

Alexander Rohrbach, Bernd Herold, Manuela Zude, Potsdam-Bornim, und Gerhard Kast, Cottbus

# Zerstörungsfreie Apfelreifebestimmung

## Einsatz der Spektralanalyse im sichtbaren Wellenlängenbereich an verschiedenen Anbaustandorten

*Mit der Spektralanalyse kann im Apfelanbau die reifeabhängige Veränderung der grünen Grundfarbe zerstörungsfrei bestimmt werden. Dabei stellt der Fruchtchlorophyllgehalt einen sensitiven Reifeindikator dar, der durch Messung der charakteristischen Lichtabsorption im sichtbaren Wellenlängenbereich ermittelt wird.*

*In ersten Vergleichsmessungen an unterschiedlichen Anbaustandorten wurde die Entwicklung des Fruchtchlorophyllgehaltes bei der Apfelsorte 'Elstar' spektrometrisch gemessen, um dadurch den regionalen Einfluss auf die Fruchtreifentwicklung bewerten zu können.*

Dipl.-Ing. Alexander Rohrbach, Dr. Bernd Herold und Dr. Manuela Zude sind Mitarbeiter der Abteilung "Technik im Gartenbau" am Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14149 Potsdam (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zanke); e-mail: [arohrbach@atb-potsdam.de](mailto:arohrbach@atb-potsdam.de)  
Die Projektarbeiten wurden in Kooperation mit Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Kast, Geschäftsführer der Firma UP Umweltanalytische Produkte GmbH durchgeführt.

### Schlüsselwörter

Fruchtchlorophyllabsorption, zerstörungsfreie Messung, optimaler Erntezeitraum, regionaler Einfluss

### Keywords

Fruit chlorophyll absorption, non-destructive detection, optimum harvest date, regional factors

Äpfel, die in den Handel kommen, müssen den EU-weit geltenden Vermarktungsnormen sowie den Qualitätsansprüchen der Verbraucher entsprechen. Daher ist es wichtig, die Früchte in einem geeigneten Reifestadium zu ernten. Zu diesem Zeitpunkt sollten sie bereits eine gute Geschmacksqualität entwickelt haben, aber andererseits für eine erfolgreiche Langzeitlagerung nicht zu reif sein [1]. Der dafür optimale Erntezeitraum (OHD, *optimum harvest date*) ist abhängig von der Sorte, dem Anbauggebiet, der saisonalen Witterung [2] sowie vom Verwendungszweck (Direktvermarktung oder Lagerung).

Bisher erfolgt die Ermittlung des OHD durch zeitaufwendige, destruktive Messun-

gen des Stärkeindex, der Fruchtfleischfestigkeit und des Brix-Wertes. Der ebenfalls mögliche Einsatz von Farbtafeln ist zwar zerstörungsfrei, liefert aber keine objektiven Ergebnisse.

In den letzten Jahren wurden weltweit intensive Forschungen betrieben, um eine zerstörungsfrei arbeitende Methode für die Reife- und Qualitätsbestimmung von Obst und Gemüse zu entwickeln. Die Spektralanalyse stellte sich als eine vielversprechende Technologie für den Gartenbau heraus. Basierend auf der Absorptionsmessung des Lichtes, ermöglicht diese Methode eine schnelle, objektive und beliebig wiederholbare Einzelfruchtuntersuchung. Dabei absorbieren im sichtbaren Wellenlängenbereich von 400 nm bis 750 nm neben anderen Pigmentgruppen vorrangig die Chlorophylle [3]. Untersuchungen belegen, dass eine enge Korrelation zwischen dem Reifegrad der Frucht und dem Umschlagen der grünen Grundfarbe infolge des Fruchtchlorophyllabbaus besteht [4]. Eine große modifizierende Wirkung hat dabei die Lage des Anbaugbietes mit ihren Klima- und Witterungsfaktoren wie etwa Belichtungsintensität und Temperaturregime.

In der vorliegenden Arbeit soll die Spektralanalyse hinsichtlich ihrer Eignung erprobt werden, den OHD einer Apfelsorte an verschiedenen Anbaustandorten zerstörungsfrei zu bestimmen.

### Eingesetzte Methoden zur Apfelreifebestimmung

Die spektrometrischen Messungen wurden in der Saison 2002 während der KW 35 bis 37 in wöchentlichen Abständen an fünf verschiedenen Anbaustandorten in Deutschland und der Schweiz (Bild 1) durchgeführt. Dabei erfolgte an jedem Standort die Aufzeichnung der partiellen Transmissionspektren von 30 frisch geernteten Äpfeln der Sorte 'Elstar'. Anschließend wurde das ART-System (Fa. UP, Cottbus) eingesetzt, um von jedem Apfel die destruktiven Referenzwerte: Fruchtfleischfestigkeit, Gehalt löslicher Trockensubstanz (TSS) und Stärke-Index zu bestimmen. Zusätzlich wurden am Institut für Agrartechnik Bornim e.V. von Äpfeln

