

# Veränderungen einiger Inhaltsstoffe und der Genußqualität von Äpfeln im Verlaufe der Lagerung

Von H. BOHLING\*)

## Einführung

Fortwährende Veränderung ist ein Charakteristikum alles Lebenden. So ist auch für isolierte Pflanzenteile – dazu gehört alles frische Obst und Gemüse – Veränderung eine Notwendigkeit. Die zugrunde liegenden aktiven Vorgänge werden gewöhnlich unter dem Begriff *Stoffwechsel* zusammengefaßt. Im Gegensatz zur intakten Pflanze ist die Gesamtbilanz dieser Umsetzungen stets negativ, da es sich buchstäblich um ein Zehren von der Substanz handelt.

Für die Nutzung von Obst und Gemüse sind wir darauf bedacht, den für die Ernährung des Menschen optimalen Zustand des frischen Nahrungsmittels möglichst gut und möglichst lange zu erhalten. Dem Wesen der Natur ist dieses Bemühen z. T. diametral entgegen gerichtet. Betrachtet man insbesondere fleischige Früchte, so sollte man sich im klaren sein, daß diese letztlich zum Verderb bestimmt sind und ihre biologische Funktion lediglich darin besteht, die Samen zu verbreiten.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf einige wenige Inhaltsstoffe bzw. sensorische Merkmale – Vitamin C, Säure, Zucker, Geschmack – über deren Veränderungen nach der Ernte z. T. widersprüchliche Auffassungen bestehen. Sie stützen sich im wesentlichen auf Ergebnisse von Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Lagerungsbedingungen auf die Genußqualität von Äpfeln der Sorte *Golden Delicious*. Das Ziel unserer Untersuchungen war nicht allein die isolierte Betrachtung der Veränderung einzelner Inhaltsstoffe, sondern auch deren Auswirkung auf den Genußwert und den ernährungsphysiologischen Wert der Früchte. Besondere Aufmerksamkeit wurde dabei dem zeitlichen Verlauf der stofflichen und sensorischen Veränderungen gewidmet.

## Material und Methoden

Das Versuchsgut wurde 1981 von der Universität Hohenheim, Versuchsstation für Intensivkulturen und Agrarökologie, Ravensburg bezogen, 1982 von dem Versuchsbetrieb Augustenberg des Landwirtschaftsamtes Karlsruhe-Durlach. Die Lagerung erfolgte

- a) bei 15°C in Luft,
- b) bei 3,5° bzw. 1°C in Luft (Kühllager),
- c) in kontrollierten Atmosphären (CA-Lager) mit 3 % CO<sub>2</sub>, 3 % bzw. 1 % O<sub>2</sub> und dem Rest N<sub>2</sub>. Die Temperatur im CA-Lager betrug ebenfalls 3,5° bzw. 1°C.

Während der gesamten Lagerungsdauer wurden in Abständen von 4–5 Wochen Zwischenproben gezogen, um den jeweiligen Zustand der Früchte analytisch und sensorisch zu charakterisieren. Die Bestimmung des Gehaltes an Gesamt-Vitamin-C erfolgte nach der Methode von TILLMANS (1927) (modifiziert nach A. WEDLER) die Zuckerbestimmung wurde enzymatisch vorgenommen (Boehringer, Mannheim GmbH, 1980, modifiziert), die Säurebestimmung titrimetrisch gegen 0,1 n NaOH und einen Mischindikator aus Bromthymolblau und Phenolrot. Die sensorische Beurteilung erfolgte auf der Basis der bewertenden Prüfung mit Skale nach DIN 10952, wobei das 9stufige Schema speziell der Apfelsorte *Golden Delicious* angepaßt war.

\*) Dr. H. BOHLING, Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Engesserstr. 20, D-7500 Karlsruhe 1

