

Detektion von Kernhausbräune mit Nah-Infrarot-Spektroskopie

Bei einzelnen Apfelsorten tritt mit zunehmender Lagerdauer vermehrt Kernhausbräune auf. Mit einer strengen Qualitätskontrolle bei der Auslagerung kann vermieden werden, dass betroffene Fruchtladungen in die Auslage der Endverkäufer gelangen. Die Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW befasst sich seit einigen Jahren mit der Anwendung der NIR-Technologie zur zerstörungsfreien Messung innerer Qualitätsmerkmale bei Früchten. In dieser Arbeit wurde die Anwendbarkeit dieser Messmethode für die Detektion von Kernhausbräune bei der Apfelsorte Braeburn untersucht.

DANIEL BAUMGARTNER, SÉVERINE GABIOUD REBEAUD,
BRIGITTE KAMM UND ANNA BOZZI NISING,
FORSCHUNGSANSTALT AGROSCOPE CHANGINS-WÄDENSWIL ACW
daniel.baumgartner@acw.admin.ch

Die Konsumentenschaft erwartet beim Kauf von Klasse-1-Früchten einwandfreie Qualität. Für sie ist das Auftreten von Kernhausbräune (KHB) zumindest ärgerlich, für die Sorte und den Obsthandel aber auch Image schädigend. Da die Verbräunung von aussen meistens nicht erkennbar ist, werden zur Kontrolle vor dem Verkauf repräsentative Stichproben untersucht. Dabei werden jedoch nicht nur Äpfel mit, sondern auch solche ohne KHB zerstört. Um diese Verluste zu vermeiden, bietet sich die Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIR) als zerstörungsfreie Alternative an. Sie findet bereits breite Anwendung in der Analyse von Früchten und Gemüse (Nicolai et al. 2007, Baumgartner et al. 2007). Zur Bestimmung der KHB bei Braeburn mittels NIR-Transmissionsmessung haben Clark et al. bereits 2003 eine ausführliche Studie veröffentlicht. Für die vorliegende Untersuchung wurde der

Einsatz zweier unterschiedlicher NIR-Geräte zur Detektion der KHB im Labor und in der Praxis geprüft.

Kernhausbräune bei Braeburn

Bei Apfelsorten wie Boskoop, Braeburn, Idared oder Mailingold kann während der Lagerung KHB, ein physiologischer Schaden des Fruchtfleischs, auftreten. Dabei verfärbt sich das Fleisch um das Kerngehäuse bräunlich und breitet sich schlimmstenfalls auf das ganze Fruchtfleisch aus (Abb. 1). Hauptsächlich dafür verantwortlich sind eine zu tiefe Lagertemperatur, zu hohe CO₂- oder zu tiefe O₂-Gehalte bei der CA-Lagerung oder Überalterung (Höhn et al. 2007).

Prinzip der NIR-Messung

Bei der NIR-Spektroskopie wird die Probe mit Nahinfrarotlicht beleuchtet. Das Licht dringt in die Frucht ein, ohne diese jedoch zu verändern. Ein Teil dieses Lichts wird durch die Inhaltsstoffe absorbiert, der Rest gelangt entweder direkt oder nach Streuung an Zellstrukturen zum NIR-Sensor. Dieser misst die nicht absorbierte Licht-

