-Moleküle werden anschließend durch Thiosulfat ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) zu I^- -Ionen weiter reduziert (Gl. 5-3).



5.1.3. HPLC

HPLC steht für High Performance Liquid Chromatography, wobei es sich um ein wichtiges Hochleistungstrennverfahren handelt, das seine Anwendung u. a. in der Lebensmittelanalytik, in der Biochemie sowie in der Umweltanalytik findet.[32] HPLC wird genutzt, um den Transport von Stoffen zu ermöglichen, die voneinander zu trennen sind.[32] Hierbei kommt eine mobile Trennphase, die einen gasförmigen oder flüssigen Aggregatzustand aufweist und eine mobile Phase, die einen flüssigen oder festen Aggregatzustand aufweist, zum Einsatz.[32] Der Aggregatzustand der mobilen Trennphase gibt die Einsatzmöglichkeiten vor.[32] HPLC beruht somit auch auf einer Wechselwirkung zwischen mobiler und stationärer Trennphase.

Der Grundaufbau einer HPLC-Apparatur besteht aus einem Probenaufgabensystem, aus einer Hochdruckpumpe zur Förderung der mobilen Phase und aus einer Trennsäule.[32] Die Trennsäule ist mit einem Detektor und einem Schreiber bzw. elektronischem Integrator verbunden, der zur qualitativen und quantitativen Analyse dient.[32]

Bei einer chromatographischen Analyse können verschiedene Trennsystem angewendet werden, jedoch gleichen sich der Aufbau und die Bestandteile einer HPLC-Apparatur unabhängig davon.[32] Die physikalische Stofftrennung in der HPLC-Säule ist temperaturabhängig, daher ist für die Reproduzierbarkeit eine stabile Temperatur der Trennsäule erforderlich.[32] Die Säulen können bspw. durch Säulenöfen, die aus elektrisch beheizten Aluminiumblöcken in einem Wasserbad bestehen oder mittels Umluft, erwärmt werden.[32]

5.2 Material

5.2.1 Geräte und Chemikalien für Versuchsdurchführung nach Lane-Eynon

Für die Versuchsdurchführung werden verschiedene Geräte und Chemikalien benötigt (vgl. Tab. 13). Eine detaillierte Aufschlüsselung, die u. a. die Herstellerangaben enthält, findet sich im Anhang (vgl. A1).

Tabelle 13: Geräte, Hilfsmittel, Chemikalien für Versuchsdurchführung Lane-Eynon

Geräte/Hilfsmittel	Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> • 25 ml Bürette • 500 ml Messkolben • Erlenmeyerkolben 300 ml • Vollpipetten (10 ml, 15 ml, 20 ml und 25 ml) • Eppendorf-Pipette • Stoppuhr • Siedesteine • Herd- bzw. Heizplatte • Analysewaage (Genauigkeit 0,0001 g) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlingsche Lösungen I und II • Methylenblau als Indikator (1%iges Methylenblau) • Standard-Glucoselösung (6g/1l)

5.2.2 Geräte und Chemikalien für Versuchsdurchführung nach Luff-Schoorl

Für die Versuchsdurchführung werden verschiedene Geräte und Chemikalien benötigt (vgl. Tab. 14). Eine detaillierte Aufschlüsselung, die u. a. die Herstellerangaben enthält, findet sich im Anhang (vgl. A1).

Tabelle 14: Geräte, Hilfsmittel, Chemikalien für Versuchsdurchführung Luff-Schoorl

Geräte/Hilfsmittel	Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> • Heizplatte • Kühlwasserbad • 250 ml Messkolben • Vollpipetten (10 ml, 25 ml) • 300 ml Erlenmeyerkolben mit Schliff • Ruchflußkühler mit Schliff • Stoppuhr • Schott Titronic 97 (Titrationssystem bis 50 ml) • Siedesteine • Pipette 	<ul style="list-style-type: none"> • Lösung nach Luff <ul style="list-style-type: none"> ○ <u>Teillösung A:</u> 50 g Citronensäure in 50 ml Wasser lösen ○ <u>Teillösung B:</u> 143,7 g Natriumcarbonat in 350 ml Wasser lösen ○ <u>Teillösung C:</u> 25 g Kupfersulfat in 100 ml Wasser lösen • Kaliumjodid (30 g/100 ml) • 25%ige Schwefelsäure • ca. 1%ige Stärkelösung (als Indikator) • Natriumthiosulfat-Maßlösung 0,1 mol/l

5.2.3 Versuchsbedingungen HPLC

Die Analyse mittels HPLC unterlag bestimmten Versuchsbedingungen (vgl. Tab. 15): Eine detaillierte Aufschlüsselung, die u. a. die Herstellerangaben enthält, findet sich im Anhang (vgl. A1). Es lag eine isokratische Trennung vor, d. h. die Auftrennung von Substanzgemischen mit unveränderter Lösungsmittelzusammensetzung in der mobilen Phase.

Tabelle 15: Versuchsbedingungen HPLC

Elutionsmittel:	0,01 N Schwefelsäure (H ₂ SO ₄)
Injektionsvolumen:	10 µl
Flow:	0,6 ml/min
Temperatur:	35° C

5.3 Durchführung

5.3.1 Versuchsdurchführung Lane-Eynon

Zunächst war eine Herstellung der Fehlingschen Lösungen erforderlich.

- Fehlingsche Lösung I
 - 69,3 g Kupfer(II)sulfat in 1.000 ml destilliertem Wasser lösen.
- Fehlingsche Lösung II
 - 346 g Kalium-Natrium-tartrat und 100 g Natriumhydroxid in 1.000 ml destilliertem Wasser lösen.
 - Fehlingsche Lösungen im Verhältnis 1:1 mischen

Die Durchführung der Standardmethode Lane-Eynon besteht aus den Schritten Titerbestimmung und Titration der Probe.

1. Titerbestimmung

In einen 300 ml Erlenmeyerkolben werden 25 ml Fehlingsche Lösung und 20 ml der Standard-Glucoselösung gegeben. Die Herstellung einer Standard-Glucoselösung war erforderlich, um eine Bezugsgröße zu erhalten, da Stärkesirupe mit unbekanntem Konzentrationen untersucht wurden. Zudem werden Siedesteine hinzugefügt. Die Probe muss auf eine vorgewärmte Heizplatte gestellt und innerhalb von zwei Minuten zum Sieden gebracht werden. Die Probe sollte dann zwei Minuten kochen. In die Probe werden 2-3 Tropfen des Methylenblau-Indikators gegeben. Anschließend wird mit der Standard-Glucoselösung aus der Bürette tropfenweise titriert. Die Titration muss solange erfolgen, bis der Farbumschlag von zu farblos eintritt. Das Probegefäß sollte während der Titration nicht bewegt werden. Der Inhalt muss leicht sieden.

2. Titration der Probe

Die Probe muss möglichst genau eingewogen und in einem Becherglas mit heißem destilliertem Wasser aufgelöst werden. Dies ist erforderlich aufgrund der Zähflüssigkeit der Zuckersirupe. Die Probe wird in einem 500 ml Messkolben überführt und bis zur Eichmarke aufgefüllt. Der Ablauf der Titration der Probe gleicht den Ablauf der Titerbestimmung der Standard-Glucoselösung (s. o.). Eine Doppelbestimmung der Probe ist für die weitere Berechnung des DE-Wertes erforderlich, da aus den Ergebnissen für Probe 1 und Probe 2 ein Mittelwert gebildet wird.

5.3.2 Versuchsdurchführung Luff-Schoorl

In einen 300 ml Erlenmeyerkolben werden 25 ml Luffsche Lösung und 25 ml der Probelösung (Filtrat) pipettiert. Das Gemisch wird mit Siedesteinen versetzt und innerhalb von zwei Minuten zum Sieden gebracht. Nach genau zehn Minuten sieden, muss die Probenlösung sofort mit kaltem Wasser abgekühlt werden. Der erkalteten Probelösung werden 3 g Kaliumiodid und unter vorsichtigem Umschwenken, 25 ml einer 25%igen Schwefelsäure (H_2SO_4) zugegeben. Nach Zugabe von 1 ml Stärkelösung muss mit Natriumthiosulfat-Maßlösung (0,1 mol/l), bis zum Verschwinden der Blaufärbung, titriert werden. Die Titration muss solange erfolgen, bis die matt-gelbe Farbe eintritt.

5.3.3 Versuchsdurchführung HPLC

Die Bedienung einer HPLC-Apparatur setzt eine entsprechende Erfahrung voraus. Die Vermittlung der Kenntnisse war im Rahmen der Bachelorarbeit zeitlich nicht möglich, so dass

die DE-Werte, die mit HPLC ermittelt wurden, durch eine Labormitarbeiterin zugearbeitet wurden. An dieser Stelle wird daher das grundlegende Prinzip der chromatographischen Methode beschrieben.

Der Ablauf einer chromatographischen Analyse umfasst die Einzelschritte Probenaufgabe, Trennung, Überführung in ein Detektorsystem und quantitative Auswertung (vgl. Abb. 13).[32] Die stationäre Phase befindet sich in einer Säule und ein Fördersystem fördert die mobile Phase, kontinuierlich aus einem Vorratsbehälter durch die Trennsäule.[32] Durch eine manuelle oder automatisierte Probenaufgabe, gelangt die Probe auf die Trennsäule, wobei der Fluss der mobilen Phase hierbei nicht unterbrochen wird.[32] Die Beförderung der Probe durch die stationäre Phase der Trennsäule erfolgt durch die mobile Phase.[32] In der Trennsäule erfolgt die Trennung der Probe in die einzelnen Komponenten, in Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen Probe und stationärer Phase.[32] Die mobile Phase leitet die getrennten Substanzen, die nacheinander die Säule verlassen, an den Detektor weiter, der in Abhängigkeit der Konzentration, für jede Komponente ein elektrisches Signal erzeugt.[32] Ein Schreiber registriert die Signale, die als Peaks bezeichnet werden und erstellt ein Chromatogramm.[32]

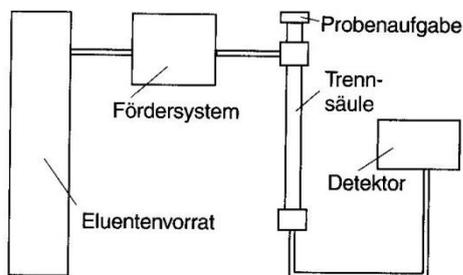


Abbildung 13: Prinzip eines Säulenchromatographen

Quelle: Böcker: Chromatographie – Instrumentelle Analytik mit Chromatographie und Kapillarelektrophorese, Vogel Verlag Würzburg 1997, S. 38

Ein Peak stellt die Probenkonzentration als Funktion der Zeit dar, wobei diese sich als normierte Verteilungsfunktion beschreiben lässt.[32] Zu den häufigsten Verteilungsfunktionen zählen die normale Gauß-, Poisson- oder Binomialverteilung.[32] Die Peaks einer untersuchten Mischung liefern gleichzeitig qualitative und quantitative Informationen.[32]

Für eine qualitative Analyse ist die Retentionszeit erforderlich, die im Rahmen der chromatographischen Auswertung, eine bedeutende Größe ist. Hierbei handelt es sich um die verstrichene Zeit von der Probenaufgabe bis zum Erscheinen des Signalmaximums auf dem Schreiber.[32] Die Retentionszeit wird von der Art der Trennsäule, von der Zusammensetzung der mobilen Phase und deren Fließgeschwindigkeit sowie von der Temperatur beeinflusst.[32] Bei gleichen chromatographischen Bedingungen, weist die Retentionszeit einer Komponente, stets die gleiche Größe auf.[32] HPLC wirft somit ein Chromatogramm mit den Peaks für die

jeweilige Substanz aus. Dieses Diagramm enthält zwei verschiedene Zeiten sowie die Totzeit t_0 (vgl. Abb. 14). Die mobile Phase benötigt eine gewisse Zeit, um vom Ort der Probenaufgabe durch die Trennsäule bis zum Detektor zu wandern. [32] Diese benötigte Zeit wird als Totzeit t_0 bezeichnet. [32]. Die Brutto-Retentionszeit t_R beschreibt die Zeit, die eine retardierte Substanz benötigt, um von der Probenaufgabe bis zum Detektor zu gelangen.[32] Eine retardierte Substanz ist ein Stoff, der von der stationären Phase gar nicht festgehalten wird.[32] Die Netto-Retentionszeit t'_R ergibt sich aus der Differenz von Brutto-Retentionszeit t_R und Totzeit t_0 . [32] Eine Unterscheidung der getrennten Stoffe ist insbesondere durch die Netto-Retentionszeit möglich, die die Aufenthaltszeit in der stationären Phase angibt.[32] Eine lange Verweildauer eines Stoffes in der stationären Phase, trägt zu einem späteren Eluieren des Stoffes bei. Die Fließgeschwindigkeit der mobilen Phase als auch die Länge der Trennsäule, nehmen Einfluss auf die Retentionszeit.[32]

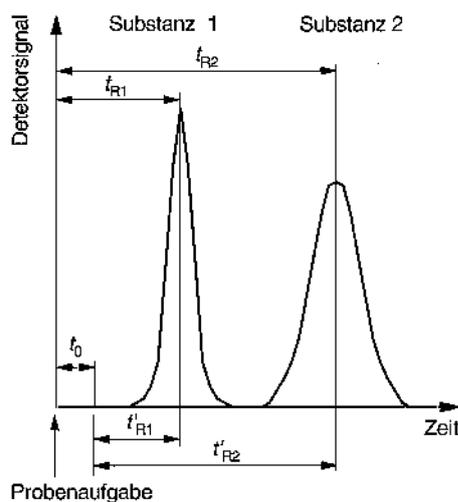


Abbildung 14: Chromatogramm und seine Kenngrößen

Quelle: Böcker: Chromatographie – Instrumentelle Analytik mit Chromatographie und Kapillarelektrophorese, Vogel Verlag Würzburg 1997, S. 41

Im Vorfeld der DE-Wert-Bestimmung mittels HPLC ist es erforderlich, Standardlösungen für die Kalibrierung herzustellen. Es erfolgt ein Vergleich der Standardprobe und des zu untersuchenden Stoffes, wobei die chromatographischen Bedingungen gleich sein müssen.[32] Dennoch können zwei unterschiedliche Substanzen, die gleiche Retentionszeit aufweisen, wodurch es zu einer falschen qualitativen Aussage kommt.[32] Daher gibt es die Möglichkeit, die Probe und die Standards unter zwei verschiedenen Chromatographiebedingungen zu chromatographieren und deren Retentionszeiten zu vergleichen.[32] Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Substanzen unter diesen Umständen, die gleiche Retentionszeit aufweisen, ist eher gering.[32] Auch der Einsatz geeigneter Detektoren hilft dabei, weitere Informationen über die Substanz zu erhalten.[32] Anhand dieser zwei Möglichkeiten, kann eine gesicherte Analyse erfolgen.[32]

Nach der Identifizierung der Substanzen mittels der qualitativen Analyse, kann eine Quantifizierung erfolgen.[32] Um die Konzentration einer Substanz zu bestimmen, kann die Peakhöhe oder die Peakfläche herangezogen werden (vgl. Abb. 15).

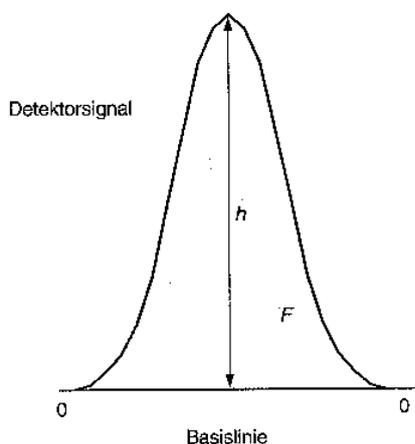


Abbildung 15: Peakfläche bzw. Peakhöhe für die quantitative Analyse
Quelle: Böcker: Chromatographie – Instrumentelle Analytik mit Chromatographie und Kapillarelektrophorese, Vogel Verlag Würzburg 1997, S. 40

5.4 Ergebnisse und Diskussion

5.4.1 Auswertung Messergebnisse Lane-Eynon

Exemplarisch wird die DE-Wert-Bestimmung nach Lane-Eynon am Beispiel des Musters 1 ausführlich dargestellt (Gl. 5-4). Die Werte für die weiteren Muster sind in einer Tabelle (vgl. Tab. 16) erfasst. Die Messergebnisse und Berechnungen finden sich zudem detailliert im Anhang (vgl. A2). Der Verbrauch an Standard-Glucoselösung betrug 24,2 ml. Bei Muster 1 betrug der Verbrauch an Probelösung bei beiden Proben jeweils 24,4 ml und der berechnete DE-Wert 60,3 %. Die mit dem Refraktometer ermittelte Trockensubstanz betrug 81,6 %.

