

Manuela Zude-Sasse, Ingo Truppel und Bernd Herold, Potsdam-Bornim

Nichtdestruktive spektraloptische Analyse der Fruchtreife

Früchte für den Handel müssen rückstandsfrei und sauber sein. Darüber hinaus ist für ihren Genuss ein adäquates Reifestadium notwendig. Sortenspezifische geschmacksgebende Merkmale sind ausschließlich in solchen Früchten ausgeprägt, die am Baum einen ausreichenden Reifegrad erreicht haben. Doch überreife Früchte sind nicht mehr lagerfähig.

Um das volle Geschmackspotenzial einer Apfelsorte zu nutzen, sind die Früchte zu einem sorten- und saisonabhängigen optimalen Erntezeitpunkt zu pflücken. Zur Bestimmung der Fruchtreife werden zusätzliche sehr exakte, objektive Methoden benötigt. Sensoren auf Basis der Spektralanalyse im sichtbaren Wellenlängenbereich könnten diese Anforderungen erfüllen.

Dr. Manuela Zude-Sasse, 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); e-mail: mzude@atb-potsdam.de
Die Projektarbeiten werden finanziell durch die Europäische Kommission (FAIR97-3399) unterstützt.

Schlüsselwörter

Optimaler Erntezeitpunkt, Qualitätskontrolle, zerstörungsfreie Messung, Chlorophyllabsorption

Keywords

Optimum harvest date, quality inspection, non-destructive detection, chlorophyll absorption

Der optimale Erntezeitpunkt [1] variiert von Sorte zu Sorte, Saison zu Saison und darüber hinaus von Standort zu Standort (Bild 1). Um das jeweils günstige Erntefenster zu ermitteln, befinden sich Sensoren in der Entwicklung. Solche Sensoren müssen strenge Anforderungen hinsichtlich Aussagefähigkeit, Reproduzierbarkeit und Robustheit erfüllen, wobei die Preislimits der Gartenbaubranche nicht überschritten werden können.

Die rasante Entwicklung von kostengünstigen optischen Bauteilen bietet hier neue Möglichkeiten, die Spektralanalyse auch in die Gartenbaupraxis einzuführen. In dem modular aufgebauten Gerät des ATB [2] befindet sich ein robustes monolithisches Spektrometer, mit dem die spektrale Lichttransmission T durch das Fruchtgewebe bei Integrationszeiten von 400 ms untersucht wurde. Das eingekoppelte weiße Licht wird durch wellenlängenspezifische Absorption A ($A = \log_{10} 1/T$) im Fruchtgewebe beeinflusst [2, 3]. Die Absorption A ist mit der Konzentration c der entsprechenden Verbindungen korreliert:

$$A = \epsilon \cdot c \cdot l$$

mit ϵ = spez. Absorptionskoeffizient

l = Pfadlänge im Gewebe

Im sichtbaren Wellenlängenbereich absorbiert neben anderen Fruchtpigmenten vor allem das Chlorophyll, dessen Gehalt in der Frucht einen sensitiven Reifeindikator darstellt [4].

Aussagekraft der zerstörungsfreien Chlorophyllanalyse

Veränderungen des Chlorophyllgehaltes, sichtbar als im Reifeverlauf verblassende grüne Grundfarbe von Früchten, werden traditionell für die subjektive Beurteilung des Reifegrades herangezogen. Obstproduzenten nutzen den visuellen Eindruck zur Beurteilung der Fruchtreife in der Anlage [1].