## Ergebnisse

### Vitamin-C-Gehalt

Vitamin C gilt allgemein als eine gegen Sauerstoff und Wärme empfindliche Verbindung, deren Erhaltungsgrad als Indikator für eine schonende Lebensmittelverarbeitung oder auch als Anhaltspunkt für die Frische von verderbsanfälligen Gemüsearten angesehen wird. So mag zunächst die Feststellung befremden, daß sich das Vitamin C bei der Lagerung von Kernobst als relativ stabil erweist. Tatsächlich trifft dies nur bei geeigneten Lagerungsbedingungen zu. Eine wichtige Voraussetzung für die Vitamin-C-Erhaltung ist die rasche Abkühlung des Erntegutes. Bei 15°C, d. h. etwa der Außentemperatur zur Zeit der Apfelernte, kommt es in kurzer Zeit zu erheblichen Verlusten an Vitamin-C. Eine Absenkung der Lagertemperatur auf 3°C führt zu einer drastischen Verzögerung der Abbauvorgänge; weitere Abkühlung auf 1°C verbessert die Vitamin-C-Erhaltung spürbar. Besonders günstig wirkt sich die Anwendung kontrollierter Atmosphären aus, wie Abbildung 1 erkennen läßt. Gelegentlich wurde sogar eine Zunahme des Vitamin C-Gehaltes in Äpfeln im CA-Lager festgestellt (HANSEN, 1978).

Vitamin C  
mg/100g Fr. Gew.

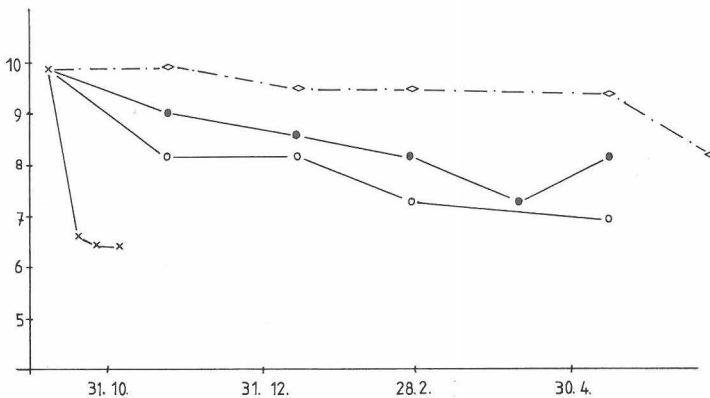


Abb. 1  
Veränderung des  
Vitamin-C-Gehaltes  
Change in the vitamin C  
content

× — Luft 15°C Air 15°C  
○ — Luft 3,5°C Air 3,5°C  
● — Luft 1°C Air 1°C  
◇ — CA 3% CO<sub>2</sub>/1% O<sub>2</sub>; 3,5°C

### Säuregehalt

Der Säuregehalt von Früchten ist eine wesentliche Komponente der sensorisch bedeutenden Inhaltsstoffe. Bei Äpfeln dominiert mit großem Abstand die Äpfelsäure über Citronensäure oder gar Bernsteinsäure. Während der Fruchtlagerung ist die Abnahme des Säuregehaltes eine der auffallendsten Erscheinungen. War dies bei manchen älteren Apfelsorten durchaus annehmbar oder gar erwünscht, z.B. bei der bekannten Sorte *Boskoop*, so kann bei einigen neueren Sorten der Säureverlust zum begrenzenden Faktor für die Lagerungsdauer werden.

Betrachtet man den Einfluß der Lagerungsbedingungen auf die Veränderung des Säuregehaltes der Früchte, so erweisen sich Maßnahmen, die die Stoffwechselaktivität generell drosseln, auch als vorteilhaft für die Erhaltung des Fruchtsäurespiegels. Eine Lagertempe-

ratur von 15°C führt innerhalb weniger Wochen zu einem starken Verlust der Früchte an titrierbarer Säure. Rasche Abkühlung ist dagegen ein wichtiges Mittel, den Säureabbau in Grenzen zu halten. Dennoch bleibt auch bei Temperaturen, die nur wenig über dem 0-