EW:	6,0462 g/500 ml
TS [%]:	81,6
Standard-Glucoselösung:	24,2 ml
Verbrauch an Probelösung:	1. Probe: 24,4 ml
	2. Probe: 24,4 ml

$$\text{DE-Wert: } \frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{24,4\text{ml} \cdot 6,0462\text{g} \cdot 81,6} = \underline{\underline{60,3\%}} \quad (5-4)$$

Die untersuchten Stärkesirupe wiesen DE-Werte zwischen 28,6 % und 92,0 % sowie Trockensubstanzen zwischen 70,8 % und 84,9 % auf. Laut der Verordnung über einige zur menschlichen Ernährung bestimmte Zuckerarten, handelt es sich also um gereinigte und konzentrierte Lösungen von zur Ernährung geeigneten und aus Stärke oder Inulin gewonnenen Sacchariden, die sich durch die Merkmale:

- Trockenmasse mindestens 70 % in Gewicht,
- Dextrose-Äquivalent mindestens 20 % in Gewicht in der Trockenmasse, in D-Glukose ausgedrückt sowie
- Sulfatasche höchstens 1 % in Gewicht in der Trockenmasse

kennzeichnen.

Tabelle 16: Experimentelle Daten zur DE-Wert-Bestimmung nach Lane-Eynon (M1-M7)

Muster	Einwaage (bezogen auf 500ml) [g]	Trocken- substanz TS [%]	Verbrauch an Probelösung		DE-Wert		
			[ml]		[%]		
			Probe 1	Probe 2	Probe 1	Probe 2	\bar{x} (n=2)
1	6,0462	81,6	24,4	24,4	60,3	60,3	60,3
2	9,0109	82,0	24,2	24,15	40,6	40,7	40,7
3	4,3470	75,0	24,2	24,2	92,0	92,0	92,0
4	5,0760	84,9	27,1	27,1	62,2	62,2	62,2
5	4,5974	70,8	24,3	24,3	91,8	91,8	91,8
6	13,8804	75,0	24,4	24,5	28,6	28,5	28,6
7	8,5400	82,5	24,6	24,4	41,9	42,2	42,1

5.4.2 Auswertung Messergebnisse Luff-Schoorl

Zur Bestimmung der DE-Werte nach der Luff-Schoorl-Methode, erfolgte eine Entnahme von sechs Proben je Muster. Aus den sechs ermittelten DE-Werten für jede Probe wurde ein Mittelwert gebildet. Exemplarisch wird dies an Muster 1 aufgezeigt (vgl. Tab. 17).

Tabelle 17: Experimentelle Daten zur DE-Wert-Bestimmung nach Luff-Schoorl (M1)

Einwaage: 589,32 mg → 589,32 mg*0,816 = 480,89 mg TS: 81,6 % → 0,816					
Name	a _v	c	Reduzierende Zucker	Reduzierende Zucker	DE-Wert
	[ml]	[ml]	[mg/25ml]	[mg/250ml]	[%]
Probe 1	13,51	11,59	29,19	291,9	60,7
Probe 2	13,49	11,61	29,25	292,5	60,8
Probe 3	13,49	11,61	29,25	292,5	60,8
Probe 4	13,49	11,61	29,25	292,5	60,8
Probe 5	13,51	11,59	29,19	291,9	60,7
Probe 6	13,50	11,60	29,22	292,2	60,8
					60,8

a _v :	Verbrauch an Natriumthiosulfat – Maßlösung in ml im Hauptversuch
b:	Verbrauch an Natriumthiosulfat – Maßlösung in ml im Blindversuch (Blindwert = 25,10 ml)
c:	c [ml] = b - a _v Verbrauch an Natriumthiosulfatlösung, der der Menge an reduzierenden Zucker entspricht
TS in %:	Glucosegehalt [mg/250 ml] / Glucose (reine) [mg]

Zunächst wurden mittels eines Blindversuchs der Verbrauch an Natriumthiosulfat-Maßlösung (b) ermittelt. Hierfür wurden 25,0 ml der Luffschen Lösung und 25,0 ml destilliertes Wasser in einen Erlenmeyerkolben gefüllt und gemäß der Versuchsanleitung untersucht. Dieser Vorgang wurde einmal wiederholt.

Es ergab sich ein Blindwert von je 25,10 ml. Im Anschluss wurden 25 ml der Luffschen Lösung mit 25 ml der Probelösung gemischt und nach Versuchsanleitung untersucht. Der Verbrauch an Natriumthiosulfat-Maßlösung in ml im Hauptversuch (a_v) lag zwischen 13,49 ml und 13,51 ml. Diese Werte wurden herangezogen, um den Verbrauch an Natriumthiosulfatlösung, der der Menge an reduzierenden Zucker entspricht (c), zu ermitteln ($c=b-a_v$). Es ergaben sich Werte zwischen 11,59 ml und 11,61 ml. Die Ermittlung von c ist erforderlich, um die Menge an reduzierenden Zuckern I aus der Tabelle (vgl. A3) abzulesen. Hierbei ist das Interpolieren erforderlich. Für Probe 1 von M1 lag der Verbrauch an Natriumthiosulfatlösung (c) bei 11,59 ml. Durch Interpolieren ergibt sich ein Wert von 29,19 mg für die Summe von Glucose und Fructose bezogen auf das eingesetzte Volumen von 25 ml der Probelösung. So ergab sich ein Gehalt an reduzierenden Zuckern bei Probe 1 von M1 von 291,9 mg/ml. Die Ermittlung des DE-Wertes wird auf die Trockensubstanz bezogen, daher wurde die Einwaage mit 480,89 mg/250 ml ins Verhältnis zu den reduzierenden Zuckern mit 291,9 mg/250 ml gesetzt. Für Probe 1 von M1 ergibt sich somit ein DE-Wert von 60,8 %. Da eine Sechsfach-Bestimmung erforderlich war, wurde der oben beschriebene Vorgang fünfmal wiederholt (Probe 2 – Probe 6).

Der Vorgehensweise wurde für die Muster 2-7 beibehalten, um die DE-Werte zu ermitteln (vgl. Tab. 18). Die Messergebnisse und Berechnungen finden sich im Anhang (vgl. A4). Bei Muster 4 erschienen die Werte für die Proben im Erstversuch zu hoch. Aus diesem Grund wurden noch weitere 6 Proben dieses Musters untersucht. Die Werte aller 12 Proben des Musters 4 waren sich ähnlich und wiesen geringe Unterschiede auf.

Tabelle 18: DE-Werte nach Luff-Schoorl (M1-M7)

Muster	\bar{x} DE-Wert [%]
1	60,8
2	40,6
3	92,4
4	69,7
5	92,2
6	28,9
7	42,6

Aus den sechs Wiederholbestimmungen für jede Untersuchungsprobe lagen die Mittelwerte zwischen 28,9 % (M6) und 92,4 % (M3).

5.4.3 Auswertung Messergebnisse HPLC

Mittels des eingesetzten HPLC Systems werden die DE-Werte der Muster bestimmt. Dies erfolgt anhand des Chromatogramms, welches durch die Analyse mit HPLC erstellt wird. Im Vorfeld der DE-Wert-Bestimmung mittels HPLC ist es erforderlich, Standardlösungen für die

Kalibrierung herzustellen. So können die in den Proben enthaltenen reduzierenden Zucker identifiziert werden (vgl. Abb. 16).

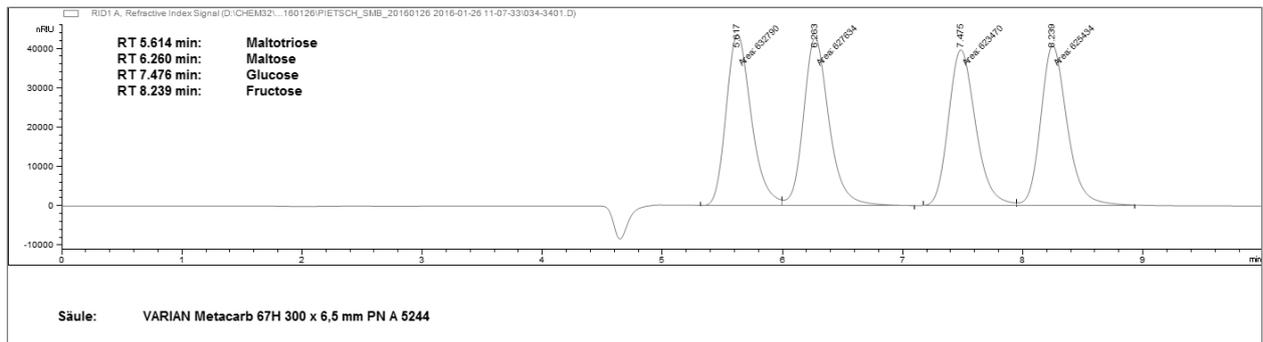


Abbildung 16: Chromatogramm Standardlösung

In der HPLC-Analyse konnten die vier Standardzucker Glucose, Fructose, Maltose und Maltotriose getrennt werden. Die Retentionszeiten für diese Zucker sind in der tabellarisch dargestellt (vgl. Tab. 19). Für das Oligosaccharid Maltotetrose war kein Standard verfügbar. Der erste Peak im Chromatogramm neben der Maltotriose wurde diesem Zucker zugeordnet.

Tabelle 19: Retentionszeiten Standardlösung

Saccharid	Retentionszeit
	[min]
Maltotriose	5,614
Maltose	6,260
Glucose	7,476
Fructose	8,239
Sorbit	8,677

Aus den Peakflächen können über eine externe Kalibrierung die Gehalte der einzelnen Zuckersubstanzen ermittelt werden. Der Gehalt an den jeweiligen Zuckern (Glucose, Fructose, Maltose, Maltotriose, Sorbit) wird direkt aus der Peakfläche ermittelt. Hierbei werden Kalibriergeraden der HPLC-Analyse herangezogen (vgl. A7). Für M1 bis M7 wurde ein Chromatogramm erstellt (vgl. A8-A14). Das Chromatogramm des jeweiligen Musters dient als Grundlage zur Berechnung des DE-Wertes. Neben den Peaks gibt das Chromatogramm Auskunft darüber, wieviel g/l an einem Saccharid in der Lösung enthalten ist.

Die Berechnung des DE-Wertes wird an Muster 1 detailliert erläutert. Zunächst wird über die Kalibriergerade der Gehalt am jeweiligen Saccharid in g/l berechnet. Dies wird für die Kalibriergerade für Glucose von M1 beschrieben (vgl. Abb. 17).

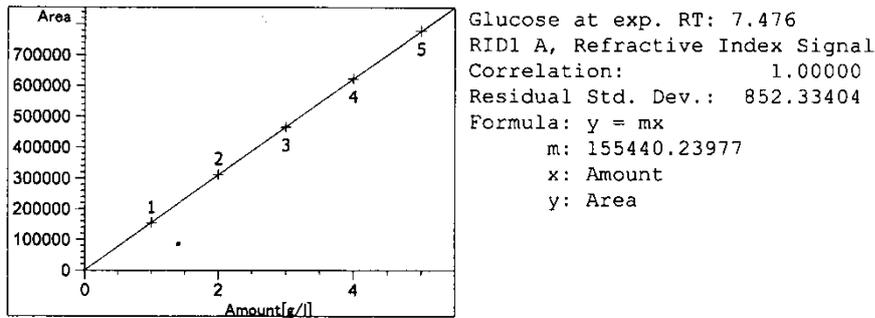


Abbildung 17: Kalibriergerade Glucose M1

Bei der Kalibriergeraden handelt es sich um eine lineare Funktion ($y=mx+n$). Durch eine Umstellung der Formel nach x , wird der Gehalt an Glucose berechnet. Der Wert für m ist durch die HPLC-Kalibriertabelle vorgegeben. Der Wert für y ermittelt sich über die Peakfläche der Glucose von M1 (vgl. Tab. 20). Unter Berücksichtigung der Verdünnung der Proben wurden die Tabellenwerte erhalten.

Tabelle 20: Werte Chromatogramm M1

Saccharid	Retentionszeit [min]	Kalibriergerade Anstieg m	Peakfläche Y [nRIU*s]	Gehalt $x = \frac{y}{m}$ [g/l]	Gehalt nach Multiplikation mit Verdünnungsfaktor (VF: 4) [g/l]
Maltotriose	5,613	154.879,63636	67.719,9	0,43724	1,749
Maltose	6,269	156.828,06676	814.523,0	5,19373	20,775
Glucose	7,474	155.440,23977	622.136,0	4,08241	16,330
Fructose	8,173	157.038,75540	3.220,2	0,025061	0,100

Aus der Einwaage und der löslichen Trockenmasse wird der Gehalt des Einzelzuckers im Sirup berechnet. Es ergibt sich für Glucose ein Wert von 31,2 g/100 g (Gl. 5-5).

Einwaage: 6,41409 g/100ml = 0,0641409 g/ml

TS [%]: 81,6 = 0,816

Glucose: 16,330 g/l = 0,01633 g/ml

$$\frac{\text{Glucose}}{\text{Einwaage} \cdot \text{TS}} = \frac{0,01633 \text{ g/ml}}{0,0641409 \text{ g/ml} \cdot 0,816} = 0,312 \text{ g/ml} = 31,2 \text{ g/100 ml} = \underline{\underline{31,2 \text{ g/100 g}}} \quad (5-5)$$

M1 enthält Maltotriose, Maltose, Fructose und Glucose sowie anteilig Maltotetraose, wobei deren Anteil summarisch ermittelt wird.

Anhand der Masse m , der molaren Masse M (vgl. A6) und der Formel zur Bestimmung der Stoffmenge, werden die Anteile der reduzierenden Zucker im Muster M1 ermittelt. Das Dextrose-Äquivalent gibt den Anteil reduzierender Zucker berechnet als Glucose an, daher wird für die Berechnung die Molare Masse M für Glucose mit 180,16 g/mol zugrunde gelegt (vgl. Tab. 21).

Tabelle 21: Ermittlung DE-Wert mittels HPLC am Muster M1

	m [g/100g]	M [g/mol]	$n = \frac{m}{M}$ [mol]	m=n*M [g]
Glucose	31,2	180,16	$n = \frac{31,2 \text{ g}}{180,16 \text{ g/mol}} = 0,173 \text{ mol}$	$m = 0,173 \text{ mol} * 180,16 \text{ g/mol} = 31,2$
Fructose	0,2	180,16	$n = \frac{0,2 \text{ g}}{180,16 \text{ g/mol}} = 0,001 \text{ mol}$	$m = 0,001 \text{ mol} * 180,16 \text{ g/mol} = 0,2$
Maltose	39,7	342,3	$n = \frac{39,7 \text{ g}}{342,3 \text{ g/mol}} = 0,116 \text{ mol}$	$m = 0,116 \text{ mol} * 180,16 \text{ g/mol} = 20,9$
Maltotriose	3,3	504,4	$n = \frac{3,3}{504,4 \text{ g/mol}} = 0,007 \text{ mol}$	$m = 0,007 \text{ mol} * 180,16 \text{ g/mol} = 1,3$
Maltotetraose	25,6	666,6	$n = \frac{25,6}{666,6 \text{ g/mol}} = 0,038 \text{ mol}$	$m = 0,038 \text{ mol} * 180,16 \text{ g/mol} = 6,8$
DE-WERT				Σ 60,4 %

5.4.4 Korrelation und Bestimmtheitsmaß

Der Korrelationskoeffizient ist eine statistische Größe, die Streudiagramme in einer einzelnen Zahl zwischen ± 1 zusammenfasst. Mittels des Koeffizienten lässt sich zudem eine Aussage darüber treffen, ob die Trendlinie einen positiven, einen neutralen oder einen negativen Verlauf aufweist. Einen Aufwärtstrend spiegelt ein Koeffizient zwischen 0 und 1 wieder. Ein Korrelationskoeffizient $r=0$ zeigt einen horizontalen Trend an und ein Abwärtstrend wird mit einem Wert zwischen -1 und 0 deutlich.

