



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Einfluss verschiedener Verarbeitungsmethoden auf die
chemischen, physikalischen und sensorischen Eigenschaften
von Äpfeln

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)

Verfasserin / Verfasser:	Manuela Pichler
Matrikel-Nummer:	0206671
Studienrichtung /Studienzweig (lt. Studienblatt):	Ernährungswissenschaften
Betreuerin / Betreuer:	Ao. Univ. Prof. DI Dr. Emmerich Berghofer

Wien, im Oktober 2008

DANKSAGUNG

Zuerst möchte ich Herrn Ao. Univ. Prof. DI Dr. Emmerich Berghofer für die Möglichkeit danken, meine Diplomarbeit am Department für Lebensmittelwissenschaften und –technologie durchzuführen.

Mein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin Frau Univ. Ass. DI Angelika Petrasch für ihre gute Betreuung, Hilfsbereitschaft und Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Frau Viola Zahlner bedanke ich mich herzlich für die Einschulung in verschiedene Analysen und für die Unterstützung bei diversen Problemen.

Herrn DI Manfred Gössinger danke ich für die Erlaubnis, einige Untersuchungen an der HBLA für Obst- und Weinbau in Klosterneuburg durchzuführen.

Vor allem danke ich meinen Eltern, ohne deren Hilfe mein Studium und diese Arbeit nicht möglich gewesen wären.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung und Fragestellung_____	Seite 1
2	Literaturüberblick_____	Seite 2
2.1	Verarbeitungsmethoden von Äpfeln_____	Seite 2
2.1.1	Konvektionstrocknung_____	Seite 2
2.1.2	Osmotische Trocknung_____	Seite 7
2.1.3	Gefriertrocknung_____	Seite 14
2.2	Vitamin C_____	Seite 16
2.2.1	Vitamin C-Gehalt frischer Äpfel_____	Seite 18
2.2.2	Einfluss von Lagerung auf den Vitamin C-Gehalt von Äpfeln_____	Seite 20
2.2.3	Vitamin C-Gehalt osmotisch getrockneter Äpfel_____	Seite 21
2.3	Sorptionsisotherme_____	Seite 22
2.3.1	Adsorptionsisotherme osmotisch getrockneter Äpfel_____	Seite 22
2.3.2	Adsorptionsisotherme gefriergetrockneter Äpfel_____	Seite 23
2.4	Sensorik_____	Seite 23
2.4.1	Sensorische Beurteilung von osmotisch getrockneten Äpfeln_____	Seite 23
2.4.2	Sensorische Beurteilung von Apfelmus_____	Seite 25
2.5	Vakuuminprägung_____	Seite 25
2.6	Analyse frischer Äpfel_____	Seite 26
2.6.1	Gehalt an Kohlenhydraten, Aminosäuren, Fettsäuren sowie organischen Säuren_____	Seite 26
2.6.2	Wassergehalt_____	Seite 27
2.6.3	Zuckergehalt_____	Seite 27
2.6.4	Sonstige „innere“ Qualitätsanforderungen_____	Seite 27
3	Aufgabenstellung_____	Seite 28
4	Material und Methoden_____	Seite 29
4.1	Verwendete Roh- und Hilfsstoffe_____	Seite 29
4.1.1	Äpfel_____	Seite 29
4.1.2	Osmotische Lösung – Saccharoselösung_____	Seite 29
4.2	Verwendete Geräte_____	Seite 29
4.2.1	Verwendete Geräte zur Durchführung der Versuche_____	Seite 29

4.2.2	Verwendete Geräte zur Durchführung der Analysen	Seite	32
4.3	Untersuchungsmethoden	Seite	35
4.3.1	Trockensubstanzbestimmung	Seite	35
4.3.1.1	Methode	Seite	35
4.3.1.2	Material	Seite	35
4.3.1.3	Durchführung	Seite	35
4.3.1.4	Berechnung	Seite	36
4.3.2	Bestimmung des Vitamin C-Gehalts	Seite	36
4.3.2.1	Methode	Seite	36
4.3.2.2	Material	Seite	36
4.3.2.3	Durchführung	Seite	37
4.3.2.4	Berechnung	Seite	38
4.3.3	Messung des a_w -Werts	Seite	38
4.3.3.1	Methode	Seite	38
4.3.3.2	Material	Seite	38
4.3.3.3	Durchführung	Seite	38
4.3.4	Messung der Textur	Seite	39
4.3.4.1	Methode	Seite	39
4.3.4.2	Material	Seite	40
4.3.4.3	Durchführung	Seite	40
4.3.5	Messung der Farbe (L*a*b*-System)	Seite	41
4.3.5.1	Methode	Seite	41
4.3.5.2	Material	Seite	41
4.3.5.3	Durchführung	Seite	41
4.3.6	Bestimmung des Glucose-, Saccharose- und Fructose- gehalts	Seite	41
4.3.6.1	Methode	Seite	41
4.3.6.2	Material	Seite	43
4.3.6.3	Durchführung	Seite	44
4.3.6.4	Berechnung	Seite	45
4.3.7	Bestimmung des Reifeindex nach Streif	Seite	47
4.3.7.1	Methode	Seite	47
4.3.7.2	Material	Seite	48
4.3.7.3	Durchführung	Seite	48

4.3.7.4	Berechnung_____	Seite 50
4.3.8	Sorptionsisotherme_____	Seite 51
4.3.8.1	Methode_____	Seite 51
4.3.8.2	Material_____	Seite 51
4.3.8.3	Durchführung_____	Seite 52
4.3.8.4	Berechnung_____	Seite 53
4.3.9	Sensorische Beurteilung_____	Seite 53
4.3.9.1	Methode_____	Seite 53
4.3.9.2	Durchführung_____	Seite 53
4.3.9.3	Berechnung_____	Seite 54
4.3.10	Statistik_____	Seite 56
5	Versuchsdurchführung_____	Seite 57
5.1	Herstellung der Lösungen zur Vorbehandlung der Apfelwürfel_____	Seite 57
5.1.1	Herstellung der Zitronensäurelösung_____	Seite 57
5.1.2	Herstellung der Kaliumbisulfitlösung_____	Seite 57
5.1.3	Herstellung der Saccharoselösung_____	Seite 57
5.2	Durchführung der Konvektionstrocknung_____	Seite 58
5.2.1	Vorbehandlung mit Zitronensäurelösung_____	Seite 58
5.2.2	Vorbehandlung mit Kaliumbisulfitlösung_____	Seite 60
5.3	Durchführung der osmotischen Vortrocknung mit anschließender Konvektionstrocknung_____	Seite 60
5.4	Durchführung der Gefriertrocknung_____	Seite 62
5.4.1	Vorbehandlung mit Zitronensäurelösung_____	Seite 62
5.4.2	Vorbehandlung mit Kaliumbisulfitlösung_____	Seite 63
5.5	Durchführung der osmotischen Vortrocknung mit anschließender Gefriertrocknung_____	Seite 63
6	Versuchsergebnisse und Diskussion_____	Seite 65
6.1	Versuchsergebnisse und Diskussion der Analyse der Rohware_____	Seite 65
6.1.1	Ergebnisse und Diskussion zum Trockensubstanz- gehalt der Rohware_____	Seite 65
6.1.2	Ergebnisse und Diskussion zum Vitamin C-Gehalt der Rohware_____	Seite 66

6.1.3	Ergebnisse und Diskussion zum a_w -Wert der Rohware_____	Seite 68
6.1.4	Ergebnisse und Diskussion zur Textur der Rohware_____	Seite 69
6.1.5	Ergebnisse und Diskussion zur Farbe der Rohware_____	Seite 70
6.1.6	Ergebnisse und Diskussion zum Glucose-, Saccharose- und Fructosegehalt der Rohware_____	Seite 73
6.1.7	Ergebnisse und Diskussion zum Reifeindex nach Streif_____	Seite 76
6.2	Versuchsergebnisse der Analyse der verarbeiteten Äpfel_____	Seite 79
6.2.1	Ergebnisse und Diskussion zum Trockensubstanzgehalt der verarbeiteten Äpfel_____	Seite 80
6.2.2	Ergebnisse und Diskussion zum Vitamin C-Gehalt der verarbeiteten Äpfel_____	Seite 82
6.2.3	Ergebnisse und Diskussion zum a_w -Wert der verarbeiteten Äpfel_____	Seite 85
6.2.4	Ergebnisse und Diskussion zur Textur der verarbeiteten Äpfel_____	Seite 86
6.2.5	Ergebnisse und Diskussion zur Farbe der verarbeiteten Äpfel_____	Seite 92
6.2.6	Ergebnisse und Diskussion zum Glucose-, Saccharose- und Fructosegehalt der verarbeiteten Äpfel_____	Seite 97
6.2.7	Ergebnisse und Diskussion zur Sorptionsisotherme der verarbeiteten Äpfel_____	Seite 102
6.2.8	Ergebnisse und Diskussion zur sensorischen Beurteilung der verarbeiteten Äpfel_____	Seite 106
7	Schlussbetrachtung_____	Seite 110
8	Zusammenfassung_____	Seite 111
9	Summary_____	Seite 112
10	Anhang_____	Seite 113
	Literaturverzeichnis_____	Seite A
	Tabellenverzeichnis_____	Seite F
	Abbildungsverzeichnis_____	Seite I
	Lebenslauf	

1 EINLEITUNG

In Folge des gesteigerten Gesundheitsbewusstseins unserer Gesellschaft steigt auch der Verzehr an Obst und Gemüse. An oberster Stelle der Beliebtheitsskala steht der Apfel. Jährlich werden in Österreich pro Kopf rund 28 kg der gesunden Frucht verzehrt [www.lebensmittelnet.at].

Das Sprichwort „An apple a day keeps the doctor away“ hat zu Recht seine Gültigkeit. Äpfel schmecken nicht nur saftig frisch, sie sind auch reich an gesundheitlich wertvollen Inhaltsstoffen.

So deckt ein Apfel rund ein Viertel des täglichen Vitamin C-Bedarfs eines Erwachsenen und enthält nennenswerte Mengen an Kalium, Eisen und Folsäure. Weitere wichtige Inhaltsstoffe sind verschiedene Fruchtsäuren, die verdauungsfördernd, appetitanregend und bakterizid wirken, sowie Flavonoide, insbesondere Quercetin, die antikanzerogene Wirkung zeigen können.

Äpfel sind wichtige Ballaststofflieferanten. Neben Cellulose ist wohl Pektin der bekannteste Ballaststoff des Apfels. Pektin ist wasserlöslich, unverdaulich und kann zur Senkung des Cholesterinspiegels beitragen.

2006 wurden in Österreich rund 453.000 t Äpfel geerntet [www.lebensmittelnet.at]. Das vielseitige Produkt wird nicht nur zur Apfelsaftproduktion herangezogen. Ein geringer Teil der Ernte wird auch zur Herstellung von Trockenobst verwendet. Getrocknete Apfelstücke enthalten die Inhaltsstoffe frischer Früchte in konzentrierter Form. Dazu gehören vor allem Fructose, Glucose sowie lebensnotwendige Ballast- und Mineralstoffe, wie zum Beispiel Kalium, Phosphor, Eisen und Magnesium.

2 LITERATURÜBERBLICK

2.1 Verarbeitungsmethoden von Äpfeln

2.1.1 Konvektionstrocknung

Trocknung ist eine von vielen physikalischen Methoden zur Haltbarmachung von Lebensmitteln. Beim Trocknen wird dem Gut Wärme zugeführt, sodass die Gutsfeuchtigkeit in Dampf umgewandelt wird. Der Dampf muss dabei in geeigneter Weise abgeführt werden [HEISS et al., 2002].

Um eine ausreichende mikrobiologische und chemische Stabilität und damit eine entsprechende Haltbarkeit zu erreichen, muss der Wassergehalt der Rohstoffe auf einen a_w -Wert von mindestens 0,7 erniedrigt werden. Lebensmittel stellen hierbei besonders hohe Anforderungen an die Trocknungsführung, da sie in hohem Maße durch thermisch bedingte Qualitätsveränderungen gefährdet sind [HEISS et al., 2002].

Welche Wasseraktivität bei der Trocknung erreicht werden muss, ist von Lebensmittel zu Lebensmittel verschieden. Der a_w -Grenzwert für das Wachstum von Schimmelpilzen, nämlich 0,72 muss in jedem Fall deutlich unterschritten werden [HEISS, 2004].

A_w -Wert: Die über einem Lebensmittel herrschende Wasseraktivität (a_w -Wert) ist mit dessen Wassergehalt durch die sogenannte Sorptionsisotherme verknüpft. Dabei bedeutet ein $a_w = 0$ ein absolut trockenes Gut, während Wasser einen a_w -Wert von 1 besitzt. Der a_w -Wert ist vor allem für alle Veränderungen maßgeblich, bei welchen ein Stoffaustausch durch Zellmembranen stattfindet, beispielsweise für das Wachstum von Mikroorganismen und deren Enzymwirkung. Vom Wassergehalt wird dabei nur der entsprechende Anteil wirksam [HEISS, 2004].

Will man ein besonders knuspriges Produkt erreichen, dann darf der a_w -Wert 0,4 bis 0,5 nicht überschreiten. Darunter sind immer noch chemische, vor allem enzymatische Veränderungen, möglich. Mit Sicherheit sind letztere erst knapp über $a_w = 0$ auszuschließen.

Je höher die Lagertemperaturen sind und je länger gelagert werden soll, umso niedriger müssen die a_w -Werte gewählt werden [HEISS, 2004].

Bei der Trocknung werden bis zu 90 % des ursprünglichen Gewichts des Lebensmittels eingespart. Jedoch besteht die Gefahr von Textur- und Farbveränderungen, Wirkstoffverlusten (Vitaminverluste), Aromaverlusten sowie die Bildung von Fremdaromen. Diese negativen Veränderungen müssen durch die Führung des Trocknungsprozesses so weit wie möglich vermieden werden [HEISS et al., 2002].

Da die Zeit, um ein Gut zu trocknen, annähernd vom Quadrat dessen Dicke abhängt, sind vor allem Flüssigkeiten und Lebensmittel in dünner Schicht, wie zum Beispiel Apfelringe für dieses Verfahren geeignet [HEISS, 2004; HEGEDUSIC, 1996].

Einfluss verschiedener Vorbehandlungen auf die Qualität von getrockneten Äpfeln:

Häufig werden Apfelstücke vor der Trocknung vorbehandelt, um zum Beispiel Braunwerden zu verhindern bzw. um die organoleptischen Eigenschaften zu verbessern.

Legt man Apfelscheiben oder –stifte vor der Trocknung für 10 min in 80 °C heißes Wasser, so werden diese schneller getrocknet als jene, die in eine Zuckerlösung eingelegt werden, obwohl ihr Feststoffgehalt geringer ist. Dieses Phänomen ist eine Konsequenz des Wechsels des Verhältnisses von freiem zu gebundenem Wasser in Äpfeln. Der Gehalt an gebundenem Wasser ist in osmotisch getrockneten Äpfeln höher.

Durch das Einlegen in reines Wasser verringert sich der Zuckergehalt, während der Säuregehalt steigt, was zu einer Erniedrigung des pH-Wertes führt.

Taucht man die Apfelscheiben jedoch für 20 bis 30 min in eine Saccharoselösung, so erhöht sich der Feststoff- sowie der Zuckergehalt, der Säureanteil sinkt hingegen, da diese in die Lösung diffundieren. Der Zuckergehalt steigt in Folge der Hydrolyse der Kohlenhydrate, vor allem von Stärke und Pektin [HEGEDUSIC et al., 1996; KNIWASSER, 2004].

Auch nach 8-monatiger Lagerung bleibt die chemische Zusammensetzung annähernd gleich. Lediglich beim Feststoffgehalt kann ein leichter Anstieg vermerkt werden. Nach langer Lagerung sind auch die organoleptischen Eigenschaften der Apfelscheiben unverändert [HEGEDUSIC et al., 1996].

Konvektionstrocknung ist eines der häufigsten Verfahren, um Lebensmittel Wasser zu entziehen und dadurch haltbar zu machen. Durch den Luftstrom im Konvektionstrockner wird Wärme in das zu trocknende Gut eingebracht und die im Gut enthaltene Feuchtigkeit abtransportiert. Wählt man dabei eine hohe Temperatur, so verkürzt sich die Trocknungszeit, z. B. dauert die Trocknung bei 50 °C 40 % länger als bei 70 °C. Wenn man die Temperatur auf 80 °C erhöht, erspart man sich weitere 15 % an Trocknungszeit, siehe Tab. 2.1 [LEWICKI et al., 2004].

<i>Trocknungstemperatur in °C</i>	<i>Trocknungszeit in Minuten</i>
50	319
60	268
70	199
80	168

Tab. 2.1: Übersicht über Trocknungstemperatur [°C] und Trocknungszeit in min
[LEWICKI et al., 2004]

Während der Trocknung durch Konvektion finden zahlreiche physikalische und chemische Veränderungen im pflanzlichen Material statt.

Die Struktur des zu trocknenden Materials, seine Zusammensetzung und die räumliche Konformation von Biopolymeren wird verändert. Das Resultat des Wasserentzugs ist eine Zerstörung der natürlichen Strukturen des Guts, wobei die Semipermeabilität der Zellmembran verloren geht. Durch niedrigere Temperaturen wird die Textur weniger geschädigt, als bei höheren Temperaturen. Demzufolge ändern sich auch die rheologischen Eigenschaften des Produkts. Die äußeren Schichten des getrockneten Produkts werden starr. Das Material wird vom ursprünglich elatisch-viskoplastischen in einen zerbrechlichen Zustand umgewandelt. Außerdem bewirkt der Wasserverlust (Tab. 2.2) eine Veränderung der Lipide und Proteine [LEWICKI et al., 2004].

<i>Trocknungstemperatur in °C</i>	<i>Wassergehalt der ge- trockneten Äpfel in %</i>	<i>Wasseraktivität der getrockneten Äpfel</i>
50	7,24 ± 0,05	0,393
60	6,80 ± 0,05	0,381
70	6,91 ± 0,06	0,385
80	6,29 ± 0,05	0,368

Tab. 2.2: Übersicht über Trocknungstemperatur [°C], Wassergehalt der getrockneten Äpfel [%] und Wasseraktivität der getrockneten Äpfel [LEWICKI et al., 2004]

Während der Konvektionstrocknung schrumpft das pflanzliche Material. Es entstehen interne Spannungen, die Struktur wird deformiert und beschädigt, was wiederum zu Quervernetzungen zwischen den Polymeren führt. Dadurch können sich auch kristalline Strukturen bilden. Das Ausmaß des Schrumpfens ist abhängig von der Struktur des Produkts, der Trocknungsmethode und anderen Parametern, wie Temperatur und Luftgeschwindigkeit im Trockner. In einer Studie von LEWICKI et al. (2004) wurde festgestellt, dass Apfelscheiben bei der Trocknung durch Konvektion durchschnittlich um 14–20 % schrumpften. Am wenigsten Schwund wurde bei der höchsten Temperatur von 80 °C beobachtet (Tab. 2.3). Der Gewichtsverlust lag zwischen 30 (bei 80 °C) und 39 % (bei 70 °C). Charakteristisch für konvektionsgetrocknete Früchte sind eine niedrige Porosität und eine hohe Rohdichte.



<i>Trocknungstemperatur in °C</i>	<i>Volumetrische Schrumpfung</i>
50	0,58 ± 0,01
60	0,56 ± 0,01
70	0,54 ± 0,02
80	0,49 ± 0,01

Tab. 2.3: Übersicht über Trocknungstemperatur [°C] und volumetrische Schrumpfung
[LEWICKI et al., 2004]

KAVAK AKPINAR et al. (2003) trockneten in ihrer Studie geschälte Apfelscheiben in verschiedenen Größen: 12,5 x 12,5 x 25 mm und 8 x 8 x 18 mm (Breite x Stärke x Länge). Zur Trocknung der einzelnen Apfelscheiben verwendeten sie einen 2-schichtigen Konvektionszyklontrockner. Bei einer Luftgeschwindigkeit im Trockner von 1 und 1,5 m/s und Temperaturen von 60, 70 und 80 °C wurden die Trocknungszeiten ermittelt, wobei der Feuchtigkeitsgehalt der Äpfel von ursprünglich 87 % auf 13 % abgesenkt wurde.

KAVAK AKPINAR et al. (2003) erkannten, dass der Zyklontrockner bei kleineren Stücken und höchster Temperatur (80 °C) am effizientesten trocknet. Die besten Ergebnisse wurden bei 80 °C und einer Luftgeschwindigkeit von 1,5 m/s erzielt, wobei die Trocknung bei den größeren Stücken 350 min dauerte, bei den kleineren Scheiben nur rund 180 min. Es gab keinen Unterschied zwischen den beiden Lagen des Zyklontrockners.

MOREIRA et al. (2000) weisen in ihren Trocknungsversuchen von Apfelingen darauf hin, dass die unterschiedlichen Arten der Deformation beim Trocknen durch das Verhältnis von Durchmesser und Stärke der Apfelringe entstehen, wobei weder eine eindimensionale noch eine isotrope Verformung stattfindet. Weiters kann das nicht-isometrische Schrumpfen auf den während der Trocknung entstehenden Stress im Material zurückgeführt werden [MOREIRA et al., 2000; LEWICKI et al., 2004].

Dazu trockneten sie Apfelringe einerseits durch Konvektion, andererseits durch Gefriertrocknung. Die Apfelscheiben hatten einen Durchmesser von 26 mm bzw. 59,5 mm, wobei die Dicke der Ringe zwischen 3 und 8,6 mm variierte. Die Stärke der gefriergetrockneten Scheiben betrug 15 mm.

Die Dichte der konvektionsgetrockneten Äpfel wurde zum einen direkt gemessen mittels eines Callipers und zum anderen durch Immersion in n-Heptan. Bei den gefriergetrockneten Äpfeln wurde die Dichte nur direkt bestimmt, wobei bei beiden Trocknungsmethoden ähnliche Ergebnisse erzielt wurden [MOREIRA et al., 2000].

2.1.2 Osmotische Trocknung

Die osmotische Trocknung bewirkt eine Entwässerung durch Konzentrationsunterschiede und wird auch als „dewatering and impregnation soaking process“ (DIS-process) bezeichnet.

Während der osmotischen Trocknung findet ein Mehr-Weg-Multistrom statt, das heißt Wasser diffundiert vom Inneren der Rohware in die Umgebungslösung. In entgegen gesetzter Richtung diffundieren osmotische Substanzen aus der Umgebungslösung in die Rohware. Weiters gehen natürliche Substanzen wie Säuren, Zucker und Mineralien in die osmotische Lösung über, was einen wesentlichen Einfluss auf den Nährwert und die organoleptischen Eigenschaften des Endprodukts haben kann.

Zu Beginn ist die Geschwindigkeit der Diffusionsvorgänge sehr hoch, da ein großer Konzentrationsunterschied zwischen der osmotischen Lösung und dem Zellsaft des Produktes besteht. Mit der Zeit verlangsamt sich der Massenaustausch, bis sich ein Gleichgewicht zwischen der osmotischen Lösung und dem Zellsaft einstellt [KNEIWASSER, 2004]. Um einen hohen Massentransport auch im Laufe der Trocknung beizubehalten, kann mit Hilfe von Vakuum, Ultraschall, hohem hydrostatischen Druck und Hochspannungsimpulsverfahren gearbeitet werden [TORTOE et al., 2007].

In den meisten Fällen werden Früchte wie zum Beispiel Äpfel, Beeren etc. und Gemüse, zum Beispiel Karotten, Kürbis und Erbsen in Zucker- bzw. Salzlösungen osmotisch getrocknet [KNEIWASSER, 2004; FALADE et al., 2003].

Einflussfaktoren auf die osmotische Trocknung:

- Konzentration und Zusammensetzung der osmotischen Lösung
- Arbeitstemperatur
- Einwirkdauer der osmotischen Lösung
- Massenverhältnis der osmotischen Lösung zum Rohwaregehalt
- Agitation
- Größe und Geometrie der Rohware
- osmotischer Druck
- Eigenschaften der Rohstoffe (z. B. Sorte, Anbaugebiet, Vorbehandlung usw.) [KNIEWASSER, 2004; SHARMA et al., 1998; FRIESE et al., 2000; FALADE et al., 2003; TORTOE et al., 2007]

Der Feuchtigkeitsgehalt von osmotisch getrockneten Apfelscheiben sinkt mit

- steigender Einwirkzeit der osmotischen Lösung,
- steigender Konzentration der osmotischen Lösung und
- abnehmender Stärke der Scheiben.

Je kleiner die Oberfläche der Apfelscheiben ist, die in Kontakt mit der Lösung steht, desto geringer ist auch der Stoffaustausch, der zwischen Frucht und osmotischen Lösung stattfindet. Das heißt, je dünner die Scheiben (größere Oberfläche, die mit der Lösung in Kontakt tritt) sind und je länger sie in der Lösung bleiben, desto höher ist der Wasser- und Gewichtsverlust, der Feststoffanteil nimmt zu, siehe Abb. 2.1–2.4 [FALADE et al., 2003; VAN NIEUWENHUIJZEN et al., 2001].

Der Feststoffdiffusionskoeffizient steigt bei einer höheren Konzentration und Temperatur der osmotischen Lösung [RAMASWAMY et al., 2002].

KAMINSKA et al. (2008) trockneten Idared Apfelstücke (40 x 40 mm, 20 mm dick) in einer 61,5%igen Saccharoselösung. Die osmotisch getrockneten Proben wiesen einen Zuckergehalt von rund 21 % auf. Der Trockensubstanzgehalt an der Oberfläche der Proben betrug rund 40 %. Bereits 5 mm unter der Oberfläche entsprachen der Trockensubstanz- und der Zuckergehalt jenen Werten des frischen Apfels (10,4–16,2 % Trockensubstanz, ca. 11 % Saccharose). Durch eine Erhöhung der Temperatur konnte eine tiefere Migration der osmotischen Substanzen erzielt werden.

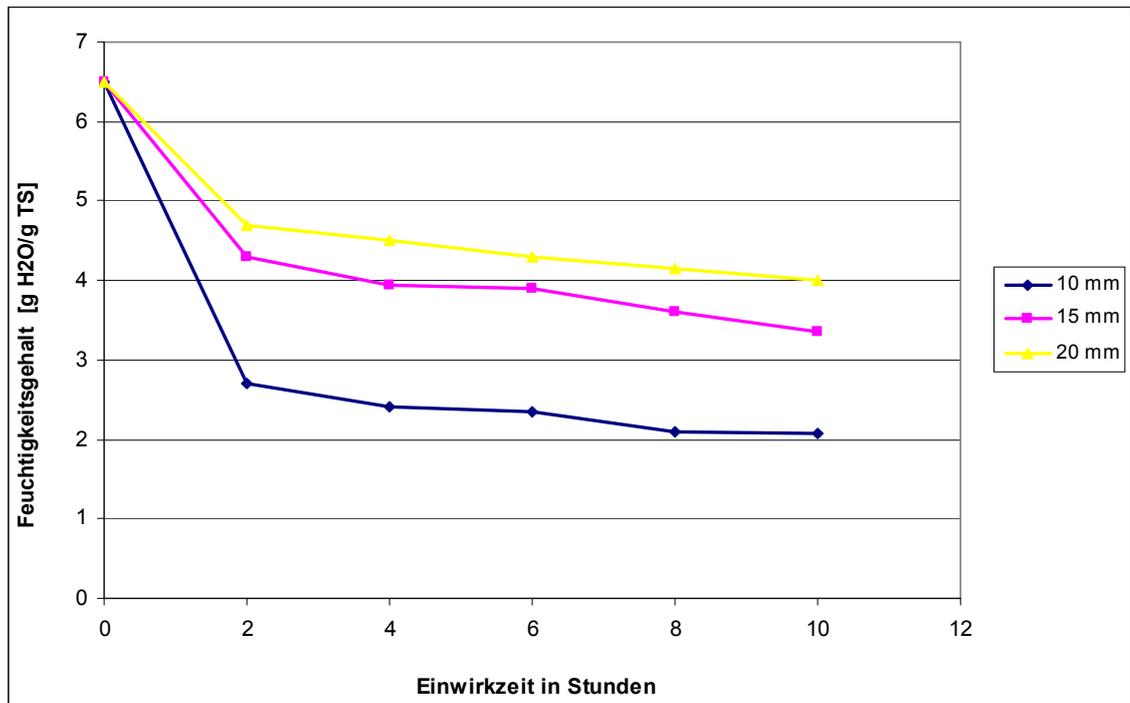


Abb. 2.1: Einfluss der Scheibendicke auf den Feuchtigkeitsgehalt während der osmotischen Trocknung von Cashew Äpfeln in einer 52 °Brix Zuckerlösung

[FALADE et al., 2003]

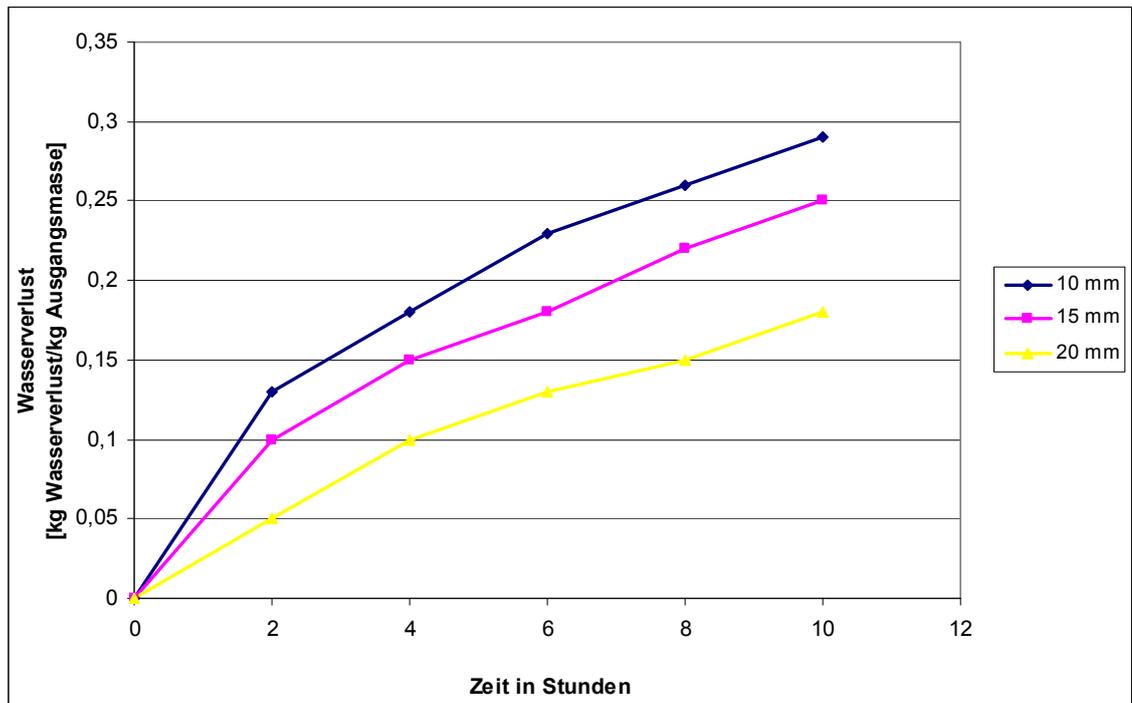


Abb. 2.2: Einfluss der Scheibendicke auf den Wasserverlust von Cashew Äpfeln
in einer 52 °Brix Zuckerlösung
[FALADE et al., 2003]

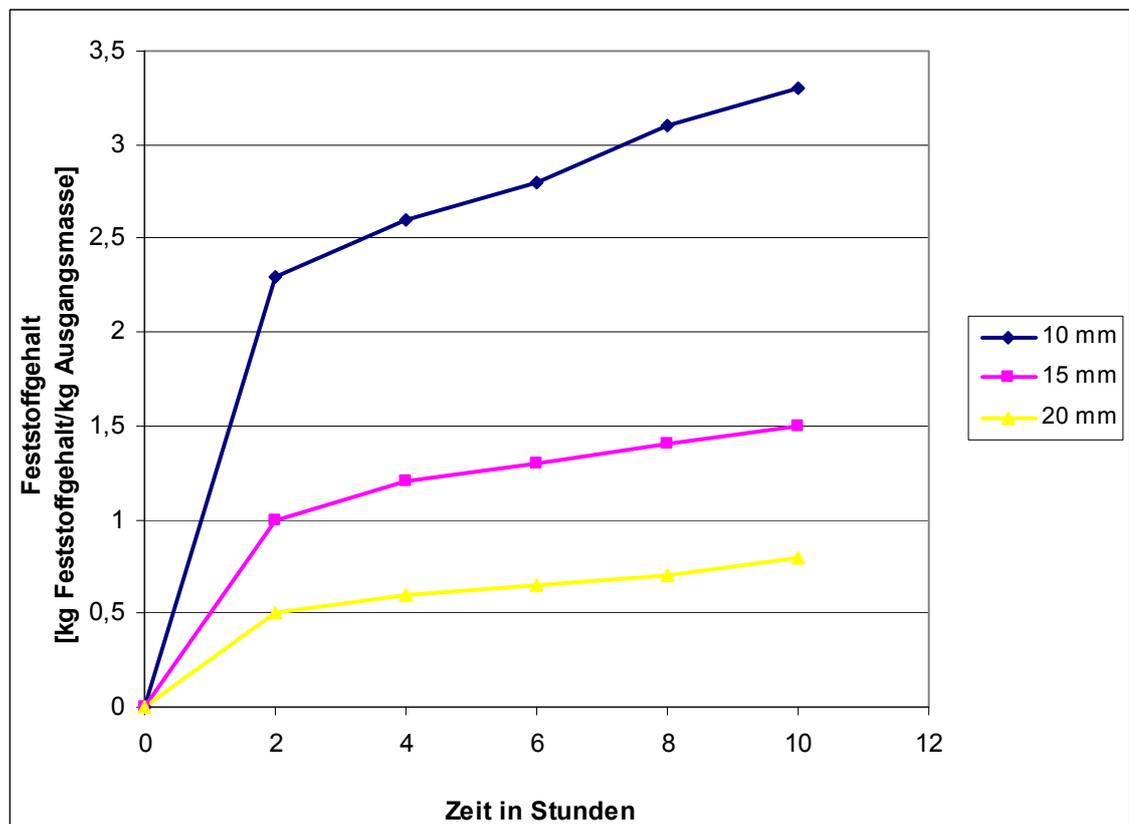


Abb. 2.3: Einfluss der Scheibendicke auf den Feststoffgehalt während der osmotischen Trocknung von Cashew Äpfeln in einer 52 °Brix Zuckerlösung

[FALADE et al., 2003]

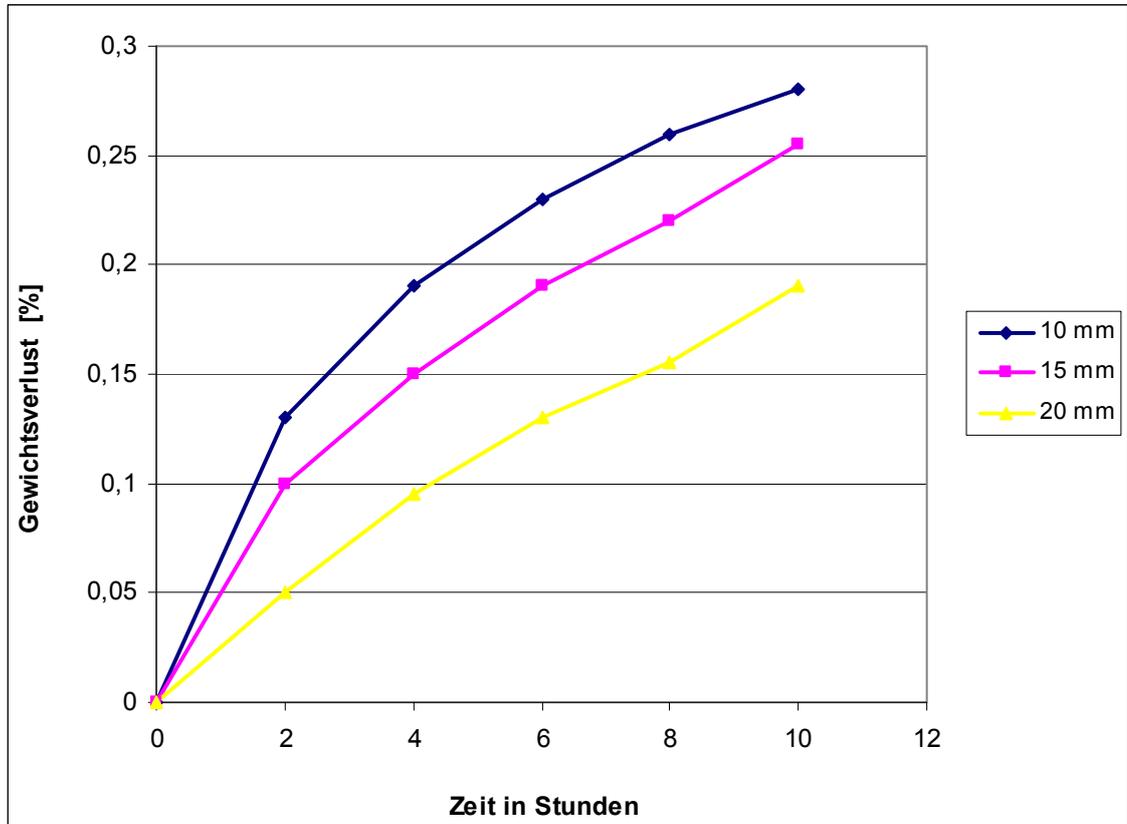


Abb. 2.4: Einfluss der Scheibendicke auf den Gewichtsverlust (in %) während der osmotischen Trocknung von Cashew Äpfeln in einer 52 °Brix Zuckerlösung

[FALADE et al., 2003]

TORTOE et al. (2007) verglichen in ihren Studien cellulose- und stärkeiche pflanzliche Materialien, wie Äpfel der Sorte Golden Delicious und Cox bzw. Bananen und Kartoffeln hinsichtlich ihres Verhaltens während osmotischer Trocknung. Der Wasserverlust war dabei bei Golden Delicious und Cox höher als bei den stärkeichen Materialien. Nicht nur Temperatur ($55 > 40 > 32,2$ °C), Konzentration der Saccharoselösung ($0,7 > 0,6 > 0,5 > 0,4$ g/kg) und Dauer der osmotischen Trocknung ($30 > 60 > 90 > 120$ min) haben dabei Einfluss auf den Wasserverlust bzw. Trockensubstanzgehalt. Möglicherweise hält auch die kompakte Struktur von Bananen und Kartoffeln Wasser zurück.

