

# Phänotypisierung mittels Nahinfrarot-Spektroskopie am Beispiel Gelbpigmentgehalt des Weizens

## Application of FT-NIRS for prediction and screening of wheat species in regard to carotenoid concentration

Susanne Kirchmaier<sup>1</sup>, Johann Vollmann<sup>1</sup>, Negash Geleta Ayana<sup>1</sup>,  
Susanne Siebenhandl-Ehn<sup>2</sup>, Michael Prückler<sup>2</sup> und Heinrich Grausgruber<sup>1\*</sup>

### Abstract

Colour is an important criterion for wheat flour quality. A strong pigmentation by carotenoids is desirable in durum wheat since a bright yellow colour is a quality factor of pasta. Contrary, flour of bread wheat should be as white as possible, hence, a minimum pigmentation is sought after for baking products. The determination of yellow endosperm pigmentation by standard methods requires both chemicals, respective lab equipment and time. In the present study Fourier transform near infrared spectroscopy was used to develop a prediction model for yellow endosperm pigmentation across various wheat species to allow a faster, cheaper and chemical free selection of genotypes. The obtained prediction model is robust enough for selection, however, misses analytical accuracy ( $R^2=0.82-0.88$ ). Moreover, samples spiked with various concentrations and types of carotenoids were used to identify infrared wavelength regions which reacted significantly to the respective carotenoids. Principal component analysis was applied to the spectra for qualitative analysis and revealed a significant clustering of genotypes according to wheat species. The grouping of genotypes/species was mainly influenced by kernel hardness and particle size and not by the yellow pigmentation.

### Keywords

Carotenoid, near infrared reflectance spectroscopy, *Triticum*, yellow pigment, wheat quality

### Einleitung

Weizen (*Triticum* L.) zählt neben Mais, Reis und Gerste zu den wichtigsten Kulturarten weltweit (KILIAN et al. 2009) und stellt die wichtigste Frucht zur Erzeugung von Nahrungsmitteln dar, da er sowohl für den menschlichen als auch tierischen Verzehr direkt verwendet werden kann. Er wird erfolgreich in beinahe allen Regionen der Erde, von 67° nördlicher (Norwegen, Finnland, Russland) bis 45° südlicher (Argentinien, Chile) Breite, kultiviert (GUSTAFSON et al. 2009). Eine große Bedeutung besitzt Weizen in der Religion und im täglichen Leben. Einen zentralen Ritus

nimmt Weizen in der Form des Brotes in der jüdischen und christlichen Religion ein (PRANCE und NESBITT 2005). Die große Bedeutung von Weizen führte im Laufe der Zeit zu einer intensiven Züchtungstätigkeit. Ein steter Zuwachs der Anbaufläche und des Ertrages waren die Folge.

Die Pigmentierung des Endosperms ist ein wichtiges Kriterium für die Qualität von Weizenmehl. Eine starke Färbung durch Carotinoide ist bei Hartweizen (*T. durum*) erwünscht, um eine möglichst gute natürliche Gelbfärbung von Pasta und Teigwaren zu gewährleisten. Im Gegensatz dazu sollte das Mehl von Brotweizen (*T. aestivum*) so weiß wie möglich sein (LEPAGE und SIMS 1968). Für spezifische Produkte ist ein hoher Gelbpigmentgehalt auch beim hexaploiden Weizen erwünscht: Asiatische Nudeln (*Cantonese noodles*) werden aus Weizenmehl, Wasser und Kansui (eine Mischung aus Natrium- und Kaliumcarbonat und -phosphat) hergestellt und sollen eine glänzende, bleiche, gelbe Farbe aufweisen (KRUGER et al. 1992). In Weizenarten kommt als Gelbpigment hauptsächlich das Xanthophyll Lutein vor (LEPAGE und SIMS 1968, HENTSCHEL et al. 2002, HIDALGO et al. 2006, ABDEL-AAL et al. 2007). Obwohl die Existenz von sekundären Inhaltsstoffen in Pflanzen seit 100 Jahren bekannt ist, sind deren Wirkung wie protektive Effekte gegen Krankheiten erst kürzlich in das Blickfeld der Forscher und Ernährungswissenschaftler gerückt. Früher wurden diese Inhaltstoffe oft als antinutritiv und wertlos betrachtet, und das Ziel der Pflanzenzüchter war es, den Gehalt an solchen Stoffen zu reduzieren oder sie gänzlich zu eliminieren (GRAUSGRUBER et al. 2006).

