



KURIOS, SPANNEND, ALLTÄGLICH...

Von Vollmilch bis Bitter, edelste Polymorphie

Schokolade macht glücklich und ist ein Fest für die Sinne. Welch ein Genuss: vom glänzenden Dunkelbraun der Tafel und dem satten Knacken beim Abbrechen eines kleinen Stücks, über den Duft, der Erinnerungen an die Geborgenheit der Kindheit zurückruft, bis zur ersten Berührung mit der Zunge, dem langsamen Zergehen der Schokolade und dem wohligen Kleben der bitter-süßen Schmelze am Gaumen ...

*... All das lässt unsere Seele schnurren. Quelle dieses Glücks ist der tropische Kakaobaum, den Linné voller Begeisterung *Theobroma cacao* nannte, Speise der Götter. Versuchen wir hinter das Geheimnis dieser Göttergabe zu kommen, wobei eines schon vorweg gesagt sei: Schokolade ist die einzige Polymorphie, die schmeckt.*



Der Kakao ist eine Entdeckung der Olmeken, einer Hochkultur, die zwischen 1500 und 400 v. Chr. in den küstennahen Tropenwäldern im südlichen Mexiko lebte und bereits 600 v. Chr. ein als *kakawa* bezeichnetes Getränk konsumierte [1]. Mehr noch, sie waren die Ersten, die den Kakao- baum anbauten. Kakao spielte auch später bei den Mayas und Azteken eine wichtige Rolle, war aber nur Wohlhabenden und Privilegierten vorbehalten. Kakao wurde bevorzugt aufgeschäumt getrunken und abwechslungsreich zubereitet (Abbildung 1). Neben Maismehl wurden Blüten und verschiedene Gewürze, vor allem Chilipulver und Vanille zugesetzt.

Über die erste Begegnung der Europäer mit Kakao gibt es viele Legenden [2]. Meist kommt dabei Hernando Cortez ins Spiel, dem Montezuma das Getränk aus goldenen Bechern angeboten haben soll [3]. Erstmals urkundlich belegt ist ein Gastgeschenk einer Delegation guatemaltekischer Dominikaner-Mönche und adliger Mayas bei Prinz Philipp von Spanien im Jahr 1544 [4]. Das daraus gebrauchte Getränk dürfte Philipp kaum geschmeckt haben, denn der Kakao wurde mit Wasser und ohne Zuckersatz hergestellt und schmeckte bitter. Die einfallsreichen Köche des spanischen Hofes experimentierten mit der braunen Bohne und kreierte schließlich ein wohlschmeckendes Getränk mit zunächst geheim gehaltenen Rezeptur. Erst Jahrzehnte später sickerte das Geheimnis der Zubereitung durch: Rohe Kakaobohnen wurden über einem kleinen Feuer geröstet und die Hülsen von den Kernen abgelöst. Die Kerne wurden zerrieben und vorsichtig geschmolzen und mit feinpudrigem Zucker, getrocknetem Mark von Vanilleschoten und Zimt versetzt. „Dann muss man es mahlen wie zuvor, aber kraftvoller und länger, bis alles gut miteinander verbunden ist und aussieht, als sei es nur Kakao.“ [5]

Auf dieser kulinarischen Basis eroberte der Kakao die europäischen Adelskreise, denn er brachte alle Voraussetzungen für ein edles „in“-Ge-

tränk mit: er war exotisch, sündhaft teuer, schwierig zuzubereiten und ihm wurde eine aphrodisische Wirkung nachgesagt.

Für das damals zubereitete Getränk würden wir uns heute kaum begeistern. Einmal war der Kakao vergleichsweise grob gemahlen und schmeckte deswegen „sandig“. Der hohe Fettgehalt der Bohnen machte ihn recht unverdaulich, und er musste ständig aufgeschlagen werden, damit sich weder das Fett noch die festen Bestandteile absetzen. Von der uns vertrauten Tafel Schokolade war man noch weit entfernt [6]. Verfolgen wir daher eine heute gewachsene Kakaobohne vom Baum in die Schokoladenfabrik.