Ziel der experimentellen Untersuchungen war es, u. a. zu ermitteln, ob sich eine Methode zur DE-Wert-Bestimmung durch eine andere Methode ersetzen lässt. Mittels des Korrelationskoeffizienten können so Aussagen getroffen werden, ob ein Zusammenhang zwischen den Methoden besteht.

Der Korrelationskoeffizient und das Bestimmtheitsmaß lassen sich mittels einer Formel berechnen (Gl. 5-6 und Gl. 5-8)[33]. Da es sich um ein lineares Modell handelt, lässt sich das Bestimmtheitsmaß R^2 durch das Quadrieren des Korrelationskoeffizienten ermitteln. Angewendet auf die Messergebnisse, ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von $r=0,994$ (Gl. 5-7) und ein Bestimmtheitsmaß $R^2=0,988$ (Gl. 5-8). Die ausführliche Berechnung des Korrelationskoeffizienten für die Messergebnisse ist tabellarisch im Anhang (vgl. A16) aufgeführt. Dieser sagt aus, dass die Trendlinie positiv verläuft.

Weiterhin wird deutlich, dass die Streuung der Messergebnisse gering ist. Diese liegen demzufolge sehr eng an der positiven Trendlinie und die Korrelation ist stark.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5-6)$$

$$r = \frac{3.751,20}{\sqrt{3.228,69^2} \cdot \sqrt{3.717,51^2}} = \frac{3.751,20}{61,88 \cdot 60,97} = \underline{0,994} \quad (5-7)$$

$$R^2 = 0,994^2 = \underline{0,988} \quad (5-8)$$

Die Korrelation lässt sich mittels eines Diagramms veranschaulichen (vgl. Abb. 18). Die x-Achse zeigt die durchschnittlichen DE-Werte nach Luff-Schoorl und die y-Achse zeigt die durchschnittlichen DE-Werte nach der Standardmethode Lane-Eynon. Das Streudiagramm zeigt deutlich, dass die DE-Werte für M1 bis M7 einem positiv linearen Verlauf folgen und bestätigen somit den ermittelten Korrelationskoeffizienten.

Für das Bestimmtheitsmaß können Werte zwischen 0 und 1 erzielt werden. Für die Berechnung des Zusammenhangs zwischen Lane-Eynon und Luff-Schoorl ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,988$ und somit liegt dieser Wert sehr nah an 1. Die DE-Werte von Luff-Schoorl entsprechen somit 98,8 Prozent den mit Lane-Eynon ermittelten DE-Werten. Es besteht somit ein linearer Zusammenhang. Beide Methoden eignen sich somit zur Bestimmung von DE-Werten.

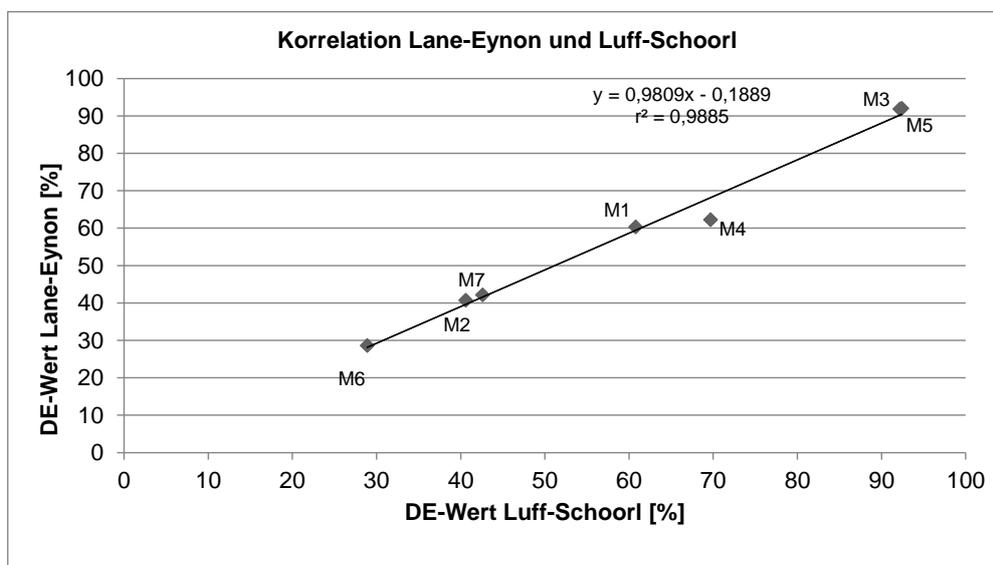


Abbildung 18: Korrelation der DE-Werte versch. Zuckersirupe analysiert mit Lane-Eynon und Luff-Schoorl

Der Korrelationskoeffizient r für die Messergebnisse HPLC und Lane-Eynon beträgt 0,996 (Gl. 5-9 u. 5-10).[33] Der Korrelationskoeffizient zeigt an, ob die Trendlinie einen positiven, neutralen oder negativen Verlauf aufweist. Der ermittelten Werte liegt zwischen 0 und 1, demzufolge zeigt sich ein positiver Verlauf der Trendlinie. und eine geringe Streuung der Messergebnisse. Diese liegen zudem sehr eng an der positiven Trendlinie und die Korrelation ist stark.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5-9)$$

$$r = \frac{3.687,68}{\sqrt{3.683,98^2 * 3.717,51^2}} = \frac{3.687,68}{60,7 * 60,97} = \underline{0,996} \quad (5-10)$$

Die Korrelation lässt sich mittels eines Diagramms veranschaulichen (vgl. Abb. 19). Die x-Achse zeigt die durchschnittlichen DE-Werte nach HPLC und die y-Achse zeigt die durchschnittlichen DE-Werte nach der Standardmethode Lane-Eynon. Das Streudiagramm zeigt deutlich, dass die DE-Werte für M1 bis M7 einem positiv linearen Verlauf folgen und somit den ermittelten Korrelationskoeffizienten bestätigen, der mit 0,996 zwischen 0 und 1 liegt.

Für das Bestimmtheitsmaß können Werte zwischen 0 und 1 erzielt werden. Für die Berechnung des Zusammenhangs zwischen Lane-Eynon und HPLC ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,993$ und somit liegt dieser Wert sehr nah an 1. Die DE-Werte von HPLC entsprechen somit 99,3 Prozent den mit Lane-Eynon ermittelten DE-Werten. Es besteht somit ein linearer Zusammenhang.

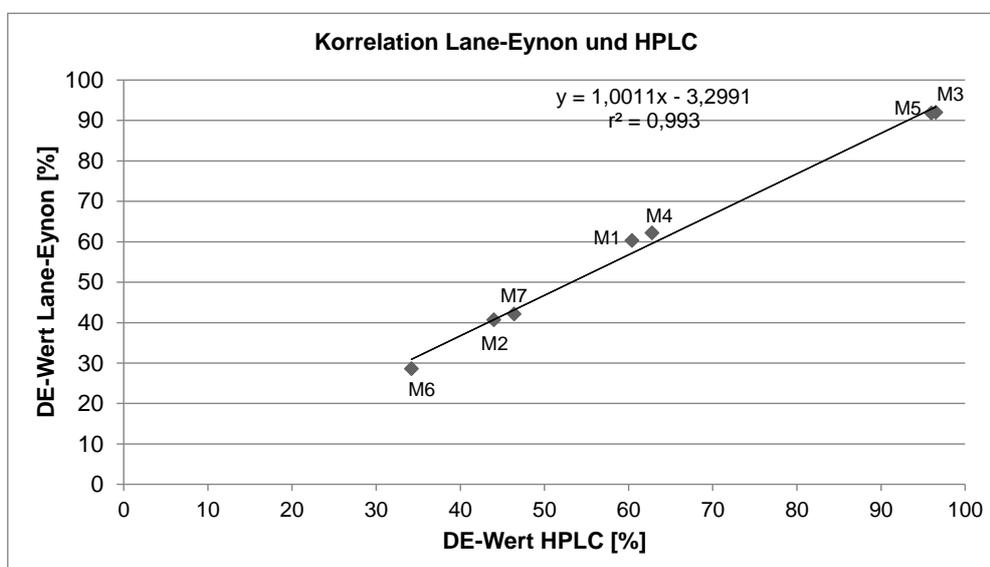


Abbildung 19: Korrelation der DE-Werte versch. Zuckersirupe analysiert mit Lane-Eynon und HPLC

5.4.5 Fehlerbetrachtung der experimentellen Analyse

Die DE-Werte wurden mittels verschiedener Verfahren bestimmt. Hierbei wurde deutlich, dass es bei den einzelnen Mustern Abweichungen gab, d. h. die mit den Methoden nach Lane-Eynon, nach Luff-Schoorl und HPLC ermittelten Werte waren nicht identisch (vgl. Tab. 22).

Tabelle 22: Übersicht DE-Werte Lane-Eynon, Luff-Schoorl, HPLC (M1 – M7)

n	1	2	3
DE-Wert \bar{x}_i [%]			
Muster	Lane-Eynon	Luff-Schoorl	HPLC
M1	60,3	60,8	60,4
M2	40,7	40,6	44,0
M3	92,0	92,4	96,5
M4	62,2	69,7	62,8
M5	91,8	92,2	96,0
M6	28,6	28,9	34,2
M7	42,1	42,6	46,4

Die untersuchten Stärkesirupe wiesen einen unterschiedlichen Gehalt an reduzierenden Zuckern auf. Die Abweichungen lassen sich mittels eines Diagramms veranschaulichen (vgl. Abb. 20).

Ersichtlich ist, dass die nach der Standardmethode Lane-Eynon und nach Luff-Schoorl ermittelten DE-Werte bei den Mustern M1, M2, M3, M5, M6 und M7 nur geringfügig voneinander abweichen. Bei den Mustern M2, M3, M5, M6 und M7 wurden mit HPLC deutlich höhere DE-Werte ermittelt.

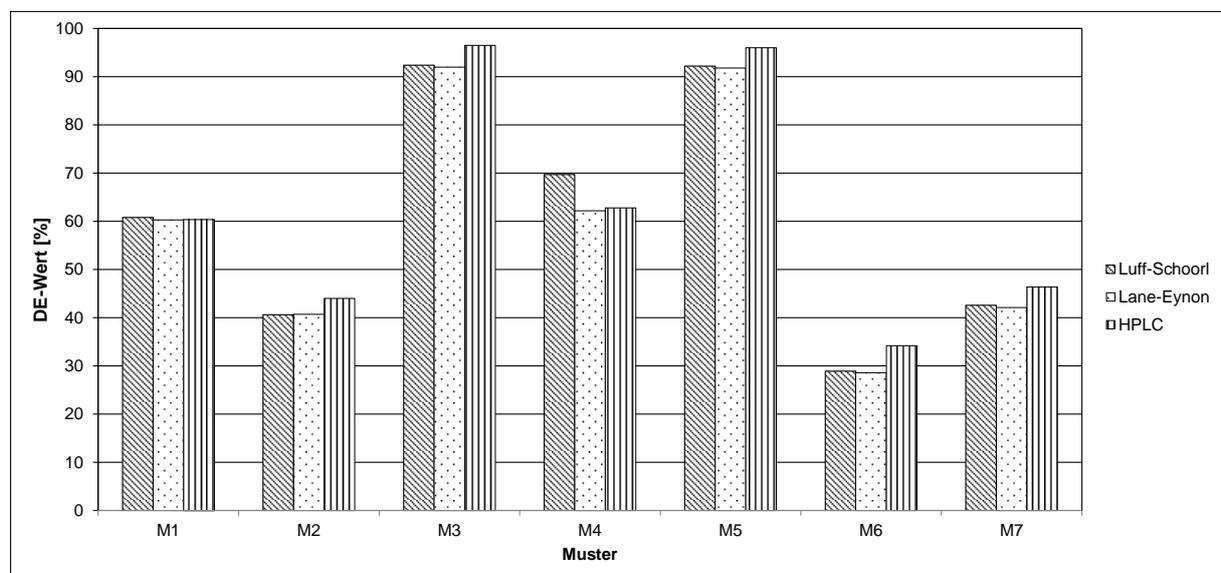


Abbildung 20: Vergleich der analysierten DE-Werte mit verschiedenen Analysemethoden

Zur Bewertung dieser statistischen Abweichungen ist daher eine Fehlerrechnung erforderlich, bei der das arithmetische Mittel, die Varianz, der Variationskoeffizient und die Standardabweichung zu bestimmen sind (vgl. Tab. 23).

Tabelle 23: Statistische Fehlerrechnung

Muster	Arithmetisches Mittel	Standardabweichung	Varianz	Variationskoeffizient	Fehler des Mittelwerts	Vertrauensbereich t-Verteilung
	\bar{x}	s	s^2	$Vk = \frac{s}{\bar{x}} * 100$	$\Delta\bar{x}$	$\bar{x} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}}$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
M1	60,5	0,26	0,07	0,43	0,15	60,5±0,7
M2	41,8	1,93	3,74	4,62	1,12	41,8±4,8
M3	93,6	2,49	6,20	2,66	1,44	93,6±6,2
M4	64,9	4,17	17,37	6,43	2,41	64,9±10,4
M5	93,3	2,32	5,37	2,49	1,34	93,3±5,8
M6	30,5	3,18	10,12	10,43	1,84	30,5±7,9
M7	43,8	2,29	5,22	5,23	1,32	43,8±5,7

Fehlerberechnung am Beispiel M1

Im Rahmen der Fehlerberechnung ist die Ermittlung statistischer Größen erforderlich (vgl. Tab. 24) Zunächst wird das arithmetische Mittel berechnet. Beim arithmetischen Mittel handelt es sich um den Mittelwert. Es gibt Aufschluss über den Durchschnittswert der ermittelten DE-Werte. Für Muster 1 wurde:

- nach Lane-Eynon von 60,3 %,
- nach Luff-Schoorl ein DE-Wert von 60,8 % und
- mittels HPLC von 60,4 %

ermittelt.