Vergleicht man die osmotische Trocknung von Apfel- und Kartoffelwürfeln mittels Zucker- bzw. Salzlösung, ist – bezüglich des höheren Trockensubstanzgehalts – Zuckerlösung besser geeignet. Zucker ist nämlich leichter wasserlöslich als Salz und verursacht einen höheren Druckgradienten, der als treibende Kraft während der osmotischen Trocknung agiert und somit die Migrationsrate von Wasser aus dem Produkt in die Lösung fördert. Der Trockensubstanzgehalt wird dadurch gleichzeitig vermindert [RAHMAN et al., 2007].

Vorteile der osmotischen Trocknung:

- Die Verminderung von thermischen Wechselwirkungen, die einen negativen Einfluss auf Farbe und Geruch der verarbeiteten Lebensmittel haben [KNI EWASSER, 2004].
- Ein Endprodukt mit milderem Geschmack und höherer Süße als der Rohstoff selbst, dies wird durch die semipermeable Zellmembran erreicht, die nicht für alle osmotischen Substanzen durchlässig ist. Außerdem diffundieren niedermolekulare Gewebssubstanzen zusammen mit Wasser aus dem Rohstoff hinaus [KNI EWASSER, 2004].
- Die osmotische Trocknung wird häufig in Verbindung mit anderen Trocknungsmethoden eingesetzt und somit wird bei der eigentlichen Trocknung mittels konventioneller Trockner eine verkürzte Trocknungszeit erreicht [KNI EWASSER, 2004].
- Gleichzeitig erreicht man damit auch eine Energieersparnis von ca. 20–30 % [KNI EWASSER, 2004].
- Durch das Einlegen in eine osmotische Lösung bleiben Form und Stärke von Früchten im Gegensatz zur Luft- bzw. Vakuumtrocknung weitestgehend erhalten. Bei Apfelscheiben, die in eine 60 °Brix Saccharoselösung eingelegt wurden, verminderte sich die Höhe der Scheiben um nur rund 0,5–1,55 mm. Eine mögliche Erklärung für den Erhalt der Form ist der Zuckereinstrom in die Frucht [FALADE et al., 2003].

In einer Arbeit von AZURA et al. (2002) wurden Apfelinge der Sorte Golden Delicious in Zuckerlösungen mit verschiedenen Anteilen an Saccharose und Maltodextrin osmotisch getrocknet (Saccharose : Maltodextrin, 100 : 0, 90 : 10,

70 : 30, 50 : 50, 30 : 70, 10 : 90). Die Apfelringe hatten einen Durchmesser von 46 mm und eine Dicke von 4 mm. Vor dem Trocknen wurden die Apfelringe in eine Ascorbinsäurelösung getaucht und anschließend in den verschiedenen Zuckerlösungen osmotisch getrocknet, wobei in regelmäßigen Intervallen von drei Stunden das Gewicht und die Dicke der Ringe gemessen wurde.

Der Feuchtigkeitsgehalt wurde am Ende der Trocknung bestimmt.

Es besteht eine lineare Beziehung zwischen Wasserverlust und Feststoffzunahme bei jenen Äpfeln, die mit den Lösungen 100 : 0, 90 : 10, 70 : 30 und 50 : 50 osmotisch getrocknet wurden. Saccharose und Maltodextrin Lösungen führen also zu einem erhöhten Wasserverlust und einer niedrigeren Feststoffaufnahme im Vergleich zu reinen Saccharoselösungen.

Mit unterschiedlichen Konzentrationen an Saccharose bzw. Maltodextrin lassen sich die sensorischen Eigenschaften sowie die Höhe des Wasserverlustes beeinflussen.

2.1.3 Gefriertrocknung

Ein besonderes Verfahren der Trocknung stellt die Gefriertrocknung dar. Aus Qualitätsgründen verdient dieses Spezialverfahren große Beachtung. Es ist zwar mit höheren Kosten und Energieaufwand verbunden, weil zur Sublimationswärme noch der Energiebedarf zum Gefrieren aufzubringen ist, aber das Verfahren schafft die Möglichkeit, ohne Gefährdung durch Maillard-Reaktion sowie mit verringerten Aromaverlusten zu trocknen. Auch die Farbe, Vitamine und das Quellvermögen bleiben weitgehend erhalten.

Das Verfahren ist zum Trocknen stückiger Güter mit feinen Poren und größeren Abmessungen weniger geeignet, weil die Trocknungsdauer dabei sehr lang wird. Gefriertrocknung ist dafür umso besser für teure Massengüter in flüssiger Form geeignet. Unter diesen bestreitet lösliches Kaffeepulver den Hauptmarkt. Kleinere Märkte werden von Lebensmitteln, die schwindungsfrei ihre Form behalten sollen, dominiert. Dazu zählen zum Beispiel Champignons, Karfiolröschen usw.

Beim Gefriertrocknen wird der Wasserdampf direkt aus der Eisphase heraus durch Sublimation entfernt. Der erste Trocknungsabschnitt ist dabei nur kurz, da der Eisspiegel bald in das Produktinnere zurücktritt. Das absublimerende Eis

hinterlässt Poren und Kanäle im Gut, durch die der Wasserdampf aus der sich immer mehr ins Gutsinnere zurückziehenden Eisfront diffundiert.

Ein wesentlicher Vorteil der Gefriertrocknung ist neben der geringen thermischen Belastung des Gutes, dass die Struktur des Gutes, d. h. seine Größe und Form, am Ende der Trocknung weitgehend erhalten bleibt, da wegen der Aufrechterhaltung des gefrorenen Zustands während der Trocknung kein Schrumpfen stattfinden kann. Die hohe Porosität des getrockneten Gutes gewährleistet eine rasche Rehydratisierung. Andererseits wird das Trockengut dadurch oxidationsanfälliger, z. B. wird Carotin in gefriergetrockneten Produkten bei Luftberührung rasch abgebaut.

Wichtig ist der Einfriervorgang. Bei rasch eingefrorenen Produkten besteht eine bessere Erhaltung der Produktstruktur. Langsames Einfrieren führt hingegen zu größerer Trocknungsgeschwindigkeit und auch zu einer höheren Wasseraufnahmegeschwindigkeit. Im Allgemeinen ist wichtig, dass das Eisgerüst genügend fest bleibt, wozu bei verschiedenen Lebensmitteln auch unterschiedliche Temperaturen erforderlich sind, z. B. ist bei Rindfleisch eine Temperatur von -12 °C , bei Kartoffeln -14 °C ausreichend.

Die wesentlichen Bestandteile einer Gefriertrocknungsanlage sind:

- Einfrierkammer
- Gefriertrocknungskammer
- Eiskondensator [HEISS et al., 2002]

Dabei lassen sich bezüglich des Wärme- und Stofftransports prinzipiell drei Ausführungen von Gefriertrocknungsanlagen unterscheiden:

- Wärme- und Stofftransport erfolgen durch die getrocknete Schicht in entgegen gesetzter Richtung.
- Der Wärmetransport erfolgt einseitig durch die gefrorene Randschicht, Wärme- und Stofftransport erfolgen in der gleichen Richtung.
- Die Wärmeentwicklung erfolgt in der mittleren Eisschicht durch Mikrowellen, der Stofftransport beidseitig durch die getrocknete Schicht [HEISS et al., 2002].

Für gewöhnlich wird das Gut auf eine Platte aufgebracht und diese beheizt. Die Wärmezufuhr erfolgt zusätzlich mittels eines Strahlers, der über dem Gut angebracht ist. Um einen vom Gut weggerichteten Wasserdampf-Massestrom zu erreichen, muss der Wasserdampfpartialdruck in der Umgebung des zu trocknenden Gutes unterhalb des auf oder in dem Gut herrschenden Gleichgewichtsdampfdrucks an der Sublimations-Phasengrenzfläche abgesenkt werden. Dies geschieht meist mit Eiskondensatoren, die ca. -258 bis -253 °C unter der Sublimationstemperatur arbeiten. Durch Vakuumpumpen wird der Gesamtdruck im Inneren des Trockners auf 0,3 bis 2,5 mbar gehalten.

Um kürzere Trocknungszeiten zu erreichen, wird das Gut ständig umgeschaufelt [HEISS et al., 2002].

Bei der Endtrocknung ist darauf zu achten, dass die Temperatur nicht auf über 50 °C ansteigt, da man ansonsten den qualitativen Vorteil der Gefriertrocknung riskieren würde. Wegen der Dauer der Nachtrocknung kann man einen getrennten Verdunstungstrockner in Betracht ziehen, z. B. Wirbelbett oder Vakuumtrockner, aber auch Mikrowellenheizung ist geeignet [HEISS et al., 2002].

Gefriergetrocknete Produkte weisen eine lockere Struktur auf und damit auch eine große innere Oberfläche. Deshalb werden sauerstoffempfindliche Produkte in Inertgas sauerstoffdicht verpackt [HEISS et al., 2002].

Nach HAMMAMI et al. (1999) erzielt man die beste Produktqualität von gefriergetrockneten Apfelscheiben (Response Surface Method) bei einem Druck von 50 Pa und einer Temperatur der Heizplatte von 55 °C, wobei die 4–5 mm dicken Scheiben in einer rund 4 cm dicken Schicht übereinander tiefgefroren wurden. Gleichzeitig stellen Druck und Temperatur auch die wichtigsten Kriterien für die Kinetik des Gefriertrocknungsprozesses dar.

2.2 Vitamin C

Ascorbinsäure ist ein wasserlösliches 2,3-Endiol-L-Gulonsäure-Lacton, das im tierischen Organismus aus D-Glucose über die Zwischenstufen D-Glucuronsäure, L-Gulonsäure und L-Gulonolacton gebildet wird.

Anschließend erfolgt die Oxidation des L-Gulonolacton durch das Enzym L-Gulonolacton-Oxidase [WEBER, 2002].

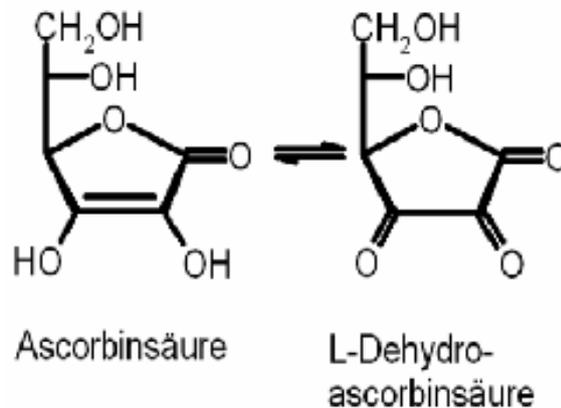


Abb. 2. 5: Chemische Struktur der Ascorbinsäure bzw. L-Dehydroascorbinsäure

Während die Oxidation der Ascorbinsäure zur Dehydroascorbinsäure (Abb. 2.5) reversibel ist, ist die Hydrolyse von Dehydroascorbinsäure zur Diketogluconsäure irreversibel. Diese Form ist biologisch inaktiv [ODRIOZOLA-SERRANO et al., 2007].

Da der menschliche Körper Ascorbinsäure nicht selbst synthetisieren kann, muss Ascorbinsäure ständig mit der Nahrung zugeführt werden. Der Vitamin C-Bedarf eines Erwachsenen liegt bei 100 mg/d.

Die Hauptresorption der Ascorbinsäure erfolgt im Jejunum und Ileum über einen natriumabhängigen Transport. Bei höheren Konzentrationen kann die Aufnahme auch über passive Diffusion erfolgen. Die Serumkonzentration von L-Ascorbinsäure liegt üblicherweise zwischen 8 und 14 mg/L. Zahlreiche Organe, wie zum Beispiel Lymphknoten, Gehirn, Skelett oder Nebennieren können eine deutlich höhere Konzentration an L-Ascorbinsäure aufweisen.

L-Ascorbinsäure wird in der Leber und in der Niere abgebaut. Die dabei entstehenden Metaboliten, wie zum Beispiel Oxalsäure oder Xylose werden über den Urin ausgeschieden [WEBER, 2002].

Funktionen der Ascorbinsäure:

- **Antioxidationschutz**

L-Ascorbinsäure bildet zusammen mit Dehydroascorbinsäure ein Redoxsystem.

- **Hydroxylierungsreaktionen**

Ascorbinsäure ist am Elektronentransfer von Hydroxylierungsreaktionen beteiligt, zum Beispiel Hydroxylierung von Prolin zu Hydroxyprolin bei der Kollagenbiosynthese.

- **Carnitin-Biosynthese**

Bei der Biosynthese von Carnitin wird L-Ascorbinsäure benötigt. Ein Mangel an Vitamin C führt daher zur Carnitinverarmung in der Muskulatur, die sich als Schwäche oder Müdigkeit äußern kann.

- **Biosynthese von Neurotransmittern**

Bei der Hydroxylierung von Dopamin zu Noradrenalin wird Ascorbinsäure als Cofaktor benötigt.

- **Eisenstoffwechsel**

Ascorbinsäure bewirkt eine Steigerung der Eisenresorption durch eine Abschwächung der Wirkung von Phytaten.

- **Entgiftungsreaktionen** [WEBER, 2002]

Die klassische Vitamin-C-Mangelerkrankung ist Skorbut. Im frühen Stadium kann es zu Schleimhautblutungen, Muskelschmerzen und Blutungen in der Muskulatur kommen. Außerdem ist eine blassgelbliche Haut charakteristisch [WEBER, 2002].

2.2.1 Vitamin C-Gehalt frischer Äpfel

SCHMILZ-EIBERGER et al. (2003) untersuchten 31 Apfelsorten auf ihre antioxidative Aktivität, ihren Gehalt an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen und ihren Gehalt an Ascorbinsäure (Tab. 2.4).

Apfelsorte

Vitamin C-Gehalt

<i>in g/L Feuchtware</i>	
Topaz	83,3
Berlepsch	76,1
AW 93	59,2
Golden Delicious	35,3
RubINETTE	33,3
Braeburn	28,8
Honeycrisp	25,6
Linsenhofer	9,8
Kardinal Bea	< d. t.
Sternrenette	< d. t.
Seestermüher	< d. t.
Gala	< d. t.

Tab. 2.4: Übersicht über Apfelsorte und entsprechenden Vitamin C-Gehalt
[SCHMILZ-EIBERGER et al., 2003]

Der Hauptanteil an Vitamin C liegt in oxidierter Form vor [SCHMILZ-EIBERGER et al., 2003; CHENNAN et al., 2002]. Nur rund 10 % des Vitamin C liegen als Dehydroascorbinsäure vor, wobei dieser Anteil während der Lagerung zunimmt. Obwohl der Schalenanteil eines Apfels nicht besonders hoch ist (15–22 %), enthält die Schale am meisten Vitamin C. Hier wurden bei der Sorte Braeburn mittels HPLC Werte von über 30 mg/100 g Frischsubstanz gemessen. Im Allgemeinen nimmt der Vitamin C-Gehalt von außen nach innen ab, demnach weist der Bereich um das Kernhaus den niedrigsten Gehalt an Vitamin C auf. Weiters ist der Vitamin C-Gehalt im Schalenbereich der Stielpartie meist etwas höher als in der Kelchpartie. Außerdem ist der Gehalt an Ascorbinsäure – im Gegensatz zur Dehydroascorbinsäure – stark von der Sonneneinstrahlung abhängig. Gut ausgefärbte Äpfel, das heißt mindestens zwei Drittel der Schale weisen eine rote Färbung auf, haben einen deutlich höheren Ascorbinsäuregehalt als schwach ausgefärbte Äpfel (maximal ein Drittel der Schale weist eine rote Färbung auf) [CHENNAN et al., 2002].

Korrelationsanalysen zeigten, dass phenolische Verbindungen unterschiedlich stark zum antioxidativen Potential des Apfels beitragen. Obwohl Vitamin C eines der bekanntesten Antioxidantien ist, hat es auf das antioxidative Potential von den untersuchten Äpfeln kaum einen Einfluss (0,4 %) [SCHMILZ-EIBERGER et al., 2003]. Nur bei den Apfelsorten Topaz und Braeburn stellt Vitamin C das Hauptantioxidant dar [TRIERWEILER et al., 2004].

2.2.2 Einfluss von Lagerung auf den Vitamin C-Gehalt von Äpfeln

Während die anitoxidative Kapazität auch nach mehrmonatiger Lagerung noch konstant bleibt, muss man bei Vitamin C mit einem Verlust von durchschnittlich 50 % rechnen. Auch hier bilden die beiden Apfelsorten Topaz und Braeburn eine Ausnahme. Ihr Vitamin C-Gehalt blieb auch nach einer Lagerung von sieben Monaten annähernd konstant (Tab. 2.5) [TRIERWEILER et al., 2004].

<i>Apfelsorte</i>	<i>Vitamin C-Gehalt in mg/100 g bei Ernte</i>	<i>Vitamin C-Gehalt in mg/100 g nach 7-monatiger Lagerung</i>
Topaz	18,0	15,0
Jonagold	5,0	2,5
Bitterfelder	19,0	14,0
Bohnapfel	10,0	8,0
Fuji	8,0	3,5
Braeburn	18,0	18,0

Tab. 2.5: Übersicht über Vitamin C-Gehalt verschiedener Apfelsorten bei Ernte und nach Lagerung

[TRIERWEILER et al., 2004]

2.2.3 Vitamin C-Gehalt osmotisch getrockneter Äpfel

In einer Studie von TAIWO et al. (2001) wurden Red Delicious Äpfel vor der osmotischen Trocknung unterschiedlich vorbehandelt und anschließend verschiedene Qualitätsparameter, u. a. der Vitamin C-Gehalt untersucht. Bei einem frischen Apfel wurde ein Vitamin C-Gehalt von $12,6 \pm 1,3$ mg/100 g gemessen. Nach einer 6-stündigen osmotischen Trocknung in einer 50 °Brix Saccharoselösung ohne Vorbehandlung sank der Gehalt auf $1,2 \pm 0,4$ mg/100g. Durch eine Vorbehandlung mit HP (high pressure) konnte ein Vitamin C-Gehalt von $1,5 \pm 0,3$ mg/100g erzielt werden. Außerdem wiesen diese Apfelringe eine bessere Textur und eine hellere Farbe auf.

2.3 Sorptionsisotherme

Isothermen geben Auskunft über die Wechselwirkungen zwischen Produktbiopolymeren und Wasser. Die Feuchtigkeit eines Rohstoffs hat Einfluss auf den Trocknungsprozess und die Stabilität von Produkten. Außerdem kann man mit Hilfe von Sorptionsisothermen Feuchtigkeitsänderungen während der Lagerung von Produkten berechnen [KAYMAK-ERTEKIN et al., 2004; PROTHON et al., 2004].

Normalerweise werden Desorptions- und Adsorptionsisothermen nach der Standard, statisch-gravimetrischen Methode ermittelt, das heißt, zehn gesättigte Salzlösungen mit unterschiedlichen a_w -Werten (0,11–0,90) werden in Klimakammern eingesetzt. Dadurch stellen sich, je nach Salzlösung, unterschiedliche Luftfeuchtigkeiten ein. Die Wasseraufnahme der eingewogenen Proben wird dann durch Gegenwiegen ermittelt. Die Proben verbleiben so lange in den Klimakammern, bis die Gewichts Differenz zwischen zwei Messungen maximal 0,001–0,002 g beträgt. Das kann zwischen zwei bis vier Wochen dauern. Um dabei Schimmelbildung zu verhindern, wird unter anderem Toluol eingesetzt [KAYMAK-ERTEKIN et al., 2004; YAN et al., 2008].

Sorptionsisothermen werden üblicherweise nach ihrer Kurvenform in fünf verschiedene Typen eingeteilt: Typ I, II, III, IV und V. Getrocknete Lebensmittel weisen überwiegend Sorptionsisothermen der Typen II und III auf [YAN et al., 2008].

2.3.1 Adsorptionsisotherme osmotisch getrockneter Äpfel

Ziel der Arbeit von PROTHON et al. (2004) war es, herauszufinden, ob ein Desorptionsisothermenmodell eingesetzt werden kann, um die Beziehung zwischen Wasseraktivität und Feuchtigkeitsgehalt eines Produkts während osmotischer Trocknung zu beschreiben. Das Guggenheim, Anderson und De Boer (GAB) Modell wurde dafür ausgewählt. Es zeigte sich, dass es bei Temperaturen von 25, 45 und 55 °C gut geeignet war. Bei einer Temperatur von 65 °C war es aber nur bis zu einem a_w -Wert von 0,970 einsetzbar.

2.3.2 Adsorptionsisotherme gefriergetrockneter Äpfel

Vakuum-gefriergetrocknete Produkte sind qualitativ besonders hochwertig und zeichnen sich durch äußerst geringe Verluste an Geschmack, Aroma und Form aus. Außerdem bleiben Vitamin C, Textur und Farbe besser erhalten als bei anderen Trocknungsarten.

Um die Adsorptionsisotherme zu ermitteln, wurden die Apfelwürfel (20 x 20 x 5 mm) zunächst bei -5 °C für 25 h bzw. bei -10 °C für 55 h gefriergetrocknet. Anschließend wurde die Adsorptionsisotherme bei einer Temperatur von 10 °C und einer Luftfeuchtigkeit von 40 % ermittelt, die dann auf bis zu 85 % bei gleich bleibender Temperatur gesteigert wurde.

Äpfel, die bei höheren Temperaturen (-5 °C) gefriergetrocknet wurden, wiesen eine geringere Wasseraufnahme auf (24,8 %), als jene, die bei -10 °C getrocknet wurden (26,4 %). Die Gesamtwasseraufnahme scheint produktspezifisch und temperaturabhängig zu sein. Die Sorptionsisothermen von Apfel, Kohlrabi und Dorsch wiesen keine typisch sigmoiden Kurven auf, sondern folgten Typ III Isothermen, die typisch für kristalline Substanzen sind [CLAUSSEN et al., 2007; KAYMAK-ERTEKIN et al., 2004].

Die Schrumpfung der Produktwürfel (Apfel, Kohlrabi und Dorsch) betrug 5 bis 27 % und hing vom Produkt und der Trocknungstemperatur ab. Generell kann festgehalten werden, dass eine vermehrte Schrumpfung bei Produkten auftritt, die einen hohen Anteil an gebundenem Wasser aufweisen, da dieses nicht gefriert. Bei Rohstoffen mit viel freiem Wasser ist die Eisfraktion höher und somit die Schrumpfung geringer [CLAUSSEN et al., 2007].

2.4 Sensorik

2.4.1 Sensorische Beurteilung von osmotisch getrockneten Äpfeln

In der Studie von AZURA et al. (2002) wurden die osmotisch getrockneten Apfelringe auch sensorisch beurteilt. Es wurde ein Beliebtheitstest von 20 untrainierten Testern durchgeführt, wobei 1 die schlechteste und 9 die beste Beurteilung darstellte. Die Äpfel, die in der reinen Saccharoselösung getrocknet wurden, wurden als zu süß beurteilt. Am besten schmeckten die Apfelringe, die mit der 90 : 10 Lösung bearbeitet wurden. Am schlechtesten wurden jene

Apfelscheiben beurteilt, die mit einem hohen Anteil an Maltodextrin getrocknet wurden.

Vergleicht man getrocknete Apfelscheiben, die vor der Trocknung entweder in reines, heißes Wasser getaucht wurden, oder in 40%ige Saccharoselösung (und 0,1 % Zitronensäure) eingelegt wurden, schnitten jene Äpfel, die in der Zuckerlösung waren, bezüglich Geschmack, Aussehen und Farbe deutlich besser ab [HEGEDUSIC et al., 1996].

Bezüglich des Geruchs gibt es keinen Unterschied bei Apfelscheiben, die in verschiedenen konzentrierten Saccharoselösungen osmotisch getrocknet wurden [FALADE et al., 2003].

Im Vergleich zu unbehandelten Proben treten bei der Vorbehandlung von Apfel- und Kartoffelwürfeln mit Zucker- bzw. Salzlösung weniger Farbveränderungen auf. Die geringste Beeinträchtigung der Farbe kann jedoch bei einer osmotischen Vortrocknung mit Salzlösung verzeichnet werden. Sowohl eine Zucker-, als auch eine Salzsicht an der Oberfläche eines Produkts bewahrt dieses vor oxidativen Reaktionen mit Luftsauerstoff, wodurch das Braunwerden von Äpfeln und Kartoffeln verhindert wird [RAHMAN et al., 2007].

Bei sensorischen Beurteilungen von GRABOWSKI et al. (1994) war die Farbe osmotisch-konvektionsgetrockneter Trauben vergleichbar mit jenen, die mit Schwefeldioxid vorbehandelt wurden. Die Textur der osmotisch-konvektionsgetrockneten Trauben war aber wesentlich weicher als bei Proben, die ausschließlich durch Konvektion getrocknet wurden. Nachteilig fiel bei den mit Zuckerlösung behandelten Trauben die Klebrigkeit auf. Um dies zu reduzieren, wurde ein Teil des Zuckers durch Grieß ersetzt.

2.4.2 Sensorische Beurteilung von Apfelmus

STROTHER (1991) führte eine sensorische Beurteilung von Apfelmus durch. Dabei wurden vier verschiedene Sorten von Äpfeln verarbeitet und bezüglich Süße, Herbheit, Apfelaroma und Zartheit beurteilt.

Die Sorte Gala wurde als angenehm süß bezeichnet, Braeburn und Jonagold lagen in den Bereichen Herbheit, Apfelaroma und Zartheit vorn.

Die Apfelsorte Fuji schnitt in allen Sparten am schlechtesten ab. Eine mögliche Erklärung ist sein besonders festes Fruchtfleisch. Dies führt zu einer verlängerten Koch- bzw. Backzeit, die mit einem höheren Aromaverlust einhergeht.

2.5 Vakuumimprägnierung

Die in einer Tauchlösung gelösten Stoffe sollen die Qualitätseigenschaften des Endprodukts verbessern. Früchte aller Art enthalten Gase. Durch das Einlegen in eine Tauchlösung und das anschließende Anlegen von Vakuum werden diese – teils negativ auf die Produkteigenschaften wirkenden – Gase aus dem Rohstoff entfernt. Die dabei entstehenden Kanäle erleichtern bzw. ermöglichen das Eindringen bzw. Diffusion der Tauchlösung in das gesamte Produkt.

Legt man den Rohstoff lediglich in die Tauchlösung und verzichtet auf Vakuuminfusion, bleiben die gelösten Stoffe überwiegend an der Oberfläche. Durch das Anlegen von Vakuum wird also nicht nur Zeit gespart, sondern Stoffe können auch homogener im Produkt verteilt werden [GUILLEMIN et al., 2006].

Werden Apfelwürfel durch Vakuuminfusion in Pektinmethylesteraselösung vorbehandelt, wird die Stabilität der wärmebehandelten Früchte verbessert [GUILLEMIN et al., 2008].

2.6 Analyse frischer Äpfeln

2.6.1 Gehalt an Kohlenhydraten, Aminosäuren, Fettsäuren sowie organischen Säuren

Wu et al. (2007) untersuchten acht verschiedene Apfelsorten mittels HPLC (High Performance Liquid Chromatography) und GC (Gaschromatographie) auf

ihren Zucker-, Aminosäuren- und Fettgehalt. Weiters wurden Art und Anteil an organischen Säuren und phenolischen Komponenten ermittelt.

Der Zuckergehalt schwankte je nach Sorte zwischen 83,7 und 125,0 g/L, wobei der Anteil an Fructose fast 50 % betrug (42,6 – 64,5 g/L), gefolgt von Glucose (24,7 – 38,7 g/L) und Saccharose (18,3 – 30,0 g/L).

Asparagin und Serin waren die häufigsten Aminosäuren. Den höchsten Aminosäuregehalt wies die Apfelsorte Jonagold mit 1568 g/L auf.

Der Anteil an Fettsäuren in Äpfeln war sehr niedrig (0,292 – 0,368 g/L), wobei der Gehalt an langkettigen Fettsäuren wie Palmitin- und Linolensäure rund 70 % vom Gesamtfettgehalt betrug.

Neben dem Zuckergehalt waren auch die organischen Säuren und die phenolischen Substanzen besonders wichtig für die Qualität von Äpfeln. Vor allem Apfelsäure, Chinasäure, Bernsteinsäure, Zitronensäure, Shikimisäure und Weinsäure waren in Äpfeln vorherrschende organische Säuren.

Der Anteil an phenolischen Komponenten (hauptsächlich Chlorogensäure und Protocatechusäure) betrug durchschnittlich 52,53 mg/L.

Auch SUNI et al. (2000) untersuchten diverse Kohlenhydrate (Sorbit, Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke und Ballaststoffe) und den Gehalt an organischen Säuren in sieben verschiedenen Apfelsorten. Der Gesamtgehalt an niedermolekularen Kohlenhydraten wurde mit HPAEC-PAD (High Performance Anion Exchange Chromatography with Pulsed Ampereometric Detection) ermittelt und betrug zwischen 615–716 g/kg Trockensubstanz, wobei auch hier der Fructoseanteil mit durchschnittlich 57 % dominierte, gefolgt von Saccharose (28 %), Glucose (11 %) und Sorbit (4%). Der Ballaststoffgehalt betrug rund 160 g/kg Trockensubstanz, während der Stärkegehalt mit 20 g/kg Trockensubstanz relativ gering war. Ein Gehalt an organischen Säuren von 87 g/kg Trockensubstanz wurde festgestellt.