Auf der Kakao-Plantage [7]

Der bis zu 15 m hohe Kakaobaum wächst ausschließlich am Äquator zwischen dem nördlichen und südlichen 15. Breitengrad, allerdings nur bei ausreichender Feuchtigkeit und Temperaturen nicht unter 16 °C. Hauptlieferanten für Deutschland sind heute die Elfenbeinküste (58,7 % des deutschen Imports 2004), Ghana (11,2 %), Nigeria (8,2 %), Ecuador (6,9 %) und Papua-Neuguinea (2,2 %) [8]. Drei Varietäten werden angebaut: *Criollo*, eine sehr empfindliche und

gegen Schädlinge anfällige Pflanze, die jedoch besonders hochwertigen Kakao ergibt, *Forastero* ursprünglich aus der Amazonasregion und *Tritinario*, eine Kreuzung aus *Forastero* und *Criollo*. Der Gesamtmarkt beläuft sich jährlich auf ca. 2,5 Millionen Tonnen, wobei *Criollo* einen Marktanteil von 3 %, *Forastero* 85 % und *Tritinario* 12 % haben.

Die melonenähnliche Kakaofrucht mit einer Länge zwischen 10 und 30 cm wächst direkt aus dem Stamm und den großen Ästen hervor und enthält neben dem Fruchtfleisch etwa 30-50 mandelförmige Bohnen, genau die Menge, die zur Herstellung einer Tafel Schokolade benötigt wird.

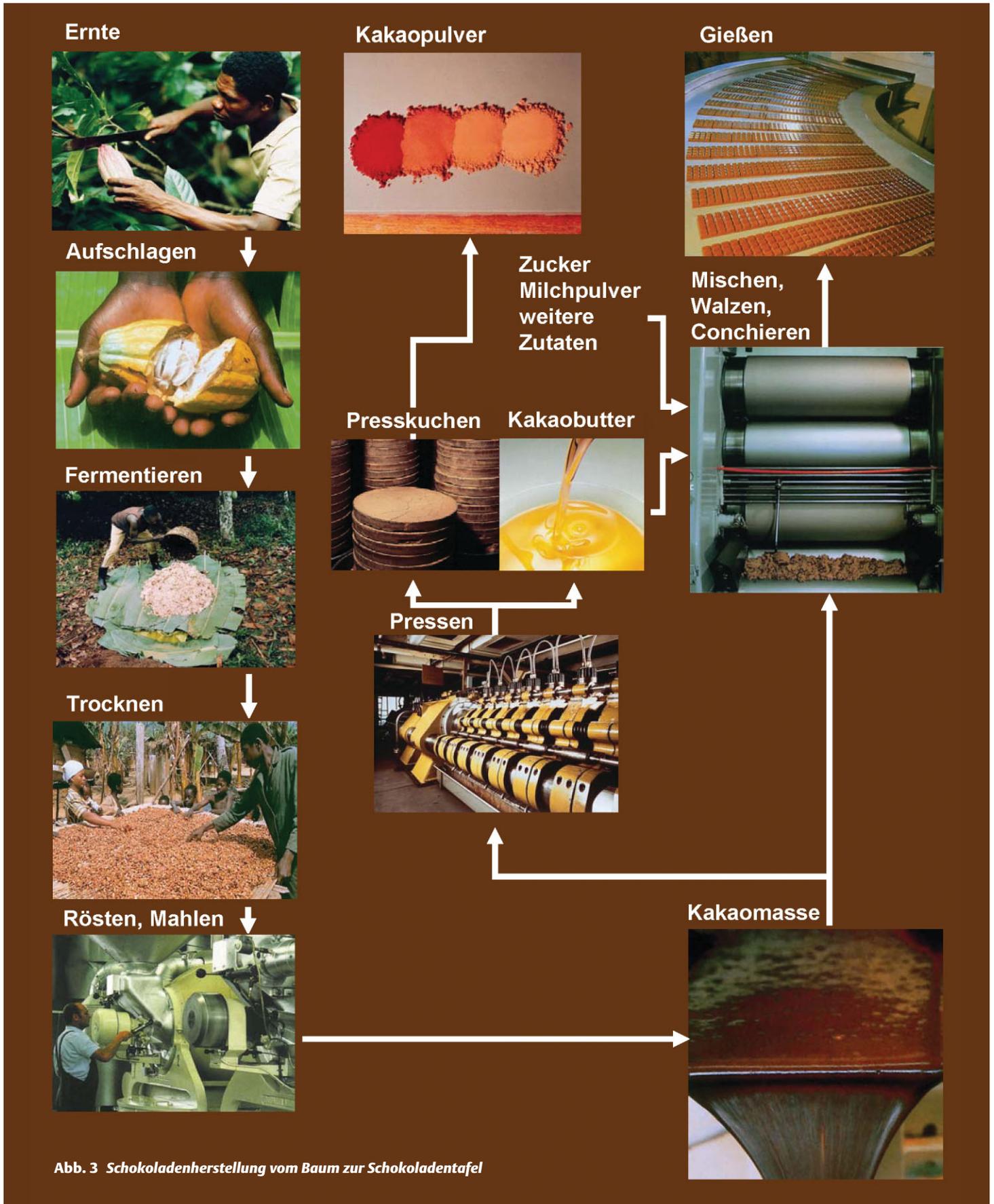
Würde man die unbehandelten Kakaobohnen rösten, wäre das Ergebnis enttäuschend, sie würden weder nach Schokolade riechen, noch schmecken. Das hochgeschätzte Kakaoaroma entwickelt sich nur aus fermentierten Bohnen. Gleich nach der Ernte (Abbildung 3) werden die Früchte aufgeschlagen und die Bohnen mit anhängendem Fruchtfleisch angehäufelt oder in belüftete Kisten geschüttet oder im Freien ausgebrei-