Tabelle 24: Fehlerrechnung M1

n	1	2	3
Methode	Lane-Eynon	Luff-Schoorl	HPLC
DE-Wert \bar{x}_i	60,3	60,8	60,4
Arithmetische Mittel	Varianz	Standardabweichung	Fehler des Mittelwerts
\bar{x}	s^2	s	$\Delta\bar{x}$
[%]	[%]	[%]	[%]
60,5	0,07	0,26	0,15

Der Mittelwert \bar{x} beträgt somit 60,5 % (Gl. 5-11 u. 5-12).[33]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5-11)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{3} (60,8 + 60,3 + 60,4) = \underline{60,5 \%} \quad (5-12)$$

Der Varianz s^2 gibt die Streuung der Messwerte x_i um den Mittelwert \bar{x} an (Gl. 5-13 u. 5-14).[34] Für die Berechnung der Varianz werden somit das arithmetische Mittel und die DE-Werte herangezogen. Für Muster 1 ergibt sich für die Varianz ein Wert von 0,07 %.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (5-13)$$

$$s^2 = \frac{1}{2} [(60,8 - 60,5)^2 + (60,3 - 60,5)^2 + (60,4 - 60,5)^2] \quad \underline{\underline{= 0,07 \%}} \quad (5-14)$$

Die Standardabweichung zeigt die Genauigkeit der Messungen und ermittelt sich aus dem Radizieren der Varianz (Gl. 5-15 u. 5-16).[30][33] Die Werte der Standardabweichungen betragen 0,26 % für M1 und 4,17 % für M4. Dies verdeutlicht, dass die Ergebnisse für M1 am genauesten sind.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x})^2} \quad (5-15)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{2} [(60,8 - 60,5)^2 + (60,3 - 60,5)^2 + (60,4 - 60,5)^2]} \quad \underline{\underline{= 0,26 \%}} \quad (5-16)$$

Die Anzahl der durchgeführten Messungen nimmt entscheidend Einfluss auf die Genauigkeit des Mittelwertes.[30] Der statistische Fehler des Mittelwerts dient zur Beurteilung der Messergebnisse.[30] Für die Berechnung des Fehlers des Mittelwerts wird die Standardabweichung s und die Anzahl der Messergebnisse n herangezogen (Gl. 5-17 u. 5-18).[35]

$$\Delta \bar{x} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5-17)$$

$$\Delta \bar{x} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,26}{\sqrt{3}} \quad \underline{\underline{= 0,15 \%}} \quad (5-18)$$

Der Variationskoeffizient wird aus dem Quotienten des arithmetischen Mittels und der Standardabweichung berechnet (Gl. 5-19).[34] Es handelt sich um eine Maßzahl, die eine Streuung unabhängig von einer Skalierung eines Merkmals beschreibt.

$$Vk = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad (5-19)$$

Ist der wahre Mittelwert (μ_x) und die wahre Varianz (σ_x) unbekannt, so wird zur Schätzung des Vertrauensbereiches der arithmetische Mittelwert (\bar{x}) und die Standardabweichung (s) herangezogen (Gl- 5-20).[33] Statt der Normalverteilung, wird die „Student“-Verteilung bzw. t-Verteilung (vgl. A17) verwendet.

$$\bar{x} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5-20)$$

Zur Ermittlung von „t“ werden die Freiheitsgrade f (n-1) und das Vertrauensniveau (statistische Sicherheit S) herangezogen. Hierbei wird von einer 95%igen statistischen Sicherheit S ausgegangen. Übertragen auf die Auswertung ergibt sich n=3 und folglich der Freiheitsgrad f=2 und eine statistische Sicherheit von 95 %, wobei sich laut der Tabelle der t-Verteilung ein Wert von t=4,3027 ergibt. Die Messunsicherheit für M1 beträgt bei einer 95%igen statistischen Sicherheit $\pm 0,7$ Prozent (Gl 5-21).

$$60,5 \pm 4,3027 \frac{0,26}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{60,5\% \pm 0,7\%}} \quad (5-21)$$

Es zeigt sich, dass Muster 1 mit $\pm 0,7$ Prozent die geringste Abweichung und Muster 4 mit $\pm 10,4$ Prozent die größte Abweichung aufweisen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich bereits der mit Luff-Schoorl ermittelte DE-Wert bei Muster 4 deutlich von den ermittelten DE-Werten der anderen Verfahren unterscheidet. Gründe hierfür können z. B. in der Versuchsdurchführung liegen. So führt ein Überschreiten der Kochdauer zu Fehlern zwischen 0,5 % und 2 %, sofern der Anteil an reduzierenden Zuckern in der Analysesubstanz mehr als 10 % beträgt. Zudem kann Kupfer(I)-oxid bei einer nicht zügigen Arbeitsweise geringfügig oxidieren. [36]

Die Anwendung der Methoden nach Luff-Schoorl und nach Lane-Eynon weist Vor- und Nachteile auf. Die Standardmethode Lane-Eynon ist eine einfache Messmethode, die bei einem hohen Gehalt an reduzierenden Zuckern, im Gegensatz zu Luff-Schoorl, genauere Messergebnisse liefert. Zudem weist die Reagenzlösung eine gute Haltbarkeit auf. [36]

Werden jedoch Lösungen untersucht, bei denen der Zuckergehalt unbekannt ist, so ist ein Vorversuch erforderlich, der eine Standardisierung mit Invertzucker-Standardlösung umfasst. Anwendung findet die Methode nach Lane-Eynon bei der Analyse von Produkten mit einem hohen Gehalt an Zucker (z. B. Zuckerrübenprodukte, Stärkeverzuckerungsprodukte). [36]

Die Methode nach Luff-Schoorl weist den großen Vorteil der unbeschränkten Haltbarkeit der Luffschen-Lösung auf. Die Zersetzung der Zucker erfolgt aufgrund des niedrigen pH-Wertes gleichmäßiger und genauer. Dennoch können Abweichungen des pH-Wertes eintreten, so dass ungenaue Analyseergebnisse möglich sind. Die Methode eignet sich zur Analyse von Lebensmitteln mit niedrigen und mittleren Gehalten an reduzierenden Zuckern. [36]

Abschließend lässt sich feststellen, dass die älteren Verfahren Luff-Schoorl und Lane-Eynon auch heute noch verwertbare Ergebnisse liefern und näherungsweise an die Werte, die mit dem hochmodernen Mess- und Analyseverfahren HPLC ermittelt werden, heranreichen. Mit den Verfahren lassen sich die DE-Werte niedrig bis hochverzuckerter Sirupe bestimmen. Die chemischen Summenmethoden Lane-Eynon und Luff-Schoorl eignen sich jedoch nicht, um ein genaues Zuckerspektrum eines Sirups zu ermitteln, da der Nachweis der einzelnen enthaltenen Saccharide in einem Sirup damit nicht möglich ist. HPLC liefert genauere Ergebnisse zum Zuckerspektrum, da sich mit dieser Bestimmungsmethode der prozentuale Anteil der enthaltenen Mono-, Di- und Oligosaccharide in einem Sirup nachweisen lässt.

5.4.6 Einfluss der Zuckerzusammensetzung auf Dichte und Viskosität

5.4.6.1 Dichte

Nach Bestimmung der DE-Werte sollte geprüft werden, ob sich Aussagen zum DE-Wert in Abhängigkeit zur Dichte und zur Viskosität treffen lassen. Und zwar war aus den HPLC-Chromatogrammen ersichtlich, dass die Sirupe, die in annähernd gleichen DE-Wert-Bereichen lagen, ein unterschiedliches Zuckerspektrum, d. h. eine unterschiedlich anteilige Zusammensetzung an Zuckern, aufwiesen.

Die Dichte ist eine Stoffeinheit, die sich als Masse pro Volumen eines Stoffes definiert. Als Einheit für die Dichte von Feststoffen und Flüssigkeiten wird Gramm pro Kubikzentimeter (g/cm^3) bzw. Gramm pro Milliliter (g/ml) verwendet. Da sich das Volumen der meisten Substanzen in Abhängigkeit von der Temperatur ändert, ist die Angabe einer Bezugstemperatur erforderlich. Ist keine Temperatur angegeben, wird von einer Zimmertemperatur von 25°C ausgegangen. [37]

Durch die Masse-Volumen-Bestimmung, wurde die Dichte für die Sirupe ermittelt. Im Vorfeld wurde das Fassungsvermögen mit Wasser eines gewählten Behälters bestimmt. Der Behälter mit Wasser wurde gewogen und anschließend erfolgte eine Umrechnung der Einheiten Gramm in Kubikzentimeter. Die Dichte des Wassers ($0,100 \text{ g/cm}^3$) stellte die Bezugsgröße dar. Dann wurden nacheinander die Muster abgewogen und deren Dichte ermittelt aus dem Quotienten von Masse und Volumen (vgl. Tab. 25).

Es wurde der Zusammenhang der Dichte und der Trockensubstanz für die Muster mit ähnlichen DE-Wert-Bereichen betrachtet. Hierzu gehörten M1 und M4 sowie M2 und M7. Ergänzend wurden auch die Muster M5 (93,3 %) und M6 (30,5 %) betrachtet, die stark voneinander abweichende DE-Werte aufwiesen.

Tabelle 25: Werte für Dichte, DE-Werte und Werte für Trockensubstanz

	Dichte	DE-Wert ¹	Trockensubstanz
	[g/cm ³]	[%]	[%]
M1	1,477	60,5	81,6
M2	1,442	41,8	82,0
M4	1,457	64,9	84,9
M5	1,363	93,3	70,8
M6	1,422	30,5	75,0
M7	1,385	43,8	82,5

Die geringste Dichte weist M5 mit 1,363 g/cm³ auf, wobei dieses Muster auch die geringste Trockensubstanz besitzt. Es ist zudem das Muster mit dem höchsten DE-Wert. Die höchste Dichte zeigt sich bei M1 mit 1,477 g/cm³. Werden die DE-Werte und die Werte für die Dichte graphisch betrachtet, so ist ein proportionaler Zusammenhang nicht erkennbar (vgl. Abb. 21).

Werden die Muster betrachtet, die in einem ähnlichen DE-Wert-Bereich liegen, fällt auf, dass die ermittelten Werte für die Dichte von M2 (DE-Wert: 41,8 %) und M7 (DE-Wert: 43,8 %) 0,057 g/cm³ auseinander liegen, wobei M7 mit dem höheren DE-Wert eine niedrigere Dichte aufweist. Bei M1 (DE-Wert: 60,5 %) und M4 (DE-Wert: 64,9 %) verhält es sich ähnlich. M4 verfügt über den höheren DE-Wert, jedoch über den kleineren Wert für die Dichte. Der Dichtewert von M4 und M1 unterscheidet sich um 0,020 g/cm³.

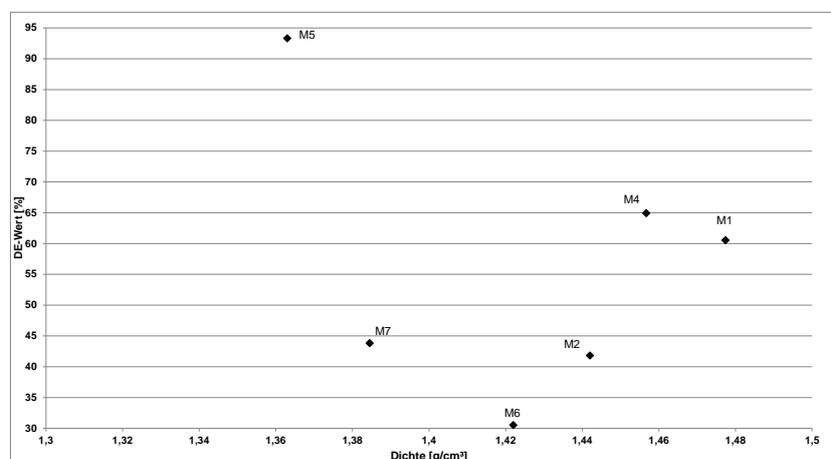


Abbildung 21: Zusammenhang DE-Werte und Dichte

¹ Mittelwert der DE-Werte aus den Methoden Lane-Eynon, Luff-Schoorl und HPLC

5.4.6.2 Viskosität

Die Viskosität ist eine wichtige Eigenschaft von Flüssigkeiten, da diese sich in ihrer Fließfähigkeit unterscheiden können. Es gibt Flüssigkeiten, die fließen leicht und andere wiederum, die bspw. eine dickflüssige bis gelartige Konsistenz aufweisen, fließen zäh. Dieser Fließwiderstand wird als Viskosität definiert. Die Viskosität hängt von den Anziehungskräften zwischen den Molekülen in einer Flüssigkeit ab. Mit steigender Molekülmasse, steigt auch die Viskosität. [37] Die Viskosität ist zudem eine Größe, die temperaturabhängig ist. Für die Untersuchung wurde ein Rotationsviskosimeter verwendet.

Im Rahmen der experimentellen Untersuchung sollte anschließend überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen ähnlichen DE-Wert-Bereichen und der Viskosität festzustellen ist. Hierfür wurde die Viskosität der Muster M1 und M4, die DE-Werte von 60,5 % und 64,9 % aufwiesen sowie die Viskosität der Muster M2 und M7, die DE-Werte von 41,8 % und 43,8 % aufwiesen, untersucht (vgl. A18-A23). Ergänzend wurden auch die Muster M5 (93,3 %) und M6 (30,5 %) betrachtet, die stark voneinander abweichende DE-Werte aufwiesen. Alle zwei Sekunden erfolgte eine Messung bei 20°C, wobei insgesamt 30 Messpunkte erfasst wurden. Der Verlauf der Viskositätsmessung wird an 15 Messpunkten graphisch dargestellt (vgl. Abb. 22).

Es zeigt sich, dass Muster M5 nach einer sehr hohen Anlaufphase, die niedrigste Viskosität aufweist. Die höchste Viskosität weist Muster M4 auf. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass das Muster mit der höchsten Viskosität eine dickflüssige Konsistenz und das Muster mit der geringsten Viskosität eine weniger dickflüssige Konsistenz aufweist. Überträgt man dies auf die DE-Werte, könnte die Annahme getroffen werden, dass die Viskosität mit steigendem DE-Wert fällt. Werden die anderen Muster betrachtet, trifft diese Annahme jedoch nicht zu. Dies zeigt sich z. B. beim Vergleich von M6 mit einem DE-Wert von 30,5 % und bei M4 mit einem DE-Wert von 64,9 % sowie bei M5 mit einem DE-Wert von 93,3 %. Die Viskosität von M6 ist geringer als die von M4 und nimmt hier mit steigendem DE-Wert zu. Die Viskosität von M6 ist jedoch höher als die von M5 und nimmt hier mit steigendem DE-Wert ab.

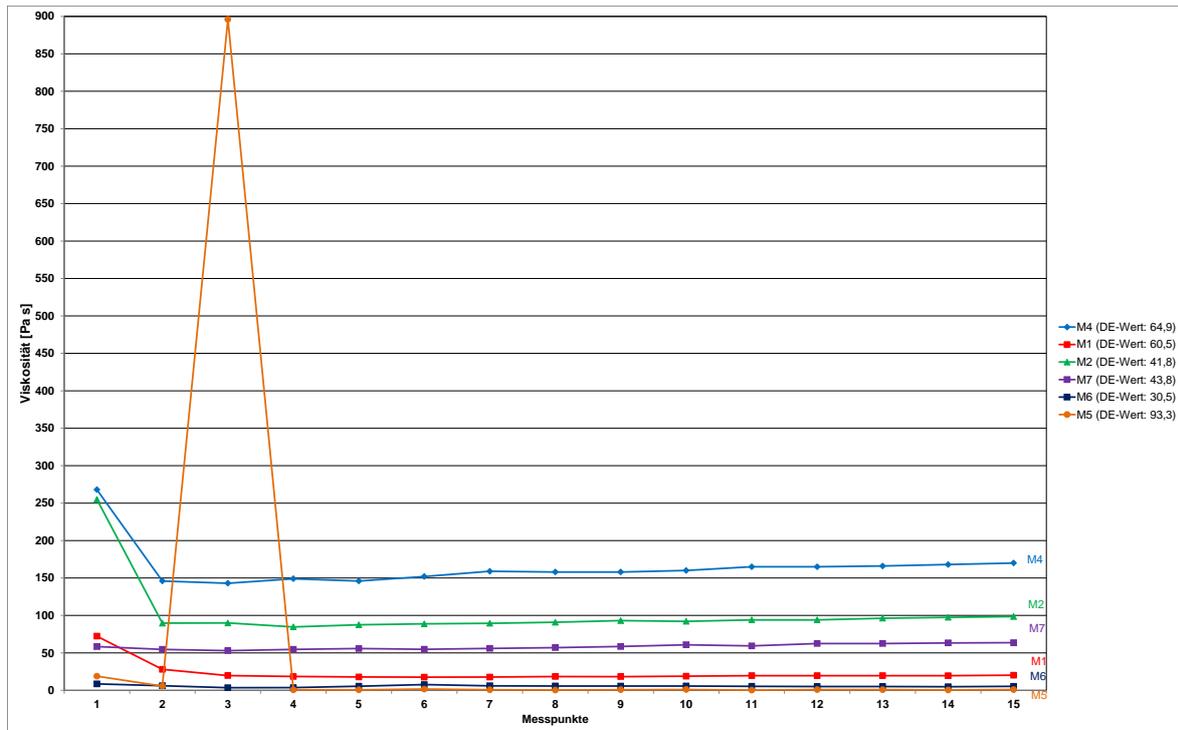


Abbildung 22: Verlauf der Viskositätsmessung an 15 Messpunkten

Neben den DE-Werten und der Viskosität kann auch eine weitere Größe betrachtet werden. Mittels der Trockensubstanz können weitere Aussagen getroffen werden. Insgesamt wurden für die Viskosität 30 Messpunkte erfasst, aus denen der Median ermittelt wurde. Der Median ist eine statistische Größe, die den Durchschnitt vieler Messungen angibt, bei denen Ausreißer auftreten. Dies war erforderlich, da mit einer konstanten Temperatur gearbeitet wurde und die Werte für die einzelnen Messpunkte gerade zu Beginn voneinander abwichen.

Werden die Werte für die Viskosität nach der Größe geordnet, zeigt sich, dass das Muster mit dem kleinsten Viskositätswert, die geringste Trockensubstanz aufweist. Das Muster mit der höchsten Viskosität wiederum, weist auch den höchsten Wert für die Trockensubstanz auf (vgl. Tab. 26).

