

Essqualität von Äpfeln und Infrarot-spektroskopie

Physikalische und chemische Eigenschaften wie Grösse, Farbe, Fruchtfleischfestigkeit, Zucker- und Säuregehalt werden üblicherweise zur Qualitätsbeurteilung von Tafeläpfeln herangezogen. Die Essqualität und die Beliebtheit von Äpfeln werden zusätzlich durch weitere Attribute bestimmt. Da das Infrarotspektrum einer Analysenprobe die Gesamtheit aller Inhaltsstoffe erfasst, erlauben Infrarotmethoden möglicherweise eine bessere Abschätzung von sensorischen Eigenschaften oder gar der Beliebtheit als es mit den herkömmlichen destruktiven Methoden möglich ist.

DANIEL BAUMGARTNER, ALICE GILLIARD UND ERNST HÖHN,
FORSCHUNGSANSTALT AGROSCOPE CHANGINS-WÄDENSWIL ACW
daniel.baumgartner@acw.admin.ch

Die traditionellen Qualitätseigenschaften von Tafeläpfeln (Grösse, Farbe) können mit relativ geringem Zeitaufwand und kostengünstigen Geräten an einzelnen Früchten gemessen werden. Seit einiger Zeit hat der Schweizer Detailhandel in Ergänzung zu den traditionellen Qualitätsnormen des Schweizerischen Obstverbands auch sortenspezifische Mindestwerte für die Fruchtfleischfestigkeit und den Zuckergehalt festgelegt. Eine umfassendere und vollständigere Beschreibung der Fruchtqualität wird jedoch nur durch Einbezug sensorischer Merkmale erreicht. Die wichtigsten Apfelqualitätseigenschaften für Schweizer Konsumentinnen und Konsumenten sind Fruchtfleischfestigkeit, Knackigkeit, Saftigkeit, Aroma, Sauerkeit und Süssigkeit (Höhn et al. 2003). Zusammenhänge zwischen sensorischen Beurteilungen der Intensität einzelner Eigenschaften und chemischen beziehungsweise physikalischen Messungen wurden schon früher gefunden (Harker et al. 2002a und b, Höhn et al. 2003, Mehinagic et al. 2004). Es zeigte sich, dass Konsumenten oder geschulte Prüfer Unterschiede zwischen Früchten mit unterschiedlichen Festigkeitsmesswerten oder Zuckergehalten wahrnehmen. Schwieriger ist es, abzuklären, wie instrumentell erhobene Werte mit der Beliebtheit oder Akzeptanz verknüpft sind (Höhn 2006).

Essqualität von Tafeläpfeln

Aus mehreren Untersuchungen geht hervor, dass die Essqualität und Beliebtheit von Äpfeln neben der Fruchtfleischfestigkeit und Süssigkeit durch weitere Attribute bestimmt werden. Diese sind aber mit Labormethoden nur mit grossem Aufwand erfassbar. Schliesslich ist zu beachten, dass für Konsumenten das Zusammenspiel aller Eigenschaften die Beliebtheit eines Apfels ausmacht. Die Gewichtung der einzelnen Attribute ist zudem von Individuum zu Individuum verschieden und durch persönliche Präferenzen

geprägt. Es wurden deshalb für die Praxis verschiedene Qualitätsindizes vorgeschlagen, die jeweils mehrere chemische und physikalische Eigenschaften berücksichtigen. Speziell für Golden Delicious sind der Thiault- und der Perlim-Index von Bedeutung. Der Erstgenannte verbindet Zucker- und Säuregehalt mit der Beliebtheit, während der Perlim-Index zusätzlich noch die Fruchtfleischfestigkeit mitberücksichtigt. Beide Indizes beruhen auf den traditionellen destruktiven Analysemethoden. Noch besser und wirtschaftlich interessanter wäre es deshalb, wenn die Früchte vor dem Verkauf mit einer nicht zerstörenden Methode nach ihrer inneren Qualität und/oder ihrer sensorischen Eigenschaften, insbesondere der Beliebtheit oder Akzeptanz sortiert werden könnten.

