

Peru

Kakao ist die gesündere Alternative

Award

Candy Kettle Award für Fazer

Handbuch

Richtig arbeiten mit Kakao

Ab 2014 neu, international,
englisch und digital
exklusiv für Abonnenten:

sweet vision

Jetzt abonnieren!
vertrieb@
suesswarentechnik.de

■ ■ TECHNIK + WIRTSCHAFT

susswaren



Mikrowellenunterstützte Kakaoröstung: Einfluss des Energieeintrags auf physikalische Eigenschaften des Kakaos und den Energiebedarf

Bei der Kakaoverarbeitung ist das Rösten essenziell für die Aromaentwicklung und andere Qualitätsmerkmale.

Dr.-Ing.
Jewe Schröder

Diana Schwarz

Dr. rer. nat. Dipl.-Ing.
Volker Gaukel

Prof. Dr.-Ing.
Heike P. Schuchmann

Karlsruher Institut für
Technologie (KIT)
Institut für Bio- und
Lebensmitteltechnik
Bereich I:
Lebensmittel-
verfahrenstechnik
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe

Einleitung

Es werden unerwünschte flüchtige Stoffe entfernt, erwünschte Aromakomponenten durch die Maillardreaktion gebildet, der Wassergehalt reduziert und der Kakao wird dunkler (Afoakwa, 2010). Die Röstbedingungen, im Besonderen Temperatur und Zeit, beeinflussen die Farbe des Kakaos (Krysiak, 2006; Kendari et al., 2012). Ebenso haben die Röstbedingungen einschließlich des verwendeten Röstertyps einen entscheidenden Einfluss auf das Aromaprofil des gerösteten Kakaos (Hernandez und Rutledge, 1994). Speziell für die Maillardreaktion ist der Wassergehalt relevant. Der erwünschte

Endwassergehalt liegt bei etwa 2 % (Afoakwa, 2010). Ein systematisches Design des Aromaprofils durch Wahl der Röstbedingungen basierend auf wissenschaftlichen Erkenntnissen ist bisher nicht in der Literatur beschrieben.

Herkömmlich wird Kakao bei der Röstung durch konvektive oder Kontaktheizung erwärmt, was einen hohen Energieverbrauch mit sich bringt. Die Nutzung von Mikrowellenerwärmung wurde bereits von mehreren Forschungsgruppen untersucht: Mit einem speziell konstruierten Schachtröster konnte der Energiebedarf bei der mikrowellenunterstützten Röstung im Vergleich zur konventionellen Röstung trotz des geringen Verlustfaktors von Kakao um 30 % gesenkt werden (Rother et al., 2009b; Rother, 2010). Mit Blick auf die Produktqualität wurde gezeigt, dass der Mikrowelleneinsatz bei der Röstung zwar die Fettoxidation in Kakaobutter fördert, aber die physikochemische Qualität der so gerösteten Kakaobohnen besser ist (Krysiak, 2011). Es wird angenommen, dass die homogenere Erwärmung durch die Mikrowellen vorteilhaft für die Qualität des Kakaos ist.

In einem durch das BMWi geförderten AiF-Projekt wurde der Einfluss des Mikrowellenenergieeintrags und das daraus resultierende Zeit-Temperatur-Profil auf die physikalischen Eigenschaften und den damit einhergehenden Energiebedarf untersucht. Neben der mikrowellenunterstützten Röstung wurde auch der Einfluss von Aufheizrate, Endtemperatur und Haltezeit auf die Endtemperatur bei konvektiver Röstung bestimmt. Das wahrnehmbare Aromaprofil und die dafür verantwortlichen Schlüsselverbindungen im gerösteten Kakao werden durch den Projektpartner (DFA) analysiert. Auf Basis dieser Daten können potenzielle Verbesserungen des Röstprozesses hinsichtlich Kakaoqualität, Energieverbrauch und Durchsatz identifiziert werden.

Material und Methoden

Eigenschaften des verwendeten Kakaos

Eingesetzt wurde Edelkakao der Provenienz Nacional aus Ecuador in Form ganzer Bohnen sowie gebrochener Bohnen ohne Schalen, sogenannte Nibs. Beide stammten aus der gleichen Charge. Der Feuchtigkeitsgehalt und die Farbe des ungerösteten Kakaos sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die

Messmethoden werden im weiteren Verlauf des Texts beschrieben. Die Bohnen haben einen höheren Feuchtigkeitsgehalt als die Nibs, was auf die erforderliche thermische Behandlung beim industriellen Brechen der Bohnen zu Nibs zurückzuführen ist. Die thermische Behandlung ist vermutlich auch für die leichte Farbdifferenz zwischen Bohnen und Nibs verantwortlich.

Kakaoform	Feuchtigkeitsgehalt w / %	Farbe		
		L* / -	a* / -	b* / -
Bohnen	6,21 ± 0,24	17,61 ± 0,20	12,00 ± 0,05	15,39 ± 0,10
Nibs	4,49 ± 0,16	18,65 ± 0,14	12,30 ± 0,23	15,85 ± 0,20

Tabelle 1: Feuchtigkeitsgehalt und Farbe des ungerösteten Kakaos

Kakaoröstung

Ein modularer Laborröster (Rother et al., 2009a; Kraus et al., 2011) wurde für die Versuche eingesetzt. Dieser ermöglicht die flexible Kombination von konvektivem und Mikrowellenenergieeintrag. Zur Prozesskontrolle und nachfolgender Auswertung werden die Temperatur, Wassergehalt und der Volumenstrom (bei Raumtemperatur) des Luftstroms am Ein- und Auslass, die Oberflächentemperatur der Probe sowie die eingeleitete und reflektierte Mikrowellenleistung gemessen und aufgezeichnet. Für die Röstung wird die gewünschte Oberflächentemperatur der Probe vorgegeben, welche mithilfe eines Infrarotthermometers online bestimmt wird. Zur Kontrolle des Leistungseintrags werden die maximale Temperatur am Einlass und der Volumenstrom des Luftstroms sowie die maximale eingeleitete Mikrowellenleistung PMW festgelegt. Die Probe wird in eine Trommel aus PTFE eingebracht, welche gleichzeitig Durchströmen mit Heißluft, Mikrowellenerwärmung, Mischen der Probe und die Oberflächentemperaturmessung erlaubt. Zum Pasteurisieren wurde Heißdampf in den Prozessraum eingebracht.

Als Referenz wurde ein Röstprozess mit rein konvektivem Energieeintrag definiert. Dieser ist von einem industriellen Prozess abgeleitet und wurde zum Erreichen des gewünschten Endfeuchtigkeitsgehalts von 1,5 bis 3,5 % angepasst. Das Zeit-Temperatur-Profil (t-T-Profil) beider Prozesse ist in Abbildung 1 dargestellt. Der Referenzprozess wurde in 5 Schritte geteilt:

1. Erwärmung auf 90 °C (10 min).
Maximale Lufttemperatur 135 °C.
2. Halten auf 90 °C (10 min).
Maximale Lufttemperatur 135 °C.
3. Erwärmen auf 125 °C (15 min).
Maximale Lufttemperatur 155 °C.
4. Halten auf 125 °C (20 min) und Einbringen von Heißdampf zur Pasteurisierung (0,5 min) – erkennbar durch eine kurzfristige Temperaturerniedrigung bei 40 min Laufzeit.
Maximale Lufttemperatur 170 °C.
5. Kühlen mit Luft bei 30 °C (10 min).

Der Volumenstrom wurde für den gesamten Prozess auf 52 m³/h festgelegt. Die einminütigen Pausen und damit einhergehenden kurzzeitigen

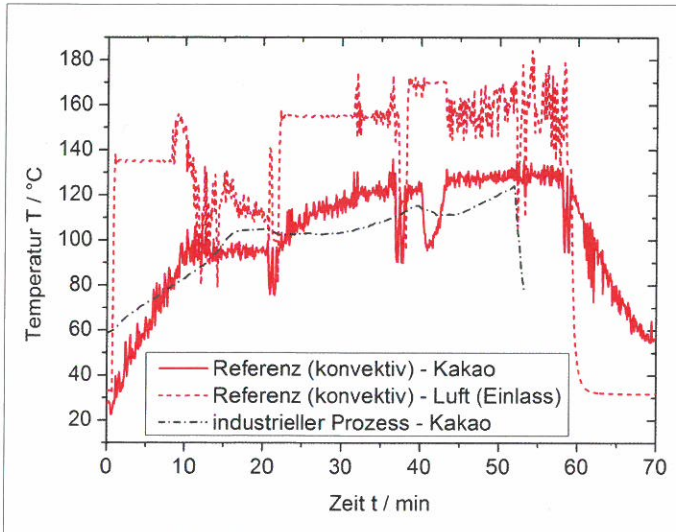


Abbildung 1: t-T-Profil des rein konvektiven Referenzprozesses (rot) für Kakao und die Luft am Einlass und t-T-Profil des industriellen Prozesses (grau)

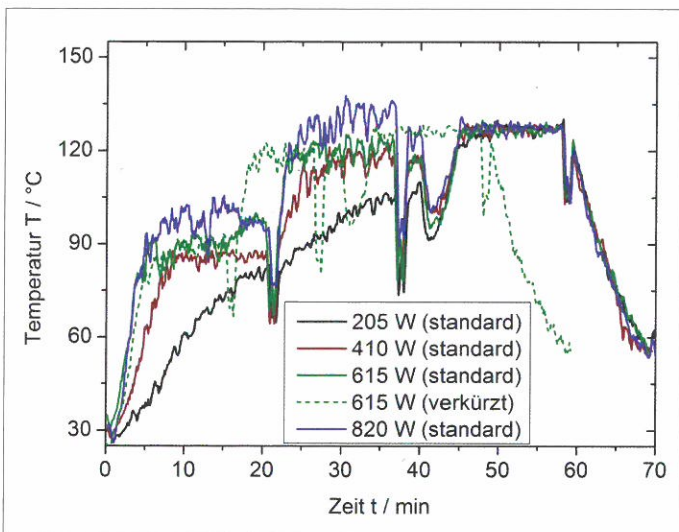


Abbildung 2: t-T-Profile (hier gleitender Mittelwert über 0,5 min) bei mikrowellenunterstützter Röstung mit unterschiedlicher Mikrowellenleistung und Prozesszeit

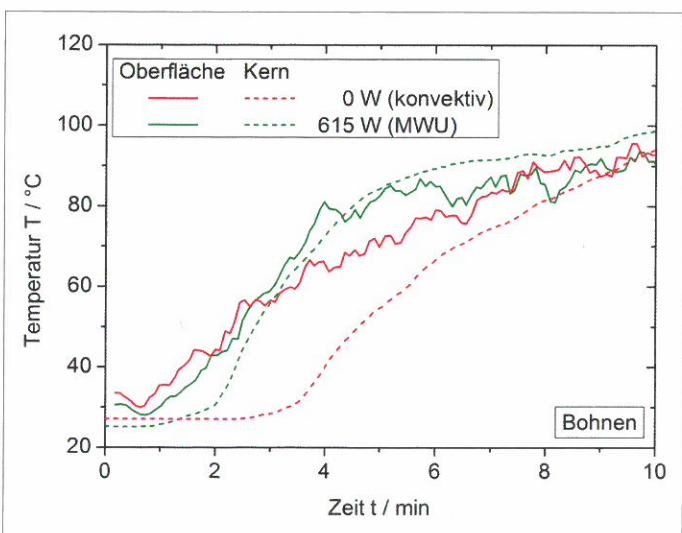


Abbildung 3: t-T-Profile der Oberfläche und des Kerns von Kakaobohnen während Schritt 1 für den rein konvektiven Referenzprozess (rot) und die mikrowellenunterstützte (grün) Röstung

Temperaturabsenkungen zwischen Schritt 2 bis 5 (bei 21, 37 und 58 min Laufzeit) sind auf den Wägevorgang zurückzuführen, während dem die Temperaturmessung verfälscht ist. Jeder Batch Bohnen oder Nibs hatte zu Beginn eine Masse von 250 ± 2 g.

Für die **mikrowellenunterstützte Röstung (MWU)** wurden die Schritte 1 bis 3 verändert. Die entsprechenden t-T-Profile sind in Abbildung 2 aufgetragen. Es wurde nur in Schritt 1 bis 3 Mikrowellenenergie eingebracht, da nur hier eine schnellere und homogenere Erwärmung des Kakaos von Interesse ist. PMW wurde auf 205, 410, 615 und 820 W festgelegt. In den drei Schritten wurde die maximale Lufttemperatur am Einlass auf den gleichen Wert wie die gewünschte Oberflächentemperatur im jeweiligen Schritt begrenzt und der Volumenstrom auf $21,5 \text{ m}^3/\text{h}$ reduziert. Somit wurde die Wirkung des konvektiven Energieeintrags minimiert, ohne den Austrag von Wasser und anderen flüchtigen Stoffen zu verhindern. Bei 205 W war die Erwärmung der Oberfläche deutlich langsamer als beim Referenzprozess; bei 615 und 820 W war sie dagegen schneller. Daher wurden auch Versuche bei 615 W und einer um 10 min reduzierten Gesamtdauer von Schritt 1 bis 3 durchgeführt. Die Bohnenkerntemperatur wurde in einzelnen Versuchen mit einem faseroptischen Temperatursensoren (Neoptix T1 Temperature Probe & Reflex Signal Conditioner) gemessen.

Zur **Bewertung des Energiebedarfs** im Laborröstprozess wurde eine vereinfachte Energieberechnung durchgeführt. Entsprechend Gleichung 1 wurde die für den Röstprozess erforderliche Gesamtenergie anhand der Differenz der Wärmeströme der Luft $Q_{\text{Luft,ein/aus}}$, der Enthalpieänderung des aus dem Kakao verdunsteten Wassers $\Delta H_{\text{Wasser,Kakao}}$ und der Differenz der eingeleiteten und reflektierten Mikrowellenenergie $E_{\text{MW,ein/aus}}$ berechnet. Die Berechnung von $Q_{\text{Luft,ein/aus}}$ wurde unter Annahme trockener Luft mit den gemessenen Lufttemperaturen, bei Raumtemperatur gemessenem Volumenstrom, Luftdichte bei Raumtemperatur von $1,1885 \text{ kg/m}^3$ und einer mittleren spezifischen Wärmekapazität von $1,015 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ durchgeführt. Zur Berücksichtigung der Wassergehaltserhöhung in der Luft wurde $\Delta H_{\text{Wasser,Kakao}}$ mit der jeweiligen Feuchtigkeitsgehaltsveränderung des Kakaos und einem Temperaturanstieg von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (mittlere Raumtemperatur) auf $100 \text{ }^\circ\text{C}$ (mittlere Luftaustrittstemperatur) mit einer mittleren spezifischen Wärmekapazität von $4,200 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ und einer Verdunstungsenthalpie von Wasser bei $100 \text{ }^\circ\text{C}$ von 2257 kJ/kg bestimmt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Vereinfachungen bei der Berechnung von $\Delta H_{\text{Wasser,Kakao}}$ zu einer Unterschätzung der benötigten Energie führen, aber es wird im Weiteren gezeigt, dass der Wassergehalt in der Luft bei diesem Prozess vernachlässigt werden kann. $E_{\text{MW,ein/aus}}$ wird direkt aus den Messwerten der eingeleiteten und reflektierten Mikrowellenleistung abgeleitet.

$$E_{\text{Röstung}} = Q_{\text{Luft,ein}} - Q_{\text{Luft,aus}} - \Delta H_{\text{Wasser,Kakao}} + E_{\text{MW,ein}} - E_{\text{MW,aus}} \quad (1)$$

Die **Erwärmung des Rösters** zwischen Ein- und Auslass der Luft (Temperaturmesspunkte) wurde vernachlässigt. Für die einfache Bewertung der Daten kann dies bei vergleichbaren t-T-Profilen des Kakaos vernachlässigt werden, da von einer vergleichbaren Erwärmung des Prozessraums ausgegangen wird.

Charakterisierung des Kakaos

Der Kakao wurde in einer Messermühle (Vorwerk Thermomix) in zwei Schritten für die Feuchtigkeitsgehalts- und Farbmessungen gemahlen. Die ganzen Bohnen wurden zuvor gebrochen (CPS Limprimita Cocoa Breaker) und zur Entfernung der Schalen gesichtet (CPS CC-1 Catador Winnower). Nur die so erhaltenen Nibs wurden weiter analysiert. Die Nibs wurden in 10 s (geröstet) bzw. 25 s (ungeröstet) auf weniger als $2,0 \text{ mm}$ zerkleinert, ohne dass es zu erkennbarem Freisetzen und Aufschmelzen von Kakaobutter kam, was zum Verkleben des Pulvers geführt hätte. Das Pulver wurde

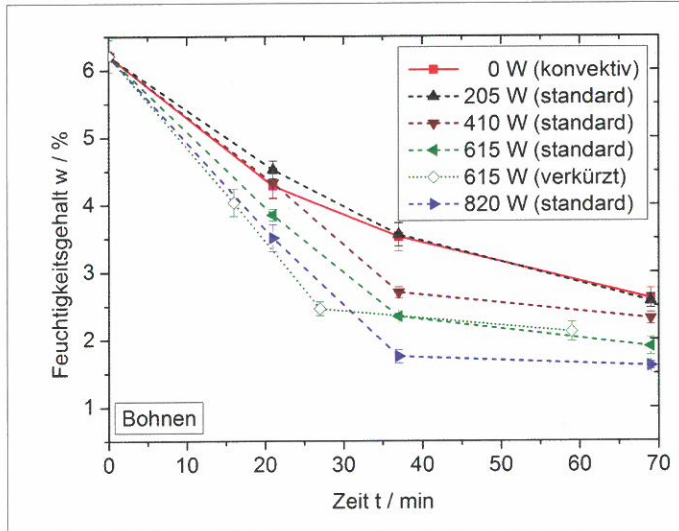


Abbildung 4: Feuchtigkeitsgehaltsveränderung von Kakaobohnen während mikrowellenunterstützter Röstung im Vergleich zu rein konvektiver Röstung (rot). Standardabweichung von Dreifachmessung

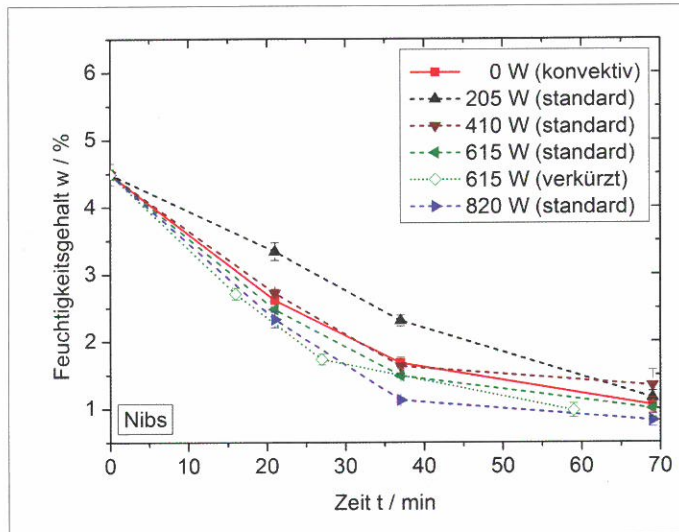


Abbildung 5: Feuchtigkeitsgehaltsveränderung von Kakaonibs während mikrowellenunterstützter Röstung im Vergleich zu rein konvektiver Röstung (rot). Standardabweichung von Dreifachmessung

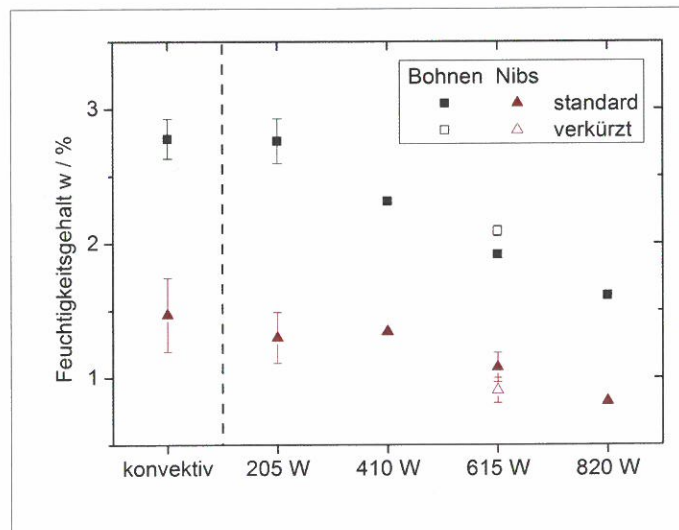


Abbildung 6: Endfeuchtigkeitsgehalt von geröstetem Kakao bei unterschiedlicher Mikrowellenleistung im Vergleich zu rein konvektiver Röstung. Standardabweichung für mehrfache Röstversuche

mit Analysesieben klassiert und die Fraktion von 0,5 bis 1,0 mm für die Messung mit dem Feuchtebestimmer (KERN MLS-A Moisture Analyzer) verwendet. Da bei dieser gravimetrischen Messung nicht alles gebundene Wasser bestimmt werden kann und ggf. andere flüchtige Substanzen die Masseänderung beeinflussen können, wird dieser Messwert im Weiteren als Feuchtigkeitsgehalt und nicht als Wassergehalt bezeichnet. Der Feuchtigkeitsgehalt von $4,5 \pm 0,1$ g wurde bei 105°C und einer maximalen Massenänderung von $0,001$ g pro 90 s als Stabilitätskriterium bestimmt. Die Messung wurde dreifach durchgeführt.

Der restliche Kakao wurde für 300 s und bei einer maximalen Temperatur von 50°C (zur Vermeidung weiterer thermischer Beanspruchung) gemahlen. Aufgrund Verwendung einer Messermühle enthielten die hergestellten Kakaomassen einzelne größere Partikel (bis zu 2 mm). Insgesamt wurde der Kakao aber zu feinen Partikeln zerkleinert, die in der freigesetzten und aufgeschmolzenen Kakaobutter dispergiert waren. Die Farbe der aufgeschmolzenen Masse wurde bei 40°C mit einem Farbmessgerät (Konica Minolta CR-300 Chroma Meter) bestimmt und im CIELAB-Farbraum mit den Koordinaten L^* (0 schwarz, 100 weiß), a^* (negativ grün, positiv rot) und b^* (negativ blau, positiv gelb) charakterisiert (DIN EN ISO 11664-4, 2012). Die Messungen wurden fünffach durchgeführt. Zur besseren Darstellung der Farbveränderung wurde die Farbdifferenz ΔE entsprechend Gleichung 2 berechnet, wobei der Index R für gerösteten und 0 für ungerösteten Kakao steht.

$$\Delta E = LR^* - L0^*2 + aR^* - a0^*2 + bR^* - b0^*2 \quad (2)$$

Ergebnisse und Diskussion

Einfluss des Energieeintrags auf das Zeit-Temperatur-Profil des Kakaos

In Abbildung 3 sind die t-T-Profile von Oberfläche und Kern von Kakaobohnen für den rein konvektiven Referenzprozess (0 W (konvektiv)) und eine mikrowellenunterstützte Röstung (615 W (MWU)) dargestellt. Der Anstieg der Oberflächentemperatur beginnt bei beiden Prozessen quasi zeitgleich. Im Gegensatz dazu startet der Kerntemperaturanstieg bei MWU früher ($\approx 1,0$ min Versatz) als bei konvektiver Röstung ($\approx 2,5$ min Versatz). Dies zeigt, dass hier der Mikrowelleneinsatz in einer homogeneren Erwärmung des Kakaos resultiert.

Auswirkung der Röstbedingungen auf die physikalischen Eigenschaften des Kakaos

Die Veränderung des Feuchtigkeitsgehalts nach Schritt 2, 3 und 5 für die unterschiedlichen Röstbedingungen ist in Abbildung 4 für Bohnen und in Abbildung 5 für Nibs aufgetragen. Grundsätzlich ist für die jeweilige Röstbedingung die Feuchtigkeitsgehaltsreduktion in Schritt 1 bis 3 am größten. Mit steigender maximaler eingeleiteter Mikrowellenleistung PMW verringert sich die Reduktion während Schritt 4 und 5. Insgesamt hat PMW einen stärkeren Einfluss bei Bohnen als bei Nibs. Im Vergleich von MWU zum Referenzprozess wird bei Bohnen mit 205 W ein vergleichbarer Verlauf erzielt, wohingegen bei Nibs hierzu 410 bis 615 W benötigt werden. Da bei 205 W die Oberflächentemperatur deutlich unter der des Referenzprozesses lag, ist der vorteilhafte Effekt der homogeneren Mikrowellenerwärmung bei größeren Partikeln (Bohnen) verantwortlich für die mit dem Referenzprozess vergleichbare Feuchtigkeitsreduktion. Bei Bohnen werden weiterhin nicht so geringe Endfeuchtigkeitsgehalte wie bei Nibs erzielt, was auf eine Limitierung des Wärme- und Stofftransports durch die größeren Partikel hindeutet.

Die physikalischen Eigenschaften des gerösteten Kakaos sind in Abbildung 6 (Feuchtigkeitsgehalt) und Abbildung 7 (Farbdifferenz) dar-

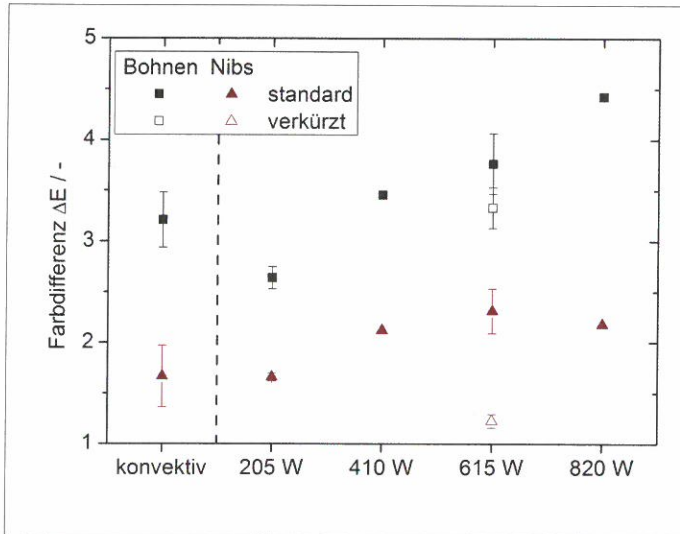


Abbildung 7: Gesamtfarbdifferenz von geröstetem Kakao bei unterschiedlicher Mikrowellenleistung im Vergleich zu rein konvektiver Röstung. Standardabweichung für mehrfache Röstversuche

gestellt. Eine höhere PMW resultiert in geringerem Feuchtigkeitsgehalt und größerer Farbdifferenz für Bohnen und Nibs. Dabei können mit MWU bei 205 bis 410 W mit dem Referenzprozess vergleichbare Werte erzielt werden. MWU bei 615 W mit verkürzter Prozesszeit erreicht einen ähnlichen Feuchtigkeitsgehalt, aber eine geringere Farbdifferenz als bei 615 W mit normaler Prozesszeit. Neben dem zuvor diskutierten Einfluss der Partikelgröße auf Wärme- und Stofftransport kann die grundsätzliche Differenz zwischen Bohnen und Nibs teilweise auf den Unterschied der Startwerte des Feuchtigkeitsgehalts (1,72 %) und der Farbdifferenz (1,18) zurückgeführt werden.

Energiebedarf bei unterschiedlichen Röstbedingungen

Die Daten der Energieberechnung für Bohnen sind in Tabelle 2 aufgeführt. Der Einfluss der Erwärmung und Verdunstung des Wassers aus dem Kakao kann vernachlässigt werden, da die dafür benötigte Energie bei 0,018 bis 0,030 MJ liegt im Vergleich zur benötigten Gesamtenergie von 1,95 bis 3,48 MJ. Mit größerer PMW steigt die benötigte Mikrowellenenergie leicht; die benötigte Gesamtenergie zeigt hingegen keinen klaren Trend, da die durch die Luft eingebrachte Energie variiert. Die Prozesszeitverkürzung reduziert die benötigte Gesamtenergie nur geringfügig. Im Vergleich zum Referenzprozess wird bei MWU eine Energieeinsparung von rund einem Drittel erreicht. Die gleichen Trends konnten für Nibs festgestellt werden.

	$Q_{\text{Luft,ein}}$ / MJ	$Q_{\text{Luft,aus}}$ / MJ	$\Delta H_{\text{Wasser,Kakao}}$ / MJ	$E_{\text{MW,ein}}$ / MJ	$E_{\text{MW,aus}}$ / MJ	$E_{\text{Röstung}}$ / MJ
0 W (konvektiv)	7,70	4,40	0,022	-	-	3,27
205 W (standard)	4,77	2,93	0,022	0,42	0,20	2,04
410 W (standard)	4,48	2,83	0,025	0,51	0,19	1,95
615 W (standard)	4,68	2,88	0,028	0,62	0,25	2,15
615 W (verkürzt)	4,42	2,64	0,027	0,49	0,20	2,04
820 W (standard)	4,67	2,93	0,030	0,69	0,30	2,10

Tabelle 2: Daten zum Energiefluss bei der Bohnenröstung und den untersuchten Röstbedingungen

Fazit und Ausblick

Mit mikrowellenunterstützter Röstung (MWU) können bei geringer maximaler eingeleiteter Mikrowellenleistung PMW (hier 205 bis 410 W) mit dem rein konvektiven Referenzprozess vergleichbare physikalische

Eigenschaften (Feuchtigkeitsgehalt & Farbveränderung) erzielt werden. Dies wird bei einer geringeren Oberflächentemperatur des Kakaos und einem um ein Drittel verringerten Gesamtenergiebedarf erreicht.

Als interessant für Aromauntersuchungen wurden die Kakaomassen bei PMW 205 W bei normaler Prozesszeit aufgrund vergleichbarer physikalischer Eigenschaften und bei PMW 615 W bei verkürzter Prozesszeit aufgrund der Zeitersparnis bewertet. Eine erste retronasale sensorische Unterschiedsprüfung dieser Kakaomassen im Vergleich zum rein konvektiven Referenzprozess durch den Projektpartner ergab, dass bei der Nibs-röstung kaum Unterschiede erkennbar sind, wohingegen bei der Bohnenröstung eher Unterschiede erkennbar sind. Dies kann auf die homogenere Erwärmung der größeren Partikel (Bohnen) bei MWU zurückführbar sein.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Max Rubner-Institut, Karlsruhe, für die Zurverfügungstellung des Farbmessgeräts. Die sensorische Bewertung der Kakaoproben wurde federführend durch Dr. Martin Steinhaus und Prof. Peter Schieberle an der Deutschen Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Freising, durchgeführt. Das Forschungsvorhaben (AiF 17281 N) wurde im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (via AiF) über den Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) gefördert. ■

Literatur

- Afoakwa, E. O., 2010 – Chocolate Science and Technology, Wiley-Blackwell.
DIN EN ISO 11664-4, 2012 – Colorimetry – Part 4:CIE 1976 L*a*b* Colour space.
- Hernandez, C. V., Rutledge, D. N., 1994 – Multivariate Statistical-Analysis of Gas Chromatograms to Differentiate Cocoa Masses by Geographical Origin and Roasting Conditions, Analyst, 119 (6): 1171-1176.
- Kendari, T., Yuwono, S. S., Estiasih, T., Santoso, U., 2012 – Various Temperature of Vacuum and Conventional Roasting on Color Alteration and Polyphenols Content of Cocoa Powder, J. Food Sci. Eng., 2(11): 642-651.
- Kraus, S., Rother, M., Steimle, P., Gaukel, V., Schuchmann, H. P., Merk, D., 2011 – Entwicklung eines modularen Trocknungsprozessors zur Anwendung kombinierter Trocknungsverfahren, Chem. Ing. Tech., 83(6): 888-892.
- Krysiak, W., 2006 – Influence of roasting conditions on coloration of roasted cocoa beans, J. Food Eng., 77(3): 449-453.
- Krysiak, W., 2011 – Effects of convective and microwave roasting on the physicochemical properties of cocoa beans and cocoa butter extracted from this material, Grasas Aceites, 62(4): 467-478.
- Rother, M., Gaukel, V., Fehr, H., Schuchmann, H. P., 2009a – A modular drying processor for food applications – Microwave vacuum puffing, Ampere 2009, Karlsruhe, 399-402.
- Rother, M., Gaukel, V., Schuchmann, H. P., 2009b – Microwave Roasting – Low loss factor microwave applications, Ampere 2009, Karlsruhe, 403-406.
- Rother, M., 2010 – Über das Konkurrenzverhalten von Dielektrika bei der Mikrowellenerwärmung, Dissertation, Karlsruhe Institut für Technologie.