Tabelle 26: Zusammenhang Viskosität und Trockensubstanz

Muster	DE-Wert [%]	Viskosität Median	Trockensubstanz [%]
M5	93,3	0,644	70,8
M6	30,5	5,71	75,0
M1	60,5	20,65	81,6
M2	41,8	99,20	82,0
M7	43,8	64,15	82,5
M4	64,9	174,00	84,9

zunehmende Zähflüssigkeit

Es zeigt sich der Trend, dass die Viskosität mit zunehmendem Trockensubstanzgehalt ansteigt (vgl. Abb. 23). M5 weist den niedrigsten Trockensubstanzgehalt von 70,8 % und auch den niedrigsten Viskositätswert mit 0,644 Pa·s auf. M4 wiederum hat den höchsten Trockensubstanzgehalt mit 84,9 % und auch die höchste Viskosität mit 174,00 Pa·s. Die Trockensubstanzgehalte der Muster M2 und M7 liegen mit 82,0 % und 82,5 % sehr eng bei einander. Auch die DE-Werte dieser Muster liegen mit 41,8 % und 43,8 % in einem ähnlichen Wertebereich. Es wäre daher anzunehmen, dass auch die Viskositätswerte Parallelen aufzeigen. Jedoch ist festzustellen, dass der Viskositätswert von M7 geringer ist als von M2.

Die Muster weisen unterschiedliche Zuckerspektren und somit Unterschiede in der Größe der enthaltenen Zuckermoleküle auf, die die Werte für Dichte und Viskosität beeinflussen. Sie enthalten Glucose und Fructose, die jeweils nur aus einem Molekül (ein Glucose- bzw. ein Fructosebaustein) bestehen. Des Weiteren enthalten die Sirupe Maltose, das hingegen aus zwei Molekülen sowie Maltotriose und Maltotetraose, die als Oligosaccharide aus einer Glucosemolekül-Kette, bestehen. Werden für einen Vergleich die HPLC-Werte herangezogen, dann wird deutlich, dass die Sirupe, die einen hohen Glucose- und Fructoseanteil enthalten, einen hohen DE-Wert aufweisen. Sie enthalten folglich weniger Moleküle. Es lässt sich somit schlussfolgern, dass die Muster, die weniger Moleküle enthalten, die höheren DE-Werte aufweisen.

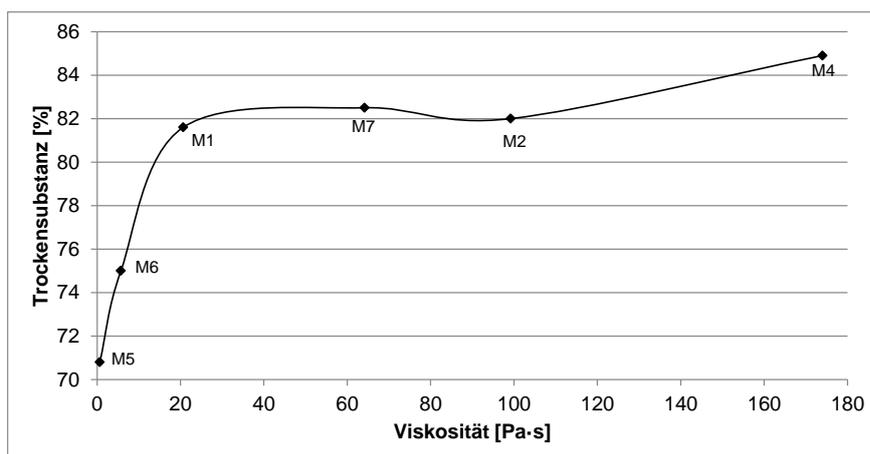


Abbildung 23: Viskosität und Trockensubstanz

Für die technische Verarbeitung von Sirupen ist die Viskosität von großer Bedeutung. Die Viskosität von Zuckerlösungen steigt exponentiell an, wenn die Konzentration zunimmt (dilatantes Fluid) und fällt wiederum mit zunehmender Temperatur. [37] Ein Fluid, dessen Viskosität abnimmt, ist strukturviskos.

Um weitere Aussagen zur Viskosität zu treffen, wurde daher auch die Schergeschwindigkeit betrachtet. Der Schergeschwindigkeit von Flüssigkeiten gibt Auskunft darüber, ob es sich um strukturviskoses oder dilatantes Fluid handelt. Bei der Untersuchung der Viskosität der Muster zeigte sich, dass dilatante Fluids also scherverdickende Fluids vorlagen. Je größer die Scherung ist, umso viskoser bzw. zäher ist der Sirup. Anhand der Diagramme (vgl. A24) der Viskositätsmessung wird deutlich, dass die Viskosität nicht konstant bleibt und die Sirupe daher nicht-newtonsch sind. Eine Zunahme der Viskosität der Sirupe wird durch eine Strukturveränderung bewirkt. Die einzelnen Partikel im Fluid stehen in Wechselwirkung miteinander und verhaken. Sie können daher schlechter aneinander vorbei gleiten. [39] Das Viskositätsdiagramm des Musters 5 zeigt, dass dessen Schergeschwindigkeit konstant bleibt, daher ist davon auszugehen, dass es sich um ein newtonsches Fluid handelt. Die Konsistenz dieses Sirups war sehr flüssig und ähnelte Wasser. Zudem wies dieses Muster den geringsten Viskositätswert mit $0,644 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ auf.

6 Fazit und Ausblick

Warum wurde sich mit dem Thema Stärkesirupe befasst? Isoglucose wird aktuell bereits in einer Vielzahl an Lebensmitteln und Getränken eingesetzt. Mit dem Wegfall der Quotenregelung der EU-Zuckermarktverordnung Ende des dritten Quartals 2017 wird angenommen, dass bei der Verarbeitung von Lebensmitteln, Zucker anteilig durch Isoglucose substituiert wird.

Der Einsatz des Industriezuckers Isoglucose ist erforderlich, um der Nachfrage der Konsumenten zu entsprechen. Diese wollen Lebensmittel in einer gleichbleibenden Qualität und mit einem charakteristischen Geschmack und Aussehen sowie langer Haltbarkeit kaufen. Diesen Wünschen kann nur entsprochen werden, wenn die Lebensmittel entsprechend technisch bearbeitet werden, wobei dies den Einsatz verschiedener Stoffe und Zutaten bei der Verarbeitung bedingt. Der Einsatz von Zucker und Zuckeralternativen ist daher aus der Lebensmittelindustrie kaum wegzudenken und aus industrieller Sicht auch erforderlich, um die Kriterien, die die Verbraucher an verarbeitete Lebensmittel stellen, zu erfüllen.

Aus industrieller und wirtschaftlicher Sicht ist die Verwendung von Stärkesirupen von Vorteil, da bereits durch einen geringen Rohstoffeinsatz, eine hohe Süße erzielt wird und dieser auch über andere funktionelle Eigenschaften verfügt. Zudem wahrt sich die Industrie Unabhängigkeit (z. B. vor Ernteaussfällen, vor Preissteigerungen auf dem Weltmarkt). Biotechnologisch steht Mais preiswert und maßgeschneidert zur Verfügung. Stärkesirupe stellen daher eine preiswerte Alternative zur Raffinade dar.

Stärkesirupe müssen mindestens einen DE-Wert von 20 Prozent aufweisen, wobei das Zuckerspektrum des jeweiligen Stärkesirups variieren kann. Das Zuckerspektrum gibt Auskunft über die Zusammensetzung der Sirupe und somit über den prozentualen und mengenmäßigen Anteil der einzelnen Zucker im Sirup. Zur Bestimmung der DE-Werte werden in der Praxis verschiedene Methoden angewandt. Im Rahmen der experimentellen Untersuchung wurden DE-Werte von Stärkesirupen mit einem unbekanntem Zuckerspektrum untersucht. Hierbei zeigte sich, dass für die DE-Wert-Bestimmung niedrig bis hochverzuckerter Stärkesirupe verschiedene Verfahren eingesetzt werden können, wobei sich die Genauigkeit der Ergebnisse unterschied. Es wurde sich auf die chemischen Summenmethoden Lane-Eynon und Luff-Schoorl sowie auf die chromatographische Bestimmungsmethode HPLC beschränkt.

Die standardisierte Summenmethode Lane-Eynon lieferte aussagekräftige Ergebnisse zum DE-Wert des jeweiligen Stärkesirups, jedoch war mit dieser Methode eine genaue Bestimmung des Zuckerspektrums nicht möglich. Bei der DE-Wert-Bestimmung nach Luff-Schoorl war es möglich, die reduzierenden Monosaccharide Glucose und Fructose zu bestimmen. Mittels der chromatographischen Bestimmungsmethode ließen sich detaillierte Aussagen zum Zuckerspektrum treffen. So war der prozentuale Anteil an Monosacchariden (Glucose und Fructose), an Disacchariden (Maltose) und an Oligosacchariden (Maltotriose, Maltotetraose) nachweisbar. Die Methoden unterscheiden sich nicht nur vom zeitlichen Aufwand her, sondern auch von der Art der Versuchsdurchführung sowie vom eingesetzten Material (z. B. Geräte, Chemikalien). Dennoch zeigten sich bei den ermittelten DE-Werten nur geringe Abweichungen zwischen den Messmethoden. Es stellte sich heraus, dass die standardisierte Methode nach Lane-Eynon, aussagekräftige Ergebnisse lieferte und auch im starken Zusammenhang mit den anderen Bestimmungsmethoden steht. Ein Nachteil der Methode war, dass eine Bestimmung des Zuckerspektrums nicht möglich war, da die Mono-, Di- und Oligosaccharide nicht einzeln nachweisbar waren. Dies ist aus industrieller und wirtschaftlicher Sicht jedoch erforderlich, um den Einsatz von Stärkesirupen in einem Lebensmittel abzustimmen. So soll aus ökonomischer Sicht durch einen geringen Rohstoffeinsatz, ein bestmögliches Ergebnis erzielt werden.

Die Auseinandersetzung mit Zucker und Zuckeralternativen ist auch zukünftig für die Lebensmittelindustrie von Relevanz, wobei die kritische Betrachtung gesundheitlicher Risiken, die womöglich von Stärkesirupen ausgehen, zunehmen wird. In den USA wird bereits seit Jahren der Industriezucker HFCS eingesetzt und Studien zu dessen gesundheitlichen Risiken durchgeführt. Der High Fructose Corn Syrup zeichnet sich durch einen hohen Fructoseanteil aus und substituierte einen hohen Anteil an Zucker in verarbeiteten Lebensmitteln. Stärkesirupe, die aus Mais gewonnen werden, stehen dort im Verdacht, Stoffwechselerkrankungen wie Fettleibigkeit zu fördern. Es ist davon auszugehen, dass sich im europäischen Raum und insbesondere in Deutschland mit den Risiken, die womöglich vom Industriezucker ausgehen, befasst wird.

Anhang

Anhangsverzeichnis

- A1: Geräte und Chemikalien
- A2: Messergebnisse Lane-Eynon
- A3: Tabelle zur Ermittlung des Gehaltes an Glucose und Fructose sowie Lactose bzw. Maltose – Luffsche Lösung, 10min Kochzeit
- A4: Messergebnisse Luff-Schoorl
- A5: Bestimmung durch HPLC
- A6: Molare Masse von reduzierenden Zuckern
- A7: Retentionszeiten und Kalibriergeraden
- A8: Chromatogramm M1
- A9: Chromatogramm M2
- A10: Chromatogramm M3
- A11: Chromatogramm M4
- A12: Chromatogramm M5
- A13: Chromatogramm M6
- A14: Chromatogramm M7
- A15: Messergebnisse HPLC
- A16: Berechnung Korrelationskoeffizient r
- A17: Tabelle t-Verteilung
- A18: Viskositätswerte M1
- A19: Viskositätswerte M2
- A20: Viskositätswerte M4
- A21: Viskositätswerte M5
- A22: Viskositätswerte M6
- A23: Viskositätswerte M7
- A24: Viskositätsdiagramme

A1: Geräte und Chemikalien

Gerät/Chemikalie	Hersteller
Lane-Eynon	
Fehling I	Roth
Fehling II	Roth
Methylenblau	
Analysenwaage	
Heizplatte	
Stoppuhr	
Siedesteine	
Eppendorf-Pipette	
Vollpipetten (10 ml, 15 ml, 20 ml und 25 ml)	
Erlenmeyerkolben 300 ml	
500 ml Messkolben	
25 ml Bürette	
Luff Schoorl	
Citronensäure	Roth
Natriumcarbonat	Roth
Kupfer(II)sulfat	Roth
Kaliumjodid	Roth
25%ige Schwefelsäure	Roth
1%ige Stärkelösung	Roth
Natriumthiosulfat-Maßlösung 0,1 mol/l	Roth
Titrationssystem bis 50 ml	Schott Titronic 97
Heizplatte	
Kühlwasserbad	
Ruchflußkühler mit Schliff	
250 ml Messkolben	
Vollpipetten (10 ml, 25 ml)	
300 ml Erlenmeyerkolben mit Schliff	
Pipette	
Stoppuhr	
Siedesteine	
HPLC	
HPLC System	Agilent 1100 Series
Detektor RID	G 1362A
Software	ChemStation Edition

A2: Messergebnisse Lane-Eynon

Verbrauch an Standard-Glucoselösung: 24,2 ml

	EW	TS [%]	Verbrauch an Probelösung		DE-Wert ²		
			1.Probe	2.Probe	1.Probe	2. Probe	\bar{x} (n=2)
M1	6,0462g/500ml	81,6	24,4	24,4	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{24,4\text{ml} \cdot 6,0462\text{g} \cdot 81,6} = 60,3$	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{24,4\text{ml} \cdot 6,0462\text{g} \cdot 81,6} = 60,3$	<u>60,3%</u>
M2	9,0109g/500ml	82	24,2	24,15	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{24,2\text{ml} \cdot 9,0109\text{g} \cdot 82} = 40,6$	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{24,15\text{ml} \cdot 9,0109\text{g} \cdot 82} = 40,7$	<u>40,7%</u>
M3	4,347g/500ml	75	24,2	24,2	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{24,2\text{ml} \cdot 4,347\text{g} \cdot 75} = 92,0$	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{24,2\text{ml} \cdot 4,347\text{g} \cdot 75} = 92,0$	<u>92,0%</u>
M4	5,076g/500ml	84,9	27,1	27,1	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{27,1\text{ml} \cdot 5,076\text{g} \cdot 84,9} = 62,2$	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{27,1\text{ml} \cdot 5,076\text{g} \cdot 84,9} = 62,2$	<u>62,2%</u>
M5	4,5974g/500ml	70,8	24,3	24,3	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{27,1\text{ml} \cdot 4,5974\text{g} \cdot 70,8} = 91,8$	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{27,1\text{ml} \cdot 4,5974\text{g} \cdot 70,8} = 91,8$	<u>91,8%</u>
M6	13,8804g/500ml	75	24,4	24,5	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{24,4\text{ml} \cdot 13,8804\text{g} \cdot 75,1} = 28,6$	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{24,5\text{ml} \cdot 13,8804\text{g} \cdot 75,1} = 28,5$	<u>28,6%</u>
M7	8,5400g/500ml	82,5	24,6	24,4	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{24,6\text{ml} \cdot 8,54\text{g} \cdot 82,5} = 41,9$	$\frac{24,2\text{ml} \cdot 0,6 \cdot 500\text{ml} \cdot 100}{24,4\text{ml} \cdot 8,54\text{g} \cdot 82,5} = 42,2$	<u>42,1%</u>

² Werte wurden auf eine Stelle nach dem Komma gerundet.