Infrarotmessungen

Seit einigen Jahren wird an der Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW erfolgreich der Winescan FT120 (Foss, Dänemark) zur Routineanalyse von Traubenmost und Apfelsaft eingesetzt (Baumgartner et al. 2001). Dieses FTIR-Gerät (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) misst das Infrarotspektrum von flüssigen Proben im Wellenlängenbereich von 2000 bis 10800 nm. Aufgrund von Messungen mit herkömmlichen Referenzmethoden wurden die Infrarotmessungen kalibriert und daraus die Parameter Zuckergehalt (lösliche Trockensubstanz in Brix), Säuregehalt sowie Gehalte einzelner Zuckerarten wie Glucose, Fructose und Saccharose errechnet. Untersuchungen an der ACW zeigten, dass es auch möglich ist, die Fruchtfleischfestigkeit an Apfelsaftproben zu messen (Abb. 1). Es interessierte deshalb die Frage, ob mittels Infrarotmessungen die sensorischen Beurteilungen einer Prüfergruppe vorausgesagt werden können und ob damit zuverlässigere Aussagen bezüglich der Intensität sensorischer Qualitätseigenschaften, beispielsweise von Süssigkeit oder dann der Beliebtheit oder Akzeptanz von Äpfeln möglich sind, als aufgrund der Brix- und Festigkeitsmessungen alleine oder daraus abgeleiteter Indizes (Thiault- und Perlim-Index).

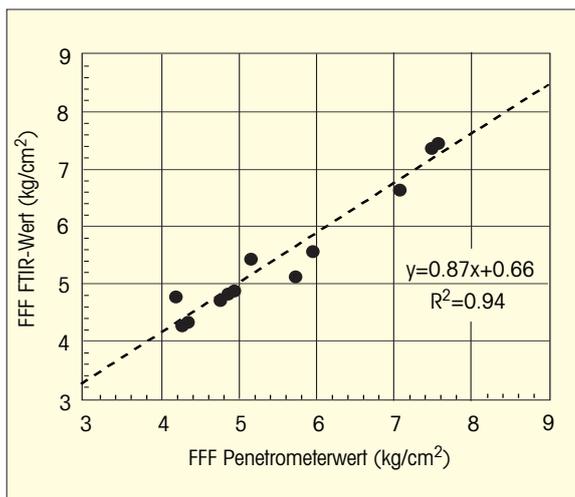


Abb. 1: Vergleich der FTIR-Messungen der Fruchtfleischfestigkeit (FFF) mit der Penetrometermethode (Mittelwerte der Kategorien, siehe Tab. 1).

Versuchsfrüchte

Für die Versuche standen Äpfel der Sorte Golden Delicious verschiedener Herkunft aus der Region Ostschweiz zur Verfügung. Es wurde angestrebt, Früchte mit möglichst unterschiedlichem Zuckergehalt und verschiedenen Fruchtfleischfestigkeiten zu verwenden. Die Äpfel wurden in 4 × 4 Kategorien mit Zuckergehalten von < 10 °Brix, 10 - 12 °Brix, 12 - 13 °Brix, 13 - 14 °Brix und > 14 °Brix in Kombination mit einer Fruchtfleischfestigkeit von < 4.5 kg/cm², 4.5 - 5.5 kg/cm², 5.5 - 6.5 kg/cm² und > 6.5 kg/cm² eingeteilt. Tabelle 1 zeigt die Messwerte der Versuchsfrüchte und ihre Verteilung auf die 16 Kategorien. Obwohl eine Vielfalt von Herkünften zur Verfügung stand, wurden für die Kategorien 3, 4, 7 und 13 keine oder nur wenige Früchte gefunden. Die Säuregehalte variierten insgesamt im Bereich von 3.4 bis 5.7 g/L. Tendenziell waren bei höheren Zuckergehalten auch höhere Säurewerte zu verzeichnen.