Nach einer Lagerdauer von 16–21 Wochen sanken der Saccharose- und Stärkegehalt (9 g/kg Trockensubstanz) sowie der Anteil an organischen Säuren (56 g/kg Trockensubstanz). Höhere Werte nach der Lagerung wurden hingegen bei Ballaststoffen (180 g/kg Trockensubstanz), Fructose und Sorbit ermittelt. Der Glucosegehalt blieb konstant.

2.6.2 Wassergehalt

Der Wassergehalt von frischen Äpfeln liegt zwischen 82,0 und 89,6 % [KAVAK AKPINAR et al., 2003; TAIWO et al., 2001; LEWICKI et al., 2004; FALADE et al., 2004; TORTOE et al., 2007; KAMINSKA et al., 2008].

2.6.3 Zuckergehalt

Der Zuckergehalt frischer Äpfel verschiedener Sorten liegt bei 11,0 bis 12,8 °Brix [TORTOE et al., 2007; HÖHN et al., 2002; KAMINSKA et al., 2008; PROTHON et al., 2004].

2.6.4 Sonstige „innere“ Qualitätsanforderungen

Konsumenten stellen hohe Ansprüche an die Essqualität von Tafeläpfeln. Besonders wichtig sind dabei die Fruchtfestigkeit und der Zuckergehalt. Bei der Sorte Gala sollte die Festigkeit 5,5 kg/cm² nicht unterschreiten. Der Zuckergehalt sollte mindestens 11,5 °Brix betragen. Die Fleischfestigkeit wird bei längerer Lagerzeit bei einer Temperatur von 20 °C rasch abgebaut und somit negativ beeinflusst, wohingegen sich der Zuckergehalt auch bei längerer Lagerung nur geringfügig verändert. Erst bei sehr langer Lagerung ist teilweise eine geringe Verminderung festzustellen [HÖHN et al., 2002].

3 AUFGABENSTELLUNG

Zu Beginn der praktischen Arbeit wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt.

In dieser Arbeit sollten chemische, physikalische und sensorische Eigenschaften von getrockneten Äpfeln erfasst werden, die auf unterschiedliche Art vorbehandelt und getrocknet wurden.

Anschließend sollte ein Vergleich der verschiedenen verarbeiteten Äpfel hinsichtlich des Trockensubstanzgehalts, des Vitamin C-Gehalts, des a_w -Werts, der Farbe und Textur, sowie des Zuckergehalts geschaffen werden.

Zusätzlich wurde auch der frische Rohstoff im Laufe der Versuche in regelmäßigen Abständen analysiert, um Veränderungen im Vergleich zum verarbeiteten Produkt festzustellen.

4 MATERIAL UND METHODEN

4.1 Verwendete Roh- und Hilfsstoffe

4.1.1 Äpfel

Es wurden die Apfelsorten „Granny Smith“ und „Gala“ für die verschiedenen Trocknungen herangezogen. Die Sorte Granny Smith zeichnet sich durch die hellgrüne Schale und das saftige, grünlich-weiße Fruchtfleisch aus. Gala ist eine Kreuzung aus „Kidds Orange Red“ und „Golden Delicious“. Diese Sorte zählt zu den Herbstsorten. Die Früchte sind mittelgroß, fest, süß und aromatisch, aber wenig saftig.

Lagertemperatur: 4 °C

Herkunft: Granny Smith: Italien bzw. Chile
Gala: St. Ruprecht, Steiermark

4.1.2 Osmotische Lösung – Saccharoselösung

Saccharose

Hersteller: Fa. AGRANA, Tulln, Österreich

4.2 Verwendete Geräte

4.2.1 Verwendete Geräte zur Durchführung der Versuche

Waage

Type: Sartorius BP3100

Hersteller: Sartorius AG Göttingen, Deutschland

Technische Daten: max. Gewicht: 3100 g; d = 0,01 g

Waage

Type: Sartorius GP5202
Hersteller: Sartorius AG Göttingen, Deutschland
Technische Daten: max. Gewicht: 5200 g; d = 0,01 g

Magnetrührer

Type: IKAMA Typ RCT
Hersteller: IKA-Labortechnik, Staufen i. Br.
Technische Daten: 0-1100 U/min, 220 V, 50/60 Hz, Motor 30 W,
Heizung 630 W

Vakuumentrockenschrank

Hersteller: WTC Binder, Tuttlingen, Deutschland
Technische Daten: max. Temperatur: 200 °C

Vakuumpumpe

Type: E 12, Fabr. Nr.: 0120 4411
Hersteller: Leybold-Heraeus, Westdeutschland
Technische Daten: 12 m³/h

Umlufttrockenschrank

Type: ULM 600 F.-Nr. f 696.0169
Hersteller: Memmert GmbH & Co KG, Schwabach,
Deutschland
Technische Daten: Nenntemperatur: 220 °C;
230 V; 10,4 A; 2400 W

Konvektionstrockenschrank

Type: Excellent Universalwärmeschrank
Hersteller: Memmert GmbH & Co KG, Schwabach,
Deutschland
Technische Daten: max. Temperatur: 250 °C

Schüttelbad

Type: GFL 1092
 Hersteller: Gesellschaft für Labortechnik, Burgwedel, Deutschland
 Technische Daten: max. Temperatur: 99.9 °C
 min. 10 U/min, max. 245 U/min

Kühlraum

Hersteller: YORK International GesmbH
 Technische Daten: mind. Temperatur: +4 °C

Tiefkühlschrank

Type: 838 Biological Storage Chest Freezer
 Hersteller: Forma Scientific, Inc.
 Technische Daten: min. Temperatur: –50 °C
 max. Temperatur: –86 °C

Gefriertrocknungsanlage

Type: LABIN L05
 Hersteller: LABIN – Labor- und Industriebedarf VertriebsgmbH, Zwentendorf, Österreich

Pommes frites Schneidegerät

Hersteller: BROY COUKE, Frankreich
 Einsatz: 1 x 1 cm

Vakuumverpackungsmaschine

Type: VP 530 S
 Hersteller: Vama MaschinenbaugmbH, Waltenhofen, Deutschland

4.2.2 Verwendete Geräte zur Durchführung der Analysen

Analysenwaage

Type:	Sartorius BP1200
Hersteller:	Sartorius AG Göttingen, Deutschland
Technische Daten:	max. Gewicht: 210 g; d = 0,01 g

Gefrierschrank

Hersteller:	Liebherr
Technische Daten:	max. Temperatur: -40 °C

Mixer, Universalzerkleinerer

Type:	Cook Star, Magic Butler deluxe
Hersteller:	Bob Home HandelsgesmbH, Hörschnig, Österreich
Technische Daten:	max. Leistung: 300 W

Kolbenhubpipetten

Type:	Eppendorf Research
Hersteller:	EPPENDORF, Deutschland
Technische Daten:	1 – 20 µL, 10 – 100 µL, 100 – 1000 µL, 1000 – 5000 µL

Magnetrührer

Type:	M22/1
Hersteller:	Framo-Gerätetechnik

Photometer

Type:	Photometer 4010
Hersteller:	Böhringer Mannheim GmbH, Wien
Technische Daten:	340 – 650 nm

Halbmikroküvetten

Type:	Plastibrand, Einmalküvetten, 1,5 mL
Hersteller:	Brand GmbH, Deutschland

a_w-Wert-Messgerät

Type: ro-tronic HW3 HYGROLAB
 Hersteller: ro-tronic AG, Bassersdorf, Schweiz

Kunststoffpetrischalen

Type: Runddose 2-teilig, 46 x 16 mm,
 Art. Nr.: 16.1014.0400
 Hersteller: Semadeni AG

Farbmessgerät

Type: Luci 100
 Hersteller: Dr. Bruno Lange GmbH, St. Pölten

Texturanalysegerät

Type: TA.XTplus
 Hersteller: Stable Micro Systems, England

Reflektometer

Type: RQflex plus
 Hersteller: MERCK, Darmstadt, Deutschland

Penetrometer

Type: Mecmesin M1000E

Refraktometer

Type: Refraktometer HR-900
 Hersteller: Krüss
 Technische Daten: 0 – 90 °Brix

pH-Meter

Type: 1120
 Hersteller: Mettler Toledo
 Technische Daten: Arbeitstemperatur –10 – +55 °C

Trockenschrank

Type: Heraeus kelvitron+
Hersteller: Heraeus Instruments, Hanau, Deutschland
Technische Daten: min. Temperatur: 50 °C
max. Temperatur: 300 °C

Brutraum

Hersteller: YORK International GesmbH
Technische Daten: min. Temperatur: +4 °C
max. Temperatur: +40 °C
30 – 90 % rel. Feuchtigkeit

Klimakammern mit verschiedenen Salzlösungen

Exsikkator mit Trocknungsmittel **Silicagel** (Nr. 1925, Fa. MERCK, Deutschland)

Aluminiumschalen mit Glasstab, **Seesand** (Nr. 1.07711.5000 TA129211 617, Fa. MERCK, Deutschland)

Sieb

handelsüblicher **Sparschäler**

4.3 Untersuchungsmethoden

4.3.1 Trockensubstanzbestimmung

4.3.1.1 Methode

Der Masseverlust der Probe wird durch Trocknen bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank bei 105 °C bestimmt. Die Trockensubstanz wird durch Differenzwägung ermittelt.

4.3.1.2 Material

- Analysenwaage
- Aluminiumschalen und Glasstab
- Seesand
- Trockenschrank
- Exsikkator mit Trocknungsmittel Silikagel
- Mixer

4.3.1.3 Durchführung

Die Aluminiumschalen wurden mit etwas Seesand befüllt und mit einem Glasstab bei 105 °C für ca. zwei Stunden im Trockenschrank vorgetrocknet. Anschließend wurden sie im Exsikkator auf Zimmertemperatur abgekühlt und das Leergewicht (Aluminiumschale + Seesand + Glasstab) bestimmt. Es wurden $2,5 \pm 0,1$ g (getrocknete, gemixte Apfelprobe) bzw. $5 \pm 0,3$ g (frische, gemixte Apfelprobe) eingewogen und die exakte Einwaage notiert. Mit Hilfe des Glasstabs wurde die Probe mit dem Seesand verrieben und bis zur Gewichtskonstanz bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet. Nach erfolgter Trocknung wurden die Schalen im Exsikkator auf Zimmertemperatur abgekühlt und anschließend gewogen (Auswaage). Es erfolgte ein dreifacher Probenansatz.

4.3.1.4 Berechnung

$$\text{Trockensubstanz [\%]} = \frac{\text{Auswaage} - \text{Leergewicht}}{\text{Einwaage}} \cdot 100$$

(Gl. 4.1)

4.3.2 Bestimmung des Vitamin C-Gehalts

4.3.2.1 Methode

Die Bestimmung der Ascorbinsäure in Äpfeln erfolgte reflektometrisch. Nach dem Prinzip der Reflektometrie wird das an einem Analysestäbchen diffus reflektierte Licht exakt vermessen. Wie in der klassischen Photometrie kann über die Intensitätsunterschiede von ausgehender und reflektierter Strahlung die Konzentration bestimmter Inhaltsstoffe quantitativ gemessen werden [MERCK, Bedienungsanleitung RQflex plus].

Das Prinzip der Messung des Ascorbinsäuregehalts mit dem Reflektometer basiert auf der Reduktion der gelben Molybdätophosphorsäure zu Phosphormolybdänblau, welches bestimmt wird [MERCK, Beipackzettel Ascorbinsäure-Test, 2008].

4.3.2.2 Material

- Reflektometer RQflex
- Analysestäbchen (MERCK, 1.16981.0001)
- pH-Meter
- Bechergläser
- 100 mL Messkolben
- Erlenmeyerkolben
- Trichter
- Faltenfilter
- Kolbenhubpipette
- Mixer

4.3.2.3 Durchführung

Es wurden $1 \pm 0,02$ g (getrocknete, gemixte Probe) bzw. $5 \pm 0,1$ g (frische, gemixte Probe) in ein Becherglas eingewogen und die exakte Einwaage wurde notiert. Danach wurden 10 mL meta-Phosphorsäure zugesetzt und der pH-Wert mit Hilfe von KOH (2 M) auf 3,5–4 eingestellt. Die Probe wurde in einen 100 mL Messkolben umgefüllt und mit Aqua dest. bis zur Markierung aufgefüllt. Die Mischung wurde filtriert und das Analysestäbchen wurde für zwei Sekunden in das Filtrat getaucht, der Überschuss abgeschüttelt. Bei Ertönen eines Signaltons des Reflektometers (Abb. 4.1) wurde das Stäbchen in den Adapter des Geräts gesteckt. Nach wenigen Sekunden wurde der entsprechende Ascorbinsäuregehalt in mg/L angezeigt. Es erfolgte eine dreifache Vitamin C-Gehaltbestimmung für jede Probe.



Abb. 4.1: Reflektometer

4.3.2.4 Berechnung

$$\text{Vitamin C [g/100 g]} = \frac{\text{mg Vitamin C/L}}{\text{Einwaage [g]} * 10 * 1000} * 100$$

(Gl. 4.2)

$$\text{Vitamin C [mg] bezogen auf Trockensubstanz} = \frac{\text{mg Vit C/100 g}}{\text{Trockensubstanz [\%]}} * 100$$

(Gl. 4.3)

4.3.3 Messung des a_w -Werts

4.3.3.1 Methode

ro-tronic HW3 HYGROLAB ist ein Mehrkanal-Tischgerät und dient der präzisen Messung von Feuchte, Temperatur und Wasseraktivität verschiedener Proben.

4.3.3.2 Material

- a_w -Wert-Messgerät ro-tronic HW3 HYGROLAB
- Software „HW3“
- Kunststoffpetrischalen
- Mixer

4.3.3.3 Durchführung

Das Programm HW3 wurde am Computer gestartet.

Die Probe wurde fein zerkleinert in eine Kunststoffpetrischale gegeben und in die Messzelle des Gerätes ro-tronic HW3 HYGROLAB eingesetzt. Die Messung wurde gestartet und nach ca. 15–30 min konnte der gemessene a_w -Wert abgelesen werden. Jede Probe wurde doppelt bestimmt.

4.3.4 Messung der Textur

4.3.4.1 Methode

Der Texture Analyzer ist ein computerunterstütztes Prüfgerät, mit dem unterschiedlichste, die Textur eines Prüfguts betreffende Parameter gemessen werden können. Die Systemsteuerung, Datenaufnahme und Datenauswertung erfolgen dabei über die Software „TextureExponent“.

Die Kraftmesssonde und der Prüfkörper sind dabei an einem computergesteuerten Maschinenarm befestigt. Dieser bewegt sich vertikal, wodurch Reaktionskraft, Weg und Zeit gleichzeitig gemessen werden können. Zu Beginn jeder Messung muss das Gerät mit Hilfe von Gewichten kalibriert werden.

Technische Daten:

- **Kraft:** Messbereich 5 oder 50 kg
- **Weg:** Messbereich (minimale bzw. maximale Probengröße)
0,1–295 mm; Genauigkeit 0,01 mm
- **Geschwindigkeit:** Messbereich 0,1–10 mm/s; Genauigkeit: 0,01 % für
1–5 mm/s und 0,1 % für 5–10 mm/s
- **Abtastrate:** max. 500 Hz

Einstellungen:

- **Testmethode:**
Messe Druck
Halten auf Zeit
- **Messparameter:**
Vorgeschwindigkeit: 5 mm/s
Testgeschwindigkeit: 0,5 mm/s
Rückgeschwindigkeit: 10 mm/s
Weg: 3 mm
Haltezeit: 10 s
- **Auslösewert:**
Art: Auto/Kraft
Kraft: 0,05 N
- **Stopp Aufzeichnung bei:** Zurück zum Auslösewert

- **Verwendete Kraftmesssonde:** 50 kg
- **Prüfzylinder:** „Knusprigkeit“ SM 5 P/36 R
- **Prüfplatte:** Perspex Blade/Perspex Insert

4.3.4.2 Material

- Texturmessgerät (50 kg Zelle, Aufsatz „Knusprigkeit“)
- Software TextureExponent

4.3.4.3 Durchführung

Es wurde ein „Halten auf Zeit“-Test durchgeführt. Die Vorgeschwindigkeit betrug 5 mm/s, die Testgeschwindigkeit 0,5 mm/s und die Rückgeschwindigkeit 10 mm/s. Es wurden bei jeder Messung vier Apfelwürfel 3 mm tief eingedrückt (Abb. 4.2). Die Haltezeit betrug 10 s. Während der Messung wurde vom Programm „TextureExponent“ eine Kurve erstellt, die die maximale Kraft anzeigte, die notwendig war, um die Apfelwürfel 3 mm tief einzudrücken. Jede Probe wurde 10 mal gemessen.

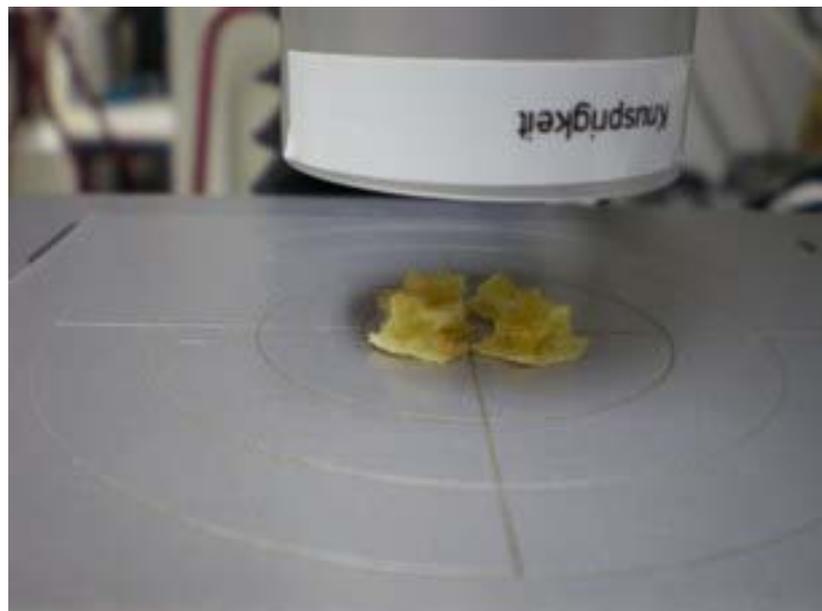


Abb. 4.2: Messung der Textur der Apfelwürfel mittels Texture Analyzer

4.3.5 Messung der Farbe (L*a*b*-System)

4.3.5.1 Methode

Der L*a*b*-Farbraum ist ein Messraum, in dem alle wahrnehmbaren Farben enthalten sind. Der Farbraum ist auf Grundlage der Gegenfarbtheorie konstruiert. Die a*-Achse reicht von grün bis rot, die b*-Achse von blau bis gelb. Die L*-Achse steht senkrecht auf dieser Ebene und gibt die Helligkeit wieder. Gelb und grün können Werte bis +150 erreichen, rot und blau dagegen nur Werte bis +100. Die L*-Achse reicht von 0 (schwarz) bis 100 (weiß).

4.3.5.2 Material

- Farbmessgerät LUCI 100
- Quarzküvette (Ø 3 cm)

4.3.5.3 Durchführung

Die Quarzküvette wurde mit Apfelwürfeln befüllt, auf das Farbmessgerät gestellt und mit einer schwarzen Hülse abgedeckt. Danach wurde die Messung gestartet und die ermittelten Werte für Helligkeit (L*-Wert), grün-rot (a*-Wert) und blau-gelb (b*-Wert) wurden am Gerät angezeigt und notiert. Die Messung wurde 10 mal pro Probe durchgeführt.

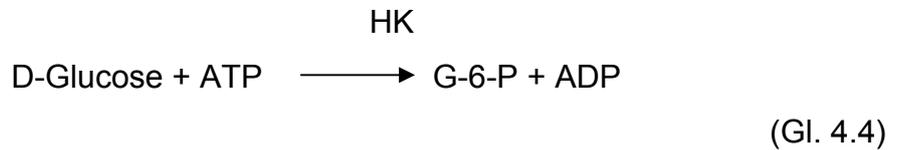
4.3.6 Bestimmung des Glucose-, Saccharose- und Fructosegehalts

4.3.6.1 Methode

Der Gehalt an Glucose, Saccharose und Fructose wurde enzymatisch mit Hilfe eines Testkits bestimmt. Das Prinzip beruht darauf, dass die D-Glucose Konzentration vor und nach der Saccharose-Hydrolyse durch β -Fructosidase bestimmt wird. Der Gehalt an Fructose wird im Anschluss an die Bestimmung der D-Glucose ermittelt, das heißt, nach der Isomerisierung durch Phosphoglucose-Isomerase (PGI) [MEGAZYME, 2005].

D-Glucose Bestimmung:

Das Enzym Hexokinase (HK) katalysiert bei pH 7,6 die Phosphorylierung von D-Glucose mit ATP zu Glucose-6-Phosphat (G-6-P) und ADP.



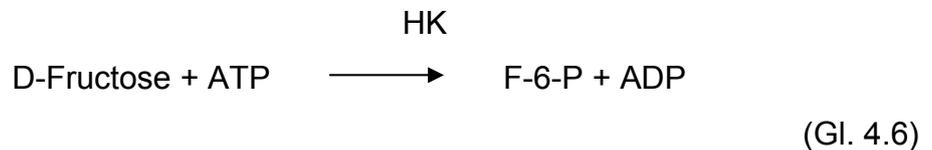
Das entstehende Glucose-6-Phosphat wird durch NADP^+ in Verbindung mit dem Enzym Glucose-6-Phosphat Dehydrogenase (G6P-DH) zu Gluconat-6-Phosphat oxidiert, wobei NADPH entsteht.



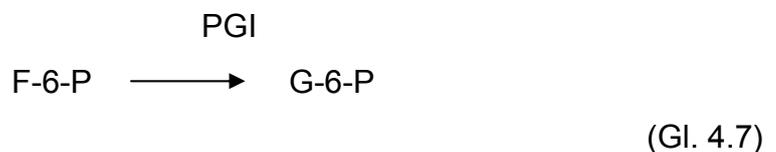
Die während der Reaktion gebildete NADPH-Menge ist der D-Glucosemenge äquivalent. Gemessen wird NADPH mit Hilfe der Absorbanzzunahme bei 340 nm.

D-Fructose Bestimmung:

Hexokinase katalysiert auch die Phosphorylierung von D-Fructose mit ATP zu Fructose-6-Phosphat (F-6-P).



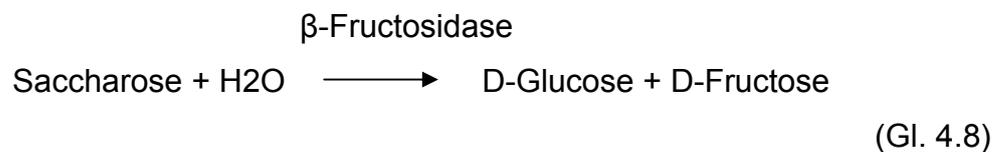
In der Folge wird F-6-P durch PGI zu G-6-P umgewandelt.



Durch die Reaktion von G-6-P mit NADP^+ entstehen Gluconat-6-Phosphat und NADPH. In der Folge nimmt die mit dem Gehalt an D-Fructose äquivalente Absorbanz weiter zu.

Hydrolyse der Saccharose:

Bei einem pH-Wert von 4,6 wird Saccharose durch β -Fructosidase zu D-Glucose und D-Fructose hydrolysiert.



Nach der Hydrolyse der Saccharose wird die D-Glucose wie oben erläutert bestimmt.

Der Gehalt an Saccharose errechnet sich aus der Differenz der D-Glucose Konzentration vor und nach der Hydrolyse durch β -Fructosidase [MEGAZYME, 2005].

4.3.6.2 Material

- **Reagenzien:**

- | | |
|------------|--|
| Flasche 1: | Imidazolpuffer (25 mL, 2 M, pH 7,6) plus Magnesiumchlorid (100 mM) und Natriumazid 0,02% (w/v) als Konservierungsstoff |
| Flasche 2: | NADP^+ (150 mg) plus ATP (440 mg) |
| Flasche 3: | Hexokinase (425 U/mL) plus Glucose-6-Phosphat Dehydrogenase Suspension (212 U/mL), 2,25 mL |
| Flasche 4: | Phosphoglucose-Isomerase Suspension (2,25 mL, 1000 U/mL) |
| Flasche 5: | D-Glucose plus D-Fructose Standardlösung (5 mL, 0,2 mg/mL je Zucker) |
| Flasche 6: | β -Fructosidase (4000 U) in Natriumcitratpuffer (pH 4,6) |

Aqua dest.

▪ **Geräte :**

Photometer

Halbmikroküvetten

Kunststoffspatel

Analysenwaage

Bechergläser

100 mL Messkolben

Erlenmeyerkolben

Trichter

Faltenfilter

Kolbenhubpipetten

Stoppuhr

4.3.6.3 Durchführung

Die Probe wurde mit Hilfe eines Mixers fein vermahlen und $1 \pm 0,02$ g (getrocknete Probe) bzw. $10 \pm 0,05$ g (frischer Apfel) in ein Becherglas eingewogen und die exakte Einwaage notiert (dreifacher Probenansatz). Die Probe wurde anschließend in einen 100 mL Messkolben überführt und mit Aqua dest. bis zur Markierung aufgefüllt. Nach dem Schütteln des Kolbens wurde die Lösung filtriert und das Filtrat 1:10 (10 mL Filtrat mit Aqua dest. auf 100 mL aufgefüllt) bzw. 1:20 (5 mL Filtrat mit Aqua dest. auf 100 mL aufgefüllt) bei osmotisch vorbehandelten Proben, verdünnt.

Die Proben wurden dann laut folgendem Ablaufschema (Tab. 4.1) behandelt und die Extinktionswerte in einem Photometer bei einer Wellenlänge von 340 nm in Halbmikroküvetten bei Raumtemperatur ermittelt.

Es ist wichtig, dass vor Beginn des Pipettierens alle Lösungen Raumtemperatur aufweisen.

In Küvetten pipettieren	Leerversuch Saccharose	Probe Saccharose	Leerversuch D-Glucose/ D-Fructose	Probe D-Glucose/ D-Fructose
Lösung 6	0,10 mL	0,10 mL	-	-
Probenlösung		0,05 mL	-	0,05 mL
Mischen (Kunststoffspatel), 5 Minuten inkubieren und dann Folgendes hinzufügen:				
Aqua dest.	1,00 mL	0,95 mL	1,10 mL	1,05 mL
Lösung 1	0,05 mL	0,05 mL	0,05 mL	0,05 mL
Lösung 2	0,05 mL	0,05 mL	0,05 mL	0,05 mL
Mischen, nach ca. 3 Minuten die Absorbanz der Lösungen (A_1) ablesen und Folgendes hinzufügen, um die Reaktion zu starten:				
Suspension 3	0,01 mL	0,01 mL	0,01 mL	0,01 mL
Mischen und am Reaktionsende (nach ca. 5 Minuten) die Absorbanz der Lösungen (A_2) ablesen. Anschließend Folgendes hinzufügen:				
Suspension 4	-	-	0,01 mL	0,01 mL
Mischen und nach ca. 10 Minuten die Absorbanz der Lösungen (A_3) ablesen.				

Tab. 4.1: Pipettierschema zur Bestimmung der Glucose, Saccharose und Fructose

Lösung 6 (β -Fructosidase)

Lösung 1 (Imidazolpuffer)

Lösung 2 (NADP⁺/ATP)

Suspension 3 (HK/G6P-DH)

Suspension 4 (PGI)

4.3.6.4 Berechnung

Es wurden die Absorbanzdifferenzen ($A_2 - A_1$) und ($A_3 - A_2$) für Leerversuche und Proben ermittelt. Die Werte für $\Delta A_{D\text{-Glucose}}$, $\Delta A_{\text{Saccharose}}$ und $\Delta A_{D\text{-Fructose}}$ wurden wie folgt berechnet:

Bestimmung freier D-Glucose:

$\Delta A_{D\text{-Glucose}} = (A_2 - A_1)_{\text{Probe}} - (A_2 - A_1)_{\text{Leerversuch}}$ (aus der D-Glucose/D-Fructose Probe)

Bestimmung der Saccharose:

Die Differenz zwischen $\Delta A_{\text{gesamt D-Glucose}}$ ($(A_2 - A_1)_{\text{Saccharose-Probe}} - (A_2 - A_1)_{\text{Saccharose-Leerversuch}}$) und $\Delta A_{D\text{-Glucose}}$ (aus der D-Glucose/D-Fructose Probe) ergab $\Delta A_{\text{Saccharose}}$.

Bestimmung freier D-Fructose:

Um die $\Delta A_{D\text{-Fructose}}$ zu erhalten, wurde die Absorbanzdifferenz ($A_3 - A_2$) des Leerversuchs von derjenigen der Probe ($A_3 - A_2$) subtrahiert.

Die Werte von $\Delta A_{D\text{-Glucose}}$, $\Delta A_{\text{Saccharose}}$ und $\Delta A_{D\text{-Fructose}}$ sollten mindestens 0,100 Absorbanzeinheiten betragen, damit ausreichend genaue Ergebnisse erzielt werden.

Die Konzentration von D-Glucose, Saccharose und D-Fructose wurde wie folgt berechnet:

$$c = \frac{V * MW}{\epsilon * d * v} * \Delta A * VF \quad [\text{g/L}]$$

(Gl. 4.9)

Variablen:

V	Endmenge [mL]
MW	Molekülmasse der zu bestimmenden Substanz [g/mol]
ϵ	Extinktionskoeffizient von NADPH bei 340 nm = 6300 [L * mol ⁻¹ * cm ⁻¹]
d	optische Weglänge [cm]
v	Probenmenge [mL]
VF	Verdünnungsfaktor

Die Analysenergebnisse wurden auf die Einwaage bezogen und wie folgt berechnet:

Gehalt an D-Glucose [g/100 g]

$$= \frac{C_{D\text{-Glucose}} \text{ [g/L Probenlösung]}}{\text{Einwaage}_{\text{Probe}} \text{ [g/L Probenlösung]}} * 100$$

(Gl. 4.10)

Gehalt an Saccharose [g/100 g]

$$= \frac{C_{D\text{-Glucose}} \text{ [g/L Probenlösung]}}{\text{Einwaage}_{\text{Probe}} \text{ [g/L Probenlösung]}} * 100$$

(Gl. 4.11)

Gehalt an D-Fructose [g/100 g]

$$= \frac{C_{D\text{-Glucose}} \text{ [g/L Probenlösung]}}{\text{Einwaage}_{\text{Probe}} \text{ [g/L Probenlösung]}} * 100$$

(Gl. 4.12)

4.3.7 Bestimmung des Reifeindex nach Streif

4.3.7.1 Methode

Der Reifeindex nach Streif wird ermittelt, um den optimalen Erntezeitpunkt von Äpfeln festzustellen. Dazu werden der Penetrometerwert (Fruchtfleischfestigkeit), der Stärkeabbau und der Zuckergehalt gemessen. Dabei dienen der Penetrometerwert und der Stärkeabbau als Reifemerkmale, der Zuckergehalt gibt Auskunft über die Fruchtqualität.

Optimale Ernte- und Einlagerwerte der Sorte Gala liegen bei 11,5–12,5 °Brix, Stärkeabbau 4–7 und einem Penetrometerwert von 5,9–7,5. Daraus ergibt sich ein Reifeindex von ca. 0,15 [HÖHN et al., 2005].

4.3.7.2 Material

- Penetrometer
- Refraktometer
- große Petrischale
- Lugols Lösung

4.3.7.3 Durchführung

Penetrometerwert:

Dazu wurde die Schale des frischen Apfels an einer kleinen Stelle hauchdünn entfernt. Danach wurde der Stempel (\varnothing 11 mm) des Penetrometers rund 8 mm tief in den Apfel eingedrückt und der Wert am Penetrometer abgelesen (Abb. 4.3).

Es wurden 5 Äpfel jeweils doppelt bestimmt. Aus diesen 10 Messungen wurde der Mittelwert berechnet.



Abb. 4.3: Messung der Fruchtfleischfestigkeit mit Penetrometer

Stärkeabbau:

Der frische Apfel wurde quer halbiert und die Schnittfläche für einige Sekunden in Lugols Lösung getaucht (Abb 4.5). Eine eventuelle Schwarzfärbung durch die enthaltene Stärke wurde mit einer Farbschablone zur Beurteilung des Stärkeabbaus verglichen. Die Skala reichte von 1 (= kein Stärkeabbau) bis 10 (= vollständiger Stärkeabbau), siehe Abb. 4.4.

Der Stärkeabbau-Test wurde 5 mal pro Sorte durchgeführt und anschließend der Mittelwert berechnet.