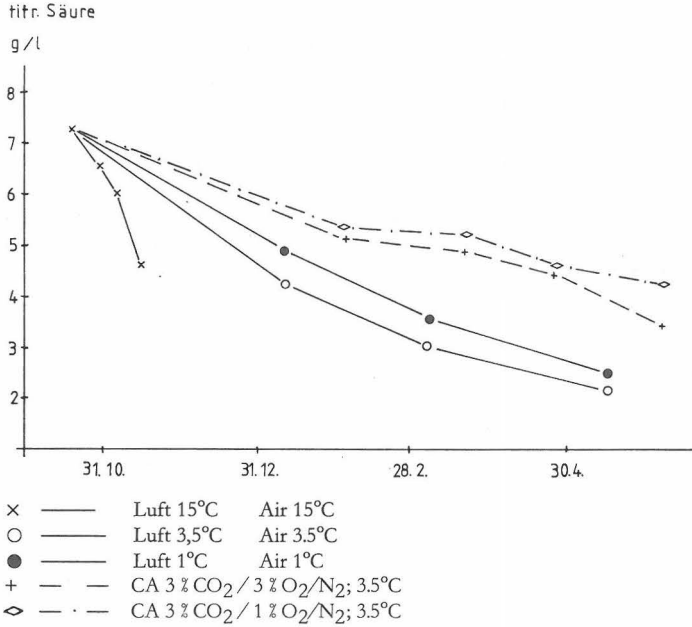


Abb. 2  
Veränderung des Gehaltes an titrierbarer Säure, berechnet als Äpfelsäure  
Change in the content of titratable acid, calculated as malic acid

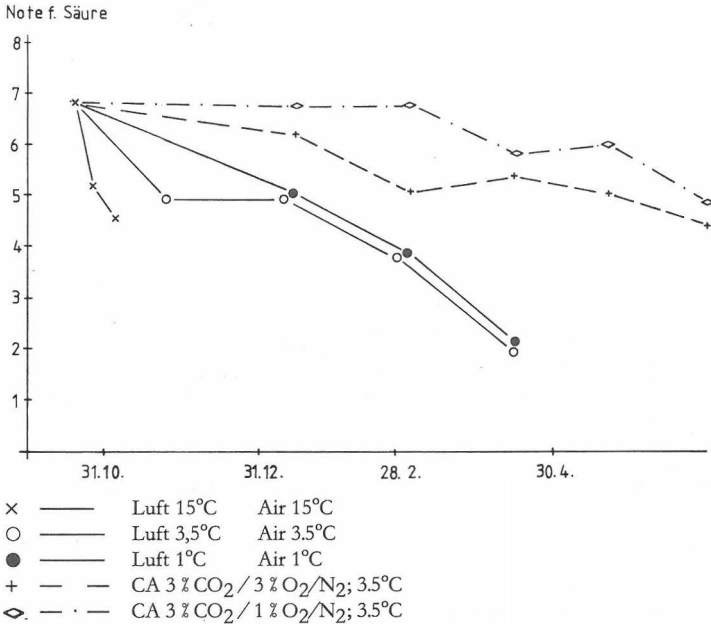


Abb. 3  
Veränderung des sensorisch wahrnehmbaren Säuregehaltes  
Change in the sensorily perceptible acid content

Punkt liegen, der Säureverlust beachtlich, wie aus Abbildung 2 hervorgeht. Selbst bei  $-1^{\circ}\text{C}$  stellte HANSEN (unveröffentlicht) eine erhebliche Abnahme des Säuregehaltes fest.

Drastisch verzögern läßt sich der Säureabbau durch Veränderung der Lageratmosphäre, d.h. durch geeignete CA-Bedingungen. Abbildung 2 verdeutlicht, daß durch eine Lageratmosphäre mit 3 %  $\text{CO}_2$  und 3 %  $\text{O}_2$  bei  $3,5^{\circ}\text{C}$  fast eine Halbierung der Abbaugeschwindigkeit gegenüber einer Luftatmosphäre gleicher Temperatur erzielt wird. Eine weitere Senkung des Sauerstoffgehaltes der Lageratmosphäre drosselt den Säureabbau nochmals beträchtlich und, wie aus Versuchen von HANSEN und RUMPF (1979) bekannt ist, trägt ein noch höherer  $\text{CO}_2$ -Gehalt (z.B. 6 %) dazu bei, besonders den Säureverlust des Lagergutes zusätzlich zu verringern.

Unsere Ergebnisse der sensorischen Prüfung decken sich hinsichtlich des Merkmals Säure weitgehend mit den analytisch ermittelten Daten: Der rasche Säureabbau bei  $15^{\circ}\text{C}$  wirkt sich in vollem Umfang auch auf die Sinneswahrnehmung aus, und die bessere Säureerhaltung bei einer Kühllagerung kommt in der sensorischen Bewertung deutlich zum Ausdruck. Dabei ist jedoch praktisch kein Unterschied zwischen den Lagertemperaturen  $3,5^{\circ}\text{C}$  und  $1^{\circ}\text{C}$  zu verzeichnen. Mit Abstand am besten wurde während der gesamten Lagerungszeit die Ware aus dem CA-Lager beurteilt. Temperaturbedingte Unterschiede zwischen den vergleichbaren Partien waren auch hier gering, während sich die Reduzierung des Sauerstoffgehaltes der Lageratmosphäre von 3 % auf 1 % durchaus in einer sensorisch wahrnehmbaren besseren Säureerhaltung widerspiegelte (Abb. 3).