Sensorische Beurteilungen

Die sensorische Beurteilung der Apfelproben wurde mit sechs geschulten Prüfern durchgeführt. Im ersten Durchgang der Prüfung musste die subjektive Akzeptanz von zehn Äpfeln eines Probensets beurteilt werden. Nach einer Pause musste in einem zweiten Durchgang ein weiterer Schnitt der jeweils gleichen Äpfel, aber in anderer Reihenfolge bewertet werden. Auf einer 150-mm-Linienskala wurde die Intensität der Fleischfestigkeit, Süßigkeit und Sauerkeit festgehalten. Jeder Prüfer absolvierte fünf Sessions innerhalb von zwei Wochen, somit wurden von jedem Prüfer 50 Früchte beurteilt.

Instrumentelle Messungen

Nach der sensorischen Beurteilung wurde die Fruchtfleischfestigkeit an den gleichen Früchten mit dem Texture Analyzer (TA-XT2i, Stable Micro Systems, 11-mm-Stempel mit schneidender Kante) bestimmt. Anschlies-

Zunahme der Fruchtfleischfestigkeit				
FFF (kg/cm ²)	Kat. 1 (n=8)	Kat. 2 (n=13)	Kat. 3 (n=0)	Kat. 4 (n=0)
Zucker (°Brix)	4.4	4.8		
Säure (g/L)	9.6	9.3		
	3.4	3.9		
FFF (kg/cm ²)	Kat. 5 (n=25)	Kat. 6 (n=42)	Kat. 7 (n=3)	Kat. 8 (n=16)
Zucker (°Brix)	4.3	4.8	5.8	7.6
Säure (g/L)	11.1	11.0	11.6	11.7
	3.5	3.7	3.5	4.3
FFF (kg/cm ²)	Kat. 9 (n=19)	Kat. 10 (n=79)	Kat. 11 (n=26)	Kat. 12 (n=19)
Zucker (°Brix)	4.2	4.9	5.7	7.5
Säure (g/L)	12.9	13.0	13.4	12.6
	3.8	4.2	4.4	4.4
FFF (kg/cm ²)	Kat. 13 (n=2)	Kat. 14 (n=27)	Kat. 15 (n=13)	Kat. 16 (n=6)
Zucker (°Brix)	4.2	5.1	5.9	7.4
Säure (g/L)	16.4	14.6	15.0	15.0
	5.7	4.8	4.5	4.9

Zunahme des Zuckergehalts

send wurden am Saft der Einzelfrüchte der Zuckergehalt (lösliche Trockensubstanz in °Brix, Atago Refraktometer PR-32) und die titrierbare Säure (g/L Äpfelsäure, Mettler Titrator DL67) analysiert. An den gleichen Säften wurden dann auch die Infrarotmessungen mit dem Winescan FT120 vorgenommen. Aufgrund der instrumentellen Messungen wurden der Thiault- und der Perlim-Index nach Werth (1995) berechnet:

$$\text{Thiault-Index} = \text{Gesamtzucker [g/L]} + 10 \times \text{Säuregehalt (g/L)},$$

wobei Gesamtzucker = (°Brix × 10.6) - 20.6.

$$\text{Perlim-Index} = 0.5 \times \text{Fruchtfleischfestigkeit (kg/cm}^2\text{)} + 0.67 \times \text{°Brix} + 0.67 \times \text{Säuregehalt (g/L)} - 10.$$

Tab. 1: Charakterisierung und Einteilung der Versuchsfrüchte in 16 Kategorien. FFF = Fruchtfleischfestigkeit, n = Anzahl Früchte pro Kategorie.

Infrarot- und Referenzmessungen

Wie bei der Traubenmostanalyse (Baumgartner et al. 2001) konnten mit Hilfe der FTIR-Spektroskopie (Winescan FT 120) der Zucker- (°Brix) sowie der Säuregehalt der Apfelproben zuverlässig, das heisst mit R²-Werten von 0.99 für beide Messgrößen bestimmt werden. Im Vergleich zu den herkömmlichen Methoden, insbesondere der Bestimmung der titrierbaren Säure, konnten durch den Einsatz des Winescan Zeit und Chemikalien eingespart werden. Bemerkenswert war, dass mit diesem Gerät am Probensaft auch die Fruchtfleischfestigkeit mit annehmbarer Zuverlässigkeit bestimmt werden konnte (Abb. 1).