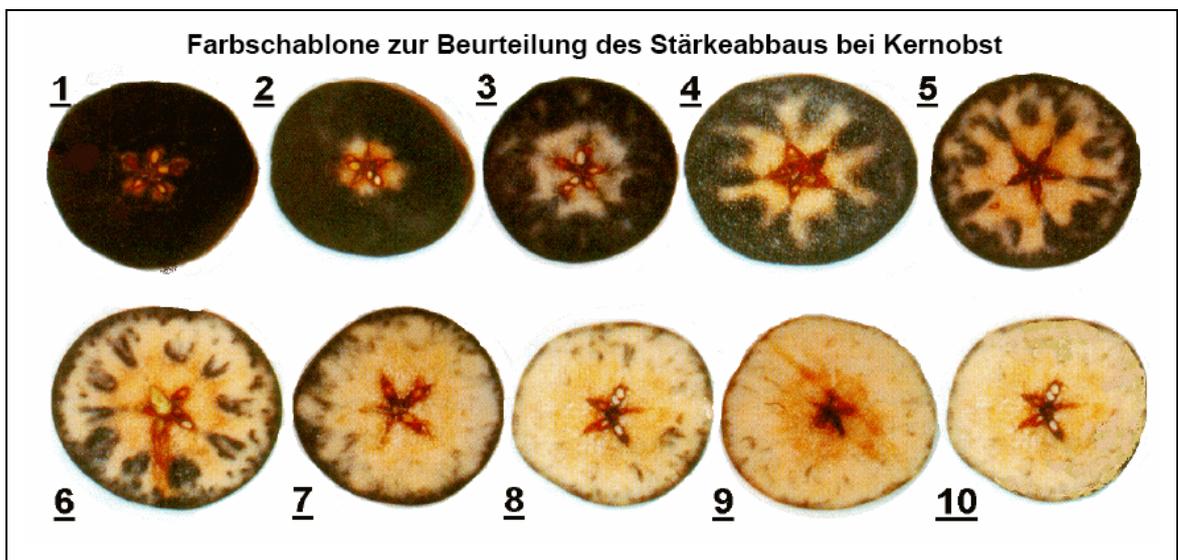


Abb. 4.4: Farbschablone zur Beurteilung des Stärkeabbaus

[HBLA FÜR OBST- UND WEINBAU]



Abb. 4.5: In Lugols Lösung getauchte Apfelhälften zur Beurteilung des Stärkeabbaus (links: Granny Smith, rechts: Gala)

Zuckergehalt:

Der halbierte, frische Apfel wurde zusammengedrückt und ein Tropfen des ausgetretenen Safts auf den Refraktometer aufgebracht. Anschließend wurde der Wert (°Brix) abgelesen.

Die Messung des Zuckergehalts erfolgte 5 mal pro Sorte. Für die Berechnung des Reifeindex wurden die Mittelwerte herangezogen.

4.3.7.4 Berechnung

$$\text{Reifeindex} = \frac{\text{Penetrometerwert [kg/cm}^2\text{]}}{\text{Refraktometerwert [}^\circ\text{Brix]} * \text{Stärkeabbau}}$$

(Gl. 4.13)

4.3.8 Adsorptionsisotherme

4.3.8.1 Methode

Die Sorptionsisotherme bezeichnet die Beziehung zwischen Wasseraktivität und Wassergehalt eines Gutes. Um die Sorptionsisotherme zu ermitteln, ist die Wasseraktivität des Gutes durch Lagern in Klimakammern bei entsprechender relativer Luftfeuchtigkeit einzustellen und anschließend der Wassergehalt zu bestimmen.

Bei Adsorptionsisothermen wird – im Gegensatz zu Desorptionsisothermen – das Gut erst getrocknet, bevor es in den Klimakammern auf einen bestimmten a_w -Wert eingestellt wird. Hierbei sollte ein Wassergehalt nahe null erreicht werden.

Die relative Luftfeuchtigkeit wird in den Klimakammern mittels gesättigter Salzlösungen eingestellt.

Der Wassergehalt des Guts wird durch Messung der Massendifferenz vor und nach Einstellung der Gleichgewichtsfeuchte ermittelt.

4.3.8.2 Material

- Kunststoff-Klimakammern mit je einem Ventilator zur Luftumwälzung
- große Petrischalen (Ø 14,5 cm)
- Salzlösungen (Lithiumchlorid, $a_w = 0,1131$; Kaliumacetat, $a_w = 0,2311$; Magnesiumchlorid, $a_w = 0,3307$; Kaliumcarbonat, $a_w = 0,4316$; Magnesiumnitrat-Hexahydrat, $a_w = 0,5438$; Kaliumiodid, $a_w = 0,6990$; Natriumchlorid, $a_w = 0,7547$; Kaliumchlorid, $a_w = 0,8511$; Kaliumsulfat, $a_w = 0,9759$; Aqua dest., $a_w = 1,000$)
- Probeschalen (kleine Petrischalen Ø 5,5 cm)
- Analysenwaage
- Exsikkator
- Vakuumtrockenschrank
- Vakuumpumpe

4.3.8.3 Durchführung

Die getrockneten Apfelproben wurden nochmals bei 50 °C im Vakuumtrockenschrank für 24 h nachgetrocknet.

Die oben angeführten Salze wurden mit Aqua dest. als gesättigte Lösungen angerührt, sodass in einer großen Petrischale etwa 0,5–1 cm Bodensatz an Salz bestehen blieb, der von 1–2 mm Aqua dest. bedeckt wurde.

24 h vor dem Einwägen der Proben wurden die leeren Probeschalen in der zugehörigen Klimakammer gelagert. Die Probeschalen wurden danach nur mehr mit einer Tiegelzange manipuliert.

In jede Schale wurde ca. 0,5–2 g Probe eingewogen und die exakte Einwaage notiert. Ab dem 3. Tag wurde täglich die Auswaage bestimmt. Am letzten, 7. Tag wurde die Wasseraufnahme [%] bezogen auf die Trockensubstanz berechnet und graphisch dargestellt.



Abb. 4.6: Klimakammern mit Salzlösungen und Proben

4.3.8.4 Berechnung

$$\text{Wasseraufnahme [\%]} = \frac{((\text{Auswaage} - \text{Schale leer}) - \text{Einwaage})}{(\text{Auswaage} - \text{Schale leer})} * 100$$

(Gl. 4.14)

In einem rechtwinkligen Koordinatensystem wurde auf die Abszisse der eingestellte a_w -Wert und auf die Ordinate die dem jeweiligen a_w -Wert entsprechende, ermittelte Wasseraufnahme [%] bezogen auf die Trockensubstanz eingetragen.

4.3.9 Sensorische Beurteilung

4.3.9.1 Methode

Die sensorische Beurteilung der getrockneten Äpfel wurde mit dem Ziel durchgeführt, die Akzeptanz bzw. Beliebtheit des Produkts durch den Verbraucher zu messen. Die Prüfpersonen bewerteten direkt das Produkt, das heißt, ohne Beeinflussung durch Verpackung und Marketing.

4.3.9.2 Durchführung

Es wurden sechs Proben geprüft: Je zwei osmotisch-konvektionsgetrocknete Proben, zwei konvektionsgetrocknete Äpfel, die mit Kaliumbisulfit vorbehandelt wurden und zwei gefriergetrocknete, in Zitronensäure getauchte Proben.

Jede Probe wurde mit einem 4-stelligen Code versehen.

Als Prüfpersonen dienten 37 ungeschulte Personen, die gebeten wurden, die getrockneten Äpfel zu kosten, wobei das Rückkosten erlaubt war. Sie erhielten keine detaillierte Informationen bezüglich der Proben.

Die Prüfer erhielten einen Beurteilungsbogen (Abb. 4.7), auf dem sie die einzelnen Merkmale der Proben durch Einkreisen der Ziffern 1–9 unter Angabe des Codes beurteilten. Der Gesamteindruck wurde anhand einer unstrukturierten, 10 cm Skala durch eine senkrechte Markierung unter Angabe der Probennummer bewertet.

4.3.9.3 Berechnung

Die Zahlen, die jede Probe für das jeweilige Merkmal erreicht hat, wurden addiert.

Um die Darstellung aller Parameter in einem Diagramm zu ermöglichen, wurde schließlich auch der 10 cm-Balken von 1 bis 9 eingeteilt, das heißt, die Skala für den Parameter „Gesamteindruck“ reichte nicht von 0–10, sondern – analog zu den restlichen Parametern – ebenfalls von 1–9.

Die Reihung der Apfelproben erfolgte über die erreichte Punktzahl.

4.3.10 Statistik

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe der Programme „STATGRAPHICS Centurion XV“ und „Microsoft Office EXCEL 2003“.

5 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

5.1 Herstellung der Lösungen zur Vorbehandlung der Apfelwürfel

5.1.1 Herstellung der Zitronensäurelösung

Die Zitronensäurelösung wurde in drei verschiedenen Konzentrationen hergestellt: 0,5 %, 1 % und 1,5 %. Um einen Liter 0,5%ige Lösung herzustellen, wurden 5 g Zitronensäure in 1000 mL Aqua dest. gelöst. Um eine 1%ige bzw. 1,5%ige Lösung zu erhalten, wurden 10 g bzw. 15 g Zitronensäure in einem Liter Aqua dest. gelöst.

5.1.2 Herstellung der Kaliumbisulfitlösung

Die Kaliumbisulfitlösung wurde nur in einer Konzentration verwendet. Um diese 0,2%ige Lösung zu erhalten, wurden 2 g Kaliumbisulfit in einem Liter Aqua dest. gelöst.

In Vorversuchen wurde auch eine höhere Konzentration an Kaliumbisulfit (1 %) gewählt. Es zeigte sich jedoch, dass sich diese Konzentration deutlich negativ auf den Geschmack der getrockneten Apfelwürfel auswirkt.

5.1.3 Herstellung der Saccharoselösung

Von der Saccharoselösung wurden wiederum drei verschiedene Konzentrationen hergestellt: 55 %, 60 % und 65 %. Für die 55%ige Saccharoselösung wurden 550 g Saccharose mit einem Liter Aqua dest. vermischt und so lange mit Hilfe eines Magnetrührers gerührt, bis die Saccharose vollständig gelöst war. Analog dazu wurden die beiden höheren Konzentrationen der Saccharoselösung hergestellt.

5.2 Durchführung der Konvektionstrocknung

5.2.1 Vorbehandlung mit Zitronensäurelösung

Die Äpfel der Sorte Granny Smith bzw. Gala wurden geschält und mit Hilfe eines Pommes frites-Schneiders in 1 x 1 cm große Würfel geschnitten.

Die geschnittenen Äpfel wurden in ein 3000 mL Becherglas eingewogen und mit der dreifachen Menge an Zitronensäurelösung aufgegossen. Um die Apfelwürfel vollständig in die Lösung zu tauchen, wurden sie mit einem etwas kleineren, mit Wasser gefüllten Becherglas beschwert (Abb. 5.1). Das wassergefüllte Becherglas wog 300 g und wurde auch bei der Vorbehandlung mit Kaliumbisulfit bzw. der späteren Vorbehandlung zur Gefriertrocknung verwendet.



Abb. 5.1: Becherglas mit beschwerten Apfelwürfeln und Tauchlösung

Es wurde ein 2^2 -Versuchsplan durchgeführt, wobei der Zentralpunkt dreimal wiederholt wurde.

Die Versuche wurden bei Raumtemperatur durchgeführt, das heißt, die Tauchlösung wies eine Temperatur von rund 21 °C auf.

Anschließend wurde das gefüllte Becherglas für 5, 10 bzw. 15 min in den Vakuumtrockenschrank bei 20 °C gestellt. Die Zeit wurde ab dem angelegten Vakuum (max. 100 mbar) gestoppt.

<i>Konzentration der Zitronensäurelösung</i>	<i>Dauer der Vakuuminfusion</i>	<i>Dauer der Trocknung im Konvektionstrockenschrank</i>	
0,5 %	5 min	5 h	
0,5 %	15 min	5 h	
1,0 %	10 min	5 h	*
1,5 %	5 min	5 h	
1,5 %	15 min	5 h	

Tab. 5.1: Übersicht über Konzentration der Zitronensäurelösung, Dauer der Vakuuminfusion und Dauer der Konvektionstrocknung

*) dreimal durchgeführt

Anschließend wurden die Apfelwürfel durch ein Sieb abgeseiht, leicht abgetupft und zweistufig im Konvektionstrockenschrank getrocknet: 1,5 h bei 80 °C und weitere 3,5 h bei 60 °C. Es wurde darauf geachtet, dass sich die einzelnen Würfel im Trockenschrank nicht berührten.

Nach dem Abkühlen der getrockneten Proben wurden sie im Exsikkator gelagert.

Die Trocknung der Zentralpunktproben (1 % Zitronensäure, 10 min Vakuuminfusion) wurde dreimal durchgeführt.

Um ein zu rasches Braunwerden der Würfel zu verhindern, wurde in mehreren Etappen gearbeitet, das heißt, es wurden max. 3 Äpfel auf einmal geschält und würfelig geschnitten, vorbehandelt durch Vakuuminfusion und anschließend im Konvektionstrockenschrank getrocknet.

5.2.2 Vorbehandlung mit Kaliumbisulfitlösung

Im Prinzip wurde hier gleich vorgegangen wie bei der Vorbehandlung mit Zitronensäurelösung. Die Apfelwürfel wurden wieder im Verhältnis 1 : 3 mit der Tauchlösung bedeckt, durch Vakuuminfusion vorbehandelt und anschließend im Konvektionstrockenschrank in zwei Stufen getrocknet.

Der Unterschied zur Vorbehandlung mit Zitronensäurelösung bestand darin, dass es nur eine Konzentration der Kaliumbisulfitlösung und nur eine Einwirkdauer der Vakuuminfusion gab. Dieser Versuch wurde dreimal durchgeführt.

<i>Konzentration der Kaliumbisulfitlösung</i>	<i>Dauer der Vakuuminfusion</i>	<i>Dauer der Trocknung im Konvektionstrockenschrank</i>	
0,2 %	10 min	5 h	*

Tab. 5.2: Übersicht über Konzentration der Kaliumbisulfitlösung, Dauer der Vakuuminfusion und Dauer der Konvektionstrocknung

*) dreimal durchgeführt

5.3 Durchführung der osmotischen Vortrocknung mit anschließender Konvektionstrocknung

Es wurde wiederum ein 2²-Versuchsplan erstellt, wobei der Zentralpunkt dreimal wiederholt wurde.

Auch hier sind die ersten Verfahrensschritte mit der Vorbehandlung mit Zitronensäure ident.

Die geschnittenen Äpfel wurden im Verhältnis 1 : 3 mit der Saccharoselösung in einem Behälter gemischt. Um die Würfel vollständig in die Lösung zu tauchen, wurden sie mit Hilfe eines passenden Gitters in der Zuckerlösung gehalten. Dann wurde der Behälter für 30, 60 bzw. 90 min in ein Schüttelbad gestellt. Die Äpfel wurden abgeseiht, abgetupft und konvektionsgetrocknet.

<i>Konzentration der Saccharoselösung</i>	<i>Dauer der osmot. Vortrocknung im Schüttelbad</i>	<i>Dauer der Trocknung im Konvektionstrockenschrank</i>	
55 %	30 min	5 h	
55 %	90 min	5 h	
60 %	60 min	5 h	*
65 %	30 min	5 h	
65 %	90 min	5 h	

Tab. 5.3: Übersicht über Konzentration der Saccharoselösung, Dauer der osmotischen Vorbehandlung und Dauer der Konvektionstrocknung

*) dreimal durchgeführt

Vorversuche zeigten, dass schon durch eine Einwirkzeit von 30 min in 60%iger Saccharoselösung der Trockensubstanzgehalt der Apfelwürfel um mehr als 10 % angehoben wird. Bei einer Einwirkdauer von 120 min konnte der Wassergehalt um weitere 5 % vermindert werden. Daraus folgt, dass die osmotische Trocknung in den ersten 30 min am schnellsten ablief.

5.4 Durchführung der Gefriertrocknung

5.4.1 Vorbehandlung mit Zitronensäurelösung

Die ersten Schritte wurden analog zur Vorbehandlung mit Zitronensäurelösung und darauf folgender Konvektionstrocknung durchgeführt.

Nach dem Trockentupfen der Apfelwürfel wurden sie jedoch in einen 1000 mL Rundkolben mit Schliff gegeben und dieser mit Parafilm verschlossen. Es wurde darauf geachtet, dass die Apfelwürfel möglichst nebeneinander und nicht übereinander im Kolben lagen, da das die Gefriertrocknungszeit verkürzt.

Die Gefriertrocknungsanlage fasste maximal vier Rundkolben à 1000 mL.

Die befüllten Kolben wurden bei rund -80 °C für ca. 30 min schockgefrostet und anschließend – nach Entfernung des Parafilms – vorschriftsmäßig an der Gefriertrocknungsanlage befestigt. Nach 24 h waren die Würfel trocken und wurden aus dem Rundkolben entnommen.

Die gefriergetrockneten Apfelwürfel wurden unter Schutzgas (N_2) verpackt und bei 4 °C kühl gelagert.

<i>Konzentration der Zitronensäurelösung</i>	<i>Dauer der Vakuuminfusion</i>	<i>Dauer der Gefriertrocknung</i>
1 %	10 min	24 h

Tab. 5.4: Übersicht über Konzentration der Zitronensäurelösung, Dauer der Vakuuminfusion und Dauer der Gefriertrocknung

Im Gegensatz zur Konvektionstrocknung erfolgte hier sowohl bei der Vorbehandlung mit Zitronensäurelösung und Kaliumbisulfitlösung, als auch bei der osmotischen Vortrocknung ein einfacher Versuchsdurchlauf.

5.4.2 Vorbehandlung mit Kaliumbisulfitlösung

Die Vorbehandlung war identisch mit der Vorbehandlung mit Zitronensäurelösung. Die beiden Versuche unterschieden sich lediglich in Art und Konzentration der Lösung.

<i>Konzentration der Kaliumbisulfitlösung</i>	<i>Dauer der Vakuuminfusion</i>	<i>Dauer der Gefriertrocknung</i>
0,2 %	10 min	24 h

Tab. 5.5: Übersicht über Konzentration der Kaliumbisulfitlösung, Dauer der Vakuuminfusion und Dauer der Gefriertrocknung

5.5 Durchführung der osmotischen Vortrocknung mit anschließender Gefriertrocknung

Im Gegensatz zur osmotischen Vortrocknung mit anschließender Konvektionstrocknung wurde hier nur eine Konzentration an Saccharoselösung und eine Einwirkdauer im Schüttelbad gewählt.

<i>Konzentration der Saccharoselösung</i>	<i>Dauer der osmot. Vortrocknung im Schüttelbad</i>	<i>Dauer der Gefriertrocknung</i>
60 %	60 min	24 h

Tab. 5.6: Übersicht über Konzentration der Saccharoselösung, Dauer der osmotischen Vorbehandlung und Dauer der Gefriertrocknung

Leider war es nicht möglich, die osmotisch vorgetrockneten Äpfel als vollständige Würfel aus dem Rundkolben zu entnehmen. Durch den hohen Zuckergehalt klebten die getrockneten Apfelwürfel am Rundkolben fest und konnten nur mit Hilfe einer Gabel teilweise und zerstört entnommen werden. Hier wären noch weitere Versuche notwendig bzw. Methoden zu finden, die das Entfernen der osmotisch vorgetrockneten Früchte aus dem Kolben ermöglichen.

6 VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION

6.1 Versuchsergebnisse und Diskussion der Analyse der Rohware

Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurde auch der frische Rohstoff in regelmäßigen Abständen analysiert. Dabei wurden – analog zum verarbeiteten Rohstoff – der a_w -Wert, Trockensubstanzgehalt, Vitamin C-Gehalt, Glucose-, Saccharose- und Fructosegehalt sowie die Farbe und Textur bestimmt. Zusätzlich wurde der Reifeindex nach Streif ermittelt.

Da der Rohstoff nur begrenzt haltbar war, wurden zwei kleinere Chargen zu unterschiedlichen Zeitpunkten angeschafft, das heißt, nach etwa zwei Monaten wurden neue Äpfel gekauft.

In den folgenden Abbildungen werden diese mit Charge I bzw. II bezeichnet.

6.1.1 Ergebnisse und Diskussion zum Trockensubstanzgehalt der Rohware

Der Trockensubstanzgehalt veränderte sich im Laufe der Zeit bei beiden Apfelsorten nur geringfügig, dennoch bestehen signifikante Unterschiede (Tab. 6.1 und Abb. 6.1). Die Werte reichen von 11,63–13,22 % bei Granny Smith-Äpfeln und von 11,86–13,51 % bei den Gala-Äpfeln. Die Schwankungen sind auf natürliche Unterschiede im Rohstoff zurückzuführen.

In der Literatur findet man Werte zwischen 13–15 % Trockensubstanz, das heißt die in dieser Arbeit ermittelten Werte lagen im Normalbereich [KAVAK AKPINAR et al., 2003; TAIWO et al., 2001; LEWICKI et al., 2004; FALADE et al., 2004].

	Count	Mean	Homogeneous Groups
GS Charge I 8_Wo	3	11,6293	X
Gala Charge I 5_Wo	3	11,8604	X
GS Charge II 1_Wo	3	11,9833	X
Gala Charge I 1_Wo	3	12,6416	X
Gala Charge I 8_Wo	3	12,6846	X
GS Charge I 5_Wo	3	12,7664	XX
GS Charge II 5_Wo	3	12,8721	X
GS Charge I 1_Wo	3	13,2232	X
Gala Charge II 1_Wo	3	13,4459	X
Gala Charge II 5_Wo	3	13,5119	X

Tab. 6.1: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Trockensubstanzgehalte der Rohware

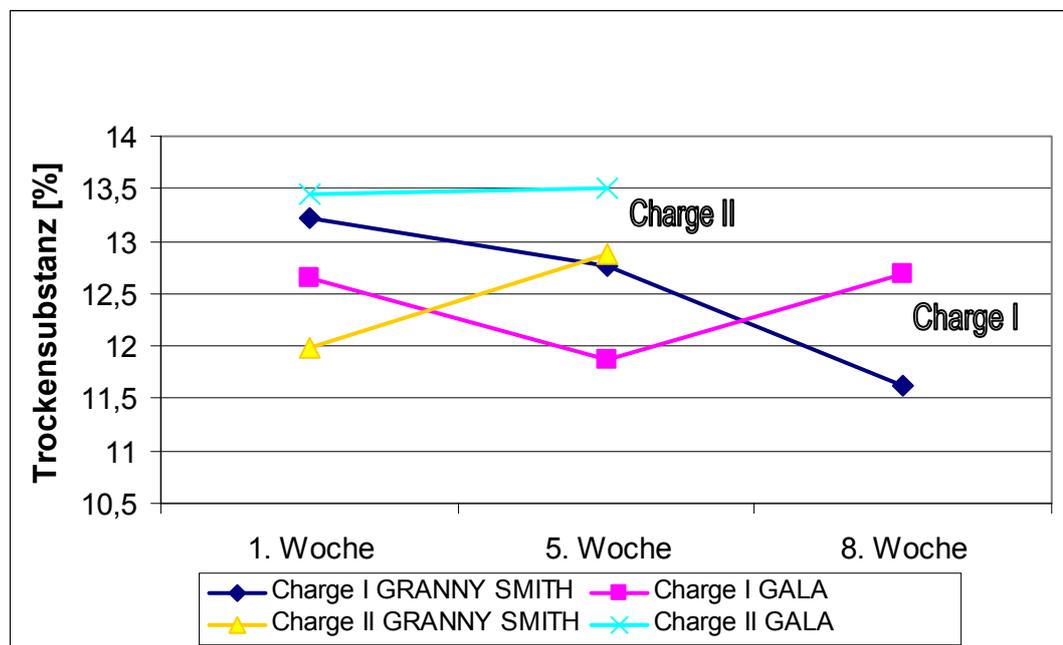


Abb. 6.1: Trockensubstanzgehalte [%] der Rohware (Mittelwerte)

6.1.2 Ergebnisse und Diskussion zum Vitamin C-Gehalt der Rohware

Wie in der Abb. 6.2 ersichtlich, konnte ab der 5. Woche eine deutliche Abnahme des Vitamin C-Gehalts bei beiden Sorten der Charge I beobachtet werden. Bei der zweiten Charge der Sorte Gala bestand jedoch kein signifikanter Unterschied (Tab. 6.2).

Im Allgemeinen weist die Sorte Granny Smith jedoch einen höheren Vitamin C-Gehalt auf. Die Werte liegen hier zwischen 121–318 mg/100 g Trockensubstanz. Bei der Sorte Gala schwankt der Vitamin C-Gehalt zwischen

54 und 263 mg/100 g TS. In mg/100 g Frischware ausgedrückt ergeben sich für die Sorte Granny Smith Werte von rund 15–40 mg, für die Sorte Gala Werte von 7–31 mg. In den Ausführungen von TRIERWEILER et al. (2004) findet man für unterschiedliche Apfelsorten Vitamin C-Gehalte von 8–19 mg/100 g Frischware. LADURNER (2003) erwähnt in ihrer Arbeit Ascorbinsäuregehalte zwischen 111 und 198 mg/L, also um ein Vielfaches höher, als jene Werte, die in dieser Arbeit ermittelt wurden.

Wenn man aber mit einbezieht, dass die Äpfel bereits rund vier bis fünf Monate vor Beginn der Versuche geerntet wurden und die Lagerdauer von bis zu acht Wochen berücksichtigt wird, liegen die ermittelten Werte für Ascorbinsäure durchaus im Mittelfeld.

Hinzu kommt noch, dass der Vitamin C-Gehalt auch innerhalb eines Apfels sehr unterschiedlich sein kann. Dies ist unter anderem abhängig von der Sonneneinstrahlung bzw. können an der äußeren Stielpartie höhere Werte festgestellt werden, als an der inneren Kelchpartie [CHENNAN et al., 2002].

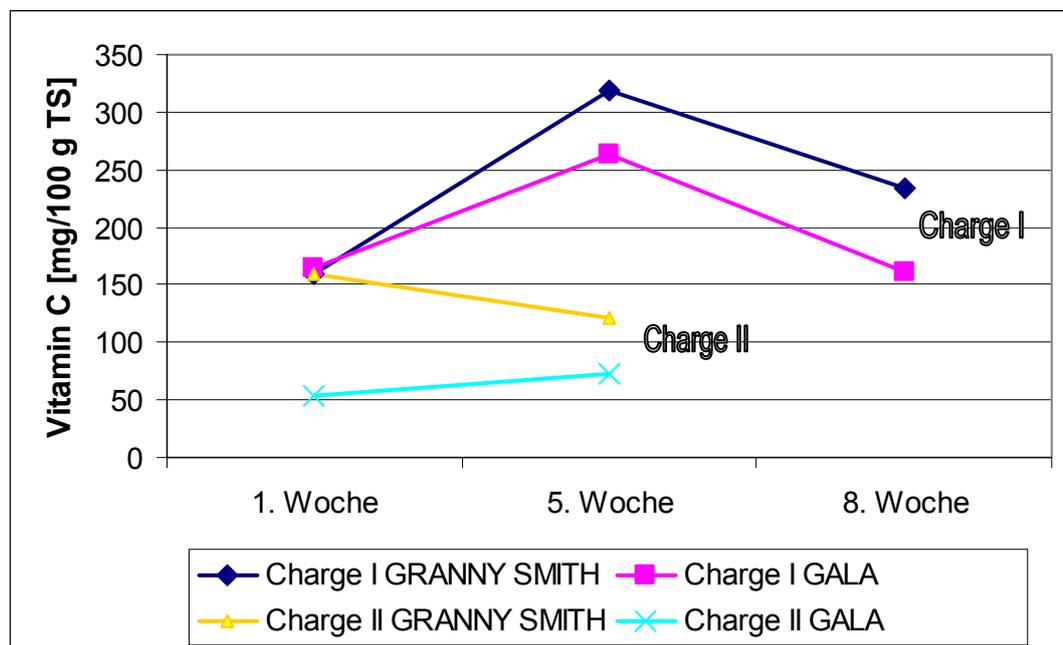


Abb. 6.2: Vitamin C-Gehalte [mg/100 g Trockensubstanz] der Rohware (Mittelwerte)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
Gala Charge II 1_Wo	3	54,25	X
Gala Charge II 5_Wo	3	71,9793	X
GS Charge II 5_Wo	3	121,4	X
GS Charge II 1_Wo	3	159,864	X
GS Charge I 1_Wo	3	160,425	X
Gala Charge I 8_Wo	3	161,382	X
Gala Charge I 1_Wo	3	165,343	X
GS Charge I 8_Wo	3	234,109	X
Gala Charge I 5_Wo	3	263,114	X
GS Charge I 5_Wo	3	318,308	X

Tab. 6.2: *Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Vitamin C-Gehalte der Rohware*

6.1.3 Ergebnisse und Diskussion zum a_w -Wert der Rohware

Der a_w -Wert blieb im Laufe der Lagerung erwartungsgemäß sowohl bei der Sorte Granny Smith als auch bei der Sorte Gala konstant bei rund 0,99 (Tab. 6.3 und Abb. 6.3).

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
GS Charge I 5_Wo	2	0,9857	X
GS Charge I 1_Wo	4	0,9862	X
Gala Charge II 1_Wo	2	0,9879	XX
Gala Charge I 5_Wo	2	0,98795	XX
Gala Charge II 5_Wo	2	0,98805	XX
GS Charge I 8_Wo	2	0,9885	XX
Gala Charge I 8_Wo	2	0,9885	XX
Gala Charge I 1_Wo	4	0,9901	X
GS Charge II 1_Wo	2	0,99145	X
GS Charge II 5_Wo	2	0,9916	X

Tab. 6.3: *Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): a_w -Werte der Rohware*

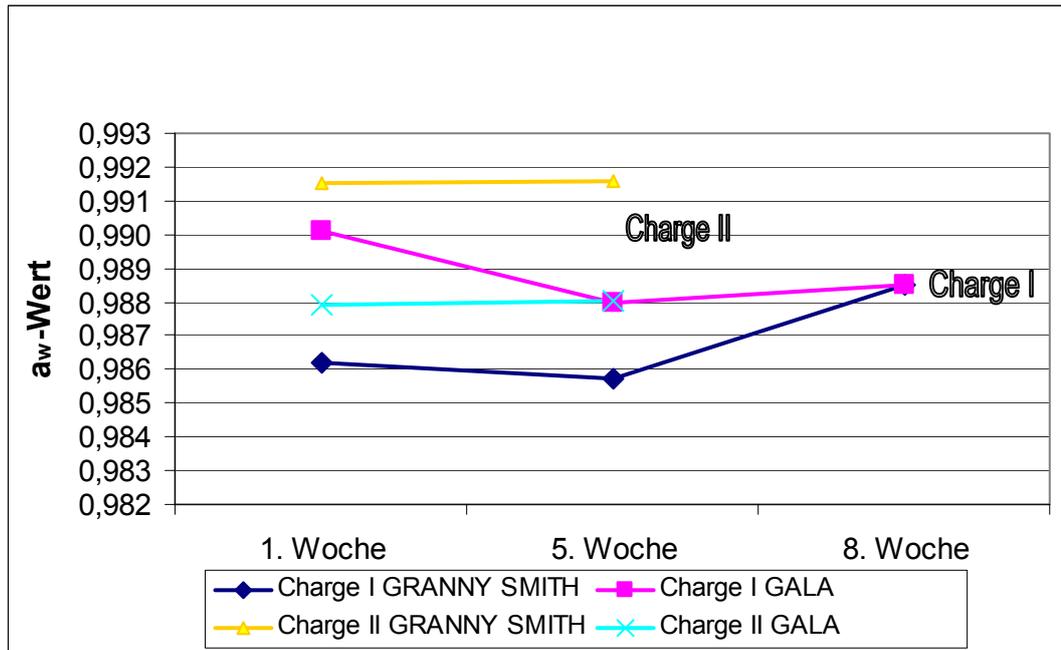


Abb. 6.3: a_w -Werte der Rohware (Mittelwerte)

6.1.4 Ergebnisse und Diskussion zur Textur der Rohware

Während bei den Äpfeln der einzelnen Chargen nur rohstoffbedingte Unterschiede festzustellen sind, unterscheiden sich die beiden Chargen deutlich voneinander (Abb. 6.4). Die zweite Charge weist bei beiden Sorten keine signifikanten Abweichungen auf (Tab. 6.4). Die Werte für F_{\max} dieser Charge sind jedoch um 48–62 % höher, als die der ersten Charge.

Um eine lange Haltbarkeit der Äpfel zu gewährleisten, ist anzunehmen, dass die Äpfel unter modifizierter Atmosphäre (MA) gelagert wurden. Da die zweite Charge erst später zugekauft wurde und diese Äpfel daher länger im MA-Lager waren, ist dies unter Umständen ein Grund für die festere Textur.

Eine andere Möglichkeit wäre, dass die Äpfel zwar aus dem gleichen Ort, nicht aber vom selben Baum bzw. Händler stammten.

Zwischen den beiden Apfelsorten konnten keine wesentlichen Unterschiede für F_{\max} beobachtet werden.