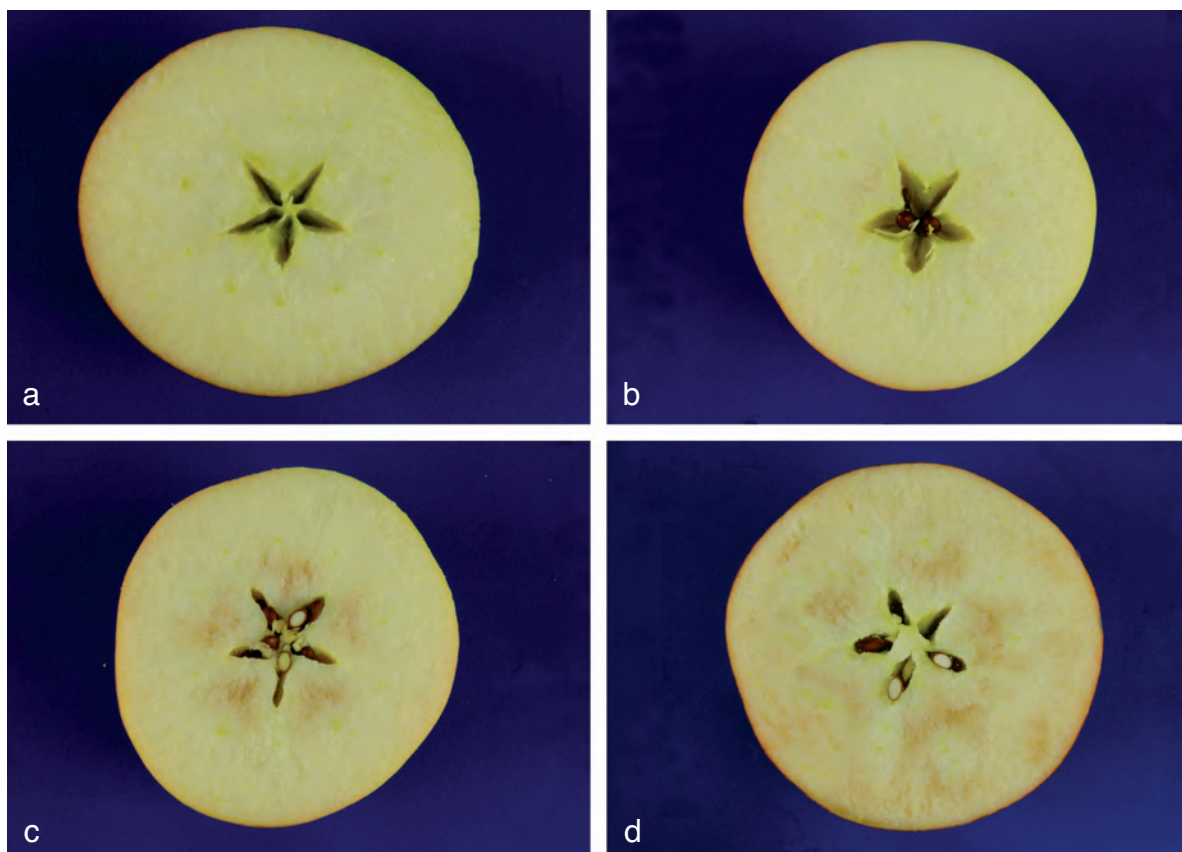


Abb. 1: Kernhausbräune bei Braeburn. Zunahme der Intensität von a (Skalenwert 1) bis d (Skalenwert 10).

energie für jede Wellenlänge, was dann als NIR-Spektrum der Probe gespeichert wird. Je nach Anwendungszweck können mit Hilfe multivariater statistischer Verfahren die spektralen Unterschiede zwischen Gruppen von Früchten beschrieben oder in einem Kalibrierprozess eine Beziehung zwischen den mit traditionellen Methoden bestimmten Referenzwerten und den Spektren der Früchte hergestellt werden.

Messablauf

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei verschiedene Transmissions-NIR-Spektrometer verwendet: das Laborgerät NIRCcase (Sacmi, I, Abb. 2) und ein in der Praxis als Bestandteil einer Sortiermaschine eingesetztes NIR-Modul (iFA-Modul, Greefa, NL, Abb. 3). Beide messen im gleichen Wellenlängenbereich von zirka 500 bis 1000 nm. Zunächst wurden mit beiden Geräten von jeder Frucht vier NIR-Spektren aufgezeichnet. Auf dem NIRCcase wurde äquatorial auf zwei sich gegenüberliegenden Seiten je zweimal gemessen. Für die Aufnahme der NIR-Spektren auf dem iFA-Modul wurden die Früchte viermal in zufälliger Lage auf das Förderband der Sortiermaschine gelegt und zum Zweck der Kalibrierung mit verlangsamerter Geschwindigkeit (ein bis zwei Früchte/Sek.) am NIR-Modul vorbeigeführt. Im Normalbetrieb kann die Sortieranlage mit der üblichen Geschwindigkeit von drei bis vier Früchten/Sek. betrieben werden. Zur Gewinnung der Referenzdaten für die Kalibration wurden die Äpfel im Anschluss an die NIR-Messungen beim Äquator geschnitten und die Stärke der Verbräunung visuell auf einer Skala von 1 (kein Schaden) bis 10 (Totalschaden) bestimmt (Abb. 1).

Kalibrierung

Bei der Kalibrierung ist es wichtig, dass der gesamte Wertebereich, der in den späteren Fruchtanalysen abgedeckt werden soll, im Kalibrierset gleichmässig vertreten ist. Zudem sollten möglichst viele andere Einflussgrößen (wie Reifegrad, Herkunft, Jahrgang) in unterschiedlicher Ausprägung integriert sein. Von Bedeutung für die Qualität einer Kalibration ist aber ebenso die Präzision und Wiederholbarkeit der Referenzmessung, was im vorliegenden Fall eine grosse Herausforderung war. Die visuelle Beurteilung der KHB mit der verwendeten 10-Punkteskala ist stark von der Erfahrung der Prüfperson abhängig, da sowohl die Intensität wie auch die Ausdehnung der Verbräunung in einem einzigen Wert ausgedrückt werden muss.