Sensorische Eigenschaften

Ein Ziel dieser Untersuchungen war es abzuklären, wie zuverlässig die Intensität sensorischer Eigenschaften mittels der FTIR-Methode bestimmbar ist. Dazu wurde für die Attribute Süßigkeit, Sauerkeit und Festigkeit je eine separate Kalibration erstellt. Es zeigte sich, dass mittels Infrarotmessungen die sensorischen Attribute von Äpfeln mit ähnlicher Zuverlässigkeit erfasst werden konnten wie es mit den Referenzmethoden möglich war (Tab. 2). Die praktische Bedeutung dieser Ergebnisse ist, dass Äpfel auch mit Hilfe einer nicht-zerstörenden IR-Messmethode Frucht für Frucht in eine der Konsumentenschaft entsprechende Esskategorie (z.B. süsse, saure Früchte) eingeteilt werden könnten. Allerdings sind dazu weitere Untersuchungen zum Beispiel betreffend Sortenspezifität notwendig.

Tab. 2: Vergleich der Referenz- und der FTIR-Methode zur Bestimmung der Intensität sensorischer Eigenschaften (R²-Werte).

Attribut	N	Korrelation zu sensorischer Beurteilung (Einzelwerte/Kategorienmittelwerte)	
		Referenzmethode	Infrarotmethode
Festigkeit	100	0.40/0.93 (Penetrometer)	0.42/0.92
Süßigkeit	75	0.57/0.83 (Refraktometer)	0.55/0.79
Sauerkeit	75	0.17/0.50 (Titration)	0.14/0.28

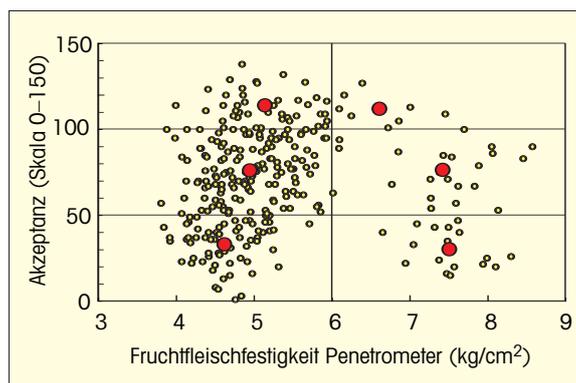
Akzeptanz

Die Akzeptanz eines Apfels hängt wie einleitend erwähnt nicht nur von einzelnen Eigenschaften wie der Fruchtfleischfestigkeit oder dem Gehalt an Zucker und Säure ab, sondern wird durch ein komplexes Zusammenspiel dieser und weiterer Faktoren bestimmt. Üblicherweise wird das Zusammenwirken der Hauptfaktoren in Form von Indizes wie dem Zucker-Säure-Verhältnis (ZSV), dem Thiault- oder dem Perlim-Index berücksichtigt und mit der Beliebtheit in Verbindung gebracht. Die Messung weiterer Faktoren erwies sich als sehr aufwändig und in der Praxis kaum durchführbar. Hier könnte sich die Anwendung der Infrarotspektroskopie als Lösung anbieten, da diese die Gesamtheit aller Faktoren einer Probe erfasst. Um dieses Vorgehen zu evaluieren, wurden die Akzeptanzwerte der Einzelfrüchte für eine FTIR-Kalibration verwendet. Anzumerken ist, dass diese Akzeptanzwerte der Prüfergruppe nicht einen Konsumententest ersetzen können.

Fruchtfleischfestigkeit und Akzeptanz

In Abbildung 2 ist die Prüferakzeptanz in Funktion der Fruchtfleischfestigkeit dargestellt. Es sind deutlich

Abb. 2: Fruchtfleischfestigkeit und Beurteilung der Akzeptanz von Golden Delicious. Offene Kreise stellen Einzelwerte, gefüllte Kreise Mittelwerte der Gitterbereiche dar.



zwei Punktwolken zu erkennen. Für Golden Delicious mit einer Festigkeit kleiner als 6 kg/cm² ist mit ansteigender Festigkeit eine Steigerung der Beliebtheit festzustellen. Dies kann durch die Berechnung der «Gitterbereich»-Mittelwerte verdeutlicht werden (rote Punkte). Andererseits ist für Äpfel mit Festigkeitswerten über 6 kg/cm² ein abfallender Trend zu beobachten. Daraus lässt sich weiter berechnen, dass die optimale Festigkeit (Akzeptanzwerte 100–150) 5.3 kg/cm² betrug, was dem von Höhn et al. (2003) bestimmten Optimum von 5.1 kg/cm² für Golden Delicious sehr nahe kommt.