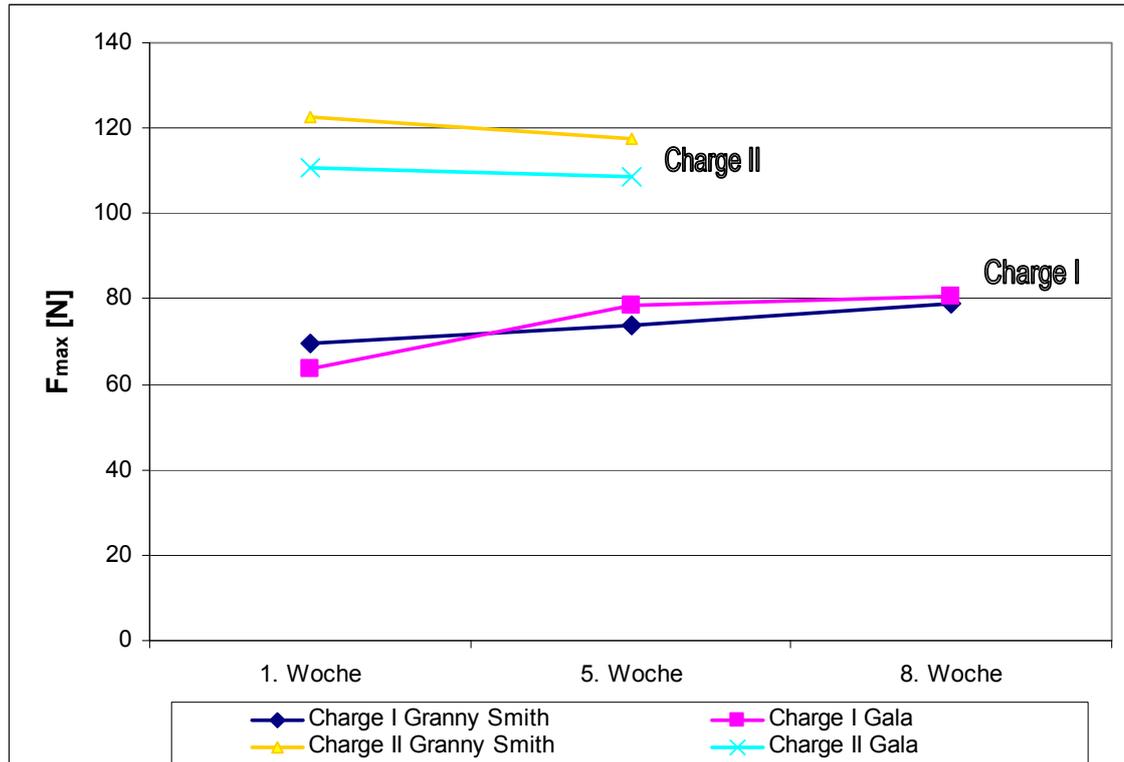


Abb. 6.4: F_{max} -Werte der Rohware (Mittelwerte)

	Count	Mean	Homogeneous Groups
Gala Charge I 1_Wo	10	63,4325	X
GS Charge I 1_Wo	9	69,5892	XX
GS Charge I 5_Wo	10	73,6109	XX
Gala Charge I 5_Wo	9	78,4053	X
GS Charge I 8_Wo	10	78,7838	X
Gala Charge I 8_Wo	10	80,5536	X
Gala Charge II 5_Wo	10	108,456	X
Gala Charge II 1_Wo	10	110,763	XX
GS Charge II 5_Wo	10	117,356	XX
GS Charge II 1_Wo	10	122,754	X

Tab. 6.4: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): F_{max} -Werte der Rohware

6.1.5 Ergebnisse und Diskussion zur Farbe der Rohware

Rein äußerlich, bezogen auf die Farbe der Schale, können die beiden Sorten Granny Smith und Gala unterschiedlicher nicht sein. Für die Bestimmung der Farbe wurde jedoch der geschälte Apfel, das heißt, nur das frisch angeschnittene Fruchtfleisch herangezogen.

Dabei wurden überraschenderweise für die Sorte Gala um rund 2–6 % höhere L^* -Werte (Helligkeit) ermittelt, als für die Sorte Granny Smith (70,52–72,89).

Mit freiem Auge ließe sich nämlich vermuten, dass das grünlich-weiße Fruchtfleisch des Granny Smith heller ist, als das gelbliche Fruchtfleisch des Gala-Apfels. Die einzelnen Sorten wiesen keine signifikanten Unterschiede in der Helligkeit im Laufe der Lagerung auf (Tab. 6.5).

Die a^* -Werte (grün – rot) waren bei den Granny Smith-Äpfeln durchwegs im negativen Bereich, das heißt, das Fruchtfleisch weist einen grünlichen Farbstich auf.

Bei den Gala-Äpfeln hingegen waren die Werte für a^* bis auf eine Ausnahme im schwach positiven Bereich (0,14–0,74), siehe Tab. 6.6.

Auch die b^* -Werte waren bei der Sorte Gala etwas höher (21,37–26,70), als bei der Sorte Granny Smith (13,84–17,55), was auf ein deutlich gelblicheres Fruchtfleisch schließen lässt (Tab. 6.7, Abb. 6.5 und 6.6).

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
GS Charge I 1_Wo	10	70,515	X
GS Charge II 5_Wo	10	71,878	XX
GS Charge I 5_Wo	10	72,038	XX
GS Charge II 1_Wo	10	72,087	XX
GS Charge I 8_Wo	10	72,894	XX
Gala Charge II 5_Wo	10	73,395	XXX
Gala Charge I 5_Wo	10	74,159	XX
Gala Charge I 1_Wo	10	74,648	XX
Gala Charge I 8_Wo	10	74,712	XX
Gala Charge II 1_Wo	10	74,843	X

Tab. 6.5: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): L-Werte der Rohware*

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
GS Charge II 1_Wo	10	-3,085	X
GS Charge I 1_Wo	10	-3,057	X
GS Charge II 5_Wo	10	-2,652	X
GS Charge I 5_Wo	10	-2,534	X
GS Charge I 8_Wo	10	-1,435	X
Gala Charge II 1_Wo	10	-0,308	X
Gala Charge I 1_Wo	10	0,533	X
Gala Charge II 5_Wo	10	0,643	X
Gala Charge I 8_Wo	10	0,742	X
Gala Charge I 5_Wo	10	1,39	X

Tab. 6.6: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): a-Werte der Rohware*

	Count	Mean	Homogeneous Groups
GS Charge I 8_Wo	10	13,84	X
GS Charge II 1_Wo	10	15,539	XX
GS Charge II 5_Wo	10	15,917	XX
GS Charge I 1_Wo	10	16,123	XX
GS Charge I 5_Wo	10	17,552	X
Gala Charge II 1_Wo	10	21,365	X
Gala Charge I 1_Wo	10	24,406	X
Gala Charge I 5_Wo	10	25,447	XX
Gala Charge II 5_Wo	10	25,8	XX
Gala Charge I 8_Wo	10	26,699	X

Tab. 6.7: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): b^* -Werte der Rohware

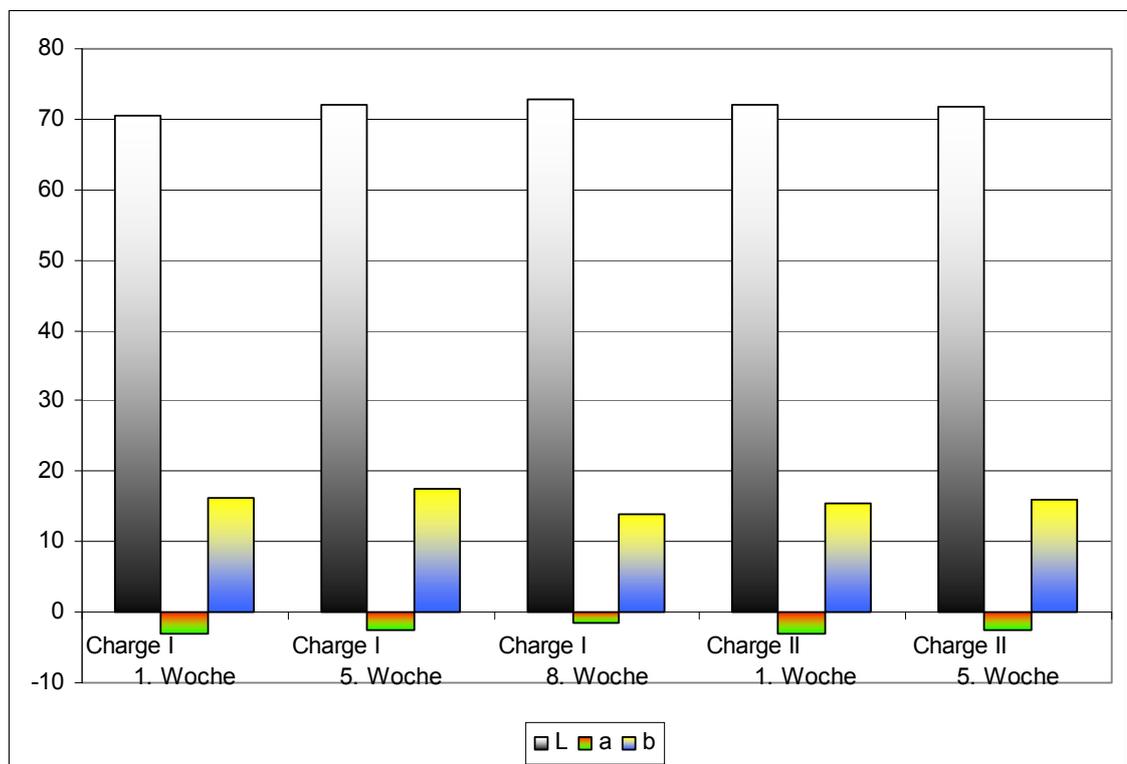


Abb. 6.5: L^* , a^* - und b^* -Werte der Rohware (Granny Smith)

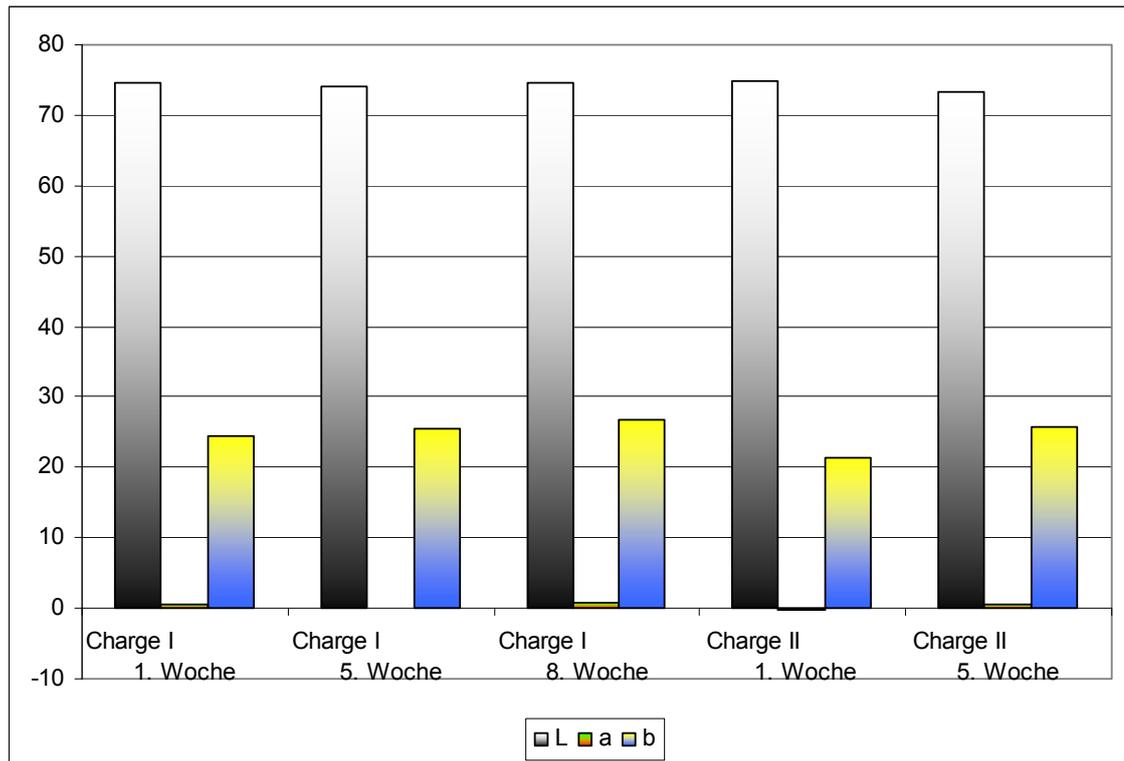


Abb. 6.6: L^* , a^* - und b^* -Werte der Rohware (Gala)

6.1.6 Ergebnisse und Diskussion zum Glucose-, Saccharose- und Fructosegehalt der Rohware

Der Fructosegehalt war bei beiden Sorten – mit signifikanten Abweichungen – eindeutig am höchsten (Tab. 6.10). Bei der Sorte Granny Smith reichten die Werte von 26,98–45,38 g/100 g Trockensubstanz, bei der Sorte Gala von 38,77–61,82. Auch in den Abb. 6.7 und 6.8 lässt sich erkennen, dass die Sorte Gala etwas höhere Fructosegehalte aufwies.

Die Werte für Glucose und Saccharose schwankten (Tab. 6.8 und 6.9). Auch innerhalb einer Sorte war manchmal der Gehalt an Glucose, ein anderes Mal der Gehalt an Saccharose höher. Generell wies die Sorte Granny Smith jedoch etwas höhere Werte für Glucose und Saccharose auf, als die Sorte Gala.

Auch in der Literatur werden die hohen Werte für Fructose bestätigt (rund 50 – 57 %). Wu et al. (2007) erhielten an zweiter Stelle Glucose (rund 32 %), gefolgt von Saccharose mit rund 24 %. SUNI et al. (2000) ermittelten jedoch für Saccharose höhere Werte (rund 28 %) als für Glucose (11 %).

Der in dieser Arbeit ermittelte Gesamtzuckergehalt lag bei der Sorte Granny Smith zwischen 47,61–79,36 g/100 g Trockensubstanz. Bei der Sorte Gala reichte der Gesamtzuckergehalt von 56,21–85,72 g/100 g Trockensubstanz.

Die Werte dieser Analyse stimmten mit den Werten von SUNI et al. (2000) (61,5–71,6 g/100 g Trockensubstanz) überein.

Bei der Sorte Gala konnte im Laufe der Lagerzeit eine Erhöhung des Glucosegehalts beobachtet werden, wobei der Gehalt an Saccharose leicht rückläufig war. Da dies bei der Sorte Granny Smith nicht beobachtbar war, wäre es auch möglich, dass diese Schwankungen auf natürliche Unterschiede im Rohstoff zurück zu führen sind. Andererseits bestätigten auch SUNI et al. (2000) in ihren Ausführungen einen Rückgang des Saccharosegehalts im Laufe der Lagerung, der jedoch mit einer Erhöhung des Fructosegehalts einherging, wobei der Glucosegehalt konstant blieb.

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
Gala Charge I 1_ Wo	3	6,7436	X
Gala Charge I 5_ Wo	3	7,6057	X
Gala Charge I 8_ Wo	3	10,0106	X
GS Charge I 5_ Wo	3	10,6736	XX
Gala Charge II 1_ Wo	3	11,9583	XX
GS Charge I 8_ Wo	3	12,7812	XX
GS Charge II 5_ Wo	3	14,2601	XX
GS Charge II 1_ Wo	3	14,3455	X
GS Charge I 1_ Wo	3	14,4317	X
Gala Charge II 5_ Wo	3	16,9313	X

Tab. 6.8: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Glucose-Gehalte der Rohware

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
Gala Charge II 5_ Wo	3	6,96767	X
Gala Charge II 1_ Wo	3	7,84477	X
Gala Charge I 5_ Wo	3	9,8294	XX
GS Charge I 5_ Wo	3	9,9532	XX
Gala Charge I 8_ Wo	3	10,9382	XX
GS Charge I 1_ Wo	3	13,3231	XX
GS Charge I 8_ Wo	3	14,7318	XX
Gala Charge I 1_ Wo	3	17,4757	XX
GS Charge II 5_ Wo	3	19,7116	X
GS Charge II 1_ Wo	3	20,1366	X

Tab. 6.9: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Saccharose-Gehalte der Rohware

	Count	Mean	Homogeneous Groups
GS Charge I 5_ Wo	3	26,9828	X
GS Charge I 1_ Wo	3	36,0876	X
Gala Charge I 5_ Wo	3	38,7744	XX
Gala Charge I 1_ Wo	3	39,6764	X
Gala Charge II 1_ Wo	3	41,8006	XX
GS Charge I 8_ Wo	3	43,3807	XX
GS Charge II 1_ Wo	3	43,7445	XX
GS Charge II 5_ Wo	3	45,3842	X
Gala Charge I 8_ Wo	3	49,085	X
Gala Charge II 5_ Wo	3	61,8169	X

Tab. 6.10: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Fructose-Gehalte der Rohware

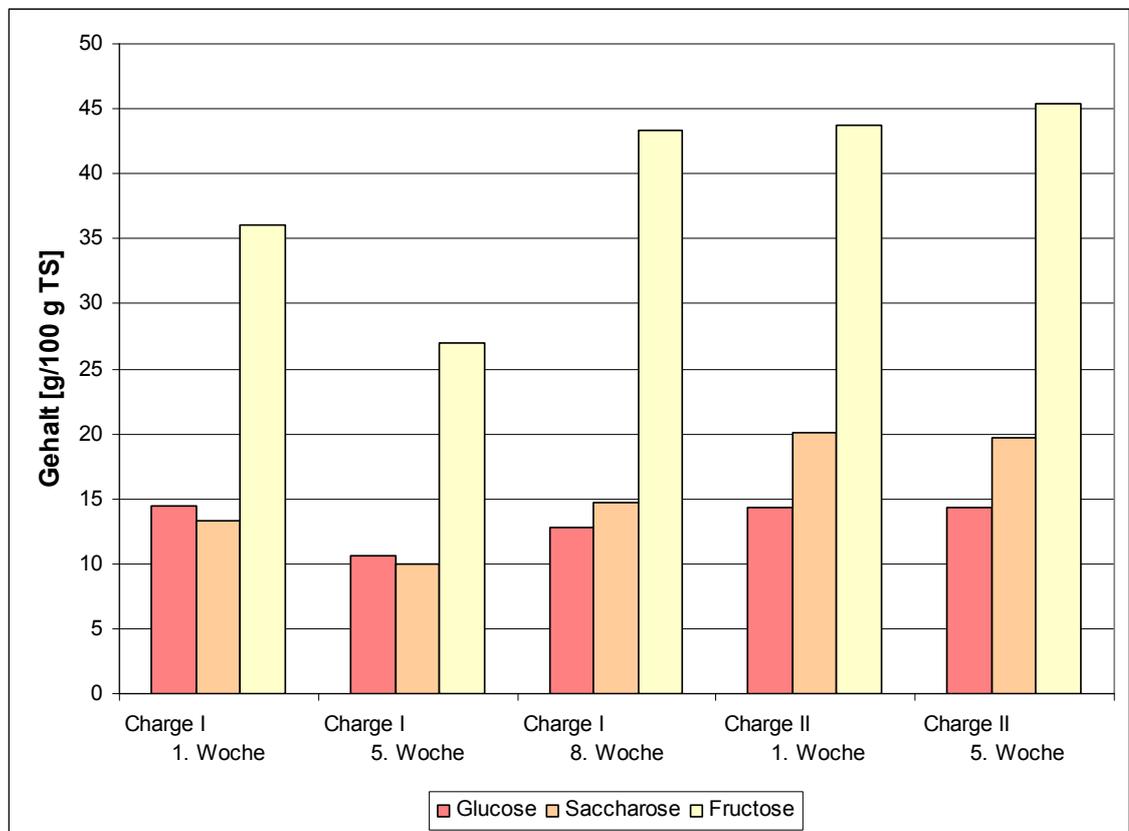


Abb. 6.7: Glucose-, Saccharose- und Fructosegehalt [g/100 g Trockensubstanz] der Rohware (Granny Smith)

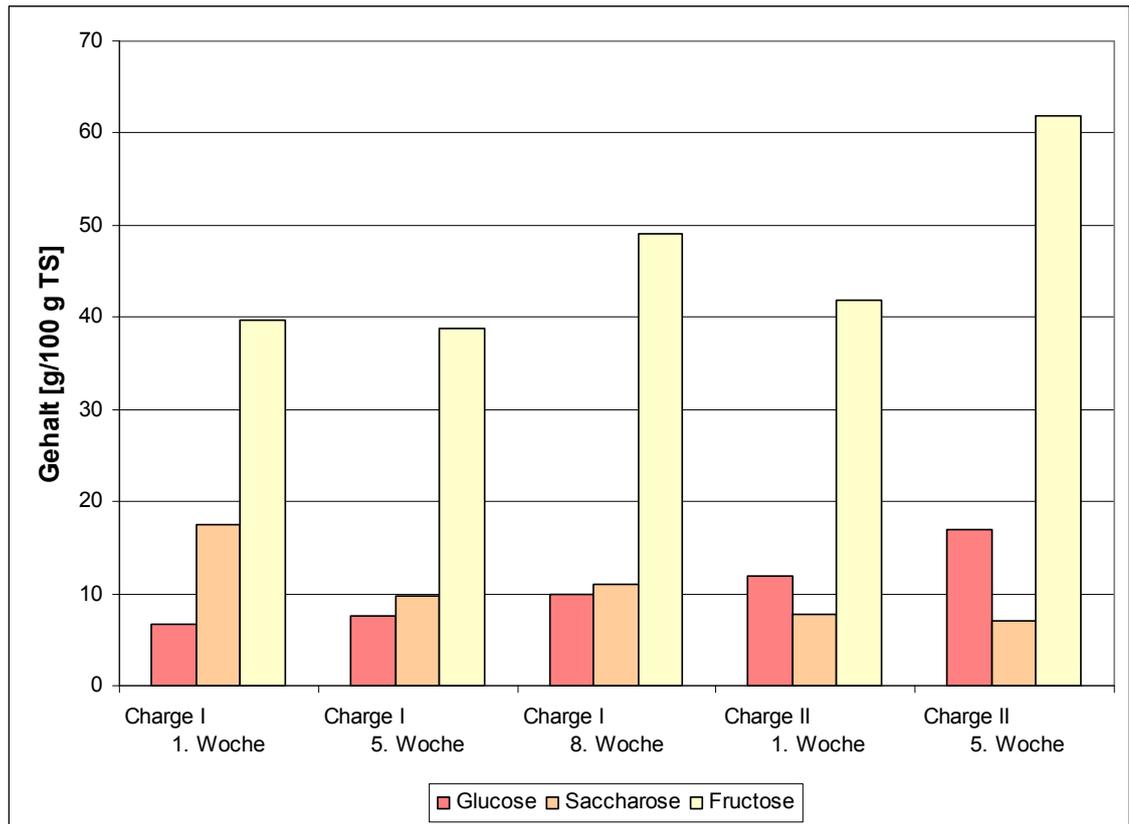


Abb. 6.8: Glucose-, Saccharose- und Fructosegehalt [g/100 g Trockensubstanz] der Rohware (Gala)

6.1.7 Ergebnisse und Diskussion zum Reifeindex nach Streif

Der Reifeindex nach Streif wurde im Abstand von 14 Tagen ermittelt.

Der Penetrometerwert (Fruchtfleischfestigkeit) war bei der ersten Charge geringer, als bei der zweiten (siehe auch 6.1.4). Im Laufe der Lagerzeit nahm auch der Penetrometerwert innerhalb einer Charge ab. Auch Unterschiede zwischen den Sorten betreffend die Fruchtfleischfestigkeit konnten festgestellt werden. Die Werte für die Fruchtfleischfestigkeit bei der Sorte Gala waren etwas geringer (3,50–6,32 kg/cm²).

Der Stärkeabbau wurde bei beiden Sorten ausnahmslos mit dem Wert zehn an Hand einer Farbschablone beurteilt, wodurch auf einen vollständigen Stärkeabbau geschlossen werden konnte (siehe auch Kapitel 4.3.7, Abb. 4.4). Der vollständige Stärkeabbau war darauf zurück zu führen, dass die Äpfel bereits voll ausgereift waren und mehrere Monate gelagert wurden.

Der Zuckergehalt schwankte bei den Granny Smith-Äpfeln zwischen 10,7–12,7 °Brix. Die Werte der Sorte Gala reichten von 11,2–12,5 °Brix, wobei wie bei Untersuchungen von HÖHN et al. (2002) zu Beginn der Lagerzeit eine leichte Steigerung des Zuckergehalts verzeichnet wurde (11,2 → 12,5 °Brix), der bei weiterer Lagerung wieder geringfügig vermindert wurde (12,5 → 12,3 °Brix).

Der aus Penetrometerwert, Stärkeabbau und Zuckergehalt errechnete Reifeindex sank innerhalb beider Chargen im Zuge der Lagerung bei der Sorte Gala. Dies konnte ebenso für Granny Smith-Äpfel, jedoch nur für jene der zweiten Charge, beobachtet werden. Auch HÖHN et al. (2002) beobachteten während der Lagerung von Äpfeln einen Abbau der Fruchtfleischfestigkeit.

Laut Literatur beträgt der optimale Reifeindex nach Streif bei der Ernte von Gala-Äpfeln 0,14–0,20 (Penetrometerwert [kg/cm²]: 8,5–10,0; Stärkeabbau: 5–6; Zuckergehalt [°Brix]: 10,0–12,0). [HÖHN et al., 2005].

Die in dieser Arbeit ermittelten Reifeindex-Werte lagen deutlich unter 0,14–0,20. Der Grund dafür war, dass es sich bei den Untersuchungen um Lagerware handelte und nicht um frisch geerntete Äpfel. Der optimale Reifeindex dient jedoch der Bestimmung des Erntezeitpunkts von Kernobst und kann daher nur bedingt als Richtwert für diese Analysen herangezogen werden. In der Abb. 6.9 ist ersichtlich, dass der Reifeindex nach Streif für die Sorte Granny Smith im Allgemeinen etwas höher lag.

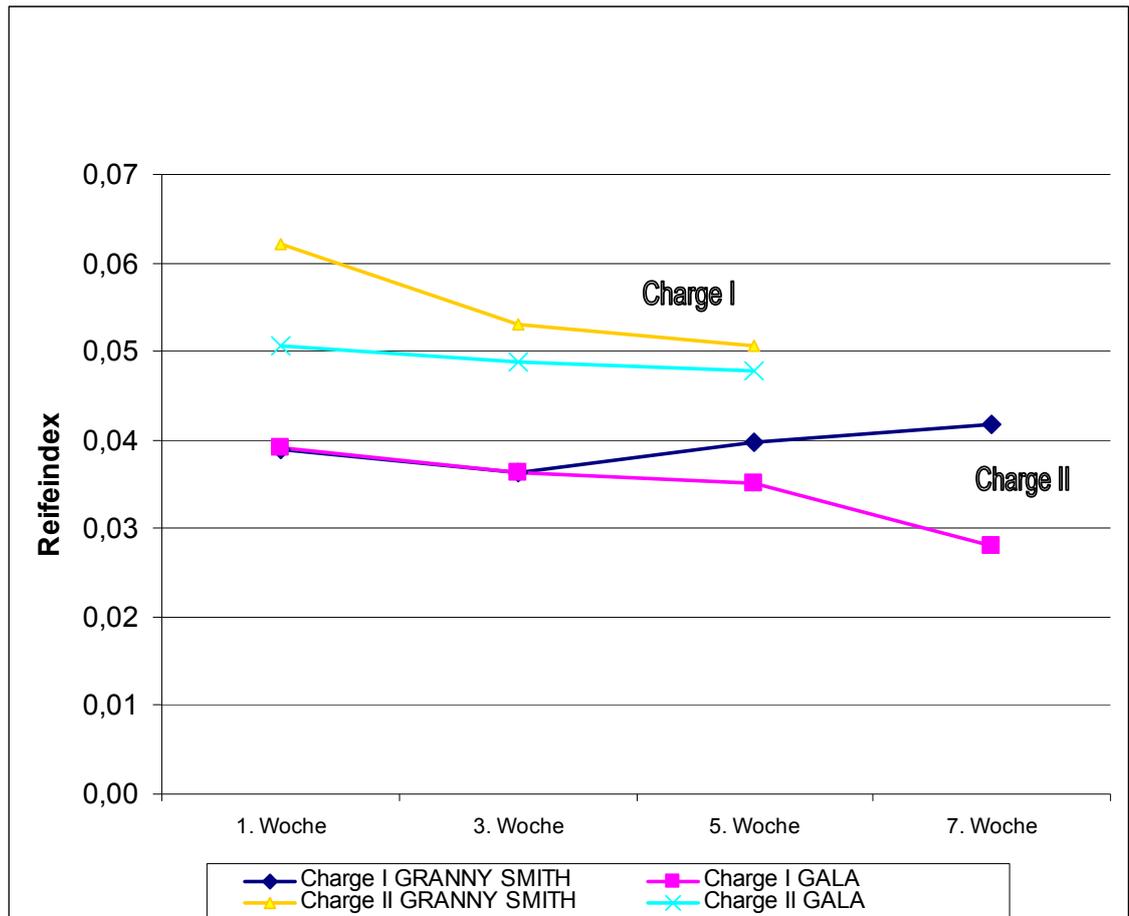


Abb. 6.9: Reifeindex-Werte der Rohware

6.2 Versuchsergebnisse der Analyse der verarbeiteten Äpfel

In der folgenden Tabelle sind die Abkürzungen der unterschiedlichen Behandlungen und deren Bedeutung ersichtlich:

<i>Abkürzung</i>	
5´_1,5%CS_KT	Vorbehandlung 5 min Vakuuminfusion mit 1,5%iger Zitronensäure und anschließender Konvektionstrocknung
15´_1,5%CS_KT	Vorbehandlung 15 min Vakuuminfusion mit 1,5%iger Zitronensäure und anschließender Konvektionstrocknung
10´_1,0%CS_KT	Vorbehandlung 10 min Vakuuminfusion mit 1,0%iger Zitronensäure und anschließender Konvektionstrocknung
5´_0,5%CS_KT	Vorbehandlung 5 min Vakuuminfusion mit 0,5%iger Zitronensäure und anschließender Konvektionstrocknung
15´_0,5%CS_KT	Vorbehandlung 15 min Vakuuminfusion mit 0,5%iger Zitronensäure und anschließender Konvektionstrocknung
10´_0,2%KBS_KT	Vorbehandlung 10 min Vakuuminfusion mit 0,2%iger Kaliumbisulfitlösung und anschließender Konvektionstrocknung
30´_55%SL_KT	Vorbehandlung 30 min im Schüttelbad mit 55%iger Saccharoselösung und anschließender Konvektionstrocknung
90´_55%SL_KT	Vorbehandlung 90 min im Schüttelbad mit 55%iger Saccharoselösung und anschließender Konvektionstrocknung
60´_60%SL_KT	Vorbehandlung 60 min im Schüttelbad mit 60%iger Saccharoselösung und anschließender Konvektionstrocknung
30´_65%SL_KT	Vorbehandlung 30 min im Schüttelbad mit 65%iger Saccharoselösung und anschließender Konvektionstrocknung
90´_65%SL_KT	Vorbehandlung 90 min im Schüttelbad mit 65%iger Saccharoselösung und anschließender Konvektionstrocknung
10´_1,0%CS_GT	Vorbehandlung 10 min Vakuuminfusion mit 1,0%iger Zitronensäure und anschließender Gefriertrocknung
10´_0,2%KBS_GT	Vorbehandlung 10 min Vakuuminfusion mit 0,2%iger Kaliumbisulfitlösung und anschließender Gefriertrocknung
60´_60%SL_GT	Vorbehandlung 60 min im Schüttelbad mit 60%iger Saccharoselösung und anschließender Gefriertrocknung

Tab. 6.11: Abkürzungsverzeichnis der unterschiedlichen Vorbehandlungen

6.2.1 Ergebnisse und Diskussion zum Trockensubstanzgehalt der verarbeiteten Äpfel

Der Trockensubstanzgehalt der getrockneten Äpfel reichte bei der Sorte Granny Smith von 76,77–89,11 %, bei der Sorte Gala von 79,18–92,30 %.

In der Literatur werden Werte von 6,3–25 % Restwassergehalt genannt. Die in dieser Arbeit ermittelten Werte lagen in diesem Bereich (Tab. 6.12) [KAVAK EKPINAR et al., 2003; LEWICKI et al., 2004].

<i>Trockensubstanz in %</i>	<i>Granny Smith</i>	<i>Gala</i>
5´_1,5%CS_KT	80,12	81,07
15´_1,5%CS_KT	76,77	83,21
10´_1,0%CS_KT	81,50	85,23
5´_0,5%CS_KT	83,61	83,85
15´_0,5%CS_KT	82,03	84,48
10´_0,2%KBS_KT	83,52	87,34
30´_55%SL_KT	88,48	87,83
90´_55%SL_KT	88,25	89,66
60´_60%SL_KT	89,11	89,42
30´_65%SL_KT	86,70	87,16
90´_65%SL_KT	87,20	87,80
10´_1,0%CS_GT	83,09	79,18
10´_0,2%KBS_GT	81,25	84,60
60´_60%SL_GT	88,67	92,30

Tab. 6.12: Trockensubstanzgehalte [%] der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)

Besonders hervorzuheben sind die hohen Trockensubstanzgehalte der osmotisch-konvektions- bzw. osmotisch-gefriergetrockneten Apfelwürfel (87,2–92,3 %). Schon in Vorversuchen konnte festgestellt werden, dass das Einlegen von frischen Apfelwürfeln für 30 min in eine 60%ige Saccharoselösung eine Erhöhung der Trockensubstanz von bis zu 11 % bewirkte. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch TORTOE et al. (2007).

Bei einer Einwirkdauer der Saccharoselösung von 120 min konnte eine Verringerung des Wassergehalts um rund 16 % beobachtet werden.

Daraus wurde ersichtlich, dass eine kürzere Einwirkdauer effektiver ist und daher wurden für die osmotische Vorbehandlung 30, 60 und 90 min gewählt. Anschließend wurde konvektionsgetrocknet. Durch die osmotische Vortrocknung und die darauf folgende Konvektionstrocknung sind die hohen Trockensubstanzgehalte zu erklären.

Bei genauerer Betrachtung lässt sich feststellen, dass auch innerhalb der osmotisch vorgetrockneten Äpfel signifikante Unterschiede im Trockensubstanzgehalt bestehen, wobei die höchste Saccharosekonzentration (65 %) und die längste Einwirkdauer (90 min) nicht auf den höchsten Trockensubstanzgehalt schließen lassen (Tab. 6.13 und 6.14).