### Zucker

Als Gegenspieler der Fruchtsäuren aber auch als komplementäre Geschmackskomponente hat der Zuckergehalt von Obstfrüchten eine besondere Bedeutung. Während sich der Zuckerverlust insgesamt als sehr gering erwies, sind die Veränderungen innerhalb des Zuckerspektrums während der Lagerung beträchtlich und stark von den Lagerungsbedingungen abhängig, wie unsere fortlaufenden Untersuchungen über den Gehalt der Äpfel an Saccharose, Glucose und Fructose zeigen. Die Hauptzuckerkomponente ist beim Apfel die Fructose. Das Verhältnis der einzelnen Zuckerarten zueinander variiert jedoch deutlich von Sorte zu Sorte und auch von Jahr zu Jahr. Bei *Golden Delicious* übertrifft die Fructose die Glucose um das 3–5fache, während der Saccharosegehalt sich zwischen denen der beiden Monosaccharide bewegt.

Der Saccharosegehalt erreicht ein Maximum zur Zeit der Fruchtreife, wenn die Reservestärke praktisch abgebaut ist. Im Verlaufe der Lagerung nimmt er kontinuierlich ab, in normaler Luftatmosphäre jedoch deutlich langsamer als unter CA-Bedingungen. Gerade dort, wo die Atmungshemmung am wirksamsten ist, nimmt die Saccharose am stärksten ab (Abb. 4).

Umgekehrt verlief in unseren Versuchen die Konzentrationsänderung der beiden Monosaccharide: Glucose und Fructose nahmen kräftig zu, und zwar besonders unter jenen Bedingungen, die zum stärksten Abbau der Saccharose führten. Die Temperaturdifferenz zwischen  $1^{\circ}$  und  $3,5^{\circ}\text{C}$  scheint dabei keine große Rolle zu spielen (Abb. 5).

Die unterschiedlichen und teilweise gegenläufigen Veränderungen der einzelnen Zuckerarten mit dem Sinnesindruck der Süße in Beziehung zu setzen, stößt auf gewisse Schwierigkeiten. Nach unseren bisherigen Erfahrungen nimmt die Intensität der Süße im Verlaufe der Lagerung leicht ab (Abb. 6), woraus auf eine Korrelation zwischen Süße und dem Gehalt an Saccharose geschlossen werden könnte. Die geringste Veränderung der Süße wurde jedoch gerade unter denjenigen Lagerungsbedingungen wahrgenommen, die den Analysenergebnissen zufolge zu dem stärksten Saccharoseabbau führten. Zur Klärung dieses Sachverhalts sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Saccharose

g / 100 g Fr. Gew.

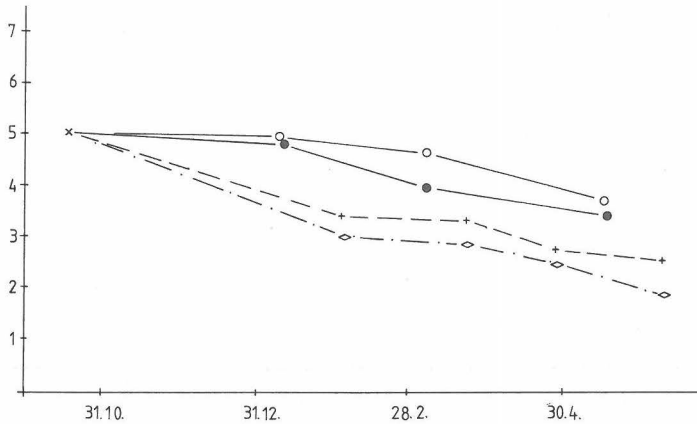


Abb. 4  
Veränderung des  
Saccharosegehaltes  
Change in the saccharose  
content

- — Luft 3,5°C Air 3,5°C
- — Luft 1°C Air 1°C
- + — CA 3% CO<sub>2</sub> / 3% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>; 3,5°C
- ◇ — CA 3% CO<sub>2</sub> / 1% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>; 3,5°C

Glucose (Gl) Fructose (Fr)

g / 100g Fr. Gew.

