

Alexander Rohrbach, Manuela Zude, Ingo Truppel und Bernd Herold, Potsdam-Bornim

Spektralfotometrische Überwachung der Pflückreife von Äpfeln

Während ihrer Entwicklung am Baum wurde an 'Elstar'-Äpfeln die spektrale Signatur im sichtbaren und nahinfraroten Bereich zerstörungsfrei durch wiederholte Messungen mit Hilfe eines tragbaren, einhändig bedienten Spektralfotometers mit telemetrischer Datenübertragung aufgenommen. Veränderungen von Grundfarbe und Deckfarbe ließen sich durch objektive Kriterien an Hand der spektralen Signatur charakterisieren. Die Ergebnisse könnten helfen, den Einfluss verschiedener anbau- und witterungsbedingter Faktoren auf die Fruchtentwicklung und den optimalen Erntezeitpunkt exakter zu bestimmen.

Dipl.-Ing. Alexander Rohrbach war bis 31.12.2003 und Dipl.-Ing. Ingo Truppel und Dr. Bernd Herold sind Mitarbeiter 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); Dr. Manuela Zude ist zurzeit tätig am Institut National Agronomique (INA P-G), 16, rue Claude Bernard, F-75231 Paris; e-mail: bherold@atb-potsdam.de

Schlüsselwörter

Apfel, Reifeüberwachung, Spektralfotometer

Keywords

Apple fruit, maturation monitoring, spectrophotometer

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 04215 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Die EU Qualitätsnormen verlangen, dass Äpfel für den Handel ausreichend entwickelt sind, so dass sie die Reifung fortsetzen können und der nach den jeweiligen Sortenmerkmalen angemessene Reifegrad erreicht werden kann [1]. Zur Bestimmung einer genügenden Entwicklung von Äpfeln wird meist der Jod-Stärke-Test verwendet. Darüber hinaus nutzt man Farbtafeln zur Beurteilung der Grundfarbe. Weitere Indizien für eine genügende Reife und gute Qualität sind die Fruchtgröße und die Ausprägung der Deckfarbe [2]. Bei Anwendung des Jod-Stärke-Tests müssen die Äpfel gepflückt und aufgeschnitten werden. Um auf diese Weise den Erntezeitpunkt zu bestimmen, sind wiederholt Stichproben genügenden Umfangs zu nehmen, um zu repräsentativen Werten zu gelangen. Da sich die Sorten unterschiedlich verhalten, ist für zuverlässige Aussagen ebenso wie bei der Anwendung von Farbtafeln ausreichende Erfahrung notwendig. Daher sind objektive zerstörungsfreie Bestimmungsmethoden von großem Interesse.

Spektralfotometrische Messungen im sichtbaren und nahinfraroten Bereich bieten grundsätzlich gute Voraussetzungen für eine schnelle, zerstörungsfreie Qualitätsbestimmung von landwirtschaftlichen Produkten und werden seit vielen Jahren von der Forschung auch zur Beurteilung äußerer und innerer Qualitätsmerkmale an Früchten eingesetzt [3, 4, 5]. Für die Bestimmung der Entwicklung von Früchten unter Feldbedingungen sind bisher keine geeignet angepassten kostengünstigen Geräte kommerziell verfügbar.

Spektralfotometer für Feldbedingungen

Am ATB wurde in den letzten Jahren ein tragbares, einhändig zu bedienendes Spektralfotometer mit drahtloser telemetrischer Datenübertragung entwickelt, das für Untersuchungen an Äpfeln während der Entwicklung am Baum konzipiert ist [6]. Der tragbare Teil ist in einem Rucksack untergebracht. Von dort wird ein Kabel zum Unterarm geführt, an dem das miniaturisierte Spektrometermodul befestigt ist. Ein Glasfaserbündel verbindet das Spektrometermodul mit



Bild 1: Sensorkopf bei der Messung am Baum

Fig. 1: Sensing probe during measurement on a tree

dem in der Hand gehaltenen Sensorkopf (Bild 1). Zur Messung der spektralen Signatur des aus dem Inneren der Frucht reflektierten Lichts wurde ein spezifisch angepasster Sensorkopf aufgebaut. An seiner Frontseite sind in einem Kreis sechs Miniaturglühlampen und in seiner Mitte ein Licht aufnehmendes Glasfaserbündel angeordnet. Wenn der Sensorkopf auf die Frucht aufgesetzt wird, gelangt das Licht von den Glühlampen direkt durch die Fruchtschale in das Fruchtfleisch. Im Zellgewebe des Fruchtfleischs wird das Licht diffus gestreut. Ein Teil dieses Lichts wird reflektiert, gelangt durch die Fruchtschale in das Glasfa-