Das Kaufverhalten von Konsumenten ist ebenfalls eng an die Fruchtfarbe gebunden, da je nach sortenspezifischer Farbausprägung ein bestimmtes Geschmackserlebnis erwartet wird. Staatlich bestellte Qualitätskontrolleure sowie firmeninterne Inspektoren verfügen derzeit über nur wenige, einfache Methoden zur Bestimmung des Reifegrades und der damit verbundenen Fruchtqualität. Unter Einbeziehung der neuen Sensortechnologie auf Basis der Chlorophyllbestimmung mittels Spektralanalyse im sichtbaren Wellenlängenbereich [2, 3, 4] könnte im Handel der Reifegrad von Äpfeln zerstörungsfrei ermittelt werden. Darüber hinaus ist eine Aussage über das physiologische Fruchtalter abzuleiten, welches durch adäquate oder ungünstige Lagerbedingungen bedingt ist [4]. So könnten zum Beispiel Äpfel aus einem modernen Lager mit kontrollierter Atmosphäre von Äpfeln aus dem Kühllager unterschieden werden [5].

Die Bestimmung des Chlorophyllgehaltes ist mit Hilfe der zerstörungsfreien Spektral-

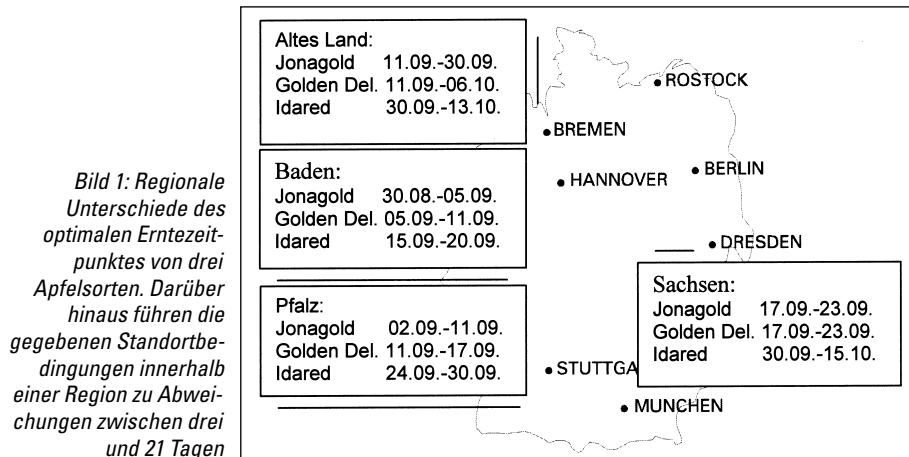


Fig. 1: Regionale Unterschiede des optimalen Erntezeitpunktes von drei Apfelsorten. Darüber hinaus führen die gegebenen Standortbedingungen innerhalb einer Region zu Abweichungen zwischen drei und 21 Tagen

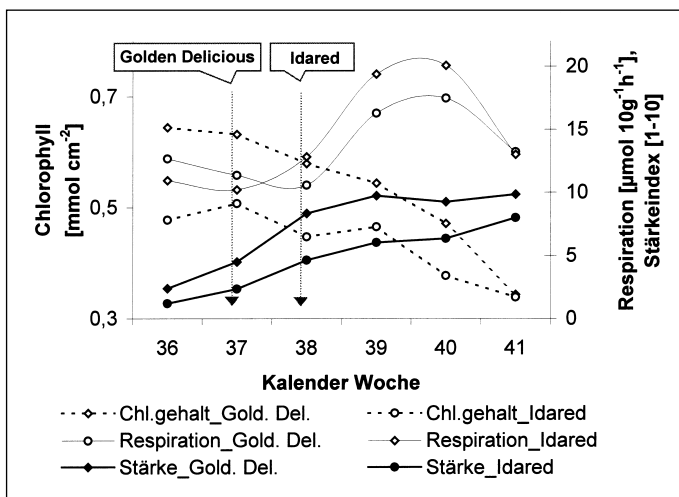


Bild 2: Fruchtrespirationsrate, Stärkeindex und Chlorophyllgehalt während der Fruchtentwicklung (Saison 2000). Die vertikalen Pfeile zeigen den optimalen Erntezeitpunkt beider Sorten an