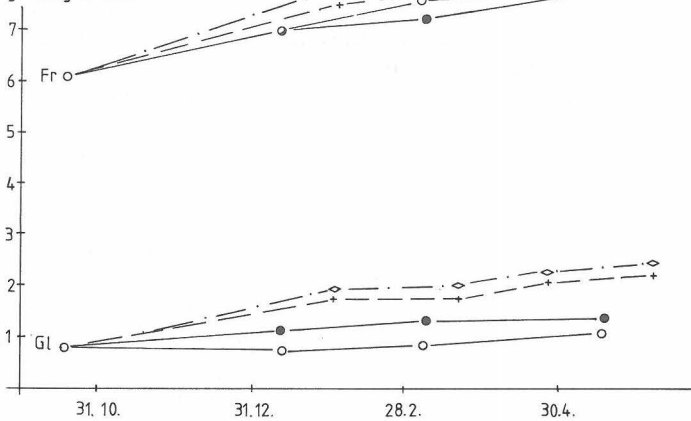


Abb. 5  
Veränderungen der  
Glucose (GL)- und  
Fructose-(FR) Gehalte  
Change in the  
glucose (GL) and  
fructose (FR) contents

- — Luft 3,5°C Air 3,5°C
- — Luft 1°C Air 1°C
- + — CA 3% CO<sub>2</sub> / 3% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>; 3,5°C
- ◇ — CA 3% CO<sub>2</sub> / 1% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>; 1°C

Geschmack

Mit dem Merkmal Geschmack verbinden wir vor allem den Aromagehalt der Früchte. Obwohl dies nicht streng der Definition nach DIN 10950 entspricht, haben wir bisher diese Bezeichnung bevorzugt, da es sehr schwer ist, die Aromawahrnehmung, die letztlich über den Geruchssinn erfolgt, exakt von Süße und Säure zu trennen. Mehrjährige Untersu-

chungen haben uns gezeigt, daß die Erhaltung des Geschmacks bzw. Aromas unter CA-Bedingungen deutlich besser ist als bei Lagerung in einer Luftatmosphäre und daß der Vorsprung der Partien aus einem CA-Lager ab Anfang Januar rasch zunimmt. Abbildung 7 veranschaulicht diese Befunde deutlich.

Note f. Süße

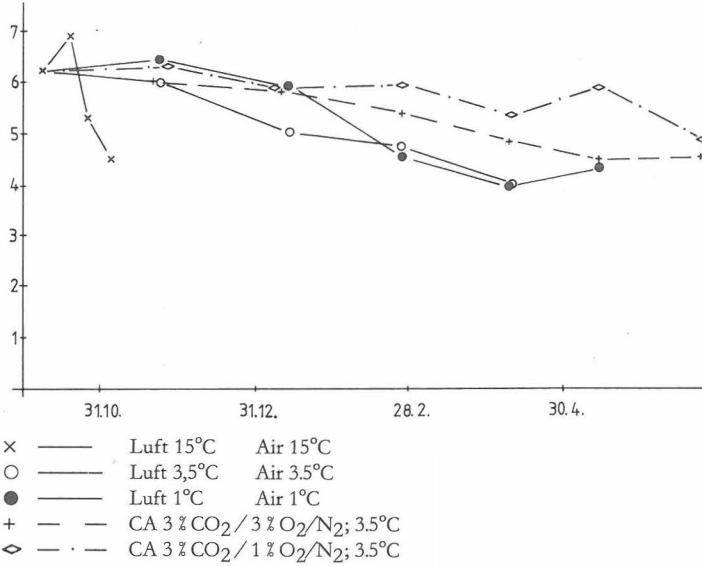


Abb. 6  
Veränderung der sensorisch  
wahrgenommenen Süße  
Change in the sensorily  
perceptible sweetness