Tab. 1: Laborwerte der Früchte von zwei Bäumen mit unterschiedlichem Fruchtbehang nach der Ernte in KW 39 (Für die Analyse waren von Baum 1 (79 Früchte) alle zehn, von Baum 2 (22 Früchte) wegen teilweisen Verderbs nur fünf der ursprünglichen zehn Früchte auswertbar; Angabe von Mittelwert (AV) und Standardabweichung (SD))

Table 1: Laboratory data of fruits from two trees with different yield after harvest in cw 39. For analysis there were ten fruits from tree 1 (79 fruits yield) and because of partial decay only five fruits from tree 2 (22 fruits yield); average (AV) and standard deviation (SD) are presented

Parameter	Baum 1		Baum 2	
	AV	SD	AV	SD
Fruchtvolumen, cm ³	175	31	246	8
Frischmasse, g	145,1	25,3	197,0	18,2
Stärkeindex	9,9	0,3	9,6	0,5
Brixwert	14,0	0,7	15,6	2,1
Fruchtfleischfestigkeit N	61,3	9,1	48,5	14,2

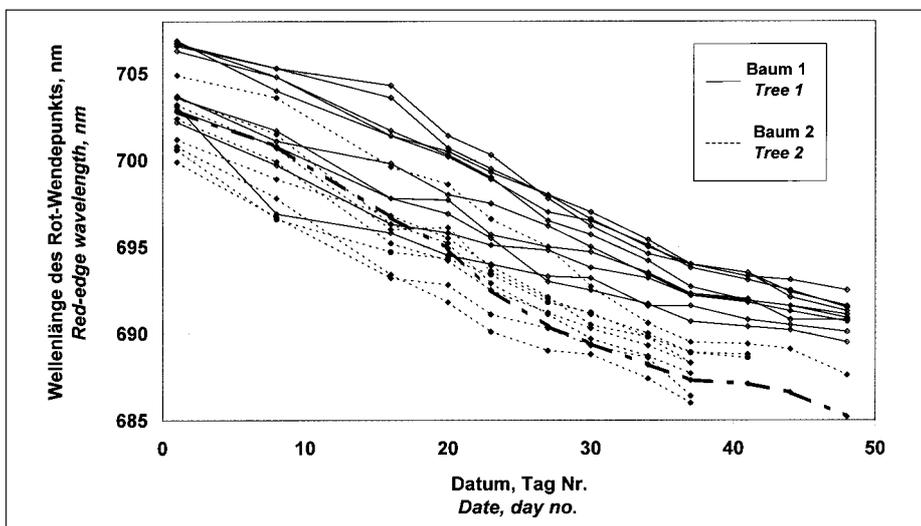


Bild 2: Verschiebung der Wellenlänge des Rot-Wendepunkts bei den Früchten von zwei ausgewählten Bäumen während der Fruchtentwicklung am Baum (fette Strich-Punkt-Linie siehe Frucht in Bild 3)

Fig. 2: Red-edge shift of the fruits of two selected trees during fruit development on tree (bold broken line see fruit in Fig. 3)

serbündel und zur spektralfotometrischen Messung. Die spektrale Signatur wird bei dieser partiellen Lichttransmission stärker durch die Lichtabsorption im Fruchtfleisch beeinflusst als beispielsweise im Falle der diffusen Lichtreflexion an der Fruchtoberfläche.

Während einer Messung erhält der Anwender über das Audio Interface vom PC gesprochene Kommentare zum Messablauf und kann umgekehrt mündlich den Messablauf kommentieren. Diese Kommentare werden aufgezeichnet und sind später abrufbar.

Messungen während der Reifeperiode

Untersuchungen wurden an „Elstar“-Äpfeln in einer zweijährigen Ertragsanlage in der Region Werder bei Berlin in der Erntesaison 2003 von KW 32 bis KW 39 durchgeführt. Die Anlage wurde während dieser extrem trockenen Saison kontinuierlich mittels Tropfenbewässerung versorgt. Von zwei Reihen in gleichmäßiger Lage des Bestandes wurden 19 Bäume ausgewählt und an jedem Baum jeweils zehn Früchte mit Etiketten zur Identifikation versehen. An jeder Frucht wurde ein Messfeld markiert, an dem während der Reifeperiode wiederholt spektralfotometrische Messungen und später im Labor Referenzanalysen durchgeführt wurden.

Von KW 32 bis 34 wurden Messungen im Abstand einer Woche, danach zweimal wöchentlich, also insgesamt bis zu zwölf Messtermine durchgeführt. Zu jedem Termin wurden nach der spektralfotometrischen Messung von einem der ausgewählten Bäume alle zehn Früchte gepflückt und anschließend im Labor hinsichtlich Stärkeindex, Brixwert und Fruchtfleischfestigkeit analysiert (Tab. 1). Teilweise ergaben sich Ausfälle wegen vorzeitigen Fruchtverlusts. Jedoch konnten von vier Bäumen ein und dieselben Früchte während des gesamten Zeitraums spektralfotometrisch gemessen

werden.