A3: Tabelle zur Ermittlung des Gehaltes an Glucose und Fructose sowie Lactose bzw. Maltose – Luffsche Lösung, 10min Kochzeit

Quelle: [30] Matissek, R./ Schnepel, F.-M./Steiner, G.: Lebensmittelanalytik: Grundzüge-Methoden-Anwendungen, 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin 1992, S. 130

c [ml]	I		L		M	
	[mg]	Δ	[mg]	Δ	[mg]	Δ
1	2,4	2,4	3,6	3,7	3,9	3,9
2	4,8	2,4	7,3	3,7	7,8	3,9
3	7,2	2,5	11,0	3,7	11,7	3,9
4	9,7	2,5	14,7	3,7	15,6	4,0
5	12,2	2,5	18,4	3,7	19,6	3,9
6	14,7	2,5	22,1	3,7	23,5	4,0
7	17,2	2,5	25,8	3,7	27,5	4,0
8	19,8	2,6	29,5	3,7	31,5	4,0
9	22,4	2,6	33,2	3,8	35,5	4,0
10	25,0	2,6	37,0	3,8	39,5	4,0
11	27,6	2,7	40,8	3,8	43,5	4,0
12	30,3	2,7	44,6	3,8	47,5	4,1
13	33,0	2,7	48,4	3,8	51,6	4,1
14	35,7	2,8	52,2	3,8	55,7	4,1
15	38,5	2,8	56,0	3,9	59,8	4,1
16	41,3	2,9	59,9	3,9	63,9	4,1
17	44,2	2,9	63,8	3,9	68,0	4,2
18	47,1	2,9	67,7	4,0	72,2	4,3
19	50,0	3,0	71,7	4,0	75,5	4,4
20	53,0	3,0	75,7	4,1	80,9	4,5
21	56,0	3,1	79,8	4,1	85,4	4,6
22	59,1	3,1	83,9	4,1	90,0	4,6
23	62,2		88,0		94,6	

c Verbrauch an Natriumthiosulfat-Maßlösung (0,1 mol/l), der der Menge an reduzierenden Zuckern entspricht

I Glucose, Fructose als Invertzucker: $C_6H_{12}O_6$

L Lactose, wasserfrei: $C_{12}H_{22}O_{11}$

M Maltose, wasserfrei: $C_{12}H_{22}O_{11}$

Δ Differenz zum nachstehenden Wert der Spalte

A4: Messergebnisse Luff-Schoorl**Analyse von Muster 1**

Einwaage: 589,32 mg → 589,32 mg*0,816 = 480,89 mg/250 ml Wasser

TS: 81,6 % → 0,816

Name	a _v in ml	c in ml	Gehalt an Glucose und Fructose		Zuckergehalt in %
			in mg/25ml	in mg/250ml	
Probe 1	13,51	11,59	29,19	291,9	60,7
Probe 2	13,49	11,61	29,25	292,5	60,8
Probe 3	13,49	11,61	29,25	292,5	60,8
Probe 4	13,49	11,61	29,25	292,5	60,8
Probe 5	13,51	11,59	29,19	291,9	60,7
Probe 6	13,50	11,60	29,22	292,2	60,8
$\bar{x}_{(n=6)}$					60,8

Analyse von Muster 2

Einwaage: 594,40 mg → 594,40 mg*0,82 = 487,41 mg/250ml Wasser

TS: 82,0 % → 0,820

Name	a _v in ml	c in ml	Gehalt an Glucose und Fructose		Zuckergehalt in %
			in mg/25ml	in mg/250ml	
Probe 1	17,09	8,01	19,83	198,3	40,7
Probe 2	17,12	7,98	19,75	197,5	40,5
Probe 3	17,08	8,02	19,85	198,5	40,7
Probe 4	17,09	8,01	19,83	198,3	40,7
Probe 5	17,10	8,00	19,80	198,0	40,6
Probe 6	17,11	7,99	19,77	197,7	40,6
$\bar{x}_{(n=6)}$					40,6

Analyse von Muster 3

Einwaage: 300,03 mg → 300,03mg*0,75 = 225 mg/250ml Wasser

TS: 75,0 % → 0,750

Name	a _v in ml	c in ml	Gehalt an Glucose und Fructose		Zuckergehalt in %
			in mg/25ml	in mg/250ml	
Probe 1	16,70	8,40	20,84	208,4	92,6
Probe 2	16,71	8,39	20,81	208,1	92,5
Probe 3	16,75	8,35	20,71	207,1	92,0
Probe 4	16,71	8,39	20,81	208,1	92,5
Probe 5	16,72	8,38	20,79	207,9	92,4
Probe 6	16,70	8,40	20,84	208,4	92,6
$\bar{x}_{(n=6)}$					92,4

Analyse von Muster 4

Einwaage: 572,25 mg \rightarrow 572,25 mg \cdot 0,849 = 485,84 mg/250ml Wasser

b = Blindwert = 25,61ml

TS: 84,9 % \rightarrow 0,849

Name	a _v in ml	c in ml	Gehalt an Glucose und Fructose		Zuckergehalt in %
			in mg/25ml	in mg/250ml	
Probe 1	12,26	13,35	33,94	339,4	69,9
Probe 2	12,31	13,30	33,81	338,1	69,6
Probe 3	12,25	13,36	33,97	339,7	69,9
Probe 4	12,32	13,29	33,78	337,8	69,5
Probe 5	12,31	13,30	33,81	338,1	69,6
Probe 6	12,25	13,36	33,97	339,7	69,9
Probe 7	12,31	13,30	33,81	338,1	69,6
Probe 8	12,26	13,35	33,94	339,4	69,9
Probe 9	12,25	13,36	33,97	339,7	69,9
Probe 10	12,31	13,30	33,81	338,1	69,6
Probe 11	12,32	13,29	33,78	337,8	69,5
Probe 12	12,31	13,30	33,81	338,1	69,6
$\bar{x}_{(n=12)}$					69,7

Analyse von Muster 5

Einwaage: 353,81 mg \rightarrow 353,81mg \cdot 0,708 = 250,5 mg/250ml Wasser

TS: 70,8 % \rightarrow 0,708

Name	a _v in ml	c in ml	Gehalt an Glucose und Fructose		Zuckergehalt in %
			in mg/25ml	in mg/250ml	
Probe 1	15,79	9,31	23,21	232,1	92,7
Probe 2	15,85	9,25	23,05	230,5	92,0
Probe 3	15,86	9,24	23,02	230,2	91,9
Probe 4	15,82	9,28	23,13	231,3	92,3
Probe 5	15,83	9,27	23,10	231,0	92,2
Probe 6	15,84	9,26	23,08	230,8	92,1
$\bar{x}_{(n=6)}$					92,2

Analyse von Muster 6

Einwaage: 307,9 mg \rightarrow 307,5mg \cdot 0,75 = 230,93 mg/250ml Wasser

b = Blindwert = 25,81ml

TS: 75,0 % \rightarrow 0,750

Name	a _v in ml	c in ml	Gehalt an Glucose und Fructose		Zuckergehalt in %
			in mg/25ml	in mg/250ml	
Probe 1	23,06	2,75	6,60	66,0	28,6
Probe 2	22,98	2,83	6,79	67,9	29,4
Probe 3	23,09	2,72	6,52	65,2	28,2
Probe 4	23,05	2,76	6,62	66,2	28,7
Probe 5	23,02	2,79	6,69	66,9	29,0
Probe 6	22,97	2,84	6,81	68,1	29,5
$\bar{x}_{(n=6)}$					28,9

Analyse von Muster 7

Einwaage: 600,35 mg \rightarrow 600,35 mg \cdot 0,825 = 495,28 mg/250ml Wasser

TS: 82,5 % \rightarrow 0,825

Name	a _v in ml	c in ml	Gehalt an Glucose und Fructose		Zuckergehalt in %
			in mg/25ml	in mg/250ml	
Probe 1	17,32	8,49	21,07	210,7	42,5
Probe 2	17,20	8,61	21,39	213,9	43,2
Probe 3	17,25	8,56	21,26	212,6	42,9
Probe 4	17,30	8,51	21,13	211,3	42,7
Probe 5	17,40	8,41	20,86	208,6	42,1
Probe 6	17,36	8,45	20,97	209,7	42,3
$\bar{x}_{(n=6)}$					42,6

a_v: Verbrauch an Natriumthiosulfat – Maßlösung in ml im Hauptversuch
 b: Verbrauch an Natriumthiosulfat – Maßlösung in ml im Blindversuch (Blindwert = 25.10ml)
 c [ml]: b - a_v
 Verbrauch an Natriumthiosulfatlösung, der der Menge an reduzierenden Zucker entspricht
 TS in % : Glucosegehalt [mg/250ml] / Glucose (reine) [mg]

A5: Bestimmung durch HPLC

Probe	Einwaage [g]	TS [%]	Glucose [g/l]	Fructose [g/l]	Maltose [g/l]	Maltotriose [g/l]	Malto-tetraose [g/l]
M1	6,41409	81,6	4,08241	0,025061	5,19373	0,43724	-
		VF: 4	16,330	0,100	20,775	1,749	-
		g/100g	31,2	0,2	39,7	3,3	25,6
M2	6,32086	82,0	2,14902	0,02366	1,78771	1,62826	-
		VF: 4	8,596	0,095	7,151	6,513	-
		g/100g	16,6	0,2	13,8	12,6	56,8
M3	2,31322	75,0	3,6011	0,4672	0,1607	0,031314	-
		VF: 4	14,404	1,869	0,643	0,125	-
		g/100g	83,0	10,8	3,7	0,7	1,8
M4*	6,67777	84,9	3,9916	1,14005	5,15163	0,03459	-
		VF: 4	15,966	4,560	20,607	0,138	-
		g/100g	28,2	8,0	36,3	0,2	25,1
M5	4,88800	70,8	4,46512	3,59284	0,32468	0,07455	-
		VF: 4	17,860	14,371	1,299	0,298	-
		g/100g	51,6	41,5	3,8	0,9	2,2
M6	4,531	75,0	0,2372	0,1379	0,8534	1,38533	-
		VF: 4	0,949	0,552	3,414	5,541	-
		g/100g	2,8	1,6	10,0	16,3	69,3
M7	5,034	82,5	2,03622	0,01608	1,55925	1,21249	-
		VF: 4	8,145	0,064	6,237	4,850	-
		g/100g	19,6	0,2	15,0	11,7	53,5

*Muster 4 enthielt neben den aufgeführten reduzierenden Zuckern auch noch Sorbit (2,2 g/100 g).

A6: Molare Masse von reduzierenden Zuckern

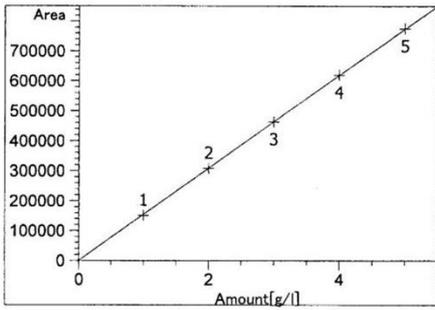
	Molmasse [g/mol]
Glucose	180,16
Fructose	180,16
Maltose	342,30
Maltotriose	504,40
Maltotetraose	666,60
Sorbit	182,17

A7: Retentionszeiten und Kalibriergeraden

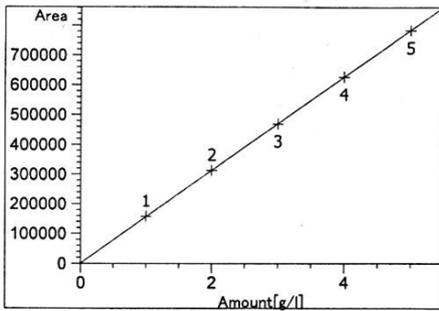
Overview Table

RT	Sig	Lvl	Amount [g/l]	Area	Rsp.Factor	Ref	ISTD #	Compound
5.614	1	1	1.00000	1.51630e5	6.59500e-6	No	No	Maltotriose
		2	2.00000	3.08400e5	6.48508e-6			
		3	3.00000	4.64130e5	6.46371e-6			
		4	4.00000	6.19590e5	6.45588e-6			
		5	5.00000	7.75840e5	6.44463e-6			
6.260	1	1	1.00000	1.58103e5	6.32499e-6	No	No	Maltose
		2	2.00000	3.13641e5	6.37671e-6			
		3	3.00000	4.69850e5	6.38502e-6			
		4	4.00000	6.27634e5	6.37314e-6			
		5	5.00000	7.84014e5	6.37744e-6			
7.476	1	1	1.00000	1.54296e5	6.48104e-6	No	No	Glucose
		2	2.00000	3.10384e5	6.44363e-6			
		3	3.00000	4.65595e5	6.44337e-6			
		4	4.00000	6.21706e5	6.43390e-6			
		5	5.00000	7.78107e5	6.42585e-6			
8.239	1	1	1.00000	1.56585e5	6.38632e-6	No	No	Fructose
		2	2.00000	3.13444e5	6.38072e-6			
		3	3.00000	4.70343e5	6.37832e-6			
		4	4.00000	6.27547e5	6.37402e-6			
		5	5.00000	7.86488e5	6.35738e-6			
8.677	1	1	1.00000	1.58260e5	6.31872e-6	No	No	Sorbit
		2	2.00000	3.17142e5	6.30632e-6			
		3	3.00000	4.77626e5	6.28107e-6			
		4	4.00000	6.36468e5	6.28468e-6			
		5	5.00000	8.11111e5	6.16438e-6			

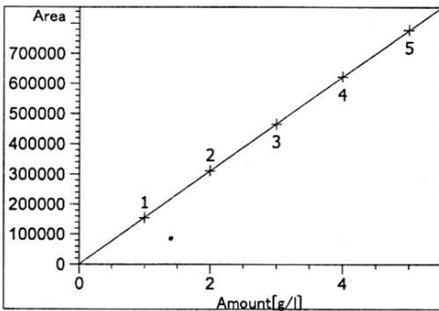
Calibration Curves



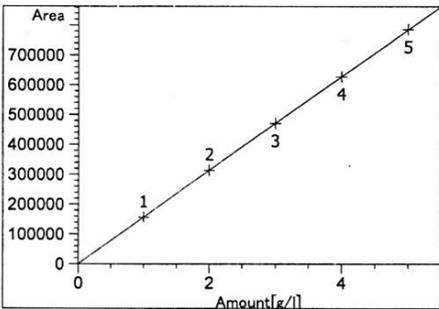
Maltotriose at exp. RT: 5.614
 RID1 A, Refractive Index Signal
 Correlation: 0.99999
 Residual Std. Dev.: 1920.33153
 Formula: $y = mx$
 m: 154879.63636
 x: Amount
 y: Area



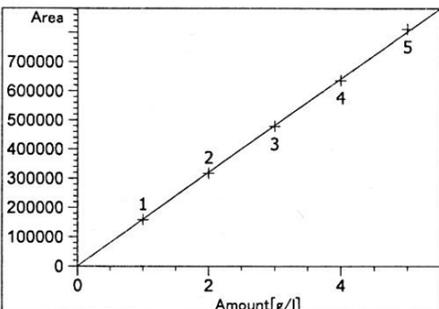
Maltose at exp. RT: 6.260
 RID1 A, Refractive Index Signal
 Correlation: 1.00000
 Residual Std. Dev.: 732.71878
 Formula: $y = mx$
 m: 156828.06676
 x: Amount
 y: Area



Glucose at exp. RT: 7.476
 RID1 A, Refractive Index Signal
 Correlation: 1.00000
 Residual Std. Dev.: 852.33404
 Formula: $y = mx$
 m: 155440.23977
 x: Amount
 y: Area



Fructose at exp. RT: 8.239
 RID1 A, Refractive Index Signal
 Correlation: 1.00000
 Residual Std. Dev.: 901.12871
 Formula: $y = mx$
 m: 157038.75540
 x: Amount
 y: Area



Sorbit at exp. RT: 8.677
 RID1 A, Refractive Index Signal
 Correlation: 0.99995
 Residual Std. Dev.: 5908.77059
 Formula: $y = mx$
 m: 160488.16364
 x: Amount
 y: Area

A15: Messergebnisse HPLC

	Glucose		Fructose		Maltose		Maltotriose		Maltotetraose		Σ DE-Wert
	[g/100g]	[in %]	[g/100g]	[in %]	[g/100g]	[in %]	[g/100g]	[in %]	[g/100g]	[in %]	[in %]
M1	31,2	31,2	0,2	0,2	39,7	20,9	3,3	1,2	25,6	6,9	60,4
M2	16,6	16,6	0,2	0,2	13,8	7,3	12,6	4,5	56,8	15,4	44,0
M3	83	83	10,8	10,8	3,7	1,9	0,7	0,3	1,8	0,5	96,5
M4*	28,2	28,2	8,0	8,0	36,3	19,1	0,2	0,1	25,1	5,2	62,8
M5	51,6	51,6	41,5	41,5	3,8	2,0	0,9	0,3	2,2	0,6	96,0
M6	2,8	2,8	1,6	1,6	10	5,3	16,3	5,8	69,3	18,7	34,2
M7	19,6	19,6	0,2	0,2	15	7,9	11,7	4,2	53,5	14,5	46,4

*Muster 4 enthielt 2,2 g/ 100 g Sorbit, dies entspricht 2,2 %.