Validierung

Für die Validierung unterscheidet man drei Fälle: Bei der internen Validierung stammen die Kalibrier- und Validierungsproben aus der gleichen Grundgesamtheit, während sich die Proben bei der externen Validierung in mindestens einem Faktor unterscheiden (Erntejahr, Anbaugbiet, Lagerverfahren). Die Kreuzvalidierung nimmt eine Zwischenstellung ein, da die Validierungsproben zwar aus dem gleichen Probenpool wie die Kalibrierproben stammen, die mehrfache Berechnung der Kalibration aber jeweils ohne die Validierungsprobe durchgeführt wird. Als Masse für die Güte einer Kalibration werden üblicherweise der Korrelationskoeffizient (Bestimmtheitsmass, R^2) zwischen den Referenz- und den NIR-Werten, der «Bias» (entspricht der Differenz der Mittelwerte der Analysemethoden) sowie der mittlere Vorhersagefehler RMSEP (root mean square error of prediction) verwen-

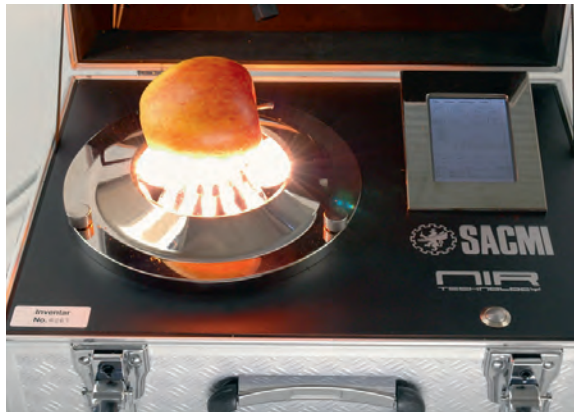


Abb. 2: Zerstörungsfreie Messung von Frucht-eigenschaften eines Apfels mit dem Laborgerät NIRCAs (Sacmi, I).



Abb. 3: Zerstörungsfreie Messung von Frucht-eigenschaften mit dem iFA-Modul (Greefa, NL) auf einer Sortieranlage (Tobi Seeobst AG).

det. Eine Kalibration ist umso besser, je näher der R^2 -Wert bei 1, der Bias bei 0 und der RMSEP-Wert in der Grössenordnung der Wiederholstandardabweichung der Referenzmethode liegt.

In der Tabelle sind die Validierungsergebnisse von drei NIRCAs- und iFA-Kalibrationen zusammengestellt. Kalibrationen, die mit Daten von Früchten aus jeweils einem einzigen Erntejahr berechnet wurden, weisen die höchsten R^2 -Werte verbunden mit den niedrigsten Werten für den mittleren Vorhersagefehler auf. Dies gilt sowohl für das Laborgerät NIRCAs (NC-1: $R^2 = 0.86$, RMSEP = 0.2 resp. NC-3: $R^2 = 0.67$, RMSEP = 1.0) als auch für das Sortiermaschinenmodul iFA (FA-1: $R^2 = 0.78$, RMSEP = 0.9 resp. FA-3: $R^2 = 0.61$, RMSEP = 1.1). Besonders auffällig ist der Einbruch der Vorhersagequalität

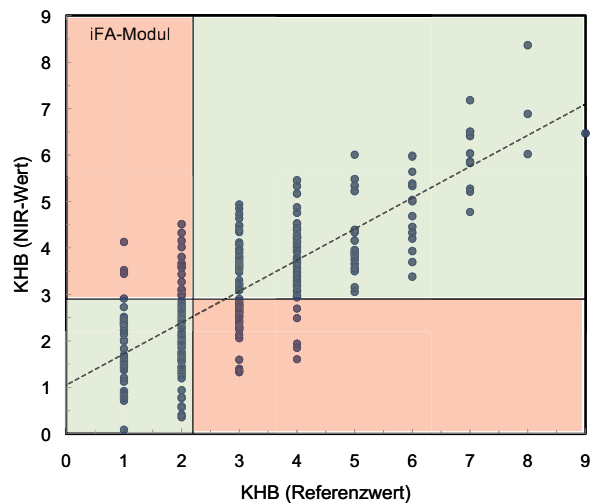
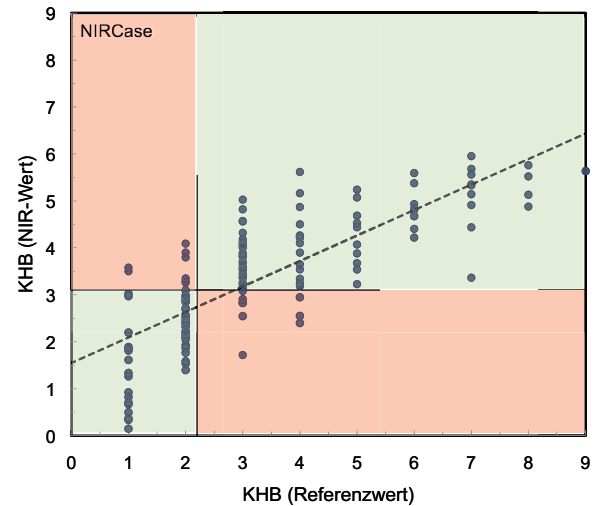