Nahinfrarotreflexionsspektroskopie, NIRS oder NIR abgekürzt, ist ein physikalisches Analyseverfahren auf Basis der Spektroskopie im kurzwelligen Bereich des Infrarotlichts. Mit Hilfe von Infrarotstrahlung werden kovalente Molekülbindungen in (zumeist) organischen Verbindungen angeregt. Die Detektion der Strahlungsabsorption funktioneller Gruppen von organischen Molekülen findet im nahen Infrarot (760-2500 nm) statt. Die NIRS Technologie hatte seit der ersten Anwendung in den 1960er Jahren in der Getreideindustrie einen enormen Aufschwung erfahren. Es entwickelte sich ein breites Feld der Anwendung: mittlerweile wird NIRS in verschiedensten Gebieten wie Materialwissenschaften, Nahrungsmittel, Umwelt, Medizin,

<sup>1</sup> Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenzüchtung, Konrad Lorenz Straße 33, A-3430 TULLN

<sup>2</sup> Universität für Bodenkultur Wien, Department für Lebensmittelwissenschaften und -technologie, Muthgasse 18, A-1190 WIEN

\* Ansprechpartner: Heinrich GRAUSGRUBER, heinrich.grausgruber@boku.ac.at



Pharmazie, Landwirtschaft oder Archäologie eingesetzt (ESTEVE AGELET und HURBURGH 2010).

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Erstellung einer NIRS Kalibration für die Vorhersage des Gelbpigmentgehaltes in Weizenmehl, sowie die Prüfung, ob mittels multivariater Verrechnung der Spektraldaten die verschiedenen Weizenarten (*T. aestivum*, *T. durum*, *T. monococcum*, *T. carthlicum*, *T. karamyshevii*, *T. turanicum*) spektroskopisch voneinander unterscheidbar sind.

## Material und Methoden

### Pflanzenmaterial

Das Probenstet bestand aus 478 Proben, bestehend aus mehr als 134 Genotypen von 6 verschiedenen Weizenarten: Einkorn (*T. monococcum*) (diploid), Persischer Weizen (*T. carthlicum*), Hartweizen (*T. durum*), Kolchischer Emmer (*T. karamyshevii*), Khorasanweizen (*T. turanicum*) (alle tetraploid) und Weichweizen (*T. aestivum*) (hexaploid). Die Proben stammten aus den Ernten 2003 bis 2009 von Versuchen der Universität für Bodenkultur bzw. der Saatzucht Donau im pannonischen Trockengebiet. Es waren Proben von sowohl konventionell als auch biologisch bewirtschafteten Flächen vorhanden.

### Chemische Analyse

Der Gelbpigmentgehalt wurde mittels ICC Standard Methode 152 (International Association for Cereal Science and Technology, Wien) ermittelt. Dabei wurden je Probe 10 g Körner mit einer ZM 100 Ultra-Zentrifugal Mühle (Retsch GmbH & Co KG, Haan) ausgestattet mit einem 1,0 mm Sieb vermahlen. Fünf g Vollkornmehl wurden in einen Erlenmeyer Kolben gegeben und mit 25 ml wassergesättigtem *n*-Butanol (WSB) (1:6 v/v H<sub>2</sub>O dest.:Butanol) versetzt und 2 min geschüttelt. Die Extraktion wurde unmittelbar nach der Vermahlung durchgeführt. Die Kolben wurden bei Raumtemperatur und Verdunkelung für 18 bis 20 Stunden abgestellt. Anschließend wurde die Suspension in lichtgeschützte (braune) Gefäße durch ein Whatman Faltenfilter (Grad 595<sup>1/2</sup>; Ø 110 mm; Sigma-Aldrich, Wien) filtriert. Die Extrakte wurden bei 440 nm Wellenlänge in einem U-1500 Spektrophotometer (Hitachi Ltd., Tokyo) gegen die Standardlösung (WSB) gemessen. Pro Extrakt wurden 4 Messungen durchgeführt. Die Kalibration wurde für  $\beta$ -Carotin erstellt, folglich wurden die Extinktionswerte in  $\beta$ -Carotin Äquivalente (mg ml<sup>-1</sup>) umgewandelt unter Verwendung der Gleichung:  $y = 182,84 \times \text{Extinktion} + 0,001$ .