A16: Berechnung Korrelationskoeffizient r

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

	DE-Wert		$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
	Luff-Schoorl	Lane-Eynon					
	\bar{x}	\bar{y}					
M1	60,8	60,3	-0,229	0,629	-0,144	0,052	0,395
M2	40,6	40,7	-20,429	-18,971	387,559	417,327	359,915
M3	92,4	92	31,371	32,329	1.014,193	984,167	1.045,137
M4	69,7	62,2	8,671	2,529	21,926	75,194	6,394
M5	92,2	91,8	31,171	32,129	1.001,493	971,658	1.032,245
M6	28,9	28,6	-32,129	-31,071	998,281	1.032,245	965,434
M7	42,6	42,1	-18,429	-17,571	323,816	339,612	308,755
Σ	61,0286	59,6714			3.747,126	3.820,254	3.718,274
					√	61,80821	60,97765
						r	0,994218
	DE-Wert		$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
	HPLC	Lane-Eynon					
	\bar{x}	\bar{y}					
M1	60,4	60,3	-2,500	0,629	-1,571	6,250	0,395
M2	44	40,7	-18,900	-18,971	358,560	357,210	359,915
M3	96,5	92	33,600	32,329	1.086,240	1.128,960	1.045,137
M4	62,8	62,2	-0,100	2,529	-0,253	0,010	6,394
M5	96	91,8	33,100	32,129	1.063,456	1.095,610	1.032,245
M6	34,2	28,6	-28,700	-31,071	891,750	823,690	965,434
M7	46,4	42,1	-16,500	-17,571	289,929	272,250	308,755
Σ	62,900	59,671			3.688,110	3.683,980	3.718,274
					√	60,696	60,978
						r	0,996494

A17: Tabelle t-Verteilung

Quelle: Kromidas: Validierung in der Analytik-Die Praxis der instrumentellen Analytik, Wiley-VCH

Verlag Weinheim 1999, S. 261

– *t*-Tabelle

<i>f</i>	P = 95 %	P = 99 %	P = 99,9 %
1	12,706	63,657	636,619
2	4,303	9,925	31,598
3	3,182	5,841	12,924
4	2,776	4,604	8,610
5	2,571	4,032	6,869
6	2,447	3,707	5,959
7	2,365	3,499	5,408
8	2,306	3,355	5,041
9	2,262	3,250	4,781
10	2,228	3,169	4,587
11	2,201	3,106	4,437
12	2,179	3,055	4,318
13	2,160	3,016	4,221
14	2,145	2,977	4,140
15	2,131	2,947	4,073
16	2,120	2,921	4,015
17	2,110	2,898	3,965
18	2,101	2,878	3,922
19	2,093	2,861	3,883
20	2,086	2,845	3,850
21	2,080	2,831	3,819
22	2,074	2,819	3,792
23	2,069	2,807	3,767
24	2,064	2,797	3,745
25	2,060	2,787	3,725
26	2,056	2,779	3,707
27	2,052	2,771	3,690
28	2,048	2,763	3,674
29	2,045	2,756	3,659
30	2,042	2,750	3,646
∞	1,960	2,576	3,291

A18: Viskositätswerte M1

Name: Glucosesirup 1 [Herschel-Bulkley I]
 Probe: Muster 1
 Datenreihen-Informationen
 Name: Glucosesirup 7
 Probe: Muster 1
 Benutzer: Kevin Flammig
 Anzahl Abschnitte: 1
 Applikation: RHEOPLUS/32 Multi3 V3.61 21000263-33029
 Messgerät: MC20 SN03201148; FW02.01
 Datum/Zeit: 07.03.2016; 11:01
 Messsystem: Z3 DIN (25mm); d=0 mm
 Zusatzgeräte: DAV1=VT 10

Abschnitt: 1
 Anzahl Messpunkte: 30

Zeitvorgabe: 30 Messpunkte, Deformation rücksetzen
 Messpunktdauer 2 s

Messprofil:
 Scherrate $d(\gamma)/dt = 0,1 \dots 5 \text{ 1/s lin}$

Messpkt.	Scherrate [1/s]	Schubspannung [Pa]	Viskosität [Pa·s]	Drehzahl [1/min]	Moment [μNm]
1	0,0684	4,94	72,3	0,0528	216
2	0,268	7,5	28	0,207	328
3	0,432	8,5	19,7	0,333	372
4	0,607	11,3	18,5	0,469	492
5	0,776	13,8	17,8	0,599	603
6	0,944	16,6	17,6	0,729	728
7	1,11	20	17,7	0,859	860
8	1,28	24	18,4	0,99	1.030
9	1,45	27	18,3	1,12	1.160
10	1,62	31	18,9	1,25	1.340
11	1,79	35	19,6	1,38	1.530
12	1,96	38	19,6	1,51	1.680
13	2,13	42	19,6	1,64	1.830
14	2,3	45	19,5	1,77	1.960
15	2,47	50	20,2	1,91	2.180
16	2,63	53	20,1	2,03	2.320
17	2,8	57	20,4	2,16	2.510
18	2,97	62	20,9	2,29	2.720
19	3,14	68	21,6	2,42	2.960
20	3,31	72	21,6	2,55	3.140
21	3,48	75	21,7	2,69	3.300
22	3,65	79	21,8	2,81	3.470
23	3,81	84	22,1	2,94	3.680
24	3,99	90	22,4	3,08	3.920
25	4,15	94	22,6	3,2	4.110
26	4,33	99	22,9	3,35	4.330
27	4,5	104	23,2	3,47	4.560
28	4,66	109	23,5	3,6	4.790
29	4,83	115	23,8	3,73	5.040
30	5,01	121	24,2	3,87	5.310
			20,65		

A19: Viskositätswerte M2

Datenreihen-Informationen

Name: Glucosesirup 6
 Probe: Muster 2
 Benutzer: Kevin Flammig
 Anzahl Abschnitte: 1
 Applikation: RHEOPLUS/32 Multi3 V3.61 21000263-33029
 Messgerät: MC20 SN03201148; FW02.01
 Datum/Zeit: 07.03.2016; 10:48
 Messsystem: Z3 DIN (25mm); d=0 mm
 Zusatzgeräte: DAV1=VT 10

Abschnitt: 1
 Anzahl Messpunkte: 30

Zeitvorgabe: 30 Messpunkte, Deformation rücksetzen
 Messpunktdauer 2 s

Messprofil:
 Scherrate $d(\gamma)/dt = 0,1 \dots 5 \text{ 1/s lin}$

Messpkt.	Scherrate [1/s]	Schubspannung [Pa]	Viskosität [Pa·s]	Drehzahl [1/min]	Moment [μNm]	Status []
1	0,0213	5,44	255	0,0164	238	
2	0,273	24,5	89,7	0,211	1.070	
3	0,441	39,7	90	0,341	1.740	
4	0,607	51,5	84,7	0,469	2.250	
5	0,776	67,9	87,5	0,599	2.970	
6	0,947	84,1	88,8	0,731	3.680	
7	1,11	99,6	89,5	0,859	4.360	
8	1,28	117	90,9	0,991	5.110	
9	1,45	135	93,1	1,12	5.920	
10	1,62	149	92,1	1,25	6.530	
11	1,79	169	94,1	1,38	7.380	
12	1,95	184	94,1	1,51	8.040	
13	2,14	206	96,3	1,65	9.000	
14	2,3	224	97,5	1,78	9.820	
15	2,47	244	98,5	1,91	10.700	
16	2,64	260	98,6	2,04	11.400	
17	2,81	280	99,8	2,17	12.300	
18	2,97	300	101	2,3	13.100	
19	3,14	319	101	2,43	14.000	
20	3,32	342	103	2,56	15.000	
21	3,47	360	104	2,68	15.700	
22	3,64	381	105	2,81	16.700	
23	3,84	403	105	2,96	17.700	
24	4,01	422	105	3,1	18.500	
25	4,14	442	107	3,2	19.400	
26	4,33	466	108	3,34	20.400	
27	4,53	489	108	3,5	21.400	
28	4,7	515	110	3,63	22.600	
29	4,86	535	110	3,75	23.400	
30	5,01	557	111	3,87	24.400	
			99,2			

A20: Viskositätswerte M4

Datenreihen-Informationen

Name: Glucosesirup 8
 Probe: Muster 4
 Benutzer: Kevin Flammig
 Anzahl Abschnitte: 1
 Applikation: RHEOPLUS/32 Multi3 V3.61 21000263-33029
 Messgerät: MC20 SN03201148; FW02.01
 Datum/Zeit: 07.03.2016; 11:16
 Messsystem: Z3 DIN (25mm); d=0 mm
 Zusatzgeräte: DAV1=VT 10

Abschnitt: 1
 Anzahl Messpunkte: 30

Zeitvorgabe: 30 Messpunkte, Deformation rücksetzen
 Messpunktdauer 2 s

Messprofil:
 Scherrate $d(\gamma)/dt = 0,1 \dots 5 \text{ 1/s lin}$

Messpkt.	Scherrate [1/s]	Schubspannung [Pa]	Viskosität [Pa·s]	Drehzahl [1/min]	Moment [μNm]	Status []
1	0,021	5,63	268	0,0162	246	
2	0,273	39,8	146	0,21	1.740	
3	0,447	63,8	143	0,345	2.790	
4	0,607	90,5	149	0,469	3.960	
5	0,776	113	146	0,599	4.950	
6	0,944	144	152	0,729	6.280	
7	1,12	177	159	0,862	7.760	
8	1,29	203	158	0,996	8.900	
9	1,45	229	158	1,12	10.000	
10	1,61	258	160	1,24	11.300	
11	1,8	297	165	1,39	13.000	
12	1,96	323	165	1,51	14.100	
13	2,11	351	166	1,63	15.400	
14	2,3	386	168	1,77	16.900	
15	2,46	419	170	1,9	18.300	
16	2,62	452	172	2,03	19.800	
17	2,8	492	176	2,16	21.500	
18	2,97	522	176	2,3	22.900	
19	3,14	559	178	2,42	24.500	
20	3,33	600	180	2,57	26.300	
21	3,5	643	184	2,7	28.100	
22	3,68	681	185	2,84	29.800	
23	3,83	709	185	2,96	31.000	
24	3,95	747	189	3,05	32.700	
25	4,18	790	189	3,23	34.600	
26	4,3	825	192	3,32	36.100	
27	4,48	865	193	3,46	37.900	
28	4,66	901	193	3,6	39.400	
29	4,83	952	197	3,73	41.700	
30	4,96	990	199	3,83	43.300	

174

A21: Viskositätswerte M5

Datenreihen-Informationen

Name: Glucosesirup 10
 Probe: Muster 5
 Benutzer: Kevin Flammig
 Anzahl Abschnitte: 1
 Applikation: RHEOPLUS/32 Multi3 V3.61 21000263-33029
 Messgerät: MC20 SN03201148; FW02.01
 Datum/Zeit: 07.03.2016; 11:40
 Messsystem: Z3 DIN (25mm); d=0 mm
 Zusatzgeräte: DAV1=VT 10

Abschnitt: 1
 Anzahl Messpunkte: 30

Zeitvorgabe: 30 Messpunkte, Deformation rücksetzen
 Messpunktdauer 2 s

Messprofil:
 Scherrate $d(\gamma)/dt = 0,1 \dots 5 \text{ 1/s lin}$

Messpkt.	Scherrate [1/s]	Schubspannung [Pa]	Viskosität [Pa·s]	Drehzahl [1/min]	Moment [μNm]	Status []
1	0,0582	1,1	18,9	0,0449	48,1	
2	0,162	0,918	5,66	0,125	40,2	
3	0,327	293	896	0,253	12.800	
4	0,606	0,391	0,644	0,468	17,1	
5	0,776	0,503	0,649	0,599	22	
6	0,945	1,58	1,67	0,73	69,2	
7	1,11	0,821	0,737	0,86	35,9	
8	1,28	0,416	0,324	0,991	18,2	
9	1,45	1,21	0,836	1,12	53,1	
10	1,62	1,69	1,04	1,25	74,1	
11	1,79	0,38	0,212	1,38	16,6	
12	1,96	1,79	0,916	1,51	78,5	
13	2,13	1,81	0,852	1,64	79,4	
14	2,3	0,95	0,413	1,77	41,6	
15	2,46	2,45	0,993	1,9	107	
16	2,64	2,22	0,841	2,03	97	
17	2,8	1,52	0,544	2,17	66,7	
18	2,97	1,62	0,545	2,3	70,9	
19	3,14	0,899	0,286	2,43	39,4	
20	3,31	1,61	0,487	2,56	70,6	
21	3,48	1,98	0,57	2,69	86,9	
22	3,65	0,731	0,2	2,82	32	
23	3,82	0,748	0,196	2,95	32,8	
24	3,99	0,99	0,248	3,08	43,3	
25	4,16	2,33	0,562	3,21	102	
26	4,32	3,72	0,86	3,34	163	
27	4,49	3,57	0,794	3,47	156	
28	4,66	2,21	0,474	3,6	96,7	
29	4,83	1,62	0,335	3,73	70,8	
30	5	2,32	0,465	3,86	102	
			0,644			

A22: Viskositätswerte M6

Datenreihen-Informationen

Name: Glucosesirup 11
 Probe: Muster 6
 Benutzer: Kevin Flammig
 Anzahl Abschnitte: 1
 Applikation: RHEOPLUS/32 Multi3 V3.61 21000263-33029
 Messgerät: MC20 SN03201148; FW02.01
 Datum/Zeit: 07.03.2016; 11:49
 Messsystem: Z3 DIN (25mm); d=0 mm
 Zusatzgeräte: DAV1=VT 10

Abschnitt: 1
 Anzahl Messpunkte: 30

Zeitvorgabe: 30 Messpunkte, Deformation rücksetzen
 Messpunktdauer 2 s

Messprofil:
 Scherrate $d(\gamma)/dt = 0,1 \dots 5 \text{ 1/s lin}$

Messpkt.	Scherrate [1/s]	Schubspannung [Pa]	Viskosität [Pa·s]	Drehzahl [1/min]	Moment [μNm]	Status []
1	0,0738	0,632	8,57	0,057	27,7	
2	0,237	1,45	6,11	0,183	63,3	
3	0,444	1,54	3,46	0,343	67,2	
4	0,606	2,19	3,61	0,468	95,7	
5	0,776	4,25	5,47	0,599	186	
6	0,945	7,23	7,66	0,73	317	
7	1,11	6,7	6,02	0,859	293	
8	1,28	7,38	5,76	0,99	323	
9	1,45	8,28	5,7	1,12	362	
10	1,62	9,29	5,73	1,25	406	
11	1,79	9,59	5,36	1,38	420	
12	1,96	9,99	5,1	1,51	437	
13	2,13	10,7	5,03	1,64	469	
14	2,3	11	4,81	1,77	484	
15	2,47	13,1	5,3	1,9	571	
16	2,63	14	5,32	2,03	613	
17	2,8	14,8	5,28	2,16	647	
18	2,97	16,6	5,58	2,3	726	
19	3,14	17	5,4	2,43	742	
20	3,31	18,5	5,6	2,55	811	
21	3,48	19,9	5,72	2,69	872	
22	3,65	20,7	5,66	2,82	905	
23	3,82	22,4	5,87	2,95	981	
24	3,99	23,4	5,86	3,08	1.020	
25	4,15	24,3	5,84	3,21	1.060	
26	4,32	25,1	5,81	3,34	1.100	
27	4,49	26,7	5,94	3,47	1.170	
28	4,66	27,5	5,91	3,6	1.210	
29	4,83	29,1	6,02	3,73	1.270	
30	5	30,8	6,16	3,86	1.350	
			5,71			

A23: Viskositätswerte M7

Datenreihen-Informationen

Name: Glucosesirup 9
 Probe: Muster 7
 Benutzer: Kevin Flammig
 Anzahl Abschnitte: 1
 Applikation: RHEOPLUS/32 Multi3 V3.61 21000263-33029
 Messgerät: MC20 SN03201148; FW02.01
 Datum/Zeit: 07.03.2016; 11:30
 Messsystem: Z3 DIN (25mm); d=0 mm
 Zusatzgeräte: DAV1=VT 10