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
GS_15_15%CS_KT	3	76,7695	X
GS_5_15%CS_KT	3	80,1238	X
GS_10_02%KBS_GT	3	81,2471	XX
GS_10_1%CS_KT	9	81,4999	X
GS_15_05%CS_KT	3	82,0298	XX
GS_10_1%CS_GT	3	83,0943	XX
GS_10_02%KBS_KT	9	83,52	X
GS_5_05%CS_KT	3	83,6076	X
GS_30_65%SL_KT	3	86,6955	X
GS_90_65%SL_KT	3	87,1961	XX
GS_90_55%SL_KT	3	88,2515	XX
GS_30_55%SL_KT	3	88,4837	XX
GS_60_60%SL_GT	3	88,673	X
GS_60_60%SL_KT	9	89,1056	X

Tab. 6.13: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Trockensubstanzgehalte (Granny Smith)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
Gala_10_1%CS_GT	3	79,1849	X
Gala_5_15%CS_KT	3	81,0656	X
Gala_15_15%CS_KT	3	83,2107	X
Gala_5_05%CS_KT	3	83,8484	XX
Gala_15_05%CS_KT	3	84,4813	XX
Gala_10_02%KBS_GT	3	84,6032	XX
Gala_10_1%CS_KT	9	85,2283	X
Gala_30_65%SL_KT	3	87,1605	X
Gala_10_02%KBS_KT	9	87,3371	X
Gala_90_65%SL_KT	3	87,8007	X
Gala_30_55%SL_KT	3	87,8306	X
Gala_60_60%SL_KT	9	89,4216	X
Gala_90_55%SL_KT	3	89,6602	X
Gala_60_60%SL_GT	3	92,2961	X

Tab. 6.14: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Trockensubstanzgehalte (Gala)

6.2.2 Ergebnisse und Diskussion zum Vitamin C-Gehalt der verarbeiteten Äpfel

Bei beiden Apfelsorten wurde der höchste Vitamin C-Gehalt bei der Vorbehandlung mit Kaliumbisulfitlösung und anschließender Gefriertrocknung erzielt (324,13–334,94 mg/100 g Trockensubstanz). Die niedrigsten Werte wurden hingegen bei der osmotischen Vorbehandlung gemessen (59,60–130,07 mg/100 g Trockensubstanz) (Tab. 6.15–6.17).

Es ist anzunehmen, dass durch das längere Einlegen in Saccharoselösung das wasserlösliche Vitamin C ausgelaugt wurde und in die Lösung überging.

Die Würfel waren jedoch nur 10 min unter Vakuum in der Kaliumbisulfitlösung, wodurch die Auslaageverluste wesentlich geringer ausfielen.

Auch wenn man die Vorbehandlung mit 1,5%iger Zitronensäurelösung genauer betrachtet, konnten bei beiden Sorten bei der längsten Vakuuminfusion (15 min) die niedrigsten Vitamin C-Gehalte festgestellt werden. Andererseits wies die kürzeste Vakuuminfusion (5 min) nicht die höchsten Ascorbinsäuregehalte auf. Sowohl bei der Sorte Granny Smith, als auch bei der Sorte Gala war der Gehalt an Vitamin C bei 10-minütiger Vakuuminfusion und 1%iger Zitronensäurelösung und anschließender Konvektionstrocknung am höchsten.

<i>Vitamin C in mg/100 g TS</i>	<i>Granny Smith</i>	<i>Gala</i>
5' _1,5%CS_KT	177,25	211,71
15' _1,5%CS_KT	156,06	123,29
10' _1,0%CS_KT	275,71	214,41
5' _0,5%CS_KT	243,75	91,04
15' _0,5%CS_KT	93,06	191,71
10' _0,2%KBS_KT	260,70	329,45
30' _55%SL_KT	110,13	59,60
90' _55%SL_KT	84,86	88,48
60' _60%SL_KT	87,65	66,96
30' _65%SL_KT	83,36	77,92
90' _65%SL_KT	75,33	85,37
10' _1,0%CS_GT	267,78	198,87
10' _0,2%KBS_GT	324,13	334,94
60' _60%SL_GT	130,07	93,71

Tab. 6.15: Vitamin C-Gehalte [mg/100 g Trockensubstanz] der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
GS_90_65%SL_KT	3	75,3299	X
GS_30_65%SL_KT	3	83,3641	X
GS_90_55%SL_KT	3	84,8551	X
GS_60_60%SL_KT	9	87,6515	X
GS_15_05%CS_KT	3	93,0578	XX
GS_30_55%SL_KT	3	110,125	XX
GS_60_60%SL_GT	3	130,073	X
GS_15_15%CS_KT	3	156,057	X
GS_5_15%CS_KT	3	177,252	X
GS_5_05%CS_KT	3	243,745	X
GS_10_02%KBS_KT	9	260,699	X
GS_10_1%CS_GT	3	267,778	XX
GS_10_1%CS_KT	9	275,707	X
GS_10_02%KBS_GT	3	324,127	X

Tab. 6.16: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Vitamin C-Gehalte (Granny Smith)

	Count	Mean	Homogeneous Groups
Gala_30_55%SL_KT	3	59,6007	X
Gala_60_60%SL_KT	9	66,9631	X
Gala_30_65%SL_KT	3	77,9242	XX
Gala_90_65%SL_KT	3	85,3706	X
Gala_90_55%SL_KT	3	88,4805	X
Gala_5_05%CS_KT	3	91,0394	X
Gala_60_60%SL_GT	3	93,7077	X
Gala_15_15%CS_KT	3	123,288	X
Gala_15_05%CS_KT	3	191,706	X
Gala_10_1%CS_GT	3	198,867	XX
Gala_5_15%CS_KT	3	211,707	XX
Gala_10_1%CS_KT	9	214,408	X
Gala_10_02%KBS_KT	9	329,45	X
Gala_10_02%KBS_GT	3	334,94	X

Tab. 6.17: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Vitamin C-Gehalte (Gala)

Es musste jedoch festgestellt werden, dass der Reflektometer nicht zur Bestimmung des Vitamin C-Gehalts von Proben, die mit Zitronensäure- bzw. Kaliumbisulfidlösung geeignet ist. Durch hohe Konzentrationen von Fremdstoffen, wie zum Beispiel Citrat ($> 1000 \text{ mg/L}$) bzw. SO_3^{2-} ($> 100 \text{ mg/L}$), kommt es zu negativen Auswirkungen auf die Messung des Ascorbinsäuregehalts. Folglich spiegeln die oben genannten Werte mit hoher Sicherheit nicht die tatsächlichen Werte für Vitamin C wieder.

Vergleicht man die beiden Apfelsorten hinsichtlich ihres Vitamin C-Gehalts, so wurde für die verarbeiteten Äpfel der Sorte Gala – wie auch bei der frischen Rohware – ein tendenziell geringerer Ascorbinsäuregehalt ermittelt (Abb. 6.10).

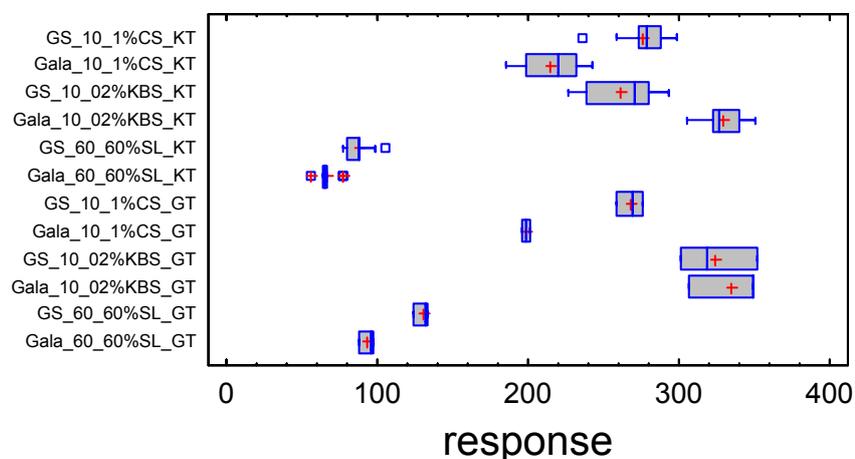


Abb. 6.10: Box-and-Whisker Plot: Vitamin C-Gehalt beider Apfelsorten (Zentralpunkte)

6.2.3 Ergebnisse und Diskussion zum a_w -Wert der verarbeiteten Äpfel

Zu Beginn kann festgehalten werden, dass der a_w -Wert bei allen Proben unter 0,6 lag (Tab. 6.18) und somit ein Schimmelwachstum erfolgreich unterbunden wurde [BERGHOFER, 2008].

Besonders niedrige Werte wurden bei beiden Apfelsorten bei den gefriergetrockneten Proben ermittelt (0,228–0,294) (Tab. 6.19 und 6.20). Bei den osmotisch-konvektionsgetrockneten Apfelwürfel wurden hingegen die höchsten a_w -Werte ermittelt (0,396–0,494). Bei der Sorte Gala konnten weder innerhalb der gefriergetrockneten, noch innerhalb der Gruppe der osmotisch-konvektionsgetrockneten Äpfel signifikante Unterschiede festgestellt werden (Tab. 6.20).

Die teilweise signifikanten Unterschiede der mit Zitronensäurelösung vorbehandelten Apfelwürfel lassen auf Rohstoffunterschiede schließen, da kein einheitliches Muster erkennbar ist. Das heißt, man kann beispielsweise bei unterschiedlichen Zitronensäurekonzentrationen weder Rückschlüsse auf einen hohen, noch auf einen niedrigen a_w -Wert ziehen.

a_w -Wert	Granny Smith	Gala
5' _1,5%CS_KT	0,369	0,372
15' _1,5%CS_KT	0,279	0,279
10' _1,0%CS_KT	0,383	0,330
5' _0,5%CS_KT	0,324	0,305
15' _0,5%CS_KT	0,329	0,362
10' _0,2%KBS_KT	0,539	0,341
30' _55%SL_KT	0,396	0,456
90' _55%SL_KT	0,431	0,481
60' _60%SL_KT	0,432	0,483
30' _65%SL_KT	0,429	0,473
90' _65%SL_KT	0,474	0,494
10' _1,0%CS_GT	0,233	0,228
10' _0,2%KBS_GT	0,292	0,294
60' _60%SL_GT	0,262	0,256

Tab. 6.18: a_w -Werte der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
GS_10_1%CS_GT	2	0,2333	x
GS_60_60%SL_GT	2	0,26225	xx
GS_15_15%CS_KT	2	0,2789	xx
GS_10_02%KBS_GT	2	0,29225	xxx
GS_5_05%CS_KT	2	0,32355	xxx
GS_15_05%CS_KT	2	0,32885	xxx
GS_5_15%CS_KT	2	0,36925	xxx
GS_10_1%CS_KT	6	0,383383	xx
GS_30_55%SL_KT	2	0,3957	xxx
GS_30_65%SL_KT	2	0,42905	xx
GS_90_55%SL_KT	2	0,4314	xx
GS_60_60%SL_KT	6	0,431767	xx
GS_90_65%SL_KT	2	0,47385	xx
GS_10_02%KBS_KT	6	0,538983	x

Tab. 6.19: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): a_w -Werte (Granny Smith)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
Gala_10_1%CS_GT	2	0,22795	x
Gala_60_60%SL_GT	2	0,25575	xx
Gala_15_15%CS_KT	2	0,27925	xxx
Gala_10_02%KBS_GT	2	0,2937	xxxx
Gala_5_05%CS_KT	2	0,30475	xxxx
Gala_10_1%CS_KT	6	0,329783	xxxx
Gala_10_02%KBS_KT	6	0,340517	xxx
Gala_15_05%CS_KT	2	0,3616	xx
Gala_5_15%CS_KT	2	0,3715	x
Gala_30_55%SL_KT	2	0,4564	x
Gala_30_65%SL_KT	2	0,4731	x
Gala_90_55%SL_KT	2	0,4806	x
Gala_60_60%SL_KT	6	0,4828	x
Gala_90_65%SL_KT	2	0,49395	x

Tab. 6.20: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): a_w -Werte (Gala)

6.2.4 Ergebnisse und Diskussion zur Textur der verarbeiteten Äpfel

Leider war der Variationskoeffizient der Messwerte der einzelnen Proben sehr hoch, was auf Rohstoffunterschiede und auf die teilweise sehr ungleiche Form der getrockneten Proben zurückzuführen war. Vor allem die mit Zitronensäure und Kaliumbisulfit vorbehandelten, konvektionsgetrockneten Proben schrumpften während der Trocknung enorm und waren kaum mehr als Würfel erkennbar. Sie zählten somit zu jenen Proben mit der härtesten Textur (F_{\max} : 58,11–155,81 N) (Tab. 6.21). Auch LEWICKI et al. (2004) beschrieben in ihren Untersuchungen eine Schrumpfung von Apfelscheiben während der Konvektionstrocknung von 14–20 %.

Da durch das Anlegen von Vakuum die Tauchlösung vollständig in die Apfelwürfel eindringen konnte, ist anzunehmen, dass dadurch und in Folge der Trocknung die Struktur der Würfel vollständig zerstört wurde und deshalb die ungleichmäßige, flache Form entstand.

Im Gegensatz dazu schrumpften die osmotisch-konvektionsgetrockneten Würfel zwar, die Würfelform blieb jedoch einwandfrei erhalten.

Unter den osmotisch vorbehandelten, konvektionsgetrockneten Granny Smith- und Gala-Würfeln gab es keine signifikanten Unterschiede, sie lagen im Mittelfeld bei rund 31,84–45,49 N bzw. 28,46–36,20 N (Tab. 6.22 und 6.23).

Weiters gab es auch bei den unter Vakuum vorbehandelten, gefriergetrockneten Apfelwürfeln der Sorte Gala keine signifikanten Unterschiede. Sie wiesen mit nur rund 7,26–11,45 N die minimalste F_{max} auf und zählten somit zu den weichsten Proben. Hier waren die Ergebnisse der Kraftmessung auch wesentlich einheitlicher, da die Proben ihre gleichmäßige Würfelform behielten und nicht bzw. kaum merkbar schrumpften. Dieselben Beobachtungen konnten für die Sorte Granny Smith gemacht werden.

Die minimale Schrumpfung gefriergetrockneter Produkte ist ein besonderes Qualitätsmerkmal der Gefrier Trocknung [CLAUSSEN et al., 2007].

F_{max} in N	Granny Smith	Gala
5´_1,5%CS_KT	96,63	61,88
15´_1,5%CS_KT	64,99	72,48
10´_1,0%CS_KT	58,11	64,05
5´_0,5%CS_KT	107,60	80,27
15´_0,5%CS_KT	155,81	94,76
10´_0,2%KBS_KT	69,32	41,75
30´_55%SL_KT	45,49	33,47
90´_55%SL_KT	39,52	35,18
60´_60%SL_KT	35,20	36,20
30´_65%SL_KT	31,84	28,46
90´_65%SL_KT	36,76	35,56
10´_1,0%CS_GT	6,85	7,26
10´_0,2%KBS_GT	7,49	11,45
60´_60%SL_GT	144,34	71,34

Tab. 6.21: F_{max} [N] der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
GS_10_1%CS_GT	10	6,8506	X
GS_10_02%KBS_GT	10	7,4898	X
GS_30_65%SL_KT	10	31,8379	X
GS_60_60%SL_KT	30	35,2039	X
GS_90_65%SL_KT	10	36,7606	X
GS_90_55%SL_KT	10	39,5192	XX
GS_30_55%SL_KT	10	45,4906	XXX
GS_10_1%CS_KT	30	58,1084	XXX
GS_15_15%CS_KT	10	64,9867	XX
GS_10_02%KBS_KT	30	69,3177	X
GS_5_15%CS_KT	10	96,6264	X
GS_5_05%CS_KT	10	107,603	X
GS_60_60%SL_GT	10	144,344	X
GS_15_05%CS_KT	10	155,813	X

Tab. 6.22: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): F_{max} (Granny Smith)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
Gala_10_1%CS_GT	10	7,2648	X
Gala_10_02%KBS_GT	10	11,4494	X
Gala_30_65%SL_KT	10	28,4572	X
Gala_30_55%SL_KT	10	33,4698	XX
Gala_90_55%SL_KT	10	35,1764	XX
Gala_90_65%SL_KT	10	35,5608	XX
Gala_60_60%SL_KT	30	36,1954	XX
Gala_10_02%KBS_KT	30	41,7475	X
Gala_5_15%CS_KT	10	61,8838	X
Gala_10_1%CS_KT	30	64,0538	X
Gala_60_60%SL_GT	10	71,3367	XX
Gala_15_15%CS_KT	10	72,4783	XX
Gala_5_05%CS_KT	10	80,265	XX
Gala_15_05%CS_KT	10	94,7647	X

Tab. 6.23: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): F_{max} (Gala)

Besonders deutlich wird der Unterschied der Konvektions- und Gefriertrocknung bei einem Vergleich der osmotisch-konvektions- und osmotisch-gefriergetrockneten Proben, siehe Abb. 6.11 und 6.12.

Box-and-Whisker Plot

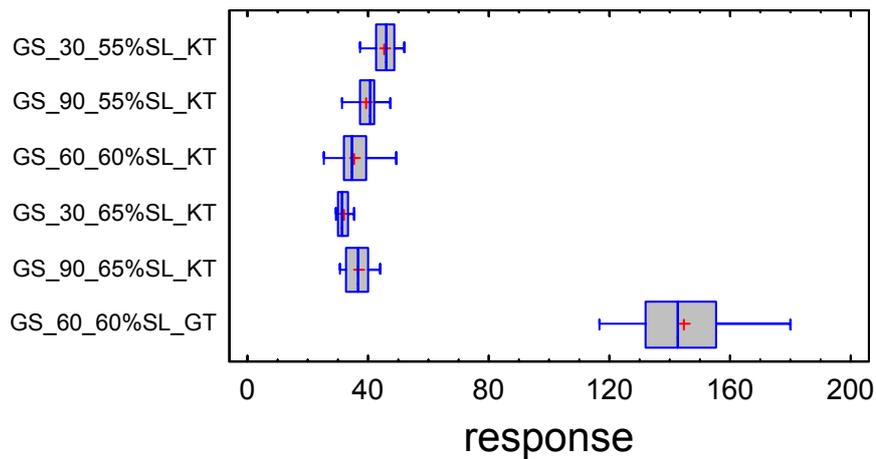


Abb. 6.11: Box-and-Whisker Plot: F_{max} -Werte osmotisch vorbehandelter Proben (Granny Smith)

Box-and-Whisker Plot

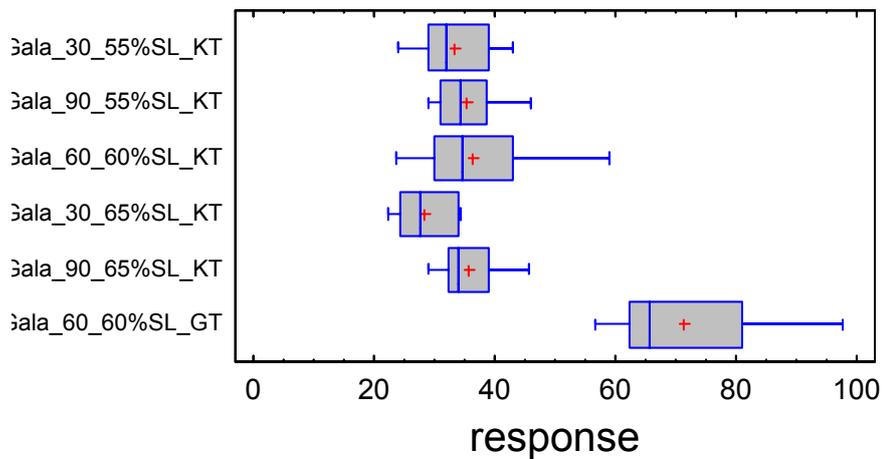


Abb. 6.12: Box-and-Whisker Plot: F_{max} -Werte osmotisch vorbehandelter Proben (Gala)

Die Abb. 6.13 bis 6.16 zeigen vier Beispiele der grafischen Darstellung der Texturmessung des Texture Analysers. Auf der y-Achse ist die maximale Kraft [N] ersichtlich. Die x-Achse zeigt ab dem Peakmaximum (maximale Kraft) die Haltezeit in s.

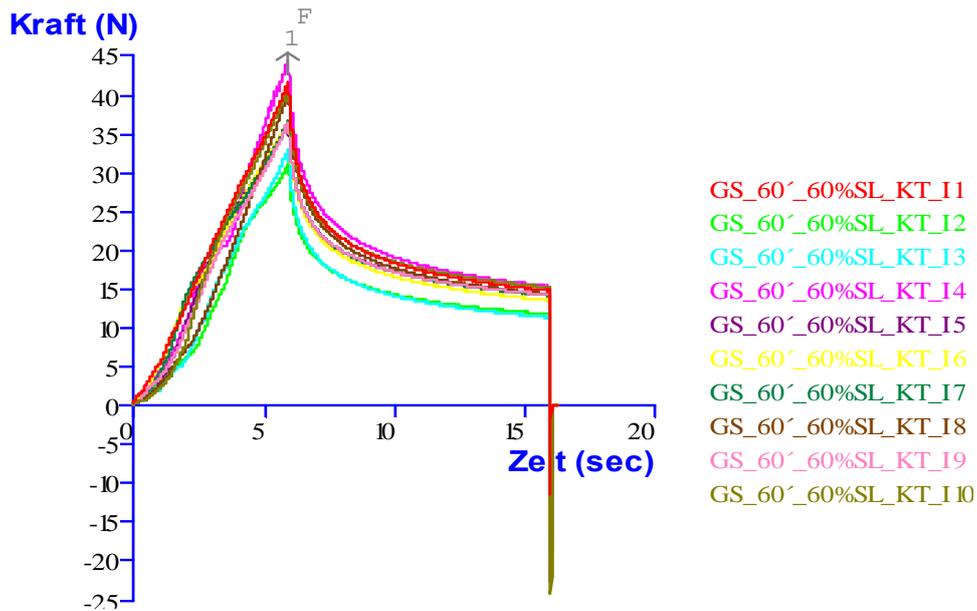


Abb. 6.13: Grafische Darstellung der F_{max} -Werte des Texture Analysers (konvektionsgetrocknete, mit Saccharoselösung vorbehandelte Granny Smith-Äpfel)

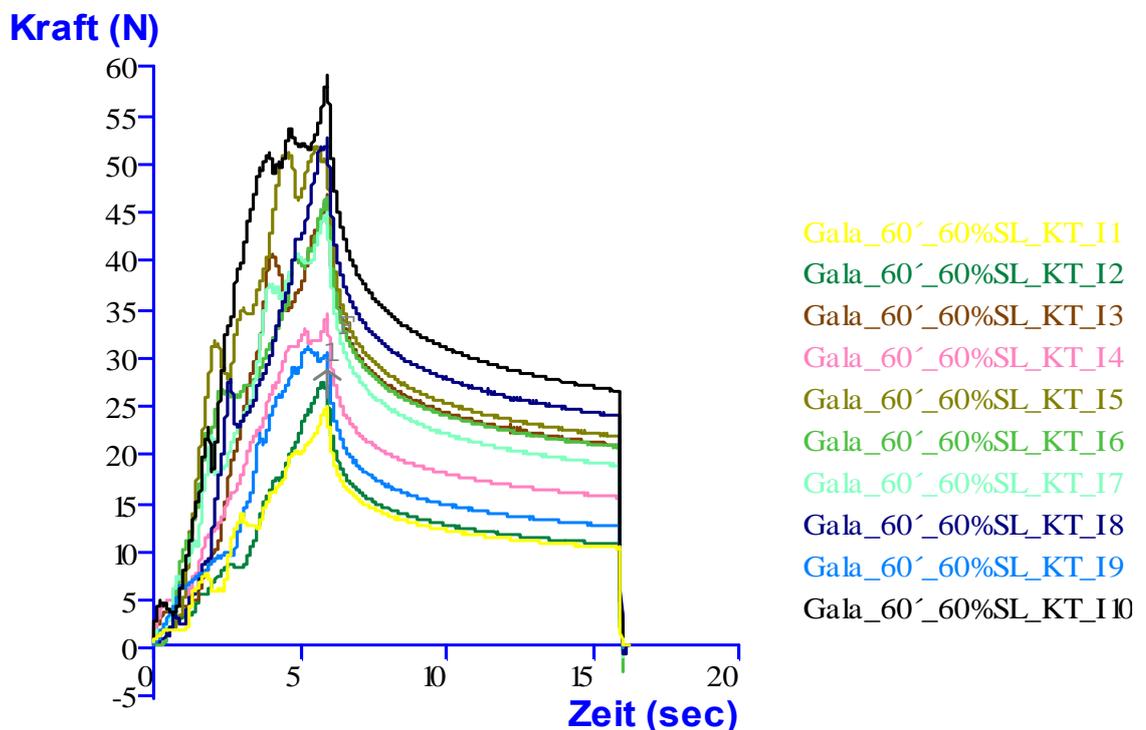


Abb. 6.14: Grafische Darstellung der F_{max} -Werte des Texture Analysers (konvektionsgetrocknete, mit Saccharoselösung vorbehandelte Gala-Äpfel)

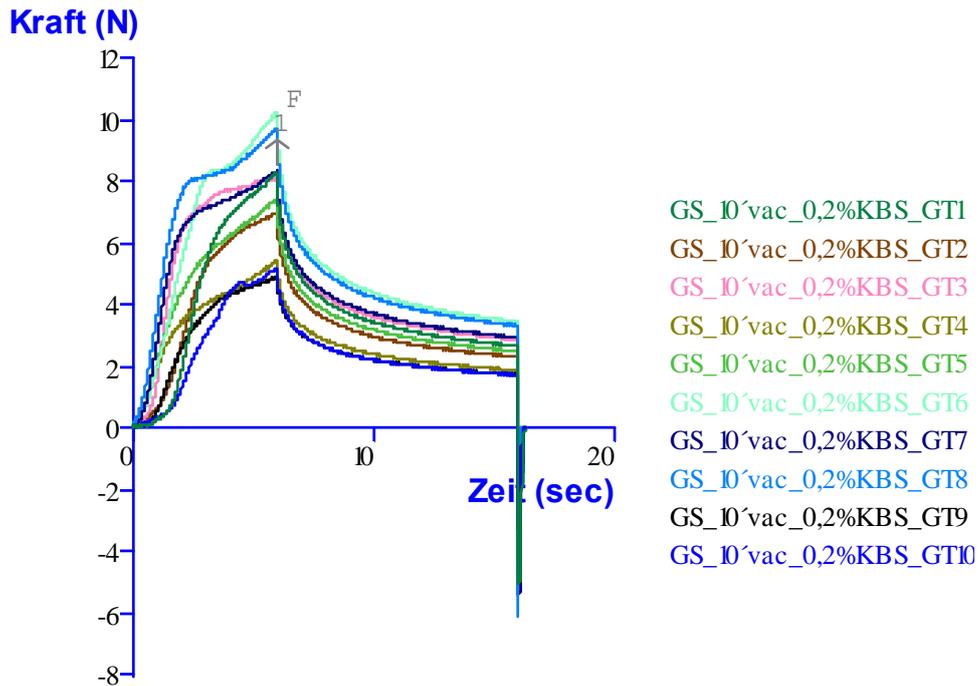


Abb. 6.15: Grafische Darstellung der F_{max} -Werte des Texture Analysers (gefriergetrocknete, mit Kaliumbisulfatlösung vorbehandelte Granny Smith-Äpfel)

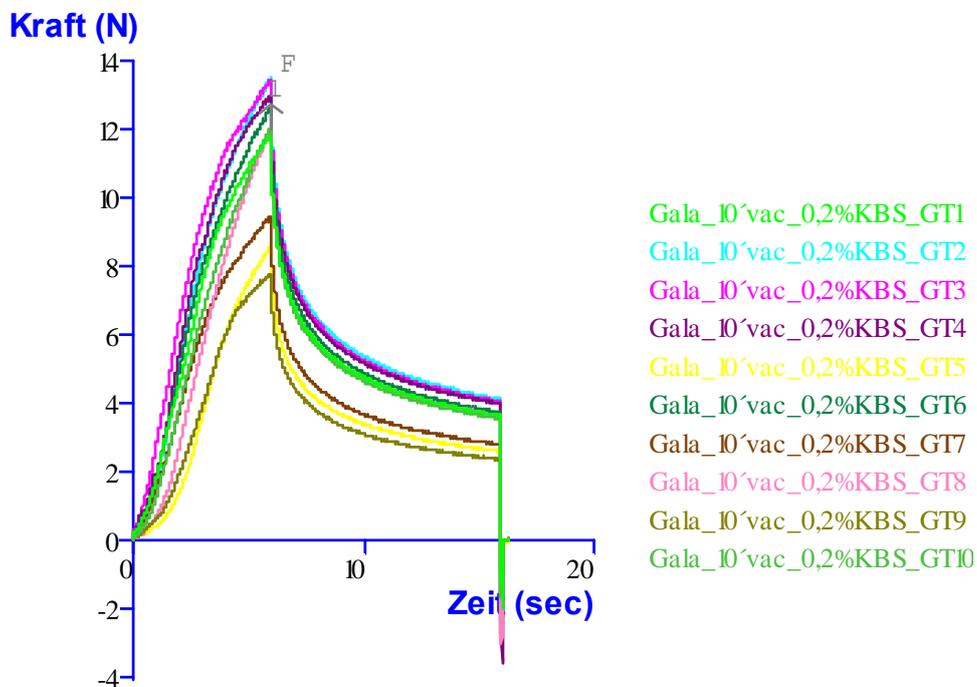


Abb.6.16: Grafische Darstellung der F_{max} -Werte des Texture Analysers (gefriergetrocknete, mit Kaliumbisulfatlösung vorbehandelte Gala-Äpfel)

6.2.5 Ergebnisse und Diskussion zur Farbe der verarbeiteten Äpfel

Auch bei der Farbmessung waren die Werte – ähnlich der Textur – teilweise weit gestreut.

Eigentlich wurde die Vorbehandlung mit Zitronensäure eingesetzt, um ein Braunwerden der Apfelwürfel zu vermeiden. Wie jedoch in den Abb. 6.17 und 6.18 ersichtlich, war der Erfolg dieser Methode bei den konvektionsgetrockneten Äpfeln nicht gegeben. Die L*-Werte (Helligkeit) dieser Würfel der Sorte Gala waren am niedrigsten (39,76–45,06), wobei zwischen den unterschiedlichen Konzentrationen der Zitronensäurelösung ein signifikanter Unterschied bestand (Tab. 6.25). Das heißt, jene Proben, die mit 0,5%iger Zitronensäurelösung vorbehandelt wurden, waren etwas dunkler, als solche, die in 1 bzw. 1,5%ige Lösung getaucht wurden. Folglich könnten sich noch höhere Konzentrationen an Zitronensäure positiv auf die Farberhaltung auswirken. Dabei wäre jedoch der sensorische Einfluss zu beachten.

Ein relativ hoher L*-Wert konnte bei der Sorte Gala für die mit Zitronensäure vorbehandelte und anschließend gefriergetrocknete Probe erzielt werden (57,55).

Auch die Sorte Granny Smith wies bei der höchsten Zitronensäurekonzentration besonders hohe L*-Werte auf (bis zu 68,46) (Tab. 6.24). Die unterschiedlichen Einwirkzeiten der Zitronensäurelösung machten keine signifikanten Unterschiede in der Helligkeit aus.

Auch Kaliumbisulfit wurde verwendet, um die Farberhaltung zu gewährleisten bzw. ein Braunwerden der Äpfel zu verhindern. Im Gegensatz zur Zitronensäure war diese Methode erfolgreich, insbesondere in Zusammenhang mit der Gefriertrocknung. Hier wurde bei der Sorte Gala der höchste L*-Wert erzielt (67,58). Die Sorte Granny Smith wies bei dieser Trocknungsmethode einen L*-Wert von 61,27 auf.

Die osmotisch-konvektionsgetrockneten Gala-Proben erreichten L*-Werte von 50,32–57,92, die osmotisch-gefriergetrocknete Probe hingegen zählte zu den hellsten mit einem L*-Wert von 63,60. Ähnliche Ergebnisse wurden für die Sorte Granny Smith erzielt.

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
GS_10_1%CS_KT	30	50,045	X
GS_15_05%CS_KT	10	50,054	XX
GS_15_15%CS_KT	10	51,702	XXX
GS_5_05%CS_KT	10	52,094	XXX
GS_30_65%SL_KT	10	53,451	XX
GS_90_65%SL_KT	10	54,399	XX
GS_10_02%KBS_KT	30	57,0887	XX
GS_90_55%SL_KT	10	59,279	XX
GS_60_60%SL_KT	30	60,0647	X
GS_10_1%CS_GT	10	60,553	XX
GS_30_55%SL_KT	10	61,018	XX
GS_10_02%KBS_GT	10	61,267	XX
GS_60_60%SL_GT	10	64,072	X
GS_5_15%CS_KT	10	68,455	X

Tab. 6.24: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): L-Werte (Granny Smith)*

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
Gala_5_05%CS_KT	10	39,756	X
Gala_15_05%CS_KT	10	40,524	X
Gala_10_1%CS_KT	30	43,1917	X
Gala_15_15%CS_KT	10	44,197	X
Gala_5_15%CS_KT	10	45,055	X
Gala_30_65%SL_KT	10	50,317	X
Gala_60_60%SL_KT	30	51,8087	X
Gala_90_65%SL_KT	10	55,22	X
Gala_10_02%KBS_KT	30	55,4757	X
Gala_30_55%SL_KT	10	56,447	X
Gala_90_55%SL_KT	10	57,292	X
Gala_10_1%CS_GT	10	57,55	X
Gala_60_60%SL_GT	10	63,604	X
Gala_10_02%KBS_GT	10	67,577	X

Tab. 6.25: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): L-Werte (Gala)*

Vergleicht man die beiden Apfelsorten, die mit Zitronensäure- bzw. Kaliumbisulfidlösung vorbehandelt und anschließend konventionell getrocknet wurden, hinsichtlich ihres L*-Werts, so wurden bei der Sorte Gala der höchste L*-Wert (55,48) durch die Vorbehandlung mit Kaliumbisulfid erzielt, bei der Sorte Granny Smith jedoch durch die Vorbehandlung für 5 min mit 1,5%iger Zitronensäure (68,46), siehe auch Abb. 6.17 bis 6.20.