Abb. 4: Streudiagramme der Kalibrationen NC-2 (oben) und FA-3 (unten) für KHB in Braeburn (grün = richtige Zuordnung zu Früchten mit und ohne KHB, rot = falsch positive resp. falsch negative Zuordnung).

der Kalibration NC-1 für Früchte aus dem Jahr 2009 ($R^2 = 0.28$, RMSEP = 5.6). Solche Werte sind nicht akzeptabel und weisen auf einen sehr starken Jahreseinfluss hin. Nach Kombination von Daten aus den Jahren 2007 bis 2009 wurde deshalb eine neue Kalibration (NC-2) berechnet. Sie erreicht zwar nicht mehr die gleichen Kenn-

Eckdaten und Kennzahlen von KHB-Kalibrationen für Braeburn (NC = NIRCAs, FA = iFA-Modul, N = Anzahl Früchte für die Validierung, nn = unbekannt, da aus firmeneigener Greefa-Datenbank, CV = Kreuzvalidierung, RMSEP = mittlerer Vorhersagefehler).

Kalibration	Ernte	N	Min	Max	Mw	Stabw	Validierung	Bias	R^2	RMSEP
NC-1	2007	38	1	6	2.3	1.3	CV	0.0	0.86	0.2
NC-1	2009	100	1	6	2.3	1.3	extern	-1.6	0.28	5.6
NC-2	2007-09	138	1	9	3.4	1.9	CV	0.0	0.63	1.4
NC-2	2009	100	1	9	3.4	1.9	extern	0.7	0.56	1.6
NC-3	2009	100	1	9	3.8	2	CV	0.0	0.67	1.0
FA-1	2007	50	1	9	4.4	1.9	intern	-0.1	0.78	0.9
FA-2	2007	nn	1	9	nn	nn	extern	-0.4	0.73	1.1
FA-3	2009	255	1	9	3.2	1.7	CV	0.0	0.61	1.1

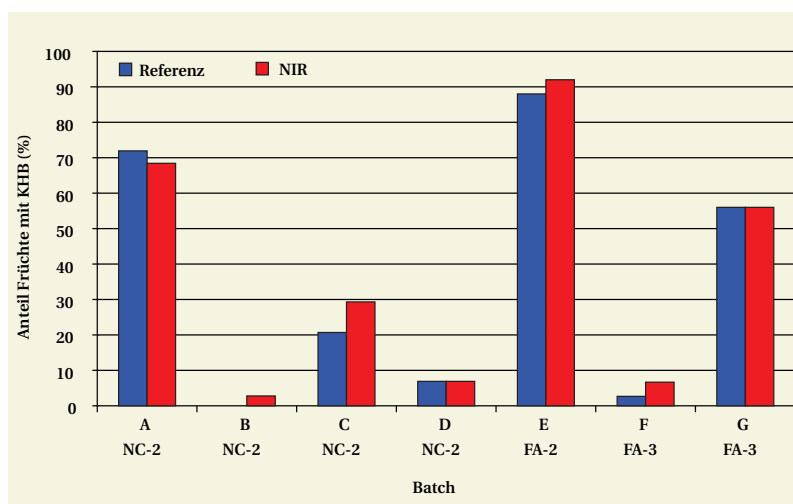
zahlen wie die Einjahreskalibrationen, erweist sich dafür aber als robuster: die R^2 - und RMSEP-Werte verändern sich bei externer Validierung nur noch geringfügig.