Abb. 1 Der Kakao der Mayas. Für die Mayas war der Schaum des Kakaos das Beste. Zu seiner Herstellung wurde das Getränk mehrfach aus großer Höhe umgeschüttet. Kakao wurde in vielen Variationen zubereitet, jedoch immer ohne Zucker. In dieser Darstellung aus dem Kodex Nuttall (um 1050 n. Chr.) hält der König einen Becher schäumenden Kakao, der ihm von seiner Braut überreicht wurde.

Abb. 2 Die Tasse Schokolade (Gemälde von François Boucher 1703-70) Schokolade war im Barock und Rokoko „in“. Kredenz wurde das heiße Getränk in einer speziellen Kanne mit seitlichem, hölzernen Griff, der *chocolatière*. Durch die mit einem Deckel verschließbare große Öffnung konnte die Schokolade mit einem Löffel aufgerührt werden, um ein Absetzen von festen Bestandteilen zu verhindern. Das teure Getränk durfte das Dienstpersonal nur zubereiten, aber nicht selbst trinken. Voller Verständnis lässt Mozart in „Cosi fan tutte“ seine Despina jammern: Welch schauerhaftes Leben führt man als Kammermädchen. Eine Stunde schon wart' ich mit dem fertigen Frühstück. Und genieße von ihrer Schokolade nur die Düfte. Schmeckt sie mir nicht so gut, wie meiner Herrschaft? Ja gewiss, schöne Damen, für sie ist das Trinken, für mich das Zusehen.







tet und z.B. mit Bananenblättern abgedeckt. Nach wenigen Stunden setzt die Fermentation ein. In einer beeinträchtigenden mikrobiologischen Choreographie bauen in den ersten 24 Stunden Hefezellen die Glucose zu Ethanol ab, anschließend gewinnen Laktobazillen die Oberhand und produzieren Milchsäure. Die freiwerdende Wärme lässt die Temperatur auf über 37 °C steigen und schafft ideale Bedingungen für Essigsäurebakterien, die nach ca. 88 Stunden vorherrschen [9]. Die exotherme Oxidation von Alkohol und Milchsäure zu Essigsäure lässt die Temperatur auf über 50 °C steigen und den pH-Wert auf Werte < 5 sinken, so dass alle Gärungsprozesse und die Keimung der Bohne gestoppt werden. Der Verlauf dieser Fermentationsphase lässt sich am erst ansteigenden, dann nachlassenden Essigsäuregeruch von außen verfolgen.