Fig. 2: Fruit respiration rate, starch index and chlorophyll content during fruit development in season 2000. Vertical arrows indicate the optimum harvest date of the two cultivars

Calendar week 2000	Chl a (nmol/100 cm ²)	IP (nm)	Pred. Chl a (nmol/100 cm ²)
Idared			
36	47.8	693.8	47.9
37	50.8	692.9	50.7
38	44.8	692.5	46.7
39	46.5	692.2	43.3
40	37.8	691.7	38.6
41	35.9	691.2	36.4
Golden Delicious			
36	64.5	697.1	66.4
37	63.2	695.6	55.3
38	57.9	696.8	54.4
39	54.4	694.6	47.8
40	47.1	693.6	47.1
41	34.3	692.7	38.4

Table 1: Chemical analysis of chlorophyll content (Chl a) in the fruit skin of 'Idared' and 'Golden Delicious' apples during fruit development period (weekly) and data of chlorophyll red-edge (IP) and chlorophyll content predicted by PLS regression analysis (Pred. Chl a) from non-destructive transmission recordings.

Tab. 1: Chemische Referenzanalyse des Chlorophyllgehaltes (Chl a) der Fruchtschale bei "Idared" und "Golden Delicious" im Verlauf der Fruchtentwicklung (Kalenderwoche) und zerstörungsfrei aus dem Transmissionsspektrum ermittelten Werte des Wendepunktes (IP) der Chlorophyllabsorptionsbande und der PLS-Regressionsanalyse (Pred. Chl a)

analyse für den Zweck der Reifegradbestimmung ausreichend genau (Tab. 1).

Die Chlorophyllbestimmung aus den Spektren erfolgte mit zwei unterschiedlichen Methoden, einmal auf Basis der Verschiebung des Wendepunktes an der langwelligen Flanke der Absorptionsbande des Chlorophylls (IP) [6], zudem auf der Basis der Absorption mit multivariater Auswertung des gesamten aufgezeichneten Spektralbereiches (PLS-Analyse) [5]. Die spektralen Daten wurden hierzu vorverarbeitet, wobei eine Subtraktion des Mittelwertes und eine Division der Standardabweichung erfolgte. Hauptkomponentenanalyse und Aufstellung eines Kalibriermodells erfolgten mit der Eigenvektor PLS-Toolbox (Eigenvektor Research, Inc., USA), die auf dem Programm Matlab 5.2 (Math Works, Inc., USA) aufsetzt. Die Bestimmtheitsmaße bei Auswertung der Verschiebung des Wendepunktes sind $R^2=0,65$ bei "Idared" und $R^2=0,80$ bei "Golden Delicious", und bei Auswertung mittels der PLS-Analyse $R^2=0,91$ bei "Idared", $R^2=0,83$ bei "Golden Delicious". Der Standardfehler der Kalibrierung und der Standardfehler der Kreuzvalidierung betragen nach der leave-one-out Methode RMS-EC/RMSECV=0,99/5,4 für "Idared", RMS-EC/RMSECV=1,8/13,4 für "Golden Delicious".

Die Aufzeichnung der Spektren erfolgte immer im äquatorialen Bereich der Frucht, um Stellen mit Verkorkungen und resultierend lokal vermindertem Chlorophyllgehalt zu vermeiden. Die Messungen erfolgten ohne Beachtung der Fruchtsseite, also der Ausprägung der roten Deckfarbe.