Note f. Geschmack

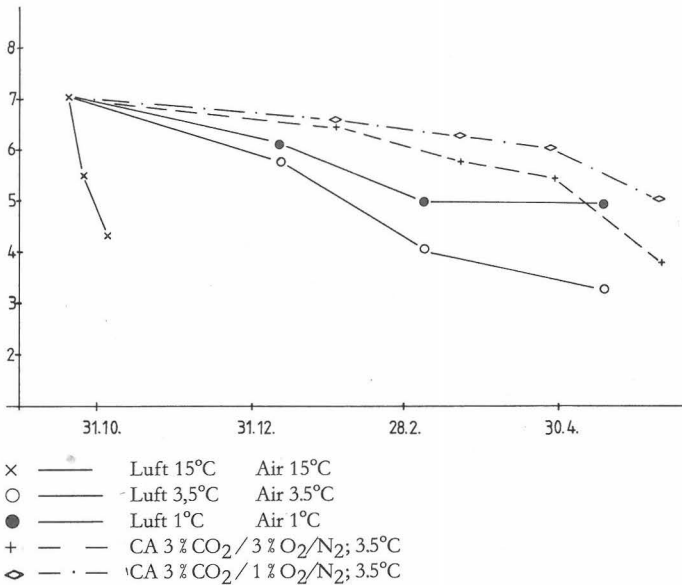


Abb. 7  
Veränderungen des  
Geschmacks (Aroma)  
Changes in taste (aroma)

## Diskussion

Obwohl dem Apfel eine geradezu sprichwörtliche Bedeutung für eine gesunde Ernährung nachgesagt wird, ist es kaum möglich, dies durch einen bestimmten Inhaltsstoff zu belegen, sondern erst das Zusammenwirken zahlreicher Faktoren rechtfertigt diese Wertschätzung. Als Vitamin-C-Quelle werden Äpfel einerseits angepriesen, andererseits abgewertet. Häufig werden dabei den *wertlosen neuen* Sorten die *vitamin-C-reichen* altbewährten Sorten gegenübergestellt. Beide extremen Urteile sind revisionsbedürftig, wie ein Blick auf Tabelle 1 erkennen läßt. Ergänzend zu den aufgeführten Analysenergebnissen sei bemerkt, daß die besonders niedrigen Vitamin-C-Werte von *Golden Delicious* und *Granny Smith* vor allem bei Importfrüchten aus südlichen Ländern gefunden wurden. Dies deutet auf eine zu frühe Ernte der betreffenden Partien hin, da der Vitamin-C-Gehalt durchweg bis zur Vollreife zunimmt (TRAUTNER und SOMOGYI, 1978).

Tab. 1  
*Vitamin C-Gehalt verschiedener Apfelsorten*  
*Vitamin C contents in different apple cultivars*

Apfelsorte	mg Vitamin C in 100 g Fischgewicht
Brettacher	8 – 10
Cox Orange	10 – 16
Freiherr vom Berlepsch	25 – 35
Geheimrat Oldenburg	3 – 7
Glockenapfel	6 – 8
Golden Delicious	5 – 17
Goldparmäne	11 – 18
Granny Smith	8 – 12
Idared	18 – 23
Jonagold	10 – 21
Jonathan	4 – 8
McIntosh	3 – 9
Morgenduft	3 – 4
Ontario	21
Schöner von Boskoop	10 – 16

Die starke Abnahme des Säuregehaltes von Kernobst während der Lagerung ist vielfach belegt. Auch über den Vorteil der CA-Lagerung gegenüber der Kühllagerung in Luftatmosphären bestehen kaum Meinungsverschiedenheiten. Dennoch bleibt der Säureabbau eine der auffallendsten Erscheinungen während der Lagerung von Kernobstfrüchten. Höhere CO<sub>2</sub>- wie auch niedrigere O<sub>2</sub>-Gehalte, als sie heute in der Lagerungspraxis üblich sind, vermögen offensichtlich den Säureverlust weiter zu reduzieren. Wie weit solche Maßnahmen ohne negative Auswirkungen auf die Fruchtqualität bleiben, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