Während der Fermentation bilden sich die Aromavorstufen für die spätere Röstung. Zwei proteinspalende Enzyme bauen ein kakaospezifisches Speicherprotein ab, und die dabei entstehenden Bruchstücke

(Oligopeptide) reagieren bei der späteren Röstung mit Zuckern zu den charakteristischen Aromastoffen [10].

Nach der mehrtägigen Vergärung werden die Bohnen auf Matten ausgebreitet und ein bis zwei Wochen in der Sonne getrocknet. Während des Trocknens verlieren sie Feuchtigkeit und einen großen Teil der Essig- und Milchsäure. Nach dem Trocknen sind die Kakaobohnen versandfähig, allerdings sind sie wegen ihrer Bitterkeit immer noch ungenießbar.

In der Schokoladenfabrik

Nach der Anlieferung und Qualitätskontrolle werden die Bohnen ein bis zwei Stunden geröstet. Bei 100-120 °C schmilzt das Fett in den Bohnen und in diesem „Lösungsmittel“ reagieren unzählige Inhaltsstoffe unter katalytischer Hilfe von Metallionen und den aus Polysacchariden bestehenden Zellwänden. Sensorisch bedeutend ist der Abbau polyphenolischer Gerbstoffe, wodurch der herbe, zusammenziehende Geschmack gemildert wird. Beim Rösten verdampfen Wasser und einige unvorteilhaft riechende Verbindungen wie Essig-,

TAB. 1 | ZUSAMMENSETZUNG VON KAKAOMASSE [37]

Bestandteil	%
Kakaobutter	54,0
Eiweiß	11,5
organische Säuren	9,5
Cellulose	9,0
Polyphenole	6,0
Wasser	5,0
Mineralstoffe und Salze	2,6
Theobromin	1,2
Zucker	1,0
Koffein	0,2

Propion- und *iso*-Buttersäure. Das eigentliche chemische Wunderwerk des Röstens ist jedoch die Metamorphose der muffig riechenden in verführerisch duftende, dunkelbraune Kakaobohnen. Unter den harschen Bedingungen reagieren Aminosäuren und reduzierende Zucker in einer nichtenzymatischen Bräunungsreaktion, der Maillard-Reaktion [11]. Die chemischen Prozesse sind äußerst komplex, da viele Reaktionskaskaden parallel ablaufen und die entstehenden Zwischen- und Endprodukte hochreaktiv sind und mit- und unter-

ABB. 4 | DAS KAKAOAROMA: DIE STOFFKLASSEN UND DIE TOP-TEN

Stoffklasse	Anzahl
Kohlenwasserstoffe	49
Alkohole	34
Aldehyde	26
Ketone	29
Carbonsäuren	62
Ester	39
Lactone	6
Ether	4
Schwefelverbindungen	23
Phenole	9
Furane	27
Acetale	7
Nitrile und Amide	7
Amine	41
Pyrrole	16
Pyridine	16
Pyrazine	94
Oxazole	15
Epoxide, Pyrone, Coumarine	6
andere	16

<chem>CC(C)CC(=O)O</chem> schweißig	<chem>CC(C)CC(=O)O</chem> malzig	<chem>CC(C)CC=O</chem> fruchtig
<chem>CCCCC=O</chem> grün	<chem>Cc1ccnc1OC</chem> erdig, bohlig	<chem>CCCCC=CC=O</chem> fettig, wachsig
<chem>Cc1ccoc1</chem> fleischartig	<chem>CCN1C=NC(=C1)CC</chem> kartoffelchupartig	<chem>CCCCCC=CC=O</chem> grün, fettig