Um festzustellen, ob die Nichtbeachtung der Fruchtsseite zulässig ist, erfolgten Messungen an reifen und überreifen Äpfeln der Sorte "Jonagold", jeweils an der roten und an der grünen Fruchtsseite. Eine Hauptkomponentenanalyse wurde über den Wellenlängenbereich von 650 nm bis 680 nm durchgeführt. In diesem Bereich ist ausschließlich die Absorption von Chlorophyll messbar. Die Absorptionsbanden der deckfarbenbildenden Fruchtpigmente sind in diesem Bereich nicht nachweisbar. Die Analyse bezogen auf die ersten zwei Hauptkomponenten ergab die Trennung der beiden Apfelreifegrade. Die Spektren der roten und grünen Seite erscheinen nicht separiert. Auch der Wendepunkt der langwelligen Chlorophyllflanke zeigt sich unverändert bei unterschiedlicher Deckfarbenausprägung. Im Mittel lag der Wendepunkt gemessen auf der rot erscheinenden Fruchtsseite von reifen Äpfeln bei 689,6 nm und überreifen bei 684,1 nm und auf der grünen Seite bei 688,3 nm und 684,4 nm. Resultierend hat die Ausprä-

gung der Deckfarbe keinen Einfluss auf die spektrale Bestimmung des Fruchtreifegrades über den Chlorophyllgehalt. Für die Anwendung in der Praxis bedeutet dies eine große Vereinfachung, da die Früchte bei der Messung nicht nach Deckfarbenausprägung ausgerichtet werden müssen.

Vergleich der zerstörungsfreien Messung mit anderen Methoden der Fruchtreifebestimmung

Äpfel gehören zu den klimakterischen Früchten, die eine erhöhte Respirationsrate kurz nach dem optimalen Erntezeitpunkt kennzeichnet [1]. Zur Bestimmung des Reifegrades von Früchten ist die Messung der Respirationsrate somit eine sehr sensitive, aber auch aufwendige Methode, da hierbei die CO₂ Entwicklung in mikromolaren Konzentrationen verfolgt werden muss. Im Obst-anbau wird der Erntezeitpunkt von Äpfeln daher häufig mit der einfacheren Bestimmung des Stärkeindex nach Schneiden quer zur Fruchtschale und Anfärbung der Stärke durch KJ/J₂-Lösung ermittelt. Eine weitere Methode ist zum Beispiel der Penetrometer-test, bei dem zum optimalen Erntezeitpunkt jedoch kaum Veränderungen zu messen sind, und der von der Fruchttemperatur und der manuellen Bedienung beeinflusst wird.

Die zerstörungsfreie und objektive Bestimmung des Chlorophyllgehaltes mit Hilfe der neuen Sensortechnik könnte diese Lücke schließen. Bild 2 zeigt den Verlauf der Fruchtentwicklung und für zwei Apfelsorten die optimalen Erntezeitpunkte, welche mit Hilfe der Respirationsrate ermittelt wurden. Im Reifeverlauf zeigen sowohl Stärkeindex wie auch Spektralwerte der Chlorophyllanalyse Veränderungen in der Steigung. Die Methode der spektralanalytischen Chlorophyllbestimmung ist somit ein interessantes Werkzeug zur Fruchtreifebestimmung.

Literatur

- Bücher sind mit • gekennzeichnet
- [1] • Friedrich, G. et al.: Physiologie der Obstgehölze. Springer-Verlag, Berlin, 2. Aufl., 1986
 - [2] Herold, B. et al.: Zerstörungsfreie Bestimmung des Entwicklungsstadiums von Obst. Landtechnik 55 (2000), H. 3, S. 224-225
 - [3] Chen, P. et al.: Light transmittance through a region of an intact fruit. Transactions of ASAE 23: (1980), no. 2, pp. 519-522
 - [4] Zude-Sasse, M. et al.: Comparative study on maturity prediction in "Elstar" and "Jonagold" apples. Gartenbauwissenschaft 65 (2000), H. 6, S. 260-265
 - [5] Zude-Sasse, M. et al.: An Approach to non-destructive Apple Chlorophyll Determination. Post-harvest Biology and Technology 2001, im Druck
 - [6] Lichtenthaler, H.: Spektroskopische Eigenschaften von Pflanzen und ihre Nutzung zur Fernerkundung der Vegetation. Fridericana 49 (1994), S. 25-45