

# Zerstörungsfreie Bestimmung des Entwicklungsstadiums von Obst

*Die Reifeentwicklung bei Apfel und anderen Früchten ist ein wichtiges Kriterium für die Entscheidung über den Erntetermin, welche bisher häufig subjektiv nach Augenschein getroffen wird. Für einige Sorten werden Farbtafeln zur vergleichenden Bewertung der Grundfarbe genutzt.*

*Durch spektrometrische Messung lässt sich die Grundfarbe ebenfalls zerstörungsfrei, aber wesentlich exakter bestimmen. Mit Hilfe eines Miniatur-Spektrometers mit Glasfasersonde ist es möglich, die Veränderung der Grundfarbe während der Ernteperiode sehr sensibel an Hand der chlorophyllspezifischen Lichtabsorption im Wellenlängenbereich von 600 bis 750 nm nachzuweisen.*

Dr. Bernd Herold, Dr. Manuela Zude-Sasse und Dipl.-Ing. Ingo Truppel sind Mitarbeiter und Dr. Martin Geyer ist Leiter der Abteilung „Technik im Gartenbau“ am Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zanke); e-mail: bherold@atb-potsdam.de  
Die Projektarbeiten werden finanziell durch die Europäische Kommission (FAIR97-3399) unterstützt.

## Schlüsselwörter

Reifebestimmung bei Apfel, Minispektrometer, teilweise Lichttransmission, Chlorophyllabsorption

## Keywords

Ripeness determination on apple, mini spectrometer, partial light transmission, chlorophyll absorption

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 00308 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Marktqualität von Obst wird wesentlich durch den Reifegrad der Früchte bestimmt. Ein Apfel kann seinen sortenspezifischen Geschmack nur entfalten und damit seine höchste Qualität erreichen, wenn er vor dem Pflücken ausreichend entwickelt ist. Der Erzeuger muss daher in der Ernteperiode ständig über den Entwicklungs- und Reifeverlauf seiner Obstbestände informiert sein. Da die Früchte in einem Bestand sich nicht gleichmäßig entwickeln, ist für eine Ernte in optimaler Qualität ein selektives Pflücken in mehreren Pflückgängen zu planen. Um die erntewürdigen Früchte richtig zu erkennen, wird Pflückpersonal mit spezifischen Erfahrungen benötigt. Dabei bereitet die objektive Bestimmung des Reifegrades der Früchte erhebliche Schwierigkeiten.

## Konventionelle Reifebestimmung

In den EU Qualitätsnormen [1] sind keine quantitativen Angaben zur Bestimmung des Reifegrades, sondern nur qualitative Merkmale zur Beschreibung des Reifeprozesses (Anstieg der Atmungsaktivität, Entwicklung von Äthylen) aufgeführt. Beurteilt wird die Fruchtentwicklung nach folgenden Kenngrößen: Grundfarbe, Fruchtfleischfarbe, Stärkeabbau, Fruchtfleischfestigkeit, Größe, Brix-Wert, Säuregehalt und Zucker-Säure-Verhältnis. Die Bestimmung dieser Kenngrößen außer Größe und Grundfarbe ist jedoch nur bei Zerstörung der Frucht durchführbar und für die Erzeuger zu aufwendig.

Ein weit verbreitetes Kriterium für die Bestimmung des Erntezeitpunktes ist der Index nach Streif, der die Fruchtfleischfestigkeit, den Stärkeabbau und den Brix-Wert berücksichtigt. Weniger brauchbare Ergebnisse lieferte ein modifizierter Index, bei dem der  $a^*$ -Wert ( $L^*a^*b^*$ -Farbraum) als nicht-destruktives Maß für die Grundfarbe das destruktive Maß für den Stärkeabbau ersetzt [2]. Da der  $a^*$ -Wert durch rote Deckfarbpigmente beeinflusst werden kann, ist seine Nutzung problematisch. Für die Praxis könnte daher eine kostengünstige technische Lösung sehr hilfreich sein, mit deren Hilfe das Stadium der Fruchtentwicklung und der Fruchtreife völlig zerstörungsfrei, schnell und mit ausreichender Genauigkeit gemessen werden kann.

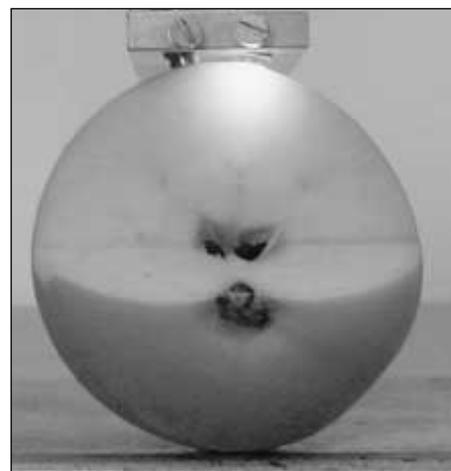


Bild 1: Sonde für teilweise Transmission (Ausbreitung des Lichts von der Sendefaser im Fruchtfleisch eines Apfels)

Fig. 1: Sensor probe for partial transmittance (light emission from emitting fibre in the fruit tissue of the apple)

Die Möglichkeiten zur messtechnischen Realisierung eines geeigneten nicht-destruktiven Verfahrens für die Bestimmung der Fruchtreife werden mit unterschiedlichen Messverfahren untersucht. Nach aller Erfahrung wird es jedoch notwendig sein, bei der Nutzung nicht-destruktiver Methoden eine Kalibrierung an Hand der bewährten destruktiven Verfahren durchzuführen.

## Spektrometrische Bestimmung der Grundfarbe

Am ATB werden Untersuchungen durchgeführt, einen Sensor zur Bestimmung der Grundfarbe zu entwickeln. Auf Grund vorliegender Ergebnisse [3] wurde ein spektrometrisches Messverfahren ausgewählt. Von der Industrie sind miniaturisierte Spektrometermodule geringer Masse und mit Abmessungen von wenigen Zentimetern verfügbar, welche die gestellten Anforderungen an Messbereich, spektrale Auflösung, Empfindlichkeit und Messgeschwindigkeit grundsätzlich erfüllen. Unter Verwendung von Glasfasersonden wird untersucht, inwieweit dieser Sensor ausreichend an die praktischen Einsatzbedingungen angepasst werden kann.

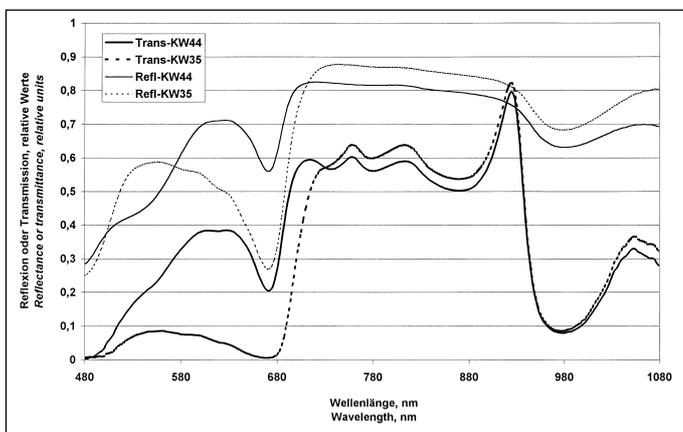


Bild 2: Beispiele für Reflexions- und Transmissionspektren bei "Jonagold" an zwei Ernteterminen (Kalenderwoche 35 und 44)

Fig. 2: Examples of reflectance and transmittance spectra of "Jonagold" at two harvesting dates (calendar week 35 and 44)

Für Laboruntersuchungen wurde ein modular aufgebautes, mobil einsetzbares Spektrometer für den Wellenlängenbereich des sichtbaren und des nahinfraroten Lichts (400 bis 1000 nm) verwendet. Es besteht aus einer Stromversorgung (über Netz oder Batterie), einer Steuereinheit, einem Beleuchtungsmodul mit Halogenlampe 20 W und einem Spektrometermodul (ZEISS MMS1). Die spektrale Auflösung (Rayleigh-Kriterium) beträgt 10 nm. Das Spektrum wird mit Hilfe eines Diodenarraydetektors mit 256 Pixeln aufgefächert. Der spektrale Pixelabstand beträgt 3,3 nm. Die Messköpfe werden über universell verwendbare Quarzglasfaserbündel mit SMA Anschluss mit dem Beleuchtungs- und dem Spektrometermodul verbunden. Dieses Minispektrometer wird mit Hilfe eines Notebook PC (Pentium 166 MHz, 16 MB RAM, WIN95) betrieben und kann für unterschiedliche Messarten ausgerüstet werden. Die Nutzersoftware wurde selbst entwickelt und enthält Module für die Kalibration, unterschiedliche Messarten, einen Direktansichtmodus, eine automatische Empfindlichkeitsanpassung an verschiedene Spektralbereiche, eine Fehlersignalisierung sowie Datenverarbeitungsfunktionen. Für die hier vorgestellten Ergebnisse wurde mit automatischer Empfindlichkeitsanpassung gemessen, um ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis zu sichern.

### Messung der teilweisen Lichttransmission

Für Messungen an Früchten wurden bisher eine Sonde für diffuse Reflexion an der Fruchtoberfläche (integrierende Kugel mit Messöffnung 5 mm Ø) sowie eine Sonde für Transmission durch die Schale und das angrenzende Fruchtfleisch eingesetzt („teilweise Transmission“). Beim Apfel ist die Grundfarbe sowohl von der Fruchtschale als auch vom angrenzenden Fruchtfleisch abhängig. Um den Einfluss beider Komponenten in der Messung zu erfassen, wurde die Sonde für teilweise Transmission verwendet.

Sie besteht aus einer Halterung mit zwei getrennt geführten Lichtfasern für das gesendete und das empfangene Licht (Bild 1). Die Sendefaser koppelt Licht einer Halogenlampe an einer Stelle der Fruchtoberfläche ein. Das eindringende Licht wird auf Grund der Zellstruktur im Gewebe des Fruchtfleischs gestreut, wobei es in Abhängigkeit von dessen biochemischer Konstitution bei bestimmten Wellenlängen absorbiert wird. Die Empfangsfaser nimmt einen Teil des gestreuten Lichts auf und leitet ihn zum Spektrometer. Die Messdauer einer Einzelmessung betrug drei bis vier Sekunden.

Untersuchungen mit beiden Sonden an den gleichen Früchten zeigten, dass sich das Spektrum der teilweisen Transmission deutlich vom Spektrum der diffusen Reflexion an der Fruchtoberfläche unterscheidet. Die spezifische Absorption von Chlorophyll bei 680 nm und von Wasser bei 980 nm ist im Spektrum der teilweisen Transmission durch die Schale und das Fruchtfleisch wesentlich stärker ausgeprägt (Bild 2). Darüber hinaus ist im Transmissionspektrum zwischen 480 und 650 nm auch eine höhere Absorption durch Deckfarbepigmente (Anthocyane) und Karotinoide zu sehen. Das Spektrum der teilweisen Transmission weist auch im nahinfraroten Bereich bei 735, 780 und 870 nm markante Absorptionsbanden auf, die sich anscheinend weniger oder nicht mit der Chlorophyllabsorption überlagern.

### Bewertung des abnehmenden Chlorophyllgehalts

Die Grundfarbe wird durch die chlorophyllspezifische Lichtabsorption bestimmt. Eine geeignete Kenngröße für die Bewertung des Chlorophyllgehalts in Pflanzenmaterial ist die Lage des Wendepunkts im Anstieg der langwelligen Flanke der Chlorophyllabsorption [4, 5]. Zur Prüfung dieses Sachverhalts wurden an zwei Apfelsorten umfangreiche Messreihen durchgeführt. Je Kalenderwoche und Sorte wurden 20 Früchte geerntet und jeweils zwei Messungen an gegenüber-

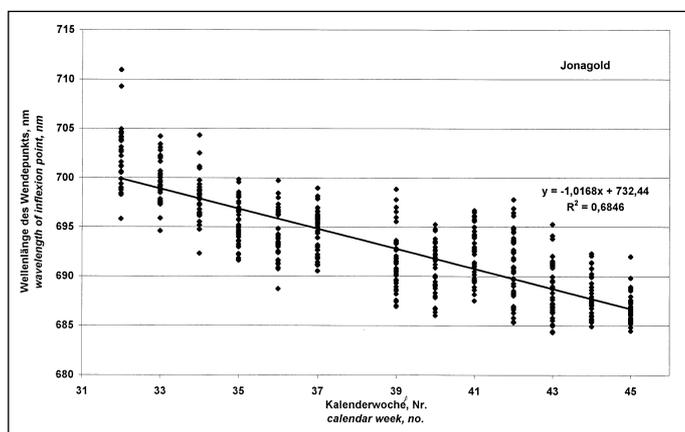


Bild 3: Wellenlängenverschiebung des Wendepunktes im Transmissionspektrum bei "Jonagold" im Zeitraum von September bis November 1999

Fig. 3: Wavelength shift of inflexion point in transmittance spectrum of "Jonagold" during the period of September to November 1999

liegenden Stellen jeder Frucht durchgeführt. Da die Ankopplung der Spektrometersonde an Fruchtoberflächen unterschiedlicher Gestalt die Messwerte beeinflusst, ist die Variabilität im Originalspektrum sehr hoch (so bei Verwendung der Differenzwerte bei den Wellenlängen 750 und 670 nm). Deshalb wertet man bevorzugt die weniger davon beeinflussten Derivativspektren (erste und zweite Ableitung nach der Wellenlänge) aus. In der zweiten Ableitung ergibt sich der Wendepunkt an der Flanke der Chlorophyllabsorption als Schnittpunkt mit der Wellenlängenachse (Nulldurchgang). Die Wellenlänge dieses Schnittpunkts kann relativ einfach auf numerischem Wege bestimmt werden. Der Wendepunkt verschiebt sich mit fortschreitender Fruchtentwicklung in der Herbstperiode signifikant in Richtung kleinerer Wellenlängenwerte. Dieses Kriterium ist unabhängig von Veränderungen in anderen Spektralbereichen wie zum Beispiel verursacht von Absorption durch Deckfarbepigmente. Daher erscheint der Wendepunkt als sensibler Parameter für die Bewertung der Grundfarbe gut geeignet (Bild 3). Die Variabilität der Messwerte ist dennoch erheblich. Inwieweit sie auf die tatsächliche individuelle Reifeentwicklung der Früchte in der Apfelanlage zurückgeführt werden kann, muss noch durch Referenzanalysen bestätigt werden.

### Ausblick

Das Transmissionspektrum im Wellenlängenbereich von 400 bis 1000 nm enthält mehr Informationen als zur Bestimmung der chlorophyllspezifischen Lichtabsorption benötigt werden. Neben Aussagen über Farbpigmente im sichtbaren Spektrum können insbesondere im nahinfraroten Spektrum (Wellenlängen über 750 nm) Informationen über den Gehalt an Wasser und an Kohlehydraten gewonnen werden. Dieser Spektralbereich lässt sich beispielsweise für die Bestimmung des Brix-Wertes nutzen.

## Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] Verband der Landwirtschaftskammern e.V.  
(Hrsg.): Qualitätsnormen und Handelsklassen für  
Gartenbauerzeugnisse und Kartoffeln – Gesetze,  
Verordnungen, Kommentare. Appelhans Verlag  
GmbH & Co., Braunschweig, 1999
- [2] *Herold, B. et al.*: Farb- und Reifebestimmung an  
Äpfeln. *Landtechnik* 54 (1999), H. 6, S. 342 – 343
- [3] *De Jager, A. and F. Roelofs*: Prediction of optimum  
harvest date of Jonagold. COST 94 Proc. Meeting  
Work Group on optimum harvest date, June 9 –  
10, 1994, Lofthus, Norway
- [4] *Lichtenthaler, H.*: Spektroskopische Eigenschaften  
von Pflanzen und ihre Nutzung zur Fernerkun-  
dung der Vegetation. *Fridericana* 49 (1994),  
S. 25 – 45
- [5] • *Reusch, S.*: Entwicklung eines reflexionsopti-  
schen Sensors zur Erfassung der Stickstoffver-  
sorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen.  
Diss., Univ. Kiel, 1997