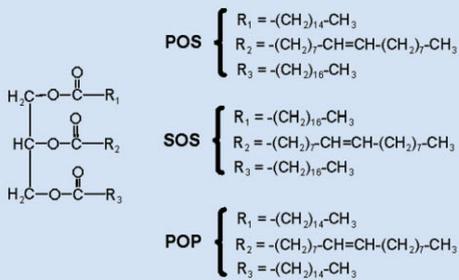
DIE INHALTSSTOFFE VON SCHOKOLADE

oben links: Kakaobutter besteht im wesentlichen aus nur drei verschiedenen Fettmolekülen: 40% POS, 25% SOS und 20% POP, wobei die mittlere Hydroxylgruppe des Glycerins immer mit O = Ölsäure und die äußeren Hydroxylgruppen mit Palmitinsäure (P) oder Stearinsäure (S) verestert sind.

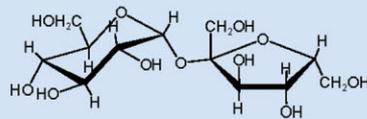
oben Mitte: Rohrzucker ist ein Disaccharid, in dem ein Molekül Glucose (Traubenzucker) mit einem Molekül Fructose (Fruchtzucker) verknüpft sind. Strukturell charakteristisch sind die vielen polaren Hydroxylgruppen.

oben rechts: Lecithin ist streng genommen Phosphatidylcholin (2), jedoch bezeichnet man in der Lebensmittelchemie auch ein Gemisch von verschiedenen Phosphatiden als Lecithin (Zusatzstoff E 322). Lecithin aus Sojabohnen mit verschiedenen Resten (Cholin = Lecithin, Phosphatidylethanolamin = Kephalin, Phosphatidylserin und Inosit = Phosphatidylinosit)

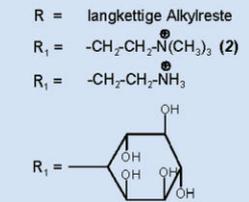
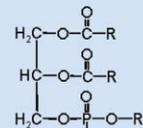
Hauptbestandteile



Kakaobutter

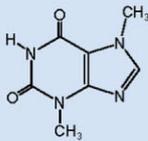


Rohrzucker (1)
β-D-Fructofuranosyl-α-D-glucopyranosid

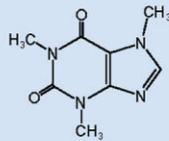


Lecithin (2)
Phosphatidylcholin

Alkaloide

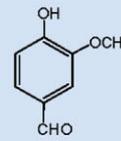


Theobromin (3)



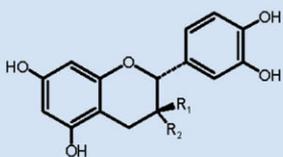
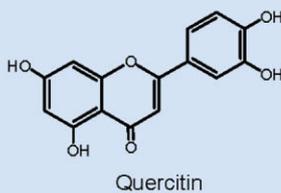
Coffein (4)

Aromazusatzstoff

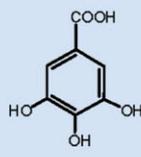


Vanillin

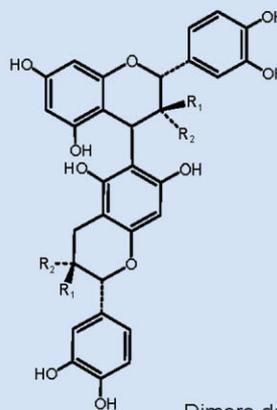
Polyphenole



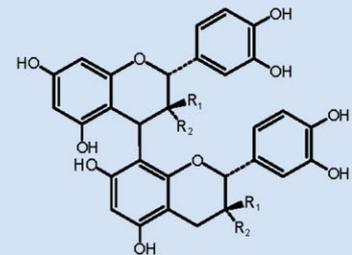
R₁ = OH R₂ = H = (+)-Catechin
 R₁ = H R₂ = OH = (-)-Epicatechin



Gallussäure



Dimere des Catechins bzw. Epicatechins





einander reagieren [12]. Dabei entstehen all die Aromastoffe (Abbildung 4) und auch polymere, dunkelbraune Verbindungen, die der gerösteten Kakaobohne das einzigartige Aroma und die typische Farbe verleihen.