### NIRS Analyse

Für die NIRS Messungen wurden etwa 5 g Körner mit einer Cyclotec 1093 Mühle (Foss, Höganäs) zu Vollkornmehl (1 mm Sieb) vermahlen. Die Erfassung der NIRS Spektren erfolgte mit einem FT-NIRS Spektrometer Matrix-I (Bruker Optik GmbH, Ettlingen) welches mit einer weißen Lichtquelle und einem InGaAs-Detektor ausgestattet ist. Die Reflexion wurde in einer Operationsbreite von 800 bis 2780 nm (12492 bis 3598 Wellen-cm<sup>-1</sup>) mit einer Auflösung von 4 Wellen-cm<sup>-1</sup> aufgezeichnet. Jede Probe wurde 2 mal gemessen indem man die Küvette um 180° drehte.

### Gespikte Proben

Zusätzlich zu den natürlichen Proben wurden auch mit Carotinoiden angereicherte Mehlproben der NIRS Analyse unterzogen. Dafür wurde Mehl eines Hartweizens (Durobonus) und eines Weichweizens (Saturnus) mit unterschiedlichen Konzentrationen an  $\beta$ -Carotin, Lutein und Zeaxanthin gespikt (Tabelle 1). Mittels UV-VIS Spektroskopie wurde der Gelbpigmentgehalt dieser Proben kontrolliert.

Tabelle 1: Carotinoid-Steigerungsstufen und Gelbpigmentgehalt der angereicherten Mehle von Saturnus und Durobonus

Table 1: Concentration of carotenoids and yellow pigment content (GP) of spiked flour samples of Saturnus and Durobonus

Carotenoid	Konzentration (ppm)	Saturnus		Durobonus	
		Code	GP <sup>1</sup>	Code	GP
Kontrolle	0	S1	3,811	D1	9,813
$\beta$ -Carotin	5	S2	8,942	D2	14,734
Lutein		S3	8,693	D3	14,667
Zeaxanthin		S4	10,728	D4	16,206
$\beta$ -Carotin	20	S5	22,522	D5	29,934
Lutein		S6	23,475	D6	29,959
Zeaxanthin		S7	29,369	D7	32,674
$\beta$ -Carotin	40	S8	40,606	D8	43,286
Lutein		S9	43,968	D9	47,848
Zeaxanthin				D10	55,256

<sup>1</sup> GP: Gelbpigmentgehalt (ppm  $\beta$ -Carotin Äquivalente 100g<sup>-1</sup> TS)

### Datenanalyse

Die Kalibration wurde mittels PLS (*Partial Least Square*) Regression in der Software Opus Quant 2 (Bruker Optik GmbH, Ettlingen) erstellt. Die Spektren wurden dabei einer Streulichtkorrektur MSC (*Multiplicative Scatter Correction*) unterzogen um Verzerrungen zu reduzieren und die Signale der chemischen Information zu erhöhen (ESTEVE AGELET und HURBURGH 2010). Deutliche Ausreisser wurden aus den Berechnungen entfernt. Die erhaltenen Kalibrationen wurden an Hand des Bestimmtheitsmaßes  $R^2$  und dem Standardfehler der Kreuzvalidierung verglichen und bewertet. Die Klassifizierung der Weizenmuster wurde durch eine chemometrischen Mustererkennung durchgeführt. Dabei wurden die Spektraldaten einer Hauptkomponentenanalyse (PCA, *Principal Component Analysis*) mittels Unscrambler Software (Camo AS, Trondheim) unterzogen.