Messungen in der Praxis

In Zusammenarbeit mit der Tobi Seeobst AG in Bischofszell konnten die Kalibrationsmodelle des Laborgeräts mit solchen des Sortiermaschinenmoduls verglichen werden. Wie aus der Tabelle und Abbildung 4 ersichtlich ist, sind auf beiden Geräten ähnlich gute Vorhersagen für die KHB möglich. Zwar streuen die KHB-Einzelwerte beträchtlich, aber durch geeignete Wahl der Grenzwerte für Fruchtkategorien mit und ohne KHB kann mit einer Trefferquote von 87% (NIRCase) respektive 82% (iFA-Modul) eine gute Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit erreicht werden (grüne Bereiche). Die roten Bereiche in Abbildung 4 entsprechen den falsch positiven respektive falsch negativen Vorhersagen. Für die Darstellung in Abbildung 5 wurde der prozentuale Anteil von Früchten mit KHB pro Batch berechnet. Sowohl für Batches mit geringem als auch für solche mit hohem Anteil an KHB ist eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Referenz- und der zerstörungsfreien NIR-Methode zu erkennen. Ähnliche Resultate mit einem NIRCase-Gerät werden auch von Lurol et al. (2010) in einer Publikation des CTIFL berichtet.

Fazit und Ausblick

Die gegenwärtigen NIR-Kalibrationsmodelle für KHB von Braeburn sind vielversprechend und erlauben bereits eine gute Trennung zwischen Früchten mit unterschiedlich stark ausgeprägter KHB. Sowohl im Labor als auch auf dem Sortiermaschinenmodul wurde ein grosser Jahreseffekt auf die Güte der Kalibrationen festgestellt. Dies macht deutlich, dass NIR-Kalibrationen regelmässig überprüft und gegebenenfalls angepasst werden müssen. Für eine breite Anwendung in der Qualitätssortierung sollten die Kalibrationen allerdings noch robuster werden, wozu weitere Analysen nötig sind. Zusammen mit der Weiterentwicklung der NIR-Geräte ist aber ein verbreiteter Einsatz dieser zerstörungsfreien Analysemethoden absehbar.



Dank

Wir bedanken uns bei der Tobi Seeobst AG für die Versuchsfrüchte, für die Ermöglichung der NIR-Messungen am iFA-Modul und die Unterstützung bei der Referenzanalytik.

Literatur

- Baumgartner D., Gabioud S., Gasser F. und Höhn E.: Zerstörungsfreie Messung innerer Qualitätsmerkmale beim Apfel. Schweiz. Z. Obst-Weinbau 143, 12, 10–13, 2007.
- Clark C.J., McGlone V.A. und Jordan R.B.: Detection of Brownheart in Braeburn apple by transmission NIR spectroscopy. Postharvest Biol. Technol. 28, 87–96, 2003.
- Höhn E., Gabioud S., Zoller B. und Siegrist J.-P.: Merkblatt «Physiologische Lagerkrankheiten der Äpfel und Birnen». Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 2007.
- Lurol S., Mathieu-Hurtiger V., Ciron J. und Tabariès P.: L'outil NIR Case – Sacmi: mesures non destructives de la qualité des fruits et légumes. Infos CTIFL 261, 40–44, 2010.
- Nicolaï B., Beullens K., Bobelyn E., Peirs A., Saeys W., Theron K. und Lammertyn J.: Non-destructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. Postharvest Biol. Technol. 46, 99–118, 2007.

Abb. 5: Vergleich zwischen Referenz- und NIR-Analyse bezüglich dem Anteil an Früchten mit KHB pro Batch (A-G). NC-2 = NIRCase-Kalibration, FA-2 und FA-3 = iFA-Kalibrationen.

Détection du brunissement du coeur des pommes Braeburn au moyen de la spectroscopie à l'infrarouge rapproché

Braeburn et d'autres variétés de pommes sont sujettes aux dégâts intérieurs tels que le cœur brun (CB) en cas de conservation prolongée. Comme ces dégâts ne sont souvent pas visibles de l'extérieur, des contrôles de qualité sont effectués par l'analyse d'échantillons représentatifs. Avec ces méthodes d'analyse courantes, toutes les pommes sont détruites, qu'elles soient ou non atteintes de CB. Deux types de spectromètre à infrarouge rapproché ont été testés au laboratoire et sur le terrain comme méthode alternative non de-

structrice pour la détection du CB sur des pommes Braeburn. Les résultats obtenus avec des fruits des années 2007 à 2009 sont prometteurs. Les lots atteints de CB peuvent être détectés et le tri effectué avec une précision très proche de celle de la méthode de référence. Pour compenser l'influence très forte du millésime sur la méthode NIR qui a été observée, il est prévu d'élaborer des modèles de calibrage plus robustes intégrant des millésimes supplémentaires.

R É S U M É