Rösten, Braten und Backen sind chemische Umsetzungen von komplexen Naturstoffgemischen unter extrem harschen Bedingungen. Kein Wunder also, dass das Resultat komplex ist. Allerdings läuft die Maillard-Reaktion auch unter milderen und kontrollierten Bedingungen ab, z.B. bilden sich bereits beim Erhitzen einer wässrigen Lösung von Glucose und einer Aminosäure wie Threonin, Leucin oder Glutamin in Richtung Schokolade riechende Aromastoffe [13].

Nach dem Rösten werden die Bohnen grob gebrochen und die Schalen entfernt. In Mühlen und Walzen werden dann die noch intakten Zellstrukturen der Kakaobohnenkerne zerstört und das darin enthaltene Fett freigesetzt. Nach ausgiebigem und vielstufigem Walzen entsteht schließlich die Basis aller Kakao- und Schokoladenprodukte, die Kakaomasse (Tabelle 1).

Diese riecht und schmeckt zwar nach Schokolade, aber bis zu einer knackig-leckeren Tafel ist noch ein langer Weg, der im Laufe vieler Jahre durch das kongeniale Zusammenwirken von Ingenieuren, Chemikern und *chocolatiers* entdeckt wurde. 1828 markiert den Beginn der modernen Schokoladenproduktion, als der holländische Chemiker Coenraad Johannes van Houten ein Verfahren zum teilweisen Auspressen des Fetts aus Kakaomasse (Fettgehalt > 50%) patentierte. Das als Kakaobutter bezeichnete abgepresste Kakaofett wird abgetrennt und der zurückbleibende braune Presskuchen (Fettgehalt 20%) zu dem uns heute vertrauten Kakao-pulver zermahlen (Abbildung 3) [14].

Zu van Houtens Zeiten war nur Kakao-pulver von Interesse, die abgepresste Kakaobutter war Abfallprodukt. 1847 kreierte die englische Firma Fry&Sons eine feste Essschokolade aus Kakaomasse, Zucker und zu-