## Ergebnisse und Diskussion

### Gelbpigmentgehalt

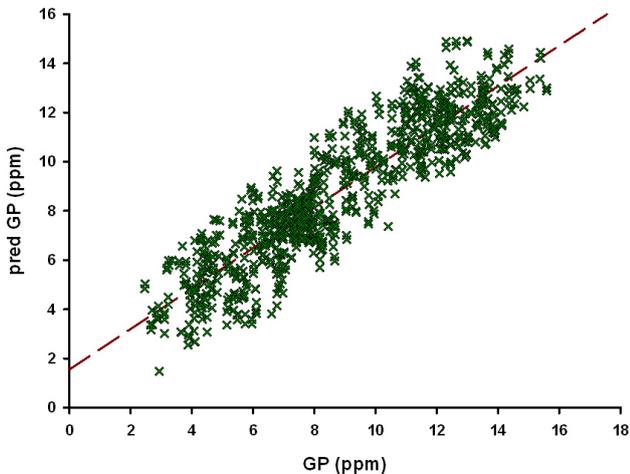
Der durchschnittliche Gelbpigmentgehalt (GP) über alle Weizenarten betrug 5,84 ppm  $\beta$ -Carotin Äquivalente i. TS). Die geringste Konzentration (1,65 ppm) wurde in Weichweizen, die höchste (15,93 ppm) in Einkorn nachgewiesen (Tabelle 2). Eine große Variationsbreite, eine gleichmäßige Verteilung der Proben über die Variationsbreite und eine hohe Anzahl an Proben sind Voraussetzungen für eine robuste Kalibration (ESTEVE AGELET und HURBURGH 2010). In der vorliegenden Arbeit wurden diese Voraussetzungen erfüllt.

Die deutlich höchsten Konzentrationen an Gelbpigment wurden für Einkorn festgestellt. Dies deckt sich mit einer

**Tabelle 2: Variation im Gelbpigmentgehalt (ppm) verschiedener Weizenarten**  
**Table 2: Variation in yellow pigment concentration (ppm) of diverse wheat species**

	<i>Triticum monococcum</i>	<i>durum</i>	<i>carthlicum</i>	<i>karamyshevii</i>	<i>turanicum</i>	<i>aestivum</i>
Mittelwert	11,19	8,89	2,96	2,67	4,99	4,34
Minimum	3,93	3,34	2,84	2,67	2,66	1,65
Maximum	15,93	15,37	3,10	2,67	7,14	7,48
Proben (n)	166	213	3	1	64	31

auch Sorten bekannt, die Gehalte im Bereich von Durum aufweisen und die v.a. im asiatischen Raum für die Herstellung von Teigwaren verwendet werden (KRUGER et al. 1992, GRAUSGRUBER et al. 2006). Auch in Europa wurden solche Sorten gezüchtet (SVENSSON 1982, SCHIPPER et al. 1998), erlangten jedoch bis heute keine große Bedeutung in der Verarbeitung.



**Abbildung 1: FT-NIRS Kalibration für Gelbpigmentgehalt (GP) in Weizen**

**Figure 1: FT-NIRS calibration for yellow pigment concentration (GP) of wheat species**

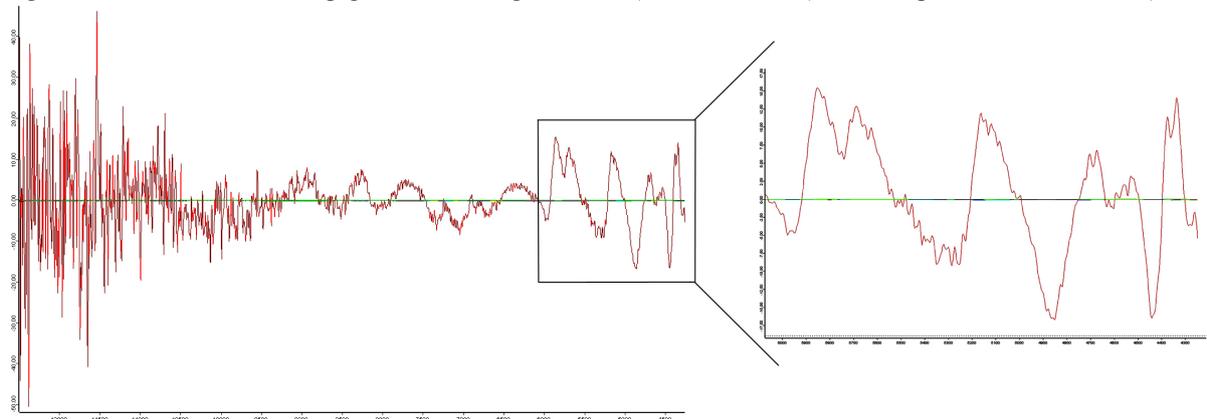
Reihe von anderen Untersuchungen (ABDEL-AAL et al. 2002, LØJE H et al. 2003, HIDALGO et al. 2006). Der für Einkorn niedrigste Gehalt von 3,93 ppm wurde für eine blaukörnige (*blue aleurone*) Herkunft festgestellt. Durum zeigte einen durchschnittlichen Gehalt von 8,89 ppm und lag damit über den Gehalten der anderen tetraploiden Weizenarten, die somit keine offensichtlichen genetischen Ressourcen zur Erhöhung des Gelbpigmentgehaltes darstellen. Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass die Probenanzahl bei Persischem Weizen und Kolchischem Emmer sehr gering war. Weichweizen besitzt i.d.R. sehr niedrige Konzentrationen an Gelbpigment, allerdings sind