Über die Nachernte-Veränderungen des Zuckergehaltes von Äpfeln findet man in der Literatur widersprüchliche Angaben. Unterschiede zeigen sich dabei nicht allein zwischen einzelnen Sorten, sondern auch zwischen verschiedenen Jahrgängen – und vermutlich auch verschiedenen Standorten. Da die Zuckerarten das wesentliche Atmungssubstrat von Kernobstfrüchten sind, erscheint es naheliegend, daß im Laufe einer längeren Lagerung deutliche Veränderungen im Zuckergehalt eintreten. Bei grober summarischer Bestim-

mung, wie sie mit dem Zuckerrefraktometer möglich ist, lassen sich indessen kaum Unterschiede zwischen Einlagerung und Auslagerung erkennen (ROEMER, 1973; HANSEN und RUMPF, 1979). Berechnet man den Verbrauch von organischem Substrat anhand der Atmungsaktivität, so ergibt sich, je nach Lagerungsbedingung, ein Verlust von 1–2 g Zucker/kg Äpfel in jeweils 100 Tagen, in einer gesamten Lagerungsaison also knapp 0,5 %. Die Ergebnisse unserer Zuckeranalysen wie auch der von STOLL et al. (1958) stimmen mit diesem rechnerischen Resultat recht gut überein, während andere Autoren teilweise merklich stärkere Zuckerabnahmen feststellen (GORIN, 1973; HANSEN und RUMPF, 1979; ROEMER, 1982). Einigkeit besteht über den Rückgang des Saccharosegehaltes, insbesondere unter CA-Bedingungen. Dieses Resultat sollte in Ernährungsempfehlungen für Diabetiker berücksichtigt werden. Glucose wurde im Verlaufe der Lagerung meist in zunehmender Menge gefunden; Fructose fand man z.T. leicht vermindert, z.T. nahezu unverändert, in wieder anderen Fällen – wie in unseren Versuchen – mit deutlich steigender Tendenz (GORIN, 1973; HANSEN und RUMPF, 1979; ROEMER, 1982; STOLL et al., 1958). Die Ursache für dieses verschiedenartige Verhalten der Fructose ist bisher nicht bekannt.

Die z.T. erheblichen Verschiebungen im Zuckerspektrum der Äpfel lassen auch sensorische Auswirkungen erwarten. Da die Süßkraft der Glucose bekanntlich viel geringer ist als die der Saccharose, kann die durch den Saccharoseabbau bedingte Abnahme der Süße nicht durch einen steigenden Glucosegehalt kompensiert werden. Eine Zunahme der Fructose, die im mittleren Temperaturbereich deutlich süßer schmeckt als Saccharose (FRICKER et al., 1973) könnte annähernd zu einem Ausgleich der Süße führen. Damit wären auch die Ergebnisse unserer sensorischen Prüfungen erklärbar.

Aufmerksamkeit verdienen unsere Resultate über die Veränderungen des Merkmals Geschmack, in dem vor allem das Aroma zum Ausdruck kommt. Kritik zahlreicher Verbraucher an gelagerten Äpfeln wurde gerade mit dem Hinweis auf mangelhaftes oder fehlendes Aroma begründet. Da auch in wissenschaftlichen Untersuchungen eine geringere Aromaabgabe von Früchten im CA-Lager als von gleichartigen in Luft gelagerten Äpfeln verzeichnet wurde (SHATAT, 1977), kommt unseren Ergebnissen für die Lagerungspraxis eine besondere Bedeutung zu.

### Zusammenfassung

Untersuchungen über Veränderungen einiger ernährungsphysiologisch wichtiger Inhaltsstoffe bzw. sensorisch bedeutsamer Merkmale von Äpfeln während der Lagerung unter verschiedenen Bedingungen führten bei der Sorte *Golden Delicious* zu folgenden Ergebnissen:

Der Vitamin-C-Gehalt nahm bei Aufbewahrung in Luft von 15°C in wenigen Wochen stark ab. Durch Senken der Lagerungstemperatur auf 3,5° bis 1°C und vor allem durch Anwendung modifizierter Lageratmosphären (CA-Lagerung) ließen sich die Verluste erheblich verringern oder sogar verhüten. In ähnlicher Weise erwies sich der Säuregehalt von den Lagerungsbedingungen abhängig. Der Säureabbau läßt sich jedoch nicht so wirksam vermindern wie der Vitamin-C-Verlust. Analytische und sensorische Befunde über den Rückgang des Säuregehaltes stimmten gut überein. Im Zuckergehalt der Äpfel wurde insgesamt kein nennenswerter Rückgang festgestellt. Deutliche Verschiebungen waren jedoch in den Anteilen der untersuchten Zuckerarten wahrzunehmen. Der Saccharosegehalt nahm – vor allem unter CA-Bedingungen – beträchtlich ab, während Glucose und Fructose in der Konzentration zunahm, besonders in kontrollierten Atmosphären. Der Sinneseindruck der Süße wurde im Verlauf der Lagerung schwächer, in Luft deutlicher als im CA-Lager. Die Ausprägung des Geschmacks, d.h. vor allem die Aromaintensität nahm während der Lagerung ab, am wenigsten jedoch unter CA-Bedingungen.