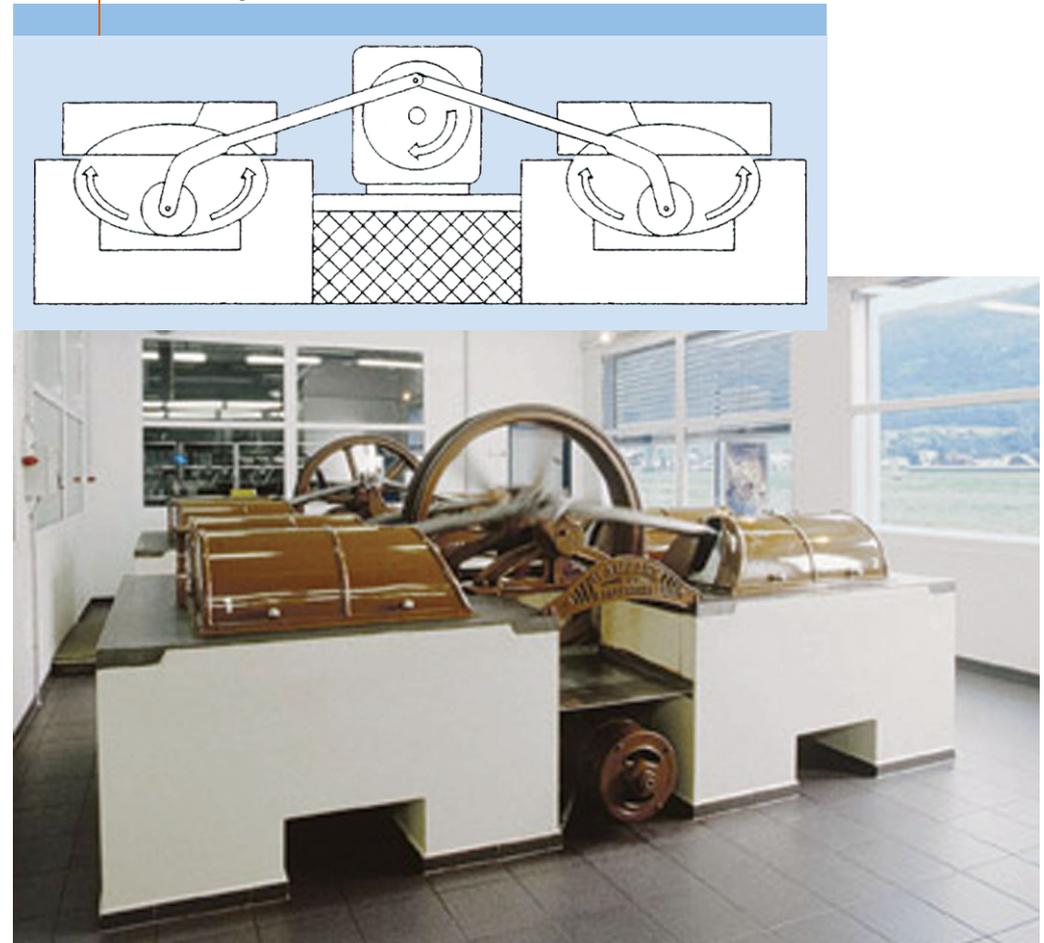
sätzlich zugesetzter Kakaobutter. Die neue Rezeptur erlaubte erstmals das Gießen sehr dünner, elegant wirkender Schokoladentafeln. Diese „*Chocolat Délicieux à Manger*“ war die erste moderne Tafel Schokolade, und sie wurde sofort ein Riesenerfolg. Da zu ihrer Herstellung mehr Kakaobutter als Kakaomasse nötig war, schoss der Preis für Kakaobutter [15] in die Höhe. Umgekehrt wurde Kakao-pulver billig und für viele erschwinglich, Kakao wurde ein Volksgetränk!

Einen kaum zu überschätzenden Schritt in der Qualitätsverbesserung verdanken wir dem Schweizer Rudolphe (Rudi) Lindt (1855-1909) [16]. Er baute einen muschelförmigen Trog

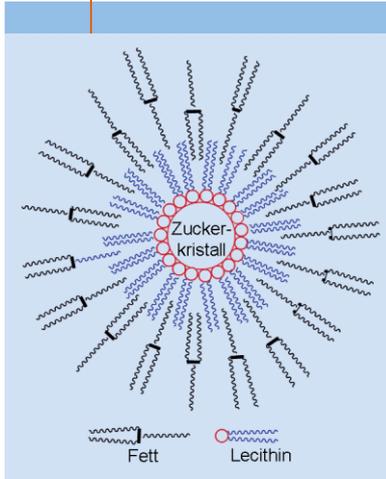
aus Granit, die *conche*, in dem die Kakaomasse zusammen mit den anderen Zutaten wie Zucker und Kakaobutter durch Granitrollen hin und her bewegt wurde (Abbildung 5). Die Reibungswärme lässt die Schokoladenmasse schmelzen, und beim An-schlagen der Rolle am Rand spritzt die flüssige Masse über die Walzen hinweg zurück in das Becken [17].