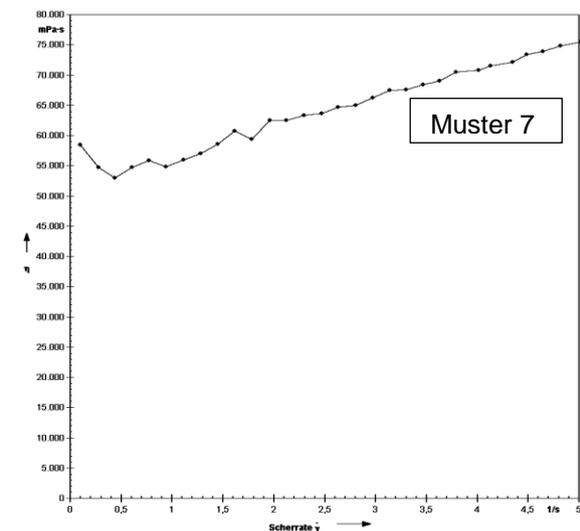
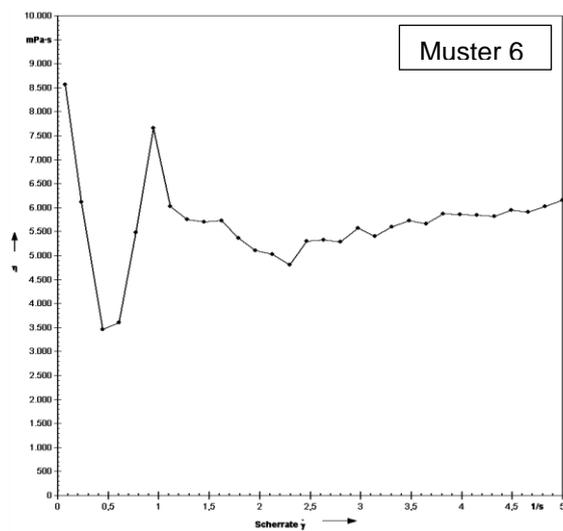
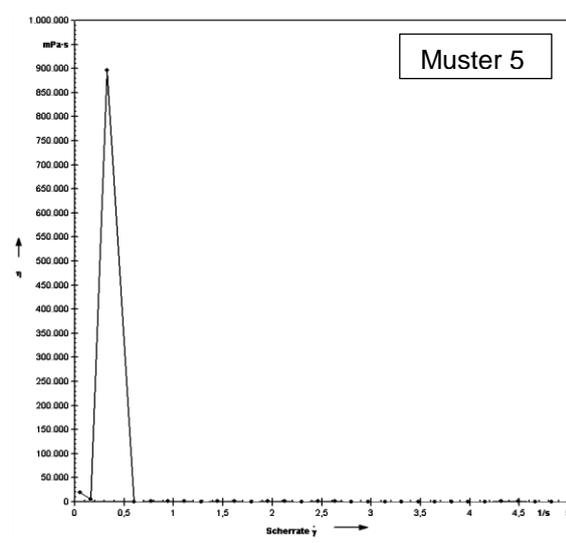
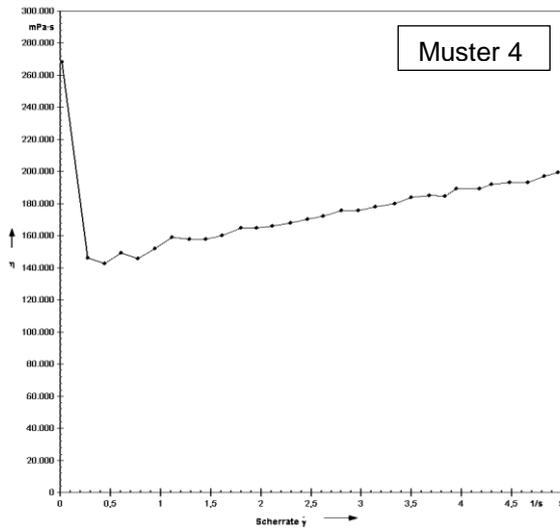
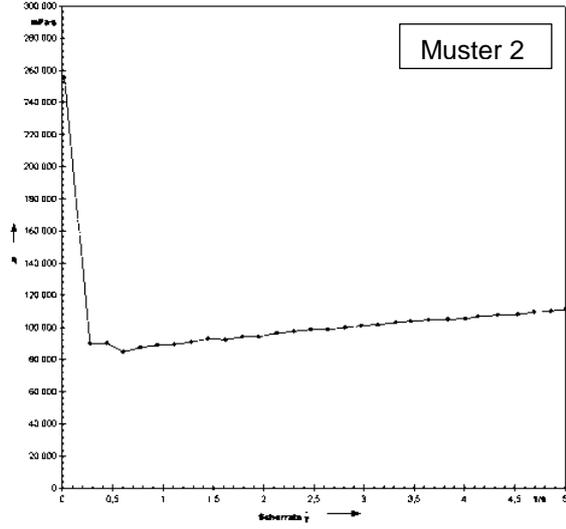
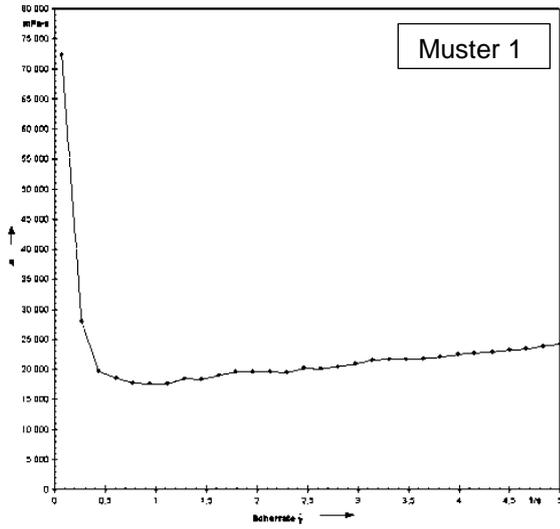
Abschnitt: 1
 Anzahl Messpunkte: 30

Zeitvorgabe: 30 Messpunkte, Deformation rücksetzen
 Messpunktdauer 2 s

Messprofil:
 Scherrate $d(\gamma)/dt = 0,1 \dots 5 \text{ 1/s lin}$

Messpkt.	Scherrate [1/s]	Schubspannung [Pa]	Viskosität [Pa·s]	Drehzahl [1/min]	Moment [μNm]	Status []
1	0,1	5,85	58,4	0,0773	256	
2	0,276	15,1	54,7	0,213	661	
3	0,441	23,4	53	0,341	1.020	
4	0,607	33,2	54,7	0,469	1.450	
5	0,776	43,4	55,8	0,599	1.900	
6	0,943	51,7	54,8	0,728	2.260	
7	1,12	62,4	56	0,861	2.730	
8	1,28	73,1	57	0,99	3.200	
9	1,45	84,7	58,5	1,12	3.710	
10	1,62	98,4	60,8	1,25	4.310	
11	1,78	106	59,3	1,38	4.630	
12	1,96	123	62,5	1,52	5.370	
13	2,13	133	62,5	1,64	5.820	
14	2,3	146	63,3	1,78	6.370	
15	2,47	157	63,6	1,91	6.880	
16	2,63	170	64,7	2,03	7.460	
17	2,8	182	65	2,17	7.980	
18	2,98	197	66,2	2,3	8.620	
19	3,14	212	67,4	2,42	9.260	
20	3,3	223	67,6	2,55	9.770	
21	3,47	237	68,4	2,68	10.400	
22	3,63	251	69	2,8	11.000	
23	3,79	268	70,5	2,93	11.700	
24	4,02	284	70,8	3,1	12.500	
25	4,13	296	71,5	3,19	12.900	
26	4,35	314	72,1	3,36	13.700	
27	4,49	329	73,4	3,46	14.400	
28	4,65	344	73,9	3,59	15.000	
29	4,82	361	74,8	3,72	15.800	
30	5,02	379	75,5	3,87	16.600	
			64,15			

A24: Viskositätsdiagramme



Literaturverzeichnis

- [1] WVZ: Zuckermarkt, „Online im Internet“, <http://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-und-fakten/zuckermarkt-deutschland/zuckermarkt.html>, Abfrage am 15.02.2016]
- [2] vTI (Hrsg.): Analyse des Vorschlags zur Reform der Zuckermarktordnung, „Online im Internet“, http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/dn050360.pdf von 2012, Abfrage am 28.02.2016, S. 7, S. 9, S. 23 und S. 55
- [3] Rimbach, G. /Nagursky, J./ Erbersdobler, H. F.: Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger, 2. Auflage, Springer Spektrum Verlag Heidelberg 2015, S. 246, S. 256 und S. 259
- [4] transGEN: Stärkeverzuckerung - Umwandlung pflanzlicher Stärke in verschiedene Zucker, „Online im Internet“, <http://www.transgen.de/lexikon/1568.staerkeverzuckerung.html>, Abfrage am 27.02.2016
- [5] Baltes, W./ Matissek, R.: Lebensmittelchemie, 7. Auflage, Springer-Verlag Heidelberg 2011, S. 451
- [6] transGEN: Glukosesirup, „Online im Internet“, <http://www.transgen.de/datenbank/zutaten/2033.glukosesirup.html> vom 10.02.2016, Abfrage am 27.02.2016
- [7] transGEN: Fruktosesirup, „Online im Internet“, <http://www.transgen.de/datenbank/zutaten/2032.isoglukose-fruktose-glukosesirup.html> vom 10.02.2016, Abfrage am 27.02.2016
- [8] transGEN: Maltit E965, „Online im Internet“, <http://www.transgen.de/datenbank/zusatzstoffe/2052.maltit-e965.html> vom 10.02.2016, Abfrage am 28.02.2016
- [9] Falbe, J./ Regitz, M. (Hrsg.): Römpp Chemie-Lexikon: Lebensmittelchemie, 9. Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart 1995, S. 267 und S. 786-787
- [10] Mehnert, K.: Was ist Sorbit (Sorbitol)?, „Online im Internet“, <http://www.gesundheit.de/wissen/haetten-sie-es-gewusst/ernaehrung/was-ist-sorbit> vom 30.04.2012, Abfrage am 09.02.2016
- [11] Elmadfa, I./ Fritzsche, D./ Muskat, E.: E-Nummern und Zusatzstoffe, 6. Auflage, Gräfe Und Unzer Verlag München 2009, S. 77-81
- [12] DID: E 960 – Stevia, „Online im Internet“, <http://das-ist-drin.de/glossar/e-nummern/e960-stevia/>, Abfrage am 31.03.2016
- [13] Glomb, M. A.: Kohlenhydrate in: Fischer, M./ Glomb, M. A. (Hrsg.): Moderne Lebensmittelchemie, Behr's Verlag Hamburg 2015, S. 133-198
- [14] Mauch, W.: Zucker in: Hoffmann, H./ Mauch, W./ Untze, W. (Hrsg.): Zucker und Zuckerwaren, Paul Parey Verlag Berlin 1985, S. 17-128

- [15] Wollrab, A.: Organische Chemie – Eine Einführung für Lehramts- und Nebenfachstudenten, 4. Auflage, Springer Spektrum Berlin 2014, S. 787-868
- [16] Jung, H.-W.: Saccharose in: Rosenplenter, K./ Nöhle, U. (Hrsg.): Handbuch Süßungsmittel, 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2007, S. 45-109
- [17] Nordzucker AG: Kristallzucker, „Online im Internet“, <http://www.nordzucker.de/geschaeftpartner/produkte/zucker/kristallzucker.html> von 2011, Abfrage am 23.11.2015
- [18] EUR-Lex: RICHTLINIE 2001/111/EG DES RATES vom 20. Dezember 2001 über bestimmte Zuckerarten für die menschliche Ernährung, „Online im Internet“, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0111&from=DE> vom 12.01.2002, Abfrage am 21.03.2016
- [19] Paulus, K. O./ Seidel, T.: Sensorik und sensorische Eigenschaften von Zuckern und Süßungsmitteln in: Rosenplenter, K./ Nöhle, U. (Hrsg.): Handbuch Süßungsmittel, 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2007, S. 1-44
- [20] Mauch, W.: Zucker in: Hoffmann, H./ Mauch, W./ Untze, W. (Hrsg.): Zucker und Zuckerwaren. 2. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2002, S. 11-13
- [21] Tscheuschner, H.-D.: Grundzüge der Lebensmitteltechnik. 3. Auflage, Behr's Verlag Hamburg 2010, S. 115 und S. 400-403
- [22] Inaro, Stärkeverarbeitung, „Online im Internet“, www.inaro.org/Deutsch/ROHSTOFF/industrie/STAERKE/stverarb.html, Abfrage am 22.11.2015
- [23] Präve, P. et al.: Handbuch der Biotechnologie, 4. Auflage, Oldenbourg Verlag München 1994, S. 647 und S. 649
- [24] Ruttloff, H./ Proll, J./ Leuchtenberger, A.: Lebensmittel-Biotechnologie: Probleme und Lösungsansätze, Springer-Verlag Berlin 1996, S. 214 und S. 216-217
- [25] Orlando, R./ Garver, W. S.: The Hidden Costs of High Fructose Corn Syrup: Challenges to Energy Balance and Fat Mobilization from Adipose, „Online im Internet“, <http://www.omicsgroup.org/journals/the-hidden-costs-of-high-fructose-corn-syrup-challenges-to-energy-balance-and-fat-mobilization-from-adipose-tissue-2167-7956.1000e110.pdf> vom 28.04.2013, Abfrage am 24.03.2016
- [26] Levy, A. M./ Marshall, P./ et al.: Fructose: Glucose Ratios—A Study of Sugar Self-Administration and Associated Neural and Physiological Responses in the Rat, „Online im Internet“, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4446784/pdf/nutrients-07-03869.pdf> vom 22.05.2015, Abfrage am 24.03.2016
- [27] Walker, R. W./ Dumke, K. A./ Goran, M. I.: Fructose content in popular beverages made with and without high-fructose corn syrup, „Online im Internet“,

- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0899900714001920> vom 03.04.2014,
Abfrage am 24.03.2016
- [28] Belitz, H.-D./ Grosch, W./ Schieberle, P.: Lehrbuch der Lebensmittelchemie, 5. Auflage,
Springer-Verlag Berlin 2001, S. 862
- [29] Stolp, K.-D.: Stärkezucker in: Heiss, R. (Hrsg.): Lebensmitteltechnologie:
Biotechnologische, chemische, mechanische und thermische Verfahren der
Lebensmittelverarbeitung, 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin 1991, S. 139-149
- [30] Matissek, R./ Schnepel, F.-M./Steiner, G.: Lebensmittelanalytik: Grundzüge-Methoden-
Anwendungen, 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin 1992, S. 115f, S. 122-128, S. 148 und
S. 395
- [31] LCI: Zucker-Analytik gestern und heute, „Online im Internet“, <http://www.lci-koeln.de/lci-focus-heft10.2006> vom 10.01.2011, Abfrage am 16.02.2016
- [32] Böcker, J.: Chromatographie – Instrumentelle Analytik mit Chromatographie und
Kapillarelektrophorese, Vogel Verlag Würzburg 1997, S. 38-39, S. 168-168 und S. 245
- [33] Papula, L.: Mathematische Formelsammlung Für Ingenieure und Naturwissenschaftler, 11.
Auflage, Springer Vieweg Wiesbaden 2014, S. 300-301 und S. 309
- [34] Rudolf M. /Kuhlisch W. : Biostatistik: Eine Einführung für Biowissenschaftler, Pearson
Studium München 2008, S. 34-35
- [35] Betz S. /Hoffmann M.: Technische Formeln-Formeln, Gesetze und Fachbegriffe, Compact
Verlag München 2009, S. 58
- [36] Maier, H. G.: Lebensmittel- und Umweltanalytik: Methoden und Anwendungen, Steinkopff
Verlag Darmstadt 1990, S. 48-49
- [37] Brown, T. L./ LeMay, H. E./ Bursten, B. E.: Chemie-Studieren kompakt, 10. Auflage
Pearson Deutschland GmbH München 2011, S. 21 und S. 435
- [38] Kromidas, S.: Validierung in der Analytik-Die Praxis der instrumentellen Analytik, Wiley-
VCH Verlag Weinheim 1999, S. 261
- [39]: CHEMIE.DE: Dilatanz, „Online im Internet“, <http://www.chemie.de/lexikon/Dilatanz.html>,
Abfrage am 03.04.2016

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die Bachelorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Das bearbeitete Thema wurde nicht schon früher im Rahmen einer anderen Arbeit behandelt und anderswo als Prüfungsarbeit eingereicht.

Köthen, den 07. April 2016