Eine weitere Möglichkeit der Bestimmung optimaler respektive minimaler Werte für die Akzeptanz besteht darin, die Daten pro Kategorie zusammenzufassen (Tab. 3). Der optimale Wert für die Festigkeit (Mittelwert-Zeile) befindet sich zwischen 5.5 und 6.5 kg/cm². Die Akzeptanz wird auch durch die Brix-Werte beeinflusst (siehe Mittelwert-Spalte). Damit lässt sich bestätigen, dass ein Minimalwert von 12 °Brix für die Akzeptanz bei der Konsumentenschaft sinnvoll ist. Bemerkenswert ist zudem, dass im optimalen Festigkeitsbereich die Beliebtheit mit sehr hohen Brixwerten noch gesteigert wurde.

Aus diesen Darlegungen folgt, dass das Zucker-Säure-Verhältnis (ZSV) oder Qualitätsindizes wie der Thiault- oder der Perlim-Index bessere Aussagen für die Akzeptanz bieten sollten. Weil diese Indizes alle eine lineare Beziehung zwischen den instrumentellen Messwerten und der Akzeptanz voraussetzen, kann deren Güte anhand des Korrelationskoeffizienten bewertet werden (Tab. 4). Es wurde aber keine bessere Korrelation als für die lösliche Trockensubstanz gefunden. Im Gegenteil, die Korrelationskoeffizienten sind für alle oben genannten Indizes sehr tief.

Es ist bekannt, dass die Vorlieben für saure oder süsse Äpfel individuell stark variieren (Abb. 3). Beide Prüfer haben die Intensität der Sauerkeit gleich beurteilt, unterscheiden sich aber deutlich in ihrer Präferenz für säurereiche Äpfel. Diese personenspezifische Präferenz kann den praktisch nicht existenten Einfluss des ZSV auf die Akzeptanz erklären. Dies bestätigt sich auch im Falle des Thiault-Index, der sich ebenfalls aus Zucker- und Säuregehalt berechnet. Der Perlim-Index schneidet in dieser Beziehung etwas besser ab, da er zusätzlich die Fruchtfleischfestigkeit berücksichtigt. Den höchsten Korrelationskoeffizienten zur sensorischen Akzeptanz, sowohl für Einzeldaten als auch für die Kategorienmittelwerte, wies die FTIR-Kalibration auf.

Tab. 3: Beurteilung der Akzeptanz durch die Prüfergruppe (Skala 0–150, Mittelwert pro Kategorie siehe Tab. 1).

°Brix	Festigkeit				Mittelwert
	< 4.5 kg/cm ²	4.5 bis 5.5 kg/cm ²	5.5 bis 6.5 kg/cm ²	> 6.5 kg/cm ²	
< 10 °Brix	37	34	Kein Apfel	Kein Apfel	36
10 bis 12 °Brix	52	57	78	54	60
12 bis 14 °Brix	75	84	85	64	77
> 14 °Brix	45	82	102	67	74
Mittelwert	52	64	88	62	

Tab. 4: Vergleich der Beziehung zwischen Akzeptanz und traditionellen Qualitätsindizes resp. «FTIR-Akzeptanz» (Einzeldaten mit n = 149 resp. Kategorienmittelwerte, R² = Korrelationskoeffizient).