Das Conchieren scheint auf den ersten Blick nur eine weitere mechanische Bearbeitung zu sein, bei dem die in der Kakaobutter verteilten festen Kakaobohnenpartikel auf eine Größe von unter 20 µm zermahlen und gleichzeitig mit einer Schicht Kakaobutter umhüllt werden. Die festen

ABB. 5 | DAS HERZ JEDER SCHOKOLADENFABRIKATION: DIE CONCHE



Die Idee des Schweizer confiseurs Rudolphe Lindt war genial einfach: durch die Längsbewegung einer Granitrolle in einem muschelförmigen Trog wird die Schokoladenmischung homogenisiert. An den Umkehrpunkten der Rollen spritzt die flüssige Schokolade hoch, wird innig belüftet und unerwünschte flüchtige Verbindungen werden ausgetrieben. Die hier abgebildete Conchiermaschine der Fa. Felchlin(Schwyz) arbeitet ohne externe Heizung, nur mit Reibungswärme, wodurch der Conchierprozess besonders gut kontrolliert werden kann.


ABB. 6 | WECHSELWIRKUNG ...


... von Lecithin mit Zuckerkrystallen und Fett. Die Oberfläche der kleinen Zuckerkrystalle (Zentrum) ist durch die Hydroxylgruppen des Rohrzuckers polar, so dass sich die Lecithin-Moleküle mit ihrem polaren Rest (roter Kreis) dort anlagern. Die zwei unpolaren Reste des Lecithins (blau) ragen in die entgegengesetzte Richtung und binden an die unpolare Fettmoleküle. Insgesamt werden die polaren Zuckerkrystalle in der Fettphase emulgiert.



Abb. 7 Schokolade in der Kristallform V und VI. In guter Schokolade muss die Kakaobutter in der Kristallform V auskristallisiert sein. Nur diese Form löst sich leicht aus der Gussform und zeichnet sich durch die knackige Härte und den edlen Glanz aus. Die thermodynamisch stabilste Kristallform VI dagegen löst sich nur schlecht von der Gussform ab, die Schokolade ist weich und die Oberfläche unappetitlich stumpf. Die chemische Zusammensetzung beider Kristallformen ist selbstverständlich gleich.

Partikel werden dadurch von unserer Zunge nicht mehr als Teilchen gespürt [18] oder anders ausgedrückt: vor Lindt schmeckte die Schokolade sandig, nach dem Conchieren zerging sie sahnigweich auf der Zunge. Das Conchieren verbesserte aber nicht nur das Zungengefühl, sondern auch das Aroma. Aus chemischer Sicht erscheint dies unverständlich, denn welchen Einfluss sollte eine mechanische „Rock ‘n Roll“-Bewegung auf das Aroma haben? Erst bei genauem Betrachten wird dies klar: Zum einen vergrößert sich bei der Zerkleinerung der festen Kakaopartikel die Oberfläche, so dass die in den Partikeln eingeschlossenen Aromastoffe in das umgebende Fett diffundieren können; das Aroma wird intensiver. Schließlich treibt das mechanische Belüften der warmen, flüssigen Schokoladenmasse flüchtige Verbindungen mit unerwünschten Aromaeigenschaften wie Essig-, Propion- und *iso*-Buttersäure zusammen mit der restlichen Feuchtigkeit durch eine Art Wasserdampfdestillation heraus.

Insgesamt hat also das auf den ersten Blick rein mechanische Behandeln der Schokoladenmasse in der *conche* erhebliche Auswirkungen auf die Aromabildung und Konsistenz der Schokolade. Kurzum: Ohne Conchieren gäbe es keine hochwertige Schokolade und auch heute noch ist die *conche* das Herzstück jedes Schokoladenherstellers (Abbildung 5) [19].

Seit den Dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts wird der Schokoladenmasse beim Conchieren Lecithin als Emulgator zugesetzt. Lecithin ist chemisch Phosphatidylcholin (2), das z.B. in Sonnenblumenkernen, Raps, Mais oder Eigelb vorkommt. In der Lebensmitteltechnik versteht man unter Lecithin jedoch nicht 2 allein, sondern eine Mischung verschiedener Phospholipide (s. S. 420). In Schokolade wird fast ausschließlich Lecithin aus Sojabohnen verwendet.

Schon ein Zusatz von nur 0,1-0,3% Lecithin reduziert die Viskosität der geschmolzenen