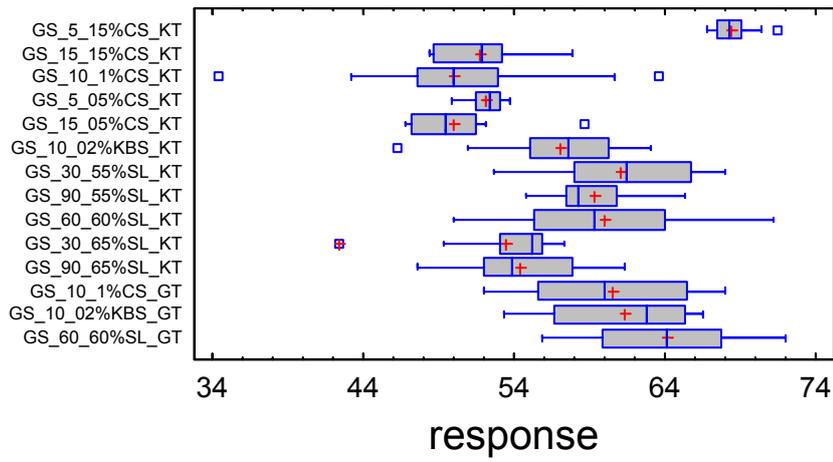


Abb. 6.17: Box-and-Whisker Plot: L^* -Werte (Granny Smith)

Box-and-Whisker Plot

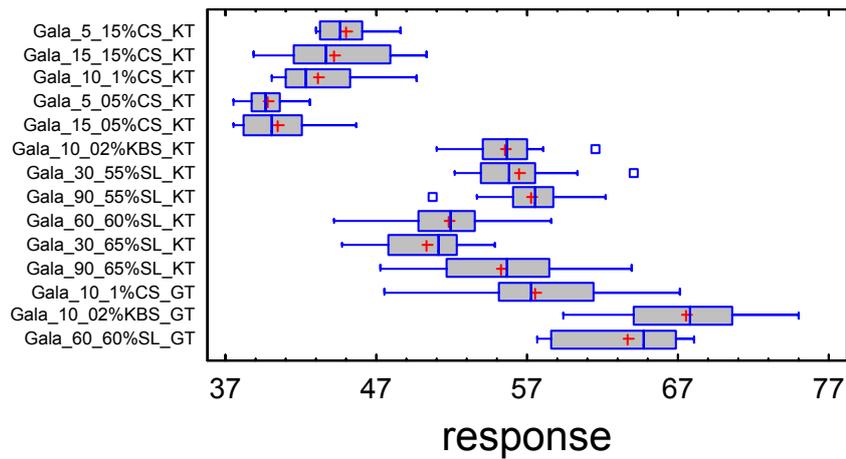


Abb. 6.18: Box-and-Whisker Plot: L^* -Werte (Gala)

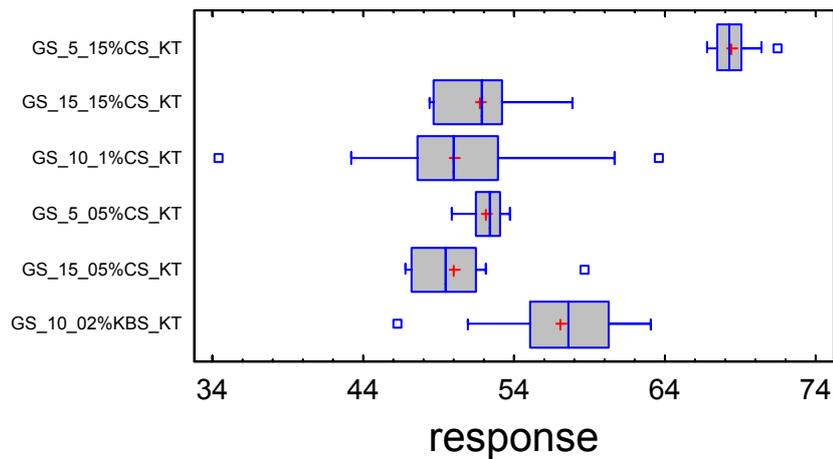


Abb. 6.19: Box-and-Whisker Plot: L*-Werte (mit Zitronensäure- bzw. Kaliumbisulfitlösung vorbehandelte, konvektionsgetrocknete Granny Smith-Äpfel)

Box-and-Whisker Plot

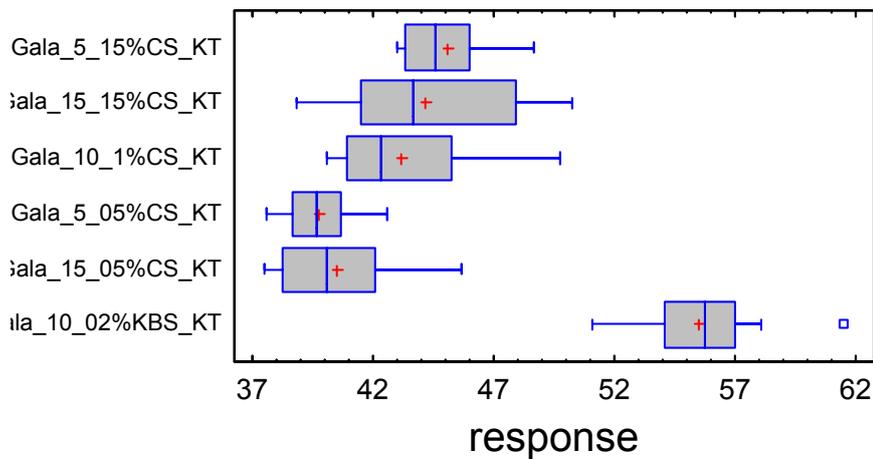


Abb. 6.20: Box-and-Whisker Plot: L*-Werte (mit Zitronensäure- bzw. Kaliumbisulfitlösung vorbehandelte, konvektionsgetrocknete Gala-Äpfel)

Jene Gala-Proben, die in Zitronensäurelösung getaucht und anschließend konvektions- bzw. gefriergetrocknet wurden, wiesen die höchsten a^* -Werte auf, was mit einem deutlichen Rotstich bzw. Rotbraun assoziiert wird. Negative a^* -Werte wurden bei beiden Sorten bei den mit Kaliumbisulfit vorbehandelten, gefriergetrockneten Proben festgestellt.

Bei den osmotisch vorbehandelten Würfeln konnten bei beiden Apfelsorten positive Werte für a^* von 2,12 bis 4,53 verzeichnet werden, mit Ausnahme der Granny Smith-Probe, die osmotisch vorbehandelt und anschließend gefriergetrocknet wurde. Hier war der a^* -Wert schwach negativ, das heißt, dass diese Probe eine grünliche Färbung – im Gegensatz zu allen anderen osmotischen vorbehandelten Proben – aufwies (Tab. 6.26).

Bei allen getrockneten Apfelwürfeln lagen die b^* -Werte im positiven Bereich, was eine deutliche Gelbfärbung bedeutete. Bei der Sorte Gala reichten die b^* -Werte von 4,20, für die mit 0,5%iger Zitronensäure vorbehandelte Probe, die eine rötliche Färbung aufwies, bis 22,10, für die geschwefelte, konvektionsgetrocknete Probe, die durch ihre sonnengelbe Farbe hervorstach (Tab. 6.26).

	<i>L</i> [*] -Wert		<i>a</i> [*] -Wert		<i>b</i> [*] -Wert	
	<i>Gr. Smith</i>	<i>Gala</i>	<i>Gr. Smith</i>	<i>Gala</i>	<i>Gr. Smith</i>	<i>Gala</i>
5´_1,5%CS_KT	68,46	45,06	1,21	6,74	11,25	8,98
15´_1,5%CS_KT	51,70	44,20	3,18	5,27	10,19	7,03
10´_1,0%CS_KT	50,05	43,19	2,92	6,55	10,90	8,07
5´_0,5%CS_KT	52,09	39,76	4,26	5,20	12,68	4,20
15´_0,5%CS_KT	50,05	40,52	4,50	5,70	10,74	5,95
10´_0,2%KBS_KT	57,09	55,48	0,74	2,83	11,83	22,10
30´_55%SL_KT	61,02	56,45	3,90	3,99	14,31	15,28
90´_55%SL_KT	59,28	57,29	3,28	3,60	14,81	17,24
60´_60%SL_KT	60,06	51,81	3,69	4,53	13,75	13,80
30´_65%SL_KT	53,45	50,32	2,77	3,29	10,39	13,95
90´_65%SL_KT	54,40	55,22	3,16	2,99	12,01	15,96
10´_1,0%CS_GT	60,55	57,55	0,08	4,58	7,50	11,96
10´_0,2%KBS_GT	61,27	67,58	-1,16	-0,35	7,71	14,23
60´_60%SL_GT	64,07	63,60	-0,44	2,12	11,58	15,20

Tab. 6.26: Gemessene Farbwerte (*L*^{*}*a*^{*}*b*^{*}-System) der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)

6.2.6 Ergebnisse und Diskussion zum Glucose-, Saccharose- und Fructosegehalt der verarbeiteten Äpfel

Prinzipiell blieb die Zusammensetzung der Zucker, verglichen mit der frischen Rohware, gleich. Der Hauptzuckeranteil war auch bei den getrockneten Früchten – mit Ausnahme der mit Saccharoselösung vorgetrockneten Proben – die Fructose, gefolgt von Glucose bzw. Saccharose (Tab. 6.27).

	<i>Glucose in g/100 g TS</i>		<i>Saccharose in g/100 g TS</i>		<i>Fructose in g/100 g TS</i>	
	<i>Gr. Smith</i>	<i>Gala</i>	<i>Gr. Smith</i>	<i>Gala</i>	<i>Gr. Smith</i>	<i>Gala</i>
5´_1,5%CS_KT	12,42	11,78	5,10	10,50	32,71	47,27
15´_1,5%CS_KT	15,49	12,38	10,15	13,57	37,91	45,72
10´_1,0%CS_KT	16,18	9,36	8,74	12,65	38,95	43,98
5´_0,5%CS_KT	16,51	13,93	10,37	13,14	38,62	49,40
15´_0,5%CS_KT	16,90	16,08	7,97	10,78	36,00	47,12
10´_0,2%KBS_KT	13,46	12,69	11,33	14,88	38,57	47,06
30´_55%SL_KT	9,29	5,41	50,49	40,43	24,59	21,26
90´_55%SL_KT	8,52	8,13	48,14	41,53	19,89	19,29
60´_60%SL_KT	7,07	6,55	57,21	43,52	18,55	19,26
30´_65%SL_KT	8,20	6,28	45,94	42,45	20,72	16,65
90´_65%SL_KT	5,70	6,67	56,96	53,68	19,58	21,96
10´_1,0%CS_GT	20,05	17,39	13,88	9,73	43,64	59,71
10´_0,2%KBS_GT	19,36	18,37	18,91	7,28	48,65	64,04
60´_60%SL_GT	7,77	8,84	59,06	56,28	29,06	32,56

Tab. 6.27: Gehalt an Glucose, Saccharose und Fructose [g/100g Trockensubstanz] der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)

Insbesondere bei den gefriergetrockneten Apfelproben konnten sehr hohe Gesamtzuckergerhalte von 77–90 % festgestellt werden, bei den osmotisch-gefriergetrockneten Proben sogar bis zu 98 %.

Bezüglich des Glucose- und Fructosegehalts der getrockneten Gala-Äpfeln gab es signifikante Unterschiede bei den mit Zitronensäurelösung vorbehandelten, konvektionsgetrockneten Proben.

Dies kann allerdings auf Rohstoffunterschiede zurück zu führen sein, da kein einheitliches Schema erkennbar ist. Das heißt, eine hohe Zitronensäurekonzentration ging weder mit einer niedrigen, noch mit einer hohen Zuckerkonzentration einher.

Beim Saccharosegehalt der mit Zitronensäure getrockneten Gala-Äpfeln gab es keine signifikanten Unterschiede (siehe Tab. 6.31 bis 6.33).

Die Sorte Granny Smith wies bei fast allen unterschiedlichen Trocknungsarten und auch innerhalb der gleichen Vorbehandlungsart, signifikante Unterschiede auf (Tab. 6.28 bis 6.30) . Bei den osmotisch vorgetrockneten Apfelstücken stieg der Saccharosegehalt auf Kosten des Glucose- und Fructosegehalts. Wenn man nur die durch Vakuuminfusion vorbehandelten Proben betrachtet, konnten die höchsten Werte für Glucose und Fructose bei den gefriergetrockneten Würfeln erreicht werden.

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
GS_90_65%SL_KT	3	5,7096	x
GS_60_60%SL_KT	9	7,07417	x
GS_60_60%SL_GT	3	7,76513	xx
GS_30_65%SL_KT	3	8,19743	xx
GS_90_55%SL_KT	3	8,51743	x
GS_30_55%SL_KT	3	9,29353	x
GS_5_15%CS_KT	3	12,4246	x
GS_10_02%KBS_KT	9	13,4594	x
GS_15_15%CS_KT	3	15,4891	x
GS_10_1%CS_KT	9	16,1788	x
GS_5_05%CS_KT	3	16,5125	x
GS_15_05%CS_KT	3	16,8998	x
GS_10_02%KBS_GT	3	19,3631	x
GS_10_1%CS_GT	3	20,0501	x

Tab. 6.28: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Glucosegehalte (Granny Smith)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
GS_5_15%CS_KT	3	5,10107	X
GS_15_05%CS_KT	3	7,97437	XX
GS_10_1%CS_KT	9	8,73684	X
GS_15_15%CS_KT	3	10,1517	XX
GS_5_05%CS_KT	3	10,3711	XX
GS_10_02%KBS_KT	9	11,3342	X
GS_10_1%CS_GT	3	13,8782	X
GS_10_02%KBS_GT	3	18,9123	X
GS_30_65%SL_KT	3	45,9369	X
GS_90_55%SL_KT	3	48,1433	XX
GS_30_55%SL_KT	3	50,493	X
GS_90_65%SL_KT	3	56,9609	X
GS_60_60%SL_KT	9	57,2082	X
GS_60_60%SL_GT	3	59,0648	X

Tab. 6.29: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Saccharosegehalte (Granny Smith)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
GS_60_60%SL_KT	9	18,548	X
GS_90_65%SL_KT	3	19,5826	X
GS_90_55%SL_KT	3	19,8863	X
GS_30_65%SL_KT	3	20,7162	X
GS_30_55%SL_KT	3	24,5908	X
GS_60_60%SL_GT	3	29,0555	X
GS_5_15%CS_KT	3	32,7069	X
GS_15_05%CS_KT	3	36,0048	X
GS_15_15%CS_KT	3	37,9094	XX
GS_10_02%KBS_KT	9	38,5726	X
GS_5_05%CS_KT	3	38,6221	XX
GS_10_1%CS_KT	9	38,9452	X
GS_10_1%CS_GT	3	43,6358	X
GS_10_02%KBS_GT	3	48,6506	X

Tab. 6.30: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Fructosegehalte (Granny Smith)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
Gala_30_55%SL_KT	3	5,4121	X
Gala_30_65%SL_KT	3	6,27623	X
Gala_60_60%SL_KT	9	6,54754	X
Gala_90_65%SL_KT	3	6,6709	XX
Gala_90_55%SL_KT	3	8,12907	XX
Gala_60_60%SL_GT	3	8,84387	X
Gala_10_1%CS_KT	9	9,35524	X
Gala_5_15%CS_KT	3	11,7829	X
Gala_15_15%CS_KT	3	12,3775	XX
Gala_10_02%KBS_KT	9	12,692	XX
Gala_5_05%CS_KT	3	13,9335	X
Gala_15_05%CS_KT	3	16,0752	X
Gala_10_1%CS_GT	3	17,3919	XX
Gala_10_02%KBS_GT	3	18,3725	X

Tab. 6.31: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Glucosegehalte (Gala)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
Gala_10_02%KBS_GT	3	7,28087	X
Gala_10_1%CS_GT	3	9,72727	XX
Gala_5_15%CS_KT	3	10,4999	XXX
Gala_15_05%CS_KT	3	10,7838	XXX
Gala_10_1%CS_KT	9	12,648	XX
Gala_5_05%CS_KT	3	13,1389	XXX
Gala_15_15%CS_KT	3	13,5749	XX
Gala_10_02%KBS_KT	9	14,8761	X
Gala_30_55%SL_KT	3	40,4305	X
Gala_90_55%SL_KT	3	41,5268	X
Gala_30_65%SL_KT	3	42,4465	X
Gala_60_60%SL_KT	9	43,5187	X
Gala_90_65%SL_KT	3	53,6836	X
Gala_60_60%SL_GT	3	56,2834	X

Tab. 6.32: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Saccharosegehalte (Gala)

	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
Gala_30_65%SL_KT	3	16,6501	X
Gala_60_60%SL_KT	9	19,2573	XX
Gala_90_55%SL_KT	3	19,2912	XX
Gala_30_55%SL_KT	3	21,258	X
Gala_90_65%SL_KT	3	21,9628	X
Gala_60_60%SL_GT	3	32,5586	X
Gala_10_1%CS_KT	9	43,9761	X
Gala_15_15%CS_KT	3	45,7208	XX
Gala_10_02%KBS_KT	9	47,0562	XX
Gala_15_05%CS_KT	3	47,1225	XX
Gala_5_15%CS_KT	3	47,2669	XX
Gala_5_05%CS_KT	3	49,397	X
Gala_10_1%CS_GT	3	59,7117	X
Gala_10_02%KBS_GT	3	64,0425	X

Tab. 6.33: Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Fructosegehalte (Gala)

6.2.7 Ergebnisse und Diskussion zur Adsorptionsisotherme der verarbeiteten Äpfel

<i>Probennummer</i>	<i>Bezeichnung der Probe</i>
1	GS_10'_1,0%CS_KT bzw. GS_10'_1,0%CS_GT
2	Gala_10'_1,0%CS_KT bzw. Gala_10'_1,0%CS_GT
3	GS_10'_0,2%KBS_KT bzw. GS_10'_0,2%KBS_GT
4	Gala_10'_0,2%KBS_KT bzw. Gala_10'_0,2%KBS_GT
5	GS_60'_60%SL_KT bzw. GS_60'_60%SL_GT
6	Gala_60'_60%SL_KT bzw. Gala_60'_60%SL_GT

Tab. 6.34: Verzeichnis der Probennummern der Adsorptionsisotherme (vgl. auch Tab. 6.11)

Wie aus den Abb. 6.21 bis 6.24 ersichtlich, wiesen sowohl die konvektions-, als auch die gefriergetrockneten Proben den typisch sigmoiden Kurvenverlauf auf. Dabei betrug die maximale Wasseraufnahme bei den konvektionsgetrockneten Proben rund 60 %, bei den gefriergetrockneten Apfelstücken war dieser Wert um rund 5 % höher. Auch in der Literatur findet man für gefriergetrocknete Proben höhere Sorptionskapazitäten, als für konventionell getrocknete Früchte [YAN et al., 2008].

Beiden Trocknungsarten war gemein, dass die osmotisch vorbehandelten Apfelwürfel am meisten Wasser aufnehmen konnten.

Dies hängt vermutlich mit der hohen Wasserbindungsfähigkeit des Zuckers zusammen. Bei den gefriergetrockneten Proben ließ sich eindeutig feststellen,

dass die mit Zitronensäurelösung vorbehandelten Proben am wenigsten Wasser aufnahmen.

Weiters wurde deutlich, dass die Gala-Würfel, die mit Vakuuminfusion vorbehandelt wurden, mehr Wasser als dieselben der Sorte Granny Smith aufnehmen konnten. Bei den osmotisch vorgetrockneten Proben war es hingegen umgekehrt.

Bei den konvektionsgetrockneten Äpfeln konnte diese Beobachtung nicht bestätigt werden.

Zum Teil sind in den Grafiken Unterbrechungen zu erkennen. Diese entstanden durch Proben, die im Laufe der Messung der Adsorptionsisotherme Schimmelbefall aufwiesen und auf Grund dessen entfernt werden mussten.

Die Abkürzungen (Probennummern) in den folgenden Abbildungen sind in Tab. 6.34 beschrieben.

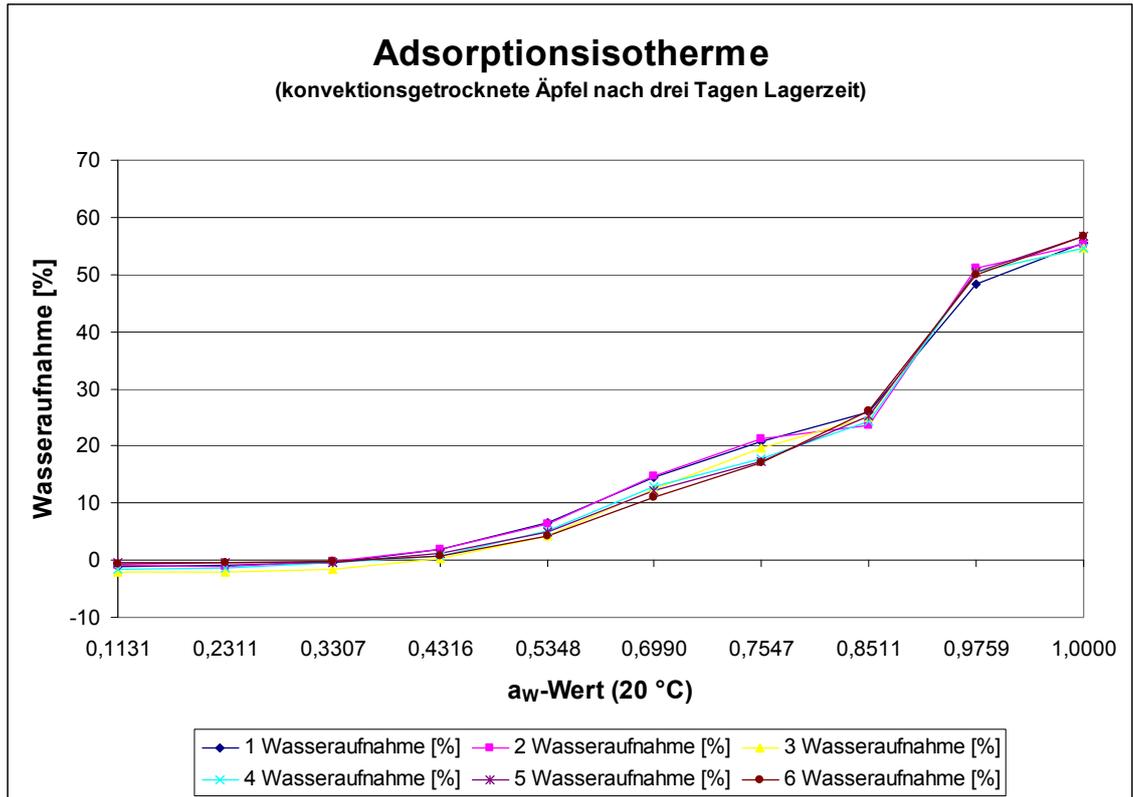


Abb. 6.21: Adsorptionsisotherme konvektionsgetrockneter Äpfel nach drei Tagen Lagerzeit

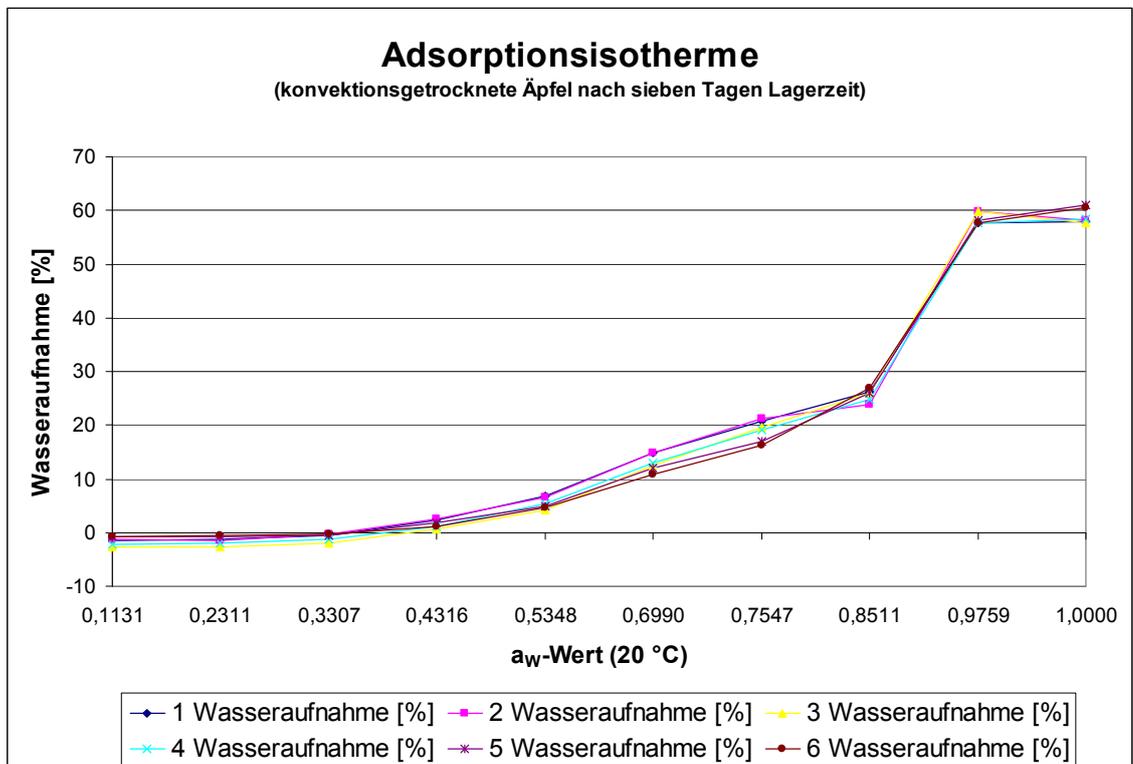


Abb. 6.22: Adsorptionsisotherme konvektionsgetrockneter Äpfel nach sieben Tagen Lagerzeit

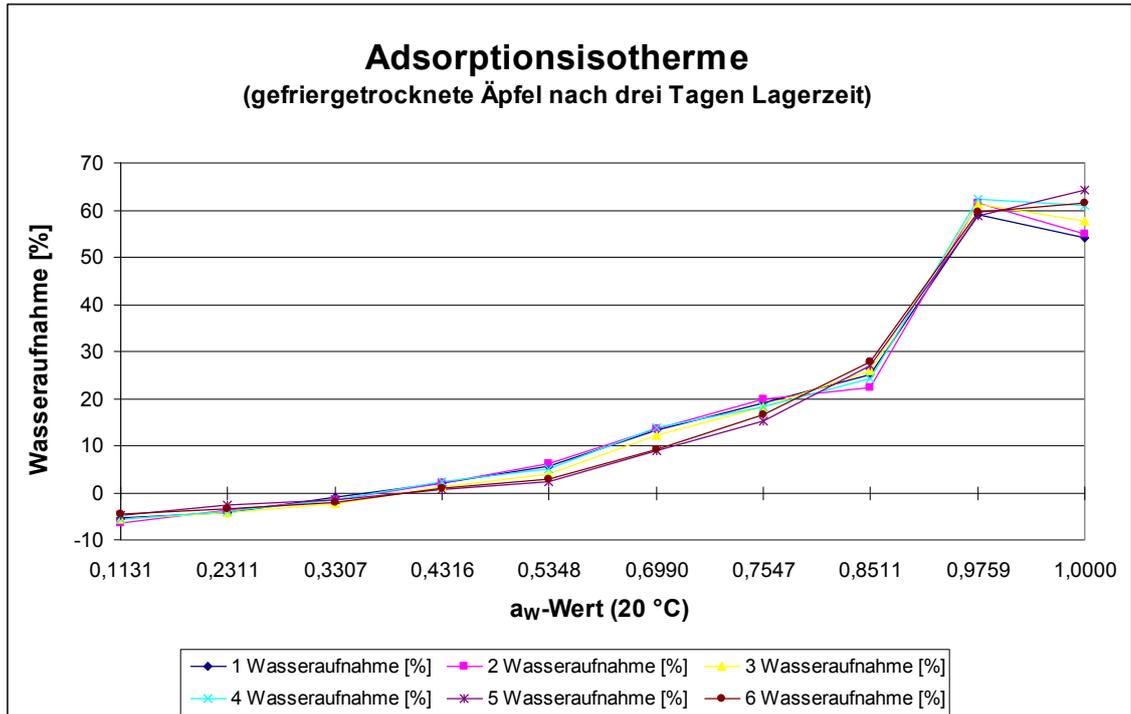


Abb. 6.23: Adsorptionsisotherme gefriergetrockneter Äpfel nach drei Tagen Lagerzeit

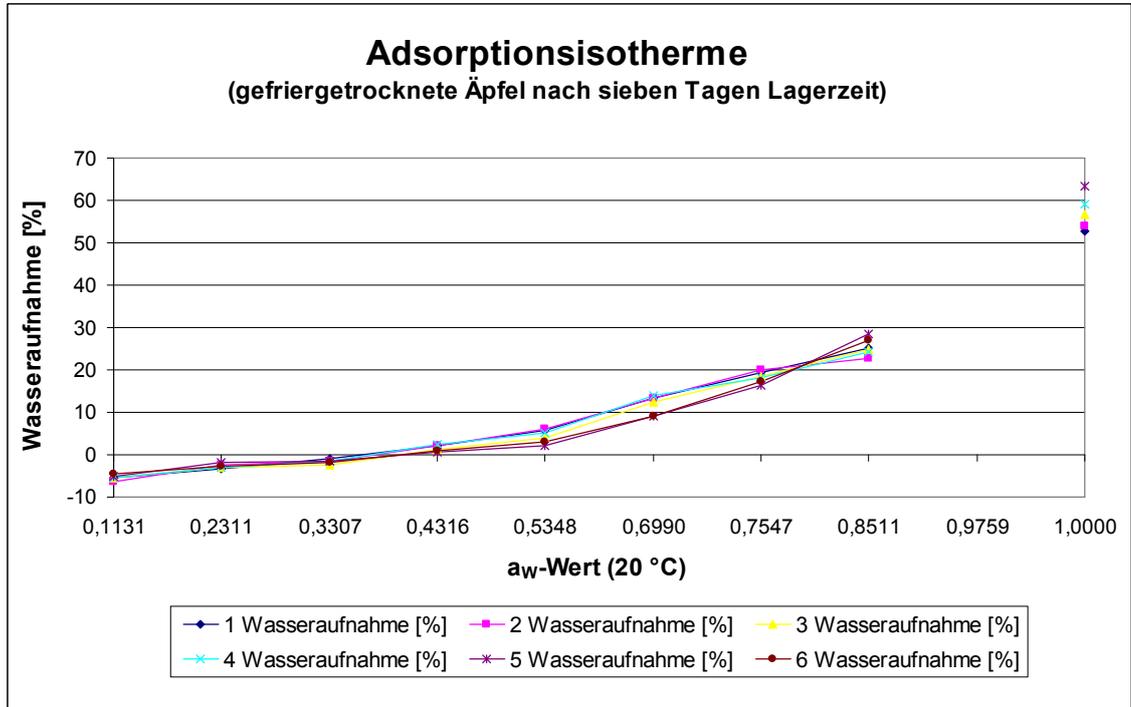


Abb. 6.24: Adsorptionsisotherme gefriergetrockneter Äpfel nach sieben Tagen Lagerzeit

6.2.8 Ergebnisse und Diskussion zur sensorischen Beurteilung der verarbeiteten Äpfel

<i>Code</i>	<i>Bezeichnung der Probe</i>	<i>erreichte Punktzahl</i>	<i>Platzierung</i>
2004	GS_10'_0,2%KBS_KT	1121,3	5.
8479	GS_60'_60%SL_KT	1432,4	2.
2605	Gala_10'_1,0%CS_GT	1362,4	4.
1636	Gala_60'_60%SL_KT	1374,5	3.
5582	Gala_10'_0,2%KBS_KT	824,4	6.
1973	GS_10'_1,0%CS_GT	1449,5	1.

Tab. 6.35: Übersicht über Code, Bezeichnung und Platzierung der Probe der sensorischen Beurteilung (vgl. auch Tab. 6.11)

Fotos der in Tab. 6.35 genannten Proben sind im Anhang und in Abb. 6.25 ersichtlich.



Abb. 6.25: Verkostungstablett mit Apfelproben und zugehörigen Codes

Wie aus Tab. 6.35 ersichtlich, schnitt der mit Zitronensäurelösung vorbehandelte, gefriergetrocknete Apfel der Sorte Granny Smith am besten ab, obwohl er von manchen Testern als „zu sauer“ bezeichnet wurde. Es folgten die osmotisch vorgetrockneten Apfelstücke beider Sorten. Die niedrigste Punktzahl erreichten die geschwefelten Proben. Bei der Probe 5582 wurde von den Testern die Farbe häufig als „künstlich“ bezeichnet. Außerdem stellten einige Tester einen Fremdgeschmack (Banane, Schwefel) fest.

In der Abb. 6.26 sind die Ergebnisse der getesteten, konvektionsgetrockneten Proben in einem Spider-Diagramm dargestellt. Die Abb. 6.27 zeigt die beiden gefriergetrockneten Proben.

Aus der Abb. 6.26 kann man erkennen, dass die Probe 5582 in nahezu allen Bereichen am schlechtesten abschnitt. Wurde eine Probe als „süß“ bezeichnet, war der Wert für „sauer“ gleichzeitig sehr gering.

Kaliumbisulfit wurde den Apfelwürfeln zugesetzt, um eine möglichst geringe Verfärbung der Äpfel zu gewährleisten. Betrachtet man den Parameter „Farbe“ genauer, ist zu erkennen, dass diese Proben von den Testern jedoch als „wenig ansprechend“ beurteilt wurden. Je höher die gemessenen L^* -Werte der Proben, desto mehr Punkte wurden für den Parameter „Farbe“ vergeben, vgl. Abb. 6.27.

Des Weiteren wurde die Textur der Proben 5582 und 2004 als eher zäh und mehlig bezeichnet. Die gemessenen F_{\max} -Werte dieser Proben lagen jedoch im Mittelfeld.

Die Werte für Saftigkeit, Apfelgeschmack und Gesamteindruck waren bei der Probe 8479 am höchsten.