Akzeptanz vs.	R ² für Einzeldaten	R ² für Kategorienmittelwerte
Brix	0.25	0.78
Zucker/Säureverhältnis	0.01	0.46
Thiault-Index	0.08	0.52
Perlim-Index	0.17	0.54
FTIR-Akzeptanz	0.40	0.87

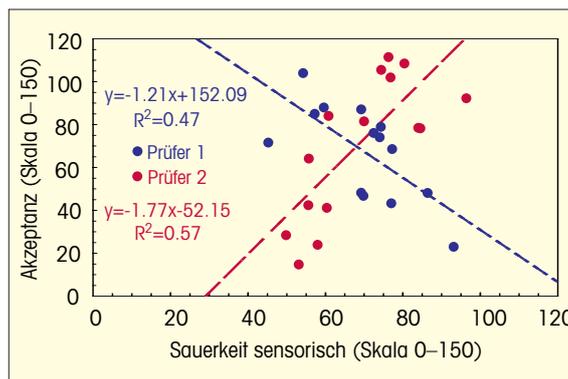


Abb. 3: Individuelle Präferenz zweier Prüfer: rot = bevorzugt saure Äpfel, blau = bevorzugt nicht saure Äpfel (Mittelwerte der Kategorien gemäss Tab.1).

Ausblick

Die instrumentelle Vorhersage der Prüferakzeptanz mit Hilfe der Infrarotspektroskopie erbrachte vielversprechende Resultate. Dies legt nahe, einerseits die Kalibrationen auf Daten aus eigentlichen Konsumententests auszuweiten und andererseits diese Analystechnologie mit zerstörungsfreien Analysegeräten auf ihre Tauglichkeit und ihren Praxisnutzen zu prüfen. Über Vorabklärungen zur zerstörungsfreien Messung innerer Qualitätseigenschaften von Äpfeln wurde in dieser Zeitschrift bereits berichtet (Baumgartner et al. 2007).

Dank

Die Autoren danken der Firma Tobi, Bischofszell für das Zurverfügungstellen von Versuchsfrüchten.

Literatur

- Baumgartner D., Bill R. und Roth I.: Traubenmostanalyse mit Hilfe der FTIR-Spektroskopie. Schweiz. Z. Obst-Weinbau 137(2), 46–48, 2001.
- Baumgartner D., Gabioud S., Gasser F. und Höhn E.: Zerstörungsfreie Messung innerer Qualitätsmerkmale beim Apfel. Schweiz. Z. Obst-Weinbau 143(12), 10–13, 2007.

Harker F.R. und Maindonald J.: Sensory interpretation of instrumental measurements 1: texture of apple fruit. Postharvest Biology and Technology 24, 225–239, 2002a.

Harker F.R., Marsh K.B., Young H., Murray S.H., Gunson F.A. und Walker S.B.: Sensory interpretation of instrumental measurements 2: sweet and acid taste of apple fruit. Postharvest Biology and Technology 24, 241–250, 2002b.

Höhn E., Gasser F., Guggenbühl B. und Künsch U.: Efficacy of instrumental measurements for determination of minimum requirements of firmness, soluble solids, and acidity of several apple varieties in comparison to consumer expectations. Postharvest Biology and Technology 27, 27–37, 2003.

Höhn E.: Die Beziehung zwischen dem Wahrnehmungsvermögen des Konsumenten und der im Labor möglichen Qualitätsbestimmungen. Obstbau Weinbau. 43(10), 293–295, 2006.

Mehinagic E., Royer G., Symoneaux R., Bertrand D. und Jourjon F.: Prediction of the sensory quality of apples by physical measurements. Postharvest Biology and Technology 34, 257–269, 2004.

Werth K.: Farbe & Qualität der Südtiroler Apfelsorten (Hrsg. Verband der Südtiroler Obstgenossenschaften Gen.m.b.H., Bozen), 1995.

RÉSUMÉ

Qualité en bouche des pommes et spectroscopie dans l'infrarouge

Cette étude a tenté d'établir le lien entre les appréciations organoleptiques et les mesures dans l'infrarouge des paramètres «fermeté», «douceur» et «acceptation par les testeurs». Pour tous ces paramètres, des coefficients corrélateurs significatifs ont été obtenus. Ce qui frappe, c'est que le calibrage IR était plus fiable pour augurer de l'acceptation par les testeurs que la seule mesure de la teneur en sucre et de la fermeté de la chair. Compte tenu de ces expériences positives, on pourrait organiser des calibrages dans le cadre de vrais tests des consommateurs pour mesurer la popularité de certaines pommes auprès de différents groupes de consommateurs.