## Summary

BOHLING, H.: *Veränderungen einiger Inhaltsstoffe und der Genußqualität von Äpfeln im Verlauf der Lagerung (Changes in some ingredients of nutrition-physiological importance and in important sensory attributes of apples during storage)*.

Landwirtsch. Forsch. **36**, Kongreßband 1983

The following results were obtained from studies on changes in some ingredients of nutrition-physiological importance and in important sensory attributes of apples of the variety *Golden Delicious* during storage under various conditions:

During storage in air at 15°C the vitamin C content decreased strongly within a few weeks. The losses were considerably reduced or even prevented by lowering the storage temperature to 3,5–1°C, and primarily by application of modified storage atmospheres (CA storage). Also the acid content was found to depend on the storage conditions. However, acid degradation is not as much reduced as losses in vitamin C. Analytical and sensory findings regarding the acid content corresponded well to each other. The sugar content of the apples decreased only insignificantly. However, distinct changes in the proportions of the sugar kinds investigated were observed. The saccharose content decreased considerably – especially under CA conditions –, whereas the concentrations of glucose and fructose increased, especially under controlled atmospheres. The sensation of sweetness decreased during storage in air more than in CA stores. The taste, i.e. primarily the aroma intensity, decreased during storage, but least so under CA conditions.

## Literatur

- BOEHRINGER Mannheim GmbH: Methoden der enzymatischen Lebensmittelanalytik. 1980
- FRICKER, A., PROCHAZKA, E. und GUTSCHMIDT, J.: Die Süßkraft von Fructose in Abhängigkeit von Temperatur, Konzentration und Substrat. *Lebensm. Wiss. u. Technol.* **6**, 63–65, 1973
- GORIN, N.: Several Compounds in Golden Delicious Apples as Possible Parameters of Acceptability. *J. Agr. Food Chem.* **21**, 670–673, 1973
- HANSEN, H.: Der Vitamin-C-Gehalt neuer Apfelsorten nach der Ernte und optimaler Lagerung. *Obst und Garten* **97**, S. 94, 1978
- HANSEN, H. und RUMPF, G.: Wertgebende Inhaltsstoffe in Äpfeln nach der Lagerung unter Berücksichtigung der neu im Anbau befindlichen Sorten. *Erwerbsobstbau* **21**, 8–11, 1979
- ROEMER, K.: Verhalten von Obst und seinen wertbestimmenden Inhaltsstoffen während und nach verschiedenen Lagerverfahren. *Landwirtsch. Forsch.*, 30/Sonderh. I.: Stand und Leistung agrikulturnchemischer und agrarbiologischer Forschung XXVI, 87–90, 1974
- ROEMER, K.: Das Verteilungsmuster von Zuckern bei der Lagerung von Äpfeln. *Erwerbsobstbau* **24**, 196–198, 1982
- SHATAT, F.: Zur Wirkung unterschiedlicher Lagerverfahren, insbesondere der Lagerung unter reduziertem Druck (LRD), auf die Produktion von Apfel- und Bananenaromen sowie auf andere qualitätsbestimmende Merkmale des Apfels während der Lagerung. Diss., Stuttgart-Hohenheim. 1977
- STOLL, K., KOCHER, V., GERBER, H. und BUSSMANN, A.: Untersuchungen an Lageräpfeln. I. Mitteilung. Der allgemeine Reifeverlauf sowie die Zucker- und Säuregehalte der Sorten Boskoop und Jonathan in Abhängigkeit verschiedener Lagerungsbedingungen. *Mitt. Lebensmittelunters. u. Hygiene* **49**, 172–181, 1958
- TILLMANS, J.: Über die Bestimmung der elektrischen Reduktions-Oxidations-Potentiale und ihre Anwendung in der Lebensmittelchemie. *Zeitschr. Unters. d. Lebensmittel* **54**, 33–42, 1927
- TRAUTNER, K. und SOMOGYI, J. C.: Änderungen der Zucker- und Vitamin-C-Gehalte in Früchten während der Reifung. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **69**, 431–446, 1978