### Quantitative Analyse

In *Abbildung 1* ist die ausgewählte Kalibration abgebildet, wobei auf der Abszisse die tatsächlich gemessenen Werte (WSB Referenzmethode) und auf der Ordinate die durch NIRS vorhergesagten Werte dargestellt sind. Die beste Kalibration ( $R^2=0,88$ ; *root mean square error of estimation* RMSEE=1,08) berücksichtigte Spektren des Wellenlängenbereichs  $\lambda=801-2355$  nm bei einem Rank von 9 (PLS Regressionsvariablen). In diese Kalibration flossen 434 Proben ein, d.h. 44 Proben wurden als Ausreisser deklariert und aus der Kalibration entfernt. Die Kreuzvalidierung ergab ein  $R^2=0,82$  und einen *root mean square error of cross validation* RMSECV=1,34. Die bestehende Kalibration erscheint somit für Selektionszwecke sehr gut geeignet, für eine analytische Bestimmung jedoch noch zu ungenau.

### Qualitative Analyse

Carotinoide haben ihre Lichtabsorptionsmaxima im sichtbaren Wellenlängenbereich (BRITTON 1996). An Hand der Regressionskoeffizienten der Kalibration ist jedoch ersichtlich, dass auch im Bereich von  $\lambda=1700-2350$  nm ( $\nu=5900-4250$   $\text{cm}^{-1}$ ) mehrere hoch positive bzw. negative Koeffizienten auftreten (*Abbildung 2*). Dieser Wellenlängenbereich stimmt auch gut überein mit den Ergebnissen von BRENNA und BERARDO (2004), die bei Mais einen NIR Bereich von 1150 bis 2400 nm als optimal zur Messung von Lutein und Zeaxanthin feststellten. Für die qualitative Analyse mittels PCA wurde somit dieser deutlich auf den Gelbpigmentgehalt reagierende Wellenlängenbereich ausgewählt. In *Abbildung 3* ist der Biplot (PC1 vs PC2) der PCA dargestellt. Es ist eine deutliche Gruppierung zwischen diploidem Einkorn (*T. monococcum*) und tetraploidem Hartweizen (*T. durum*,



**Abbildung 2: Regressionskoeffizienten der FT-NIRS Kalibration auf Gelbpigmentgehalt (Angabe der Wellenlänge als Wellenzahl· $\text{cm}^{-1}$ )**

**Figure 2: Regression coefficients for the FT-NIRS prediction model for yellow pigment concentration of wheat flour (wavelength is indicated as wave number· $\text{cm}^{-1}$ )**

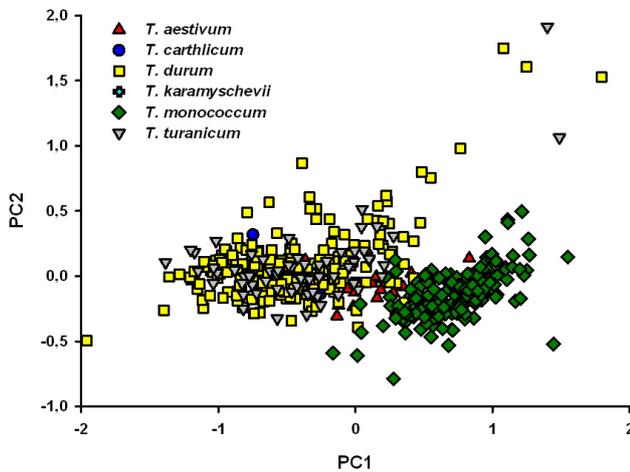


Abbildung 3: Biplot der Hauptkomponentenanalyse der FT-NIRS Spektren ( $\nu=3600-6500 \text{ cm}^{-1}$ )

Figure 3: Biplot of PCA of FT-NIRS spectra ( $\nu=3600-6500 \text{ cm}^{-1}$ )

*T. turanicum*, *T. carthlicum*, *T. karamyshevii*) zu erkennen. Der hexaploide Weichweizen (*T. aestivum*) liegt zwischen den beiden Gruppen. Die Gruppierung erfolgt hier somit nicht nach dem Gelbpigmentgehalt, sondern offensichtlich v.a. aufgrund der unterschiedlichen Kornhärte und Partikelgröße. Auch wenn alle Proben mit der gleichen Siebgröße vermahlen wurden, ist der Einfluss der Kornhärte und in Folge der Partikelgröße entscheidend. Dies wurde für den verwendeten Mühlen- und Siebtyp auch von WILLIAMS (1979) für Durum und Weichweizen mit harter (*hard red/white wheat*) bzw. weicher (*soft white wheat*) Korntextur

nachgewiesen. Einkorn besitzt im Vergleich zu Weichweizen eine noch einmal deutlich niedrigere Kornhärte (BRANDOLINI et al. 2008).

### Gespikte Proben

Bei der Analyse der NIR Spektren der gespikten Proben konnten deutliche Effekte der Carotinoid-Anreicherung im bereits zuvor erwähnten Wellenlängenbereich festgestellt werden. Bei Anreicherung mit 40 ppm Lutein, Zeaxanthin und  $\beta$ -Carotin sind deutlich höhere Reflexionsintensitäten ersichtlich (Abbildung 4). Die Anreicherungen mit 5 und 20 ppm heben sich zwar auch gegenüber der Kontrolle ab, sind jedoch untereinander teilweise überlappend. Die Effekte waren für alle drei Carotinoide und beide Sorten, Durobonus (*T. durum*) und Saturnus (*T. aestivum*), gegeben. Gespikte Proben können prinzipiell auch für die Erstellung der Kalibration herangezogen werden um die Variationsbreite im Referenzprobenset zu erhöhen (WILSON et al. 2002, LOCHER et al. 2005). In der vorliegenden Arbeit wurde die Hypothese erstellt, dass Proben mit einem hohen Gehalt an Gelbpigmenten bei der qualitativen Analyse mittels PCA in der grafischen Darstellung (Biplot) in der Umgebung der entsprechend hoch mit Carotinoiden gespikten Proben liegen müssten. Damit wäre ein Auffinden von züchterisch interessanten Ressourcen aus einer großen Anzahl von Genotypen ohne vorher notwendige nass-chemische Analysen möglich. Leider konnte diese Hypothese nicht eindeutig bestätigt werden, auch dann nicht, wenn nur eine Weizenart (Durum) berücksichtigt wurde. Verantwortlich dafür sind höchstwahrscheinlich die unterschiedlichen

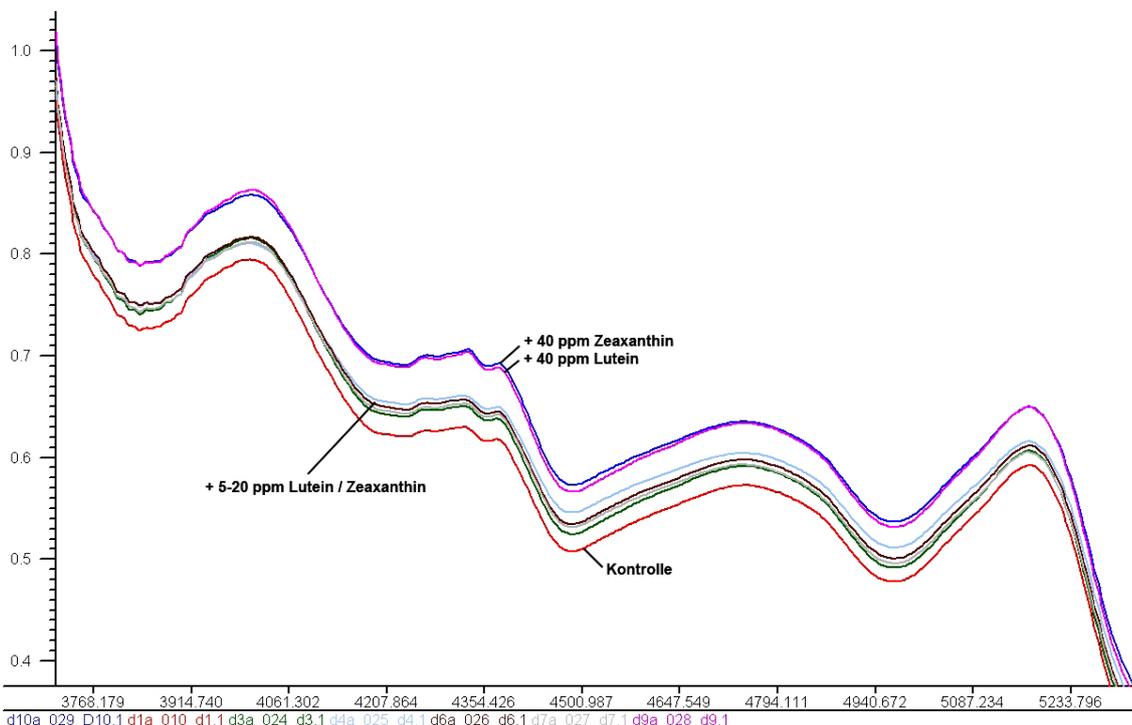


Abbildung 4: FT-NIRS Spektren von Vollkornmehl von Durobonus angereichert mit unterschiedlichen Carotinoiden und Konzentrationen (siehe Tabelle 1; Anreicherungen mit  $\beta$ -Carotin nicht dargestellt)

Figure 4: FT-NIRS spectra of whole grain flour of durum wheat Durobonus spiked with different carotenoids and concentrations (see Table 1;  $\beta$ -carotene spiked samples are not shown)

Umwelten (Jahre, Standorte, Produktionssysteme) aus denen die Proben stammen. Dadurch kann es im Biplot zu einer Verschiebung der Proben kommen (MØLLER 2004, JACOBSEN et al. 2005).

## Danksagung

Julia Lafferty (Saatzucht Donau, Probstdorf) sei herzlich für die Bereitstellung von Proben und Ergebnissen gedankt. Für die technische Assistenz bei den chemischen Analysen gilt der Dank Viola Zahlner, Ingrid Weinzel und Loredana Leopold.