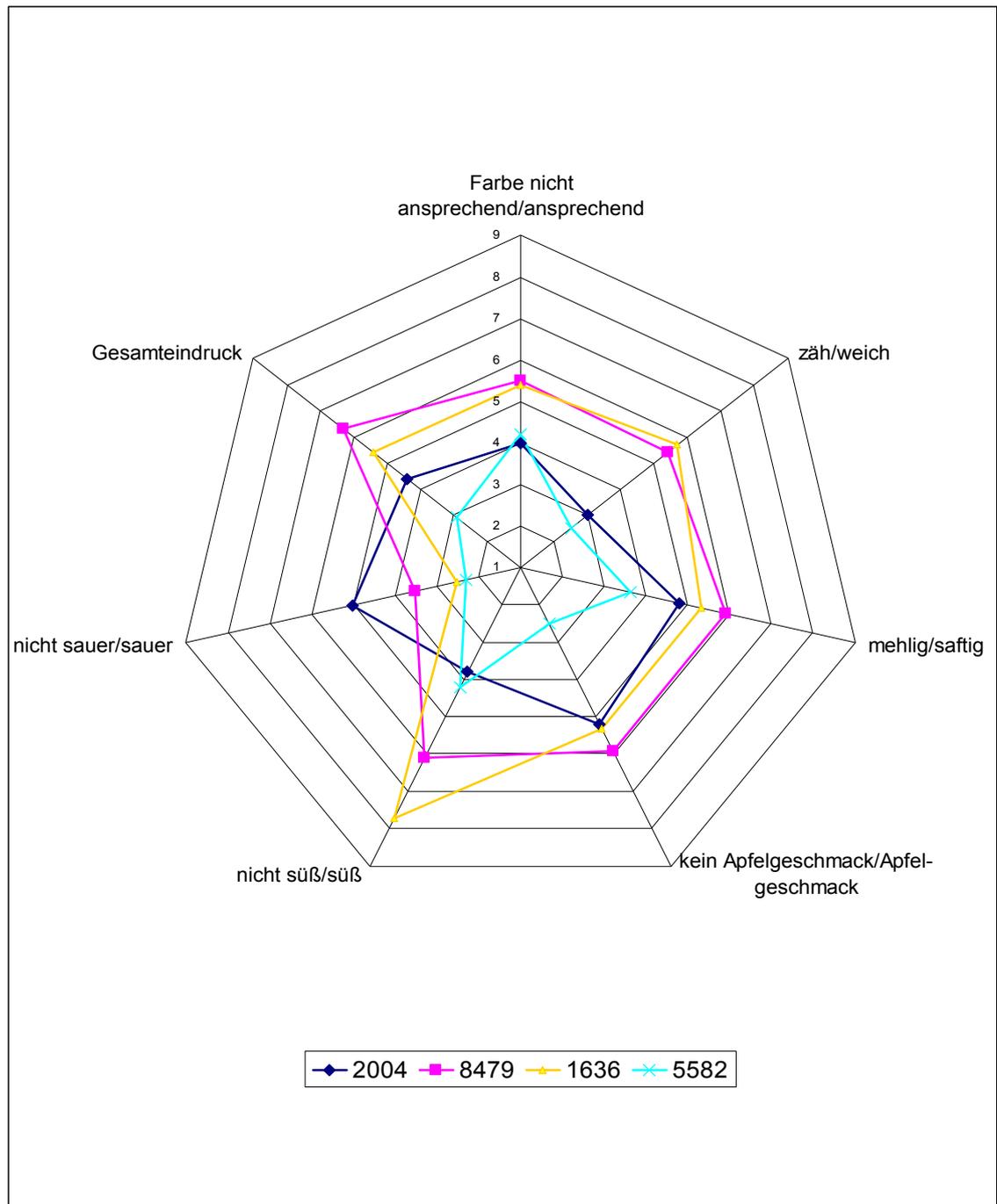


Abb. 6.26: Grafische Darstellung sämtlicher Parameter der sensorischen Beurteilung der konvektionsgetrockneten Proben 2004, 8479, 1636 und 5582

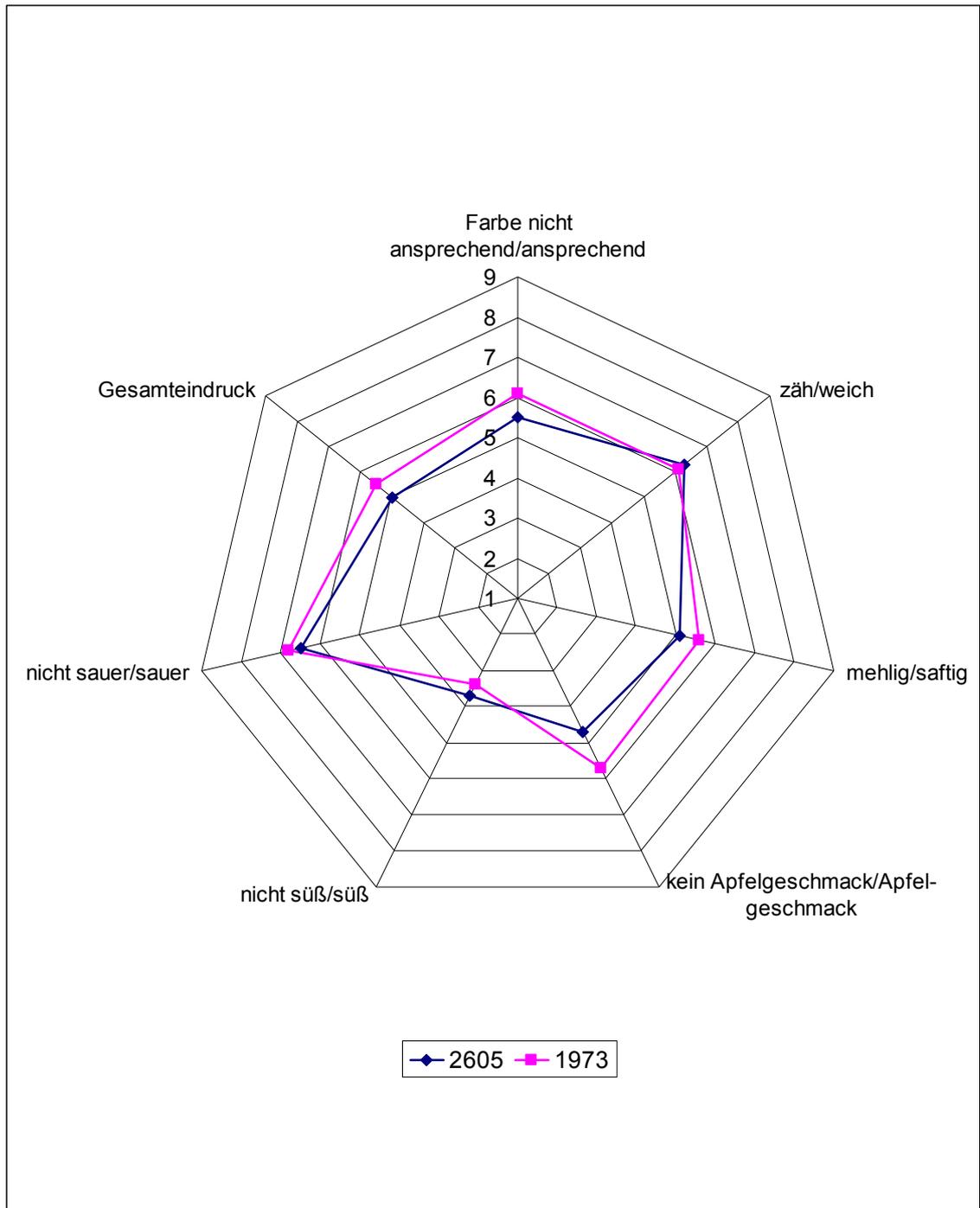


Abb. 6.27: Grafische Darstellung sämtlicher Parameter der sensorischen Beurteilung der gefriergetrockneten Proben 2605 und 1973

7 SCHLUSSBETRACHTUNG

Besonders hervorzuheben ist die Form der unterschiedlich getrockneten Äpfel, wodurch sich auch völlig verschiedene Einsatzmöglichkeiten ergeben. Während die perfekt geformten, gefriergetrockneten Apfelwürfel als Snackprodukte geeignet sind, sollten die konventionell getrockneten Proben weiterverarbeitet werden. Sie können als fruchtige Komponente in Müsli bzw. Müsliriegel eingesetzt werden.

Die gefriergetrockneten Früchte schrumpften nur geringfügig, die Würfelform ging bei den durch Vakuuminfusion vorbehandelten, konvektionsgetrockneten Proben jedoch beinahe gänzlich verloren. Osmotisch vorgetrocknete Apfelwürfel behielten zwar ihre Form, waren nach der Konvektionstrocknung aber deutlich kleiner.

Leider musste festgestellt werden, dass die Gefriertrocknung in Rundkolben für osmotisch vorbehandelte Proben nicht geeignet war. Durch den hohen Zuckergehalt klebten die Apfelstücke im Rundkolben fest und konnten ohne zerstörerische Maßnahmen nicht entnommen werden. Für osmotisch-gefriergetrocknete Fruchtstücke muss daher eine andere Form der Gefriertrocknung gewählt werden.

Für die Messung des Vitamin C-Gehalts von Proben, die mit Zitronensäure bzw. Kaliumbisulfit vorbehandelten Proben, ist der Reflektquant nicht geeignet, da Citrat und SO_3^{2-} in höheren Konzentrationen die Messung negativ beeinflussen. Auch hier muss daher zukünftig eine andere Methode gewählt werden.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Arbeit war es, die auf unterschiedliche Weise getrockneten Apfelwürfel hinsichtlich ihrer chemischen, physikalischen und sensorischen Eigenschaften zu vergleichen.

Zwei Apfelsorten (Granny Smith, Gala) wurden auf verschiedenen Wegen verarbeitet. Dabei wurde einerseits die Art der Trocknung, andererseits auch die Art der Vorbehandlung variiert. Zum Einsatz kamen die osmotische Vorbehandlung und die Vorbehandlung durch Vakuumimprägnierung in verschiedenen Tauchlösungen. Bei beiden Methoden wurden sowohl die Dauer der Vorbehandlung, als auch die Konzentration der Lösung verändert. Anschließend wurde der Trockensubstanzgehalt, Ascorbinsäuregehalt, a_w -Wert, die Textur, Farbe und der Zuckergehalt aller Proben ermittelt und die einzelnen Proben untereinander verglichen.

Je sechs Proben einer Apfelsorte wurden zusätzlich zur Bestimmung der Adsorptionsisotherme herangezogen.

Zudem wurde mit ausgewählten, getrockneten Apfelstücken eine sensorische Untersuchung durchgeführt. Der gefriergetrocknete, mit Zitronensäurelösung vorbehandelte Granny Smith wurde von den Testern zum beliebtesten Produkt gewählt.

Während der gesamten Dauer der Versuche wurde auch der frische Rohstoff regelmäßig hinsichtlich der oben genannten Parameter analysiert. Zusätzlich wurde davon der Reifeindex nach Streif bestimmt.

9 SUMMARY

The aim of this work was to compare different types of dried apples concerning their chemical, physical and sensory characteristics.

Two types of apples (Granny Smith, Gala) were processed in different ways. On the one hand the type of drying, on the other hand the type of pretreatment varied. Osmotic pretreatment and vacuum impregnation technology with different solutions came into operation. In both methods the duration of pretreatment as well as the concentration of the solutions varied. Then, dry matter, ascorbic acid, a_w -value, texture, colour and sugar content of all samples were determined and compared with each other.

Six different treated samples of each apple variety were used to obtain the adsorption isotherm.

In addition, a sensory testing of selected, dried apple pieces was investigated. The freeze-dried, in citric acid pretreated Granny Smith apple was chosen to be the best product.

During the whole period the fresh apples were analysed regarding the parameters mentioned above. Additionally, the Streif-index was determined.

10 ANHANG



Abb. 10.1: Mit Kaliumbisulfitlösung vorbehandelte, konvektionsgetrocknete Apfelwürfel der Sorte Granny Smith



Abb. 10.2: Mit Kaliumbisulfitlösung vorbehandelte, konvektionsgetrocknete Apfelwürfel der Sorte Gala



Abb. 10.3: Osmotisch vorbehandelte, konvektionsgetrocknete Apfelwürfel der Sorte Granny Smith



Abb. 10.4: Osmotisch vorbehandelte, konvektionsgetrocknete Apfelwürfel der Sorte Gala



Abb. 10.5: Mit Zitronensäurelösung vorbehandelte, gefriergetrocknete Apfelwürfel der Sorte Granny Smith



Abb. 10.6: Mit Zitronensäurelösung vorbehandelte, gefriergetrocknete Apfelwürfel der Sorte Gala

LITERATURVERZEICHNIS

AZURA, E.; C. BERISTAIN; and G. F. GUTIERREZ: Osmotic dehydration of apples by immersion in concentrated sucrose/maltodextrin solutions. J. Food Process. Pres. 26 (2002) 295 – 306.

BERGHOFER, E.: Vorlesungsunterlagen „Lebensmitteltechnologische Grundverfahren“ (2008)

CHENNAN, M. and J. STREIF: Distribution of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in fruits of four apple cultivars. Erwerbsobstbau 44 (2002) 13 – 17.

CLAUSSEN, I. C.; I. STROMMEN; A. K. TORSTVEIT HEMMINGSEN and T. RUSTAD T.: Relationship of product structure, sorption characteristics and freezing point of atmospheric freeze-dried foods. Dry. Technol. 25 (2007) 853 – 865.

FALADE, K. O.; T. O. AKINWALE and O. O. ADEDOKUN: Effect of drying methods on osmotically dehydrated cashew apples. Europ. Food Res. Tech. (2003) 500 – 504.

FRIESE, A. and T. R. GORMLEY: Osmotic dehydration of Bramley's Seedling apple slices. Farm & Food 10 (2000) 28 – 31.

GRABOWSKI, S.; A. S. MUJUMDAR; H. S. RAMASWAMY and C. STRUMILLO: Osmo-convective drying of grapes. Dry. Technol. 12 (1994) 1211 – 1219.

GUILLEMIN, A.; P. DEGRAEVE; F. GUILLON; M. LAHAYE and R. SAUREL: Incorporation of pectinmethylesterase in apple tissue either by soaking or by vacuum-impregnation. Enzyme Microb. Tech. 38 (2006) 610 – 616.

GUILLEMIN, A.; P. DEGRAEVE; F. GUILLON; M. LAHAYE and R. SAUREL: Influence of impregnation solution viscosity and osmolarity on solute uptake during vacuum impregnation of apple cubes (var. Granny Smith). *J. Food Eng.* 86 (2008) 475 – 483.

HAMMAMI, C.; F. RENE and M. MARIN: Process-quality optimization of the vacuum freeze-drying of apple slices by the response surface method. *Int. J. Food Sci. Tech.* 34 (1999) 145 – 160.

HBLA FÜR OBST- UND WEINBAU: Farbschablone zur Beurteilung des Stärkeabbaus bei Kernobst, Klosterneuburg.

HEGEDUSIC, V.; Z. HERCEG and A. REXHEPI: Processing and storage effects on the quality of dehydrated apples. *Acta Alimentaria* 25 (1996) 151 – 161.

HEISS, R.: Industrielle Lebensmittelkonservierung. In: *Lebensmitteltechnologie*. Hrgb.: R. HEISS, Springer Verlag, Berlin Heidelberg (2004) 558 – 562.

HEISS, R. und K. EICHNER: Trocknung. In: *Haltbarmachen von Lebensmitteln*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg (2002) 193 – 225.

HÖHN, E. und F. GASSER: Obsteinlagerung 2005. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 18 (2005) 6 – 9.

HÖHN, E.; S. WINKLER; A. WIDMER; L. BERTSCHINGER; J. ZÜBLIN und L. KREIS: Tafeläpfel vom Produzenten bis zum Konsumenten: Richtwerte für „innere“ Qualitätsanforderungen. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 18 (2002) 466 – 468.

KAMINSKA, A.; P. P. LEWICKI and P. MALCZYK: Mass transfer in osmotically dehydrated apple stored at temperatures above zero. *J. Food Eng.* 86 (2008) 140 – 149.

KAVAK AKPINAR, E.; Y. BLICER and A. MIDILLI A.: Modeling and experimental study on drying apple slices in a convective cyclone dryer. J. Food Process Eng. 26 (2003) 515 – 541.

KAYMAK-ERTEKIN, F. and A. GEDIK: Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. Food Sci. Tech. 37 (2004) 429 – 438.

KNIEWASSER, B.: Osmotische Trocknung von ausgewählten Obstprodukten. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien (2004) 2 – 12.

LADURNER, H.: Qualitätsuntersuchungen an Äpfeln aus biologischem und konventionellem Anbau nach verschiedenen Methoden. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien (2003) 98.

LEWICKI, P. P. and E. JAKUBCZYK: Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. J. Food Eng. 64 (2004) 307 – 314.

MEGAZYME International Ireland Ltd.: Beipackzettel Testkit „D-Saccharose, D-Glucose, D-Fructose“ (2005)

MERCK: Bedienungsanleitung RQflex plus

MERCK: Beipackzettel Ascorbinsäure-Test (2008)

MOREIRA, R.; A. FIGUEIREDO and A. SERENO: Shrinkage of apple disks during drying by warm air convection and freeze drying. Dry. Technol. 18 (2000) 279 – 194.

ODRIOZOLA-SERRANO, I.; T. HERNANDEZ-JOVER and O. MARTIN-BELLOSO: Comparative evaluation of UV-HPLC methods and reducing agents to determine vitamin C in fruits. Food Chem. 105 (2007) 1151 – 1158.

PROTHON, F. and L. M. AHRNÉ: Application of the Guggenheim, Anderson and De Boer model to correlate water activity and moisture content during osmotic dehydration of apples. *J. Food Eng.* 61 (2004) 467 – 470.

RAHMAN, S. M. A. and A. S. MUJUMDAR: Effect of osmotic treatment with concentrated sugar and salt solutions on kinetics and colour in vacuum contact drying. *J. Food Process. Pres.* 31 (2007) 671 – 687.

RAMASWAMY, H. S. and N. H. VAN NIEUWENHUIJZEN: Evaluation and modelling of two-stage osmo-convective drying of apple slices. *Dry. Technol.* 20 (2002) 651 – 667.

SCHMILZ-EIBERGER, M.; V. WEBER; D. TREUTTER; G. Baab and J. LORENZ: Bioactive components in fruits from different apple varieties. *Journal of Applied Botany* 77 (2003) 167 – 171.

SHARMA, K. D.; S. VIJAY and S. B. MAINI: Osmotic dehydration in apple: Influence of variety, location and treatment on mass transfer and quality of dried rings. *Acta Alimentaria* 27 (1998) 245 – 256.

STROTHER, S.: Consumer taste preferences of applesauce surveyed. *Good Fruit Grower* 42 (1991) 26 – 28.

SUNI, M.; M. NYMAN; N.-A. ERIKSSON; L. BJÖRK and I. BJÖRCK: Carbohydrate composition and content of organic acids in fresh and stored apples. *J. Sci. Food Agr.* 10 (2000) 1538 – 1544.

TAIWO, K. A.; A. ANGERSBACH; B. I. O. ADE-OMOWAYE and D. KNORR: Effects of pretreatments on the diffusion kinetics and some quality parameters of osmotically dehydrated apple slices. *J. Agr. Food Chem.* 49 (2001) 2804 – 2811.

TORTOE, C.; J. ORCHARD and A. BEEZER: Comparative behaviour of cellulosic and starchy plant materials during osmotic dehydration. *J. Sci. Food Agr.* 87 (2007) 1284 – 1291.

TRIERWEILER, B.; M. KRIEG and B. TAUSCHER: Antioxidative capacity of different apple cultivars after long-time storage. *Journal of Applied Botany* 78 (2004) 117 – 119.

VAN NIEUWENHUIJZEN, N. H.; M. R. ZAREIFARD and H. S. RAMASWAMY: Osmotic drying kinetics of cylindrical apple slices of different sizes. *Dry. Technol.* 19 (2001) 535 – 545.

WEBER, P.: Vitamine, Spurenelemente und Mineralstoffe. Hrgb.: H. K. BIESALSKI, Thieme Verlag, Stuttgart (2002) 57 – 66.

WU, J.; H. GAO; L. ZHAO; X. LIAO; F. CHEN; Z. WANG and X. HU: Chemical compositional characterization of some apple cultivars. *Food Chem.* (2007) 88 – 83.

YAN, Z.; M. J. SOUSA-GALLAGHER and F. A. R. OLIVEIRA: Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana. *J. Food Eng.* 86 (2008) 342-348.

<http://www.lebensmittelnet.at/article/articleview/63881/1/24306>

Zugriff: 12. April 2008

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 2.1	Übersicht über Trocknungstemperatur [°C] und Trocknungszeit in Minuten_____	Seite 4
Tab. 2.2	Übersicht über Trocknungstemperatur [°C], Wasser- gehalt der getrockneten Äpfel [%] und Wasseraktivität der getrockneten Äpfel_____	Seite 5
Tab. 2.3	Übersicht über Trocknungstemperatur [°C] und volumetrische Schrumpfung_____	Seite 6
Tab. 2.4	Übersicht über Apfelsorte und entsprechenden Vitamin C-Gehalt_____	Seite 19
Tab. 2.5	Übersicht über Apfelsorte, Vitamin C-Gehalt bei Ernte und nach Lagerung_____	Seite 21
Tab. 4.1	Pipettierschema zur Bestimmung der Glucose, Saccharose und Fructose_____	Seite 45
Tab. 5.1	Übersicht über Konzentration der Zitronensäurelösung, Dauer der Vakuuminfusion und Dauer der Konvektionstrocknung_____	Seite 59
Tab. 5.2	Übersicht über Konzentration der Kaliumbisulfitlösung, Dauer der Vakuuminfusion und Dauer der Konvektionstrocknung_____	Seite 60
Tab. 5.3	Übersicht über Konzentration der Saccharoselösung, Dauer der osmotischen Vorbehandlung und Dauer der Konvektionstrocknung_____	Seite 61
Tab. 5.4	Übersicht über Konzentration der Zitronensäurelösung, Dauer der Vakuuminfusion und Dauer der Gefriertrocknung_____	Seite 62
Tab. 5.5	Übersicht über Konzentration der Kaliumbisulfitlösung, Dauer der Vakuuminfusion und Dauer der Gefriertrocknung_____	Seite 63
Tab. 5.6	Übersicht über Konzentration der Saccharoselösung, Dauer der osmotischen Vorbehandlung und Dauer der Gefriertrocknung_____	Seite 63

Tab. 6.1	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Trockensubstanz- gehalte des frischen Rohstoffs_____	Seite 66
Tab. 6.2	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Vitamin C-Gehalte der Rohware_____	Seite 68
Tab. 6.3	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): a_w -Werte der Rohware_____	Seite 68
Tab. 6.4	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): F_{\max} -Werte der Rohware_____	Seite 70
Tab. 6.5	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): L^* -Werte der Rohware_____	Seite 71
Tab. 6.6	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): a^* -Werte der Rohware_____	Seite 71
Tab. 6.7	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): b^* -Werte der Rohware_____	Seite 72
Tab. 6.8	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Glucose-Gehalte der Rohware_____	Seite 74
Tab. 6.9	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Saccharose-Gehalte der Rohware_____	Seite 74
Tab. 6.10	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Fructose-Gehalte der Rohware_____	Seite 75
Tab. 6.11	Abkürzungsverzeichnis der unterschiedlichen Vorbehandlungen_____	Seite 79
Tab. 6.12	Trockensubstanzgehalte [%] der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)_____	Seite 80
Tab. 6.13	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Trockensubstanz- gehalte (Granny Smith)_____	Seite 81
Tab. 6.14	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Trockensubstanz- gehalte (Gala)_____	Seite 81
Tab. 6.15	Vitamin C-Gehalte [mg/100 g Trockensubstanz] der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)_____	Seite 83
Tab. 6.16	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Vitamin C-Gehalte (Granny Smith)_____	Seite 83
Tab. 6.17	Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Vitamin C-Gehalte (Gala)_____	Seite 84

Tab. 6.18 a_w -Werte der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)	Seite 85
Tab. 6.19 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): a_w -Werte (Granny Smith)	Seite 86
Tab. 6.20 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): a_w -Werte (Gala)	Seite 86
Tab. 6.21 F_{\max} [N] der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)	Seite 87
Tab. 6.22 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): F_{\max} (Granny Smith)	Seite 88
Tab. 6.23 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): F_{\max} (Gala)	Seite 88
Tab. 6.24 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): L^* -Werte (Granny Smith)	Seite 93
Tab. 6.25 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): L^* -Werte (Gala)	Seite 93
Tab. 6.26 Gemessene Farbwerte ($L^*a^*b^*$ -System) der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)	Seite 97
Tab. 6.27 Gehalt an Glucose, Saccharose und Fructose [g/100 g TS] der verarbeiteten Äpfel (Mittelwerte)	Seite 98
Tab. 6.28 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Glucosegehalte (Granny Smith)	Seite 99
Tab. 6.29 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Saccharosegehalte (Granny Smith)	Seite 100
Tab. 6.30 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Fructosegehalte (Granny Smith)	Seite 100
Tab. 6.31 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Glucosegehalte (Gala)	Seite 100
Tab. 6.32 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Saccharosegehalte (Gala)	Seite 101
Tab. 6.33 Multiple Range Test (LSD-Test 95 %): Fructosegehalte (Gala)	Seite 101
Tab. 6.34 Verzeichnis der Probennummern der Adsorptions- isotherme	Seite 102
Tab. 6.35 Übersicht über Code, Bezeichnung und Platzierung der Probe der sensorischen Beurteilung	Seite 106

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 2.1 Einfluss der Scheibendicke auf den Feuchtigkeitsgehalt während der osmotischen Trocknung von Cashew Äpfeln in einer 52 °Brix Zuckerlösung_____Seite 9
- Abb. 2.2 Einfluss der Scheibendicke auf den Wasserverlust von Cashew Äpfeln in einer 52 °Brix Zuckerlösung_____Seite 10
- Abb. 2.3 Einfluss der Scheibendicke auf den Feststoffgehalt während der osmotischen Trocknung von Cashew Äpfeln in einer 52 °Brix Zuckerlösung_____Seite 11
- Abb. 2.4 Einfluss der Scheibendicke auf den Gewichtsverlust (in %) während der osmotischen Trocknung von Cashew Äpfeln in einer 52 ° Brix Zuckerlösung_____Seite 12
- Abb. 2.5 Chemische Struktur der Ascorbinsäure bzw. L-Dehydroascorbinsäure_____Seite 17
- Abb. 4.1 Reflektometer_____Seite 37
- Abb. 4.2 Messung der Textur der Apfelwürfel mittels Texture Analyzer_____Seite 40
- Abb. 4.3 Messung der Fruchtfleischfestigkeit mit Penetrometer_____Seite 48
- Abb. 4.4 Farbschablone zur Beurteilung des Stärkeabbaus_____Seite 49
- Abb. 4.5 In Lugols Lösung getauchte Apfelhälften zur Beurteilung des Stärkeabbaus (links: Granny Smith, rechts: Gala)_____Seite 50
- Abb. 4.6 Klimakammern mit Salzlösungen und Proben_____Seite 52
- Abb. 4.7 Bewertungsbogen für die sensorische Beurteilung von Apfelproben_____Seite 55
- Abb. 5.1 Becherglas mit beschwerten Apfelwürfeln und Tauchlösung_____Seite 58
- Abb. 6.1 Trockensubstanzgehalte [%] der Rohware (Mittelwerte)_____Seite 66
- Abb. 6.2 Vitamin C-Gehalte [mg/100 g Trockensubstanz] der Rohware (Mittelwerte)_____Seite 67
- Abb. 6.3 a_w -Werte der Rohware (Mittelwerte)_____Seite 69
- Abb. 6.4 F_{max} -Werte der Rohware (Mittelwerte)_____Seite 70

Abb. 6.5	L [*] -, a [*] - und b [*] -Werte der Rohware (Granny Smith)	Seite 72
Abb. 6.6	L [*] -, a [*] - und b [*] -Werte der Rohware (Gala)	Seite 73
Abb. 6.7	Glucose-, Saccharose- und Fructosegehalte [g/100 g TS] der Rohware (Granny Smith)	Seite 75
Abb. 6.8	Glucose-, Saccharose- und Fructosegehalte [g/100 g TS] der Rohware (Gala)	Seite 76
Abb. 6.9	Reifeindex-Werte der Rohware	Seite 78
Abb. 6.10	Box-and-Whisker Plot: Vitamin C-Gehalt beider Apfelsorten (Zentralpunkte)	Seite 84
Abb. 6.11	Box-and-Whisker Plot: F _{max} osmotisch vorbehandelter Proben (Granny Smith)	Seite 89
Abb. 6.12	Box-and-Whisker Plot: F _{max} osmotisch vorbehandelter Proben (Gala)	Seite 89
Abb. 6.13	Grafische Darstellung der F _{max} des Texture Analysers (konvektionsgetrocknete, mit Saccharoselösung vorbe- handelte Granny Smith-Äpfel)	Seite 90
Abb. 6.14	Grafische Darstellung der F _{max} des Texture Analysers (konvektionsgetrocknete, mit Saccharoselösung vorbe- handelte Gala-Äpfel)	Seite 90
Abb. 6.15	Grafische Darstellung der F _{max} des Texture Analysers (gefriergetrocknete, mit Kaliumbisulfitlösung vorbe- handelte Granny Smith-Äpfel)	Seite 91
Abb. 6.16	Grafische Darstellung der F _{max} des Texture Analysers (gefriergetrocknete, mit Kaliumbisulfitlösung vorbe- handelte Gala-Äpfel)	Seite 91
Abb. 6.17	Box-and-Whisker Plot: L [*] -Werte (Granny Smith)	Seite 94
Abb. 6.18	Box-and-Whisker Plot: L [*] -Werte (Gala)	Seite 94
Abb. 6.19	Box-and-Whisker Plot: L [*] -Werte (mit Zitronensäure- bzw. Kaliumbisulfitlösung vorbehandelte, konvektions- getrocknete Granny Smith-Äpfel)	Seite 95
Abb. 6.20	Box-and-Whisker Plot: L [*] -Werte (mit Zitronensäure- bzw. Kaliumbisulfitlösung vorbehandelte, konvektions- getrocknete Gala-Äpfel)	Seite 95

- Abb. 6.21 Adsorptionsisotherme konvektionsgetrockneter Äpfel
nach 3 Tagen Lagerzeit_____Seite 104
- Abb. 6.22 Adsorptionsisotherme konvektionsgetrockneter Äpfel
nach 7 Tagen Lagerzeit_____Seite 104
- Abb. 6.23 Adsorptionsisotherme gefriergetrockneter Äpfel
nach 3 Tagen Lagerzeit_____Seite 105
- Abb. 6.24 Adsorptionsisotherme gefriergetrockneter Äpfel
nach 7 Tagen Lagerzeit_____Seite 105
- Abb. 6.25 Verkostungstablett mit Apfelproben und zugehörigen
Codes_____Seite 107
- Abb. 6.26 Grafische Darstellung sämtlicher Parameter der
sensorischen Beurteilung der konvektionsgetrockneten
Proben 2004, 8479, 1636 und 5582_____Seite 108
- Abb. 6.27 Grafische Darstellung sämtlicher Parameter der
sensorischen Beurteilung der gefriergetrockneten
Proben 2605 und 1973_____Seite 109
- Abb. 10.1 Mit Kaliumbisulfitlösung vorbehandelte,
konvektionsgetrocknete Apfelwürfel der Sorte
Granny Smith_____Seite 113
- Abb. 10.2 Mit Kaliumbisulfitlösung vorbehandelte,
konvektionsgetrocknete Apfelwürfel der Sorte Gala_____Seite 113
- Abb. 10.3 Osmotisch vorbehandelte, konvektionsgetrocknete
Apfelwürfel der Sorte Granny Smith_____Seite 114
- Abb. 10.4 Osmotisch vorbehandelte, konvektionsgetrocknete
Apfelwürfel der Sorte Gala_____Seite 114
- Abb. 10.5 Mit Zitronensäurelösung vorbehandelte, gefriergetrocknete
Apfelwürfel der Sorte Granny Smith_____Seite 115
- Abb. 10.6 Mit Zitronensäurelösung vorbehandelte, gefriergetrocknete
Apfelwürfel der Sorte Gala_____Seite 115

LEBENS LAUF

ANGABEN ZU MEINER PERSON

Name	Manuela Pichler
Geburtsdatum	03. Mai 1983
Geburtsort	Leoben
Name der Eltern	Erika und Rupert Pichler
Staatsangehörigkeit	Österreich
Anschrift	Lamingfeldsiedlung C4/4 8600 Bruck/Mur
Nebenwohnsitz:	Stättermayergasse 27-29/75 1150 Wien

SCHULBILDUNG

1989 – 1993	Volksschule Berndorf, Bruck/Mur
1993 – 1997	Gymnasium Bruck/Mur
1997 – 2002	HBLA für wirtschaftliche Berufe Leoben
2002 – 2008	Studium der Ernährungswissenschaften an der Universität Wien
seit 2008	Studium der Lebensmittelwissenschaften und -technologie an der Universität für Bodenkultur Wien

BISHERIGE BERUFSERFAHRUNG

Oktober 2004, Mai 2006	2-wöchiges Praktikum am Medizinischen Institut für Hygiene und Mikrobiologie, Abteilung für Lebensmittelhygiene, Wien
September 2005	4-wöchiges Feriapraktikum in der Betriebsküche des LKH Leoben
Mai 2007, Juli 2007	4-wöchiges Praktikum am Institut für Krankenhaushygiene und Mikrobiologie Graz
2002-2008	diverse Nebenjobs, zB bei Segafredo Zanetti GmbH, Roche Diagnostics etc.
Frühjahr 2008	Mitarbeit am Projekt „Österreichischer Saison- kalender für Obst und Gemüse“ der REWE Group Austria

BESONDERE KENNTNISSE

Computerkenntnisse	ECDL
Fremdsprachen	Englisch, Französisch