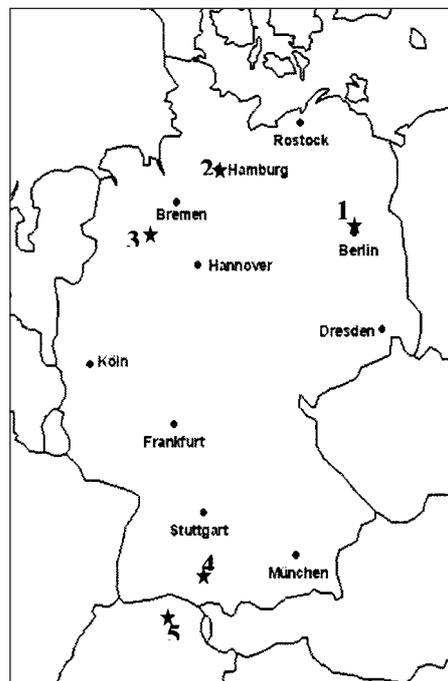


Bild 1: Am Versuch beteiligte Anbaustandorte: 1) Werder, Direktvermarkter Fa. Neumann; 2) Jork, Obstversuchsanstalt der Landwirtschaftskammer Hannover; 3) Osnabrück, Fachhochschule: FG Obst- und Gartenbau; 4) Bavendorf, Obstbauversuchsanlage der Universität Hohenheim; 5) Wädenswil, Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau

Fig. 1: Cultivation locations participating in the experiment

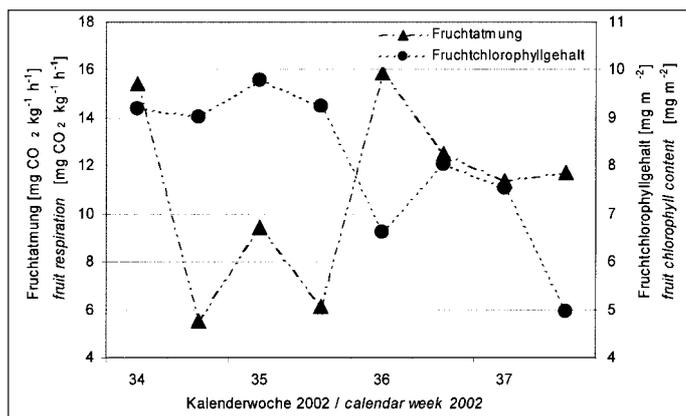


Bild 2: Entwicklung des *nass-chemisch bestimmten Fruchtklorophyllgehaltes und der Fruchtatmung bei 'Elstar'-Äpfeln* ( $n = 30$ ) aus dem Werderaner Anbauggebiet.

Fig. 2. Development of *wet-chemically determined fruit chlorophyll content and of fruit „breathing“ of Elstar-apples* ( $n=30$ ) from the area of Werder

aus dem Werderaner Anbauggebiet zwei mal wöchentlich die Fruchtatmungsrate ermittelt und der Fruchtklorophyllgehalt *nass-chemisch* bestimmt.

Das eingesetzte portable Spektrometer war modular aufgebaut und bestand aus einem Netzteil, einem Beleuchtungsmodul mit 20 W Halogenlampe, einer elektronischen Steuereinheit, einem Spektrometermodul (MMS1 NIR enh., Zeiss-Jena) sowie einer Fruchtsonde mit Glasfaserkabeln und SMA-Anschlüssen (Fa. tec 5, Oberursel). Das Minispektrometer wurde mit Hilfe eines Notebook PC (Pentium 166 MHz, 16 MB RAM, WIN 95) betrieben [3].

Während eines Messvorganges dringt weißes Licht vom Beleuchtungsmodul über vier Sendefasern in die Frucht ein. Das eindringende Licht trifft auf die subkutane Zellstruktur sowie den darin befindlichen Verbindungen und wird entweder an den zellulären Bestandteilen gestreut oder von den Verbindungen absorbiert. Beim Wiederaustritt des Lichts erfolgt die Aufnahme durch eine Empfangsfaser, die es zur spektralen Aufspaltung im Spektrometer weiterleitet. Ein Messvorgang dauert drei bis vier Sekunden.

Die aufgezeichneten partiellen Transmissionsspektren der Früchte zeigen zwischen 660 nm und 680 nm ein typisches Minimum, das charakteristisch für die Lichtabsorption des Chlorophylls in diesem Wellenlängenbereich ist und nach dem Lambert Beer'schen Gesetz Informationen über die Konzentration dieser Moleküle enthält. Für die Analyse des Chlorophyllgehaltes hat es sich bewährt, vom Spektrum die zweite Ableitung zu bilden und dessen Nulldurchgang ( $f''(\lambda) = 0$ ) auf der Wellenlängenchse (im Originalspektrum = Wendepunkt) an der roten langwelligen Flanke der Chlorophyllabsorptionsbande (*Red-edge*) zu bestimmen. Anhand dieses Wendepunktes kann auf den entsprechenden Chlorophyllgehalt kalibriert werden [3].

### Entwicklung der Reifeparameter

Die Äpfel aus dem Werderaner Anbauggebiet, die in der KW 36 geerntet wurden, zeigten einen starken Anstieg ihrer Fruchtatmung (Bild 2), wodurch der OHD zur Einlagerung an diesem Standort auf die KW 36 festgelegt werden konnte. Im gleichen Zeitraum nahm auch der *nass-chemisch* ermittelte Fruchtklorophyllgehalt dieser Früchte stark ab (Bild 2). Zwischen den *Red-edge* Werten und den *nass-chemisch* ermittelten Fruchtklorophyllgehalten dieses Standortes lag das Bestimmtheitsmaß bei  $R^2=0,88$ .

Die spektrometrischen Messungen an den einzelnen Versuchsstandorten zeigten eine einheitliche Entwicklung. Mit zunehmender Reife der 'Elstar'-Äpfel, und gleichzeitiger Abnahme des Fruchtklorophyllgehaltes, verschob sich der *Red-edge* hin zu niedrigeren Wellenlängenwerten. Erwartungsgemäß stieg der destruktiv ermittelte TSS-Gehalt bei jedem Messtermin stetig an, während die Fruchtfleischfestigkeit und der Stärkeindex abnahmen. Deutliche Unterschiede wurden jedoch zwischen den Regionen festgestellt. Die Äpfel der beiden südlichen Standorte (Bavendorf und Wädenswil) wiesen gegenüber den Äpfeln der drei nördlichen Standorte: Osnabrück, Werder und York zu allen drei

Messterminen einen niedrigeren *Red-edge* auf (Bild 3). Auch anhand des TSS-Gehaltes wurde der regionale Einfluss deutlich, denn die Refraktometerwerte im Süden lagen gegenüber den Werten im Norden bei allen Terminen auf einem höheren Niveau. Der niedrigere *Red-edge* und der höhere TSS-Gehalt charakterisieren für die Apfelsorte 'Elstar' eine fortgeschrittene Frucht reife und ein früheres Erreichen des OHD in Bavendorf und Wädenswil gegenüber den nördlichen Standorten.

Die vorliegenden Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Spektralanalyse eine geeignete Methode darstellt, um an verschiedenen Anbaustandorten den OHD einer Apfelsorte zerstörungsfrei zu bestimmen.

### Ausblick

Zur Bestätigung dieser Ergebnisse sind für die Jahre 2003 und 2004 weitere Versuchsreihen an den verschiedenen Standorten geplant unter Ausbau der Kooperation nach Skierniewice, Polen.

### Literatur

- [1] Streif, J.: Reife- und Qualitätsindexe - Pflückbestimmung und Erntefenster bei Äpfeln. Interpoma '98, 1st European specialised fair with conference: "The apple in the world: growing, storage, marketing", S. 111-118
- [2] Zude-Sasse, M. et al.: Nichtdestruktive spektralanalytische Analyse der Frucht reife. Landtechnik 56 (2001), H. 4, S. 284-285
- [3] Herold, B. et al.: Zerstörungsfreie Bestimmung des Entwicklungsstadiums von Obst. Landtechnik 55 (2000), H. 3, S. 224-225
- [4] Zude-Sasse, M.: Comparison of indices and multivariate models to non-destructively predict the fruit chlorophyll by means of visible spectrometry in apple fruit. Analytica Chimica Acta 481 (2003), S. 119-126

Bild 3: Verschiebung des Wendepunktes der langwelligen Flanke der Chlorophyllabsorptionsbande (*Red-edge*) im Verlauf der Frucht reife, zerstörungsfreie spektrometrische Messung an Äpfeln ( $n = 30$ ) der Sorte 'Elstar' zu drei Terminen an fünf verschiedenen Anbaustandorten in Deutschland und der Schweiz.

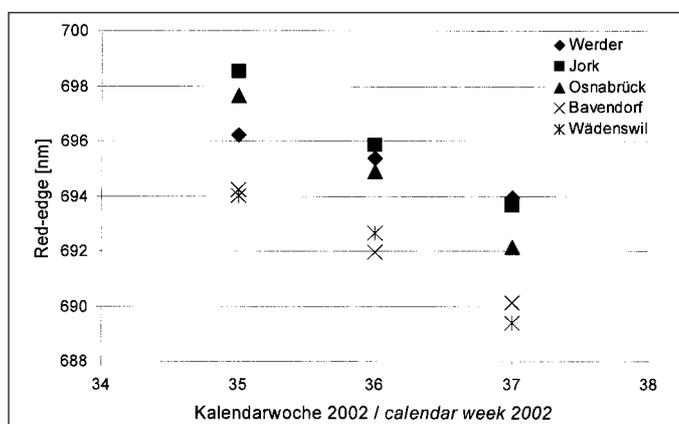


Fig. 3: Shifting of the turning point of the long wave edge of chlorophyll absorption bands (*red-edge*) in the course of fruit ripening, non-destructive spectrometric measuring of apples ( $n=30$ ) of Elstar variety at five cultivation locations in Germany and Switzerland