## Literatur

- ABDEL-AAL ESM, YOUNG JC, WOOD PJ, RABALSKI I, HUCL P, FRÉGEAU-REID J, 2002: Einkorn: A potential candidate for developing high lutein wheat. *Cereal Chem* 79: 455-457.
- ABDEL-AAL ESM, YOUNG JC, RABALSKI I, HUCL P, FREGEAU-REID J, 2007: Identification and quantification of seed carotenoids in selected wheat species. *J Agric Food Chem* 55: 787-794.
- ESTEVE AGELET L, HURBURGH CR, 2010: A tutorial on near infrared spectroscopy and its calibration. *Crit Rev Anal Chem* 40: 246-260.
- BRANDOLINI A, HIDALGO A, MOSCARITOLO S, 2008: Chemical composition and pasting properties of einkorn (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*) whole meal flour. *J Cereal Sci* 47: 599-609.
- BRENNA OV, BERARDO N, 2004: Application of near-infrared reflectance spectroscopy (NRS) to the evaluation of carotenoids content in maize. *J Agric Food Chem* 52: 5577-5582.
- BRITTON G, 1996: Carotenoids. In: Hendry GAF, Houghton JD (Eds.), *Natural food colorants*, pp. 197-243. Chapman & Hall, London.
- GRAUSGRUBER H, SIEBENHANDL S, ETICHA F, BERGHOFER E, 2006: Carotenoids and anthocyanins in wheat (*Triticum* sp.). *Vortr Pflanzenzüchtg* 69: 117-125.
- GUSTAFSON P, RASHIMA O, MA XF, NEVO E, 2009: Wheat evolution, domestication, and improvement. In: Carver B (Ed.), *Wheat science and trade*, pp. 5-30. Wiley-Blackwell, Ames, IA.
- HENTSCHEL V, KRANL K, HOLLMANN J, LINDHAUER MG, BÖHM V, BITSCH R, 2002: Spectrophotometric determination of yellow pigment content and evaluation of carotenoids by high-performance liquid chromatography in durum wheat grain. *J Agric Food Chem* 50: 6663-6668.
- HIDALGO A, BRANDOLINI A, POMPEI C, PISCOZZI R, 2006: Carotenoids and tocols of einkorn wheat (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum* L.). *J Cereal Sci* 44: 182-193.
- JACOBSEN S, SØNDERGAARD I, MØLLER B, DESLER T, MUNCK L, 2005: A chemometric evaluation of the underlying physical and chemical patterns that support near infrared spectroscopy of barley seeds as a tool for explorative classification of endosperm genes and gene combinations. *J Cereal Sci* 42: 281-299.
- KILIAN B, ÖZKAN H, POZZI C, SALAMINI F, 2009: Domestication of the Triticeae in the Fertile Crescent. In: Feuillet C, Muehlbauer GJ (Eds.), *Genetics and genomics of Triticeae*, pp. 81-119. *Plant genetics and genomics: Crops and models*, Vol. 7. Springer Science+Business Media.
- KRUGER JE, MORGAN B, MATSUO RR, PRESTON KR, 1992: A comparison of methods for the prediction of Cantonese noodle color. *Can J Plant Sci* 72: 1021-1029.
- LEPAGE M, SIMS RPA, 1968: Carotenoids of wheat flour: their identification and composition. *Cereal Chem* 45, 600-604.
- LOCHER F, HEUWINKEL H, GUTSER R, SCHMIDHALTER U, 2005: Development of near infrared reflectance spectroscopy calibrations to estimate legume content of multispecies legume-grass mixtures. *Agron J* 97: 11-17.
- LØJE H, MØLLER B, LAUSTSEN AM, HANSEN A, 2003. Chemical composition, functional properties and sensory profiling of einkorn (*Triticum monococcum* L.). *J Cereal Sci* 37: 231-240.
- MØLLER B, 2004: Near infrared transmission spectra of barley of malting grade represent a physical-chemical fingerprint of the sample that is able to predict germinative vigour in a multivariate data evaluation model. *J Inst Brew* 110: 18-33.
- PRANCE G, NESBITT M, 2005: *The cultural history of plants*. Routledge, New York.
- SCHIPPERA, JAHN-DEESBACH W, HANNEFORTH U, ZWINGELBERG H, 1998: Weizen für besondere Verwendungszwecke: Gelbpigment-Weizen. *Mühle + Mischfüttertechnik* 135: 14-16.
- SVENSSON G, 1982: Aestivumweizen mit gelbem Farbton für die Teigwarenherstellung. *Getreide Mehl Brot* 36: 315-316.
- WILLIAMS PC, 1979: Screening wheat for protein and hardness by near infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Chem* 56: 169-172.
- WILSON ND, IVANOVA MS, WATT RA, MOFFAT AC, 2002: The quantification of citral in lemongrass and lemon oils by near-infrared spectroscopy. *J Pharm Pharmacol* 54: 1257-1263.

**Anmerkung:** Die Online-Version des Tagungsbandes enthält alle Abbildungen in Farbe und kann über die Homepage der Jahrestagung (<http://www.raumberg-gumpenstein.at/> - Downloads - Fachveranstaltungen/Tagungen - Saatzüchertagung - Saatzüchertagung 2011) oder den korrespondierenden Autor bezogen werden.