Auswertung des sichtbaren Spektralbereichs

Um die Fruchtentwicklung beurteilen zu können, wurde insbesondere der sichtbare Wellenlängenbereich analysiert. Als wichtigstes Kriterium wurde der sogenannte Rot-Wendepunkt (red-edge) der spektralen Signatur untersucht, welcher Veränderungen des Chlorophyllgehalts anzeigt [5]. Diese sind als im Reifeverlauf verblassende grüne Grundfarbe sichtbar. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind am Beispiel von zwei Bäumen mit unterschiedlichem Fruchtbehang dargestellt (Bild 2). Bei den Früchten beider Bäume wurde mit fortschreitender Entwicklung eine relativ gleichmäßige Drift hin zu kürzeren Wellenlängen ermittelt. Die Kurven der einzelnen Früchte zeigten eine aus-

geprägte individuelle Variabilität. Dennoch ließ sich ein deutlicher Entwicklungsvorsprung der Früchte des Baums 2 (schwacher Fruchtbehang) gegenüber denen des Baums 1 (starker Fruchtbehang) feststellen, welcher nicht nur zu Beginn der Messreihe, sondern auch danach durch den insgesamt etwas steileren Abfall der Kurven erkennbar war. Dieses Verhalten entsprach dem bekannten Kenntnisstand über den Einfluss des Fruchtbehangs. Am Ende der Messreihe in KW 39 ermittelte Laborwerte insbesondere des Volumens, der Frischmasse und der Fruchtfleischfestigkeit bestätigten, dass die Früchte des Baums 2 bereits völlig reif oder schon überreif waren (Tab. 1).

Außerdem wurde betrachtet, inwieweit die Entwicklung der Deckfarbe die spektrale Signatur beeinflusste. Bild 3 zeigt die Veränderung der spektralen Signatur am Beispiel einer typischen Frucht von Baum 2. Neben der charakteristischen Lichtabsorption durch Chlorophyll bei 680 nm war auffällig, dass die Lichtintensität zwischen 530 bis 580 nm während der Fruchtentwicklung bis zur KW 35 sehr stark abnahm. Diese Veränderung war durch die Pigmente der roten Deckfarbe bedingt, welche sich bei den Früchten des Baums 2 sehr rasch entwickelte. Um die Entwicklung der Deckfarbe quantitativ zu bewerten, könnte ein geeignetes Kriterium an Hand der spektralen Signatur entwickelt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Deckfarbe sortenspezifische Unterschiede aufweist.

Mit Hilfe dieser spektralfotometrischen Kriterien könnten im Obstbau die Fruchtentwicklung und der optimale Erntezeitpunkt exakter als bisher überwacht werden.

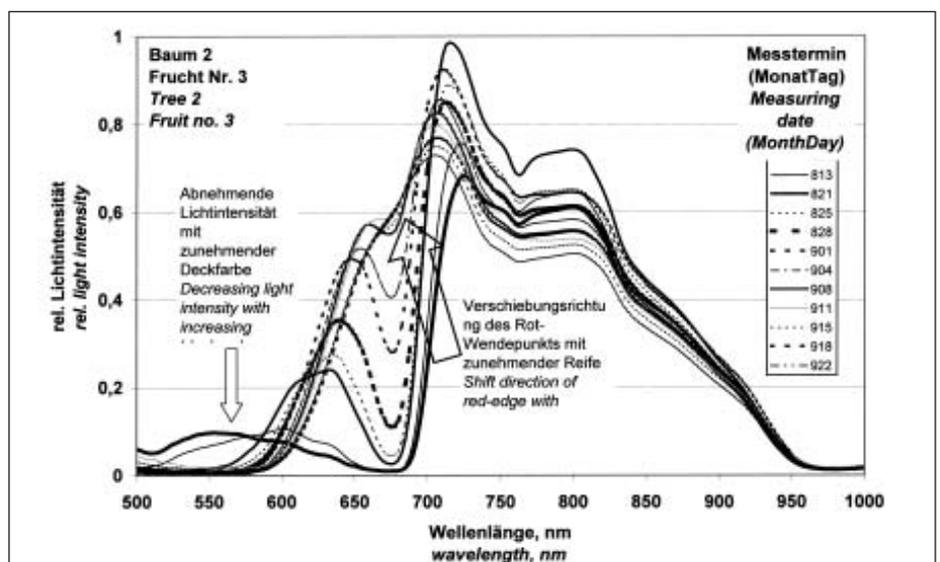


Bild 3: Veränderung der spektralen Signatur einer Frucht des Baums 2 während der Fruchtentwicklung am Baum

Fig. 3: Change of spectral signature of a single fruit of tree 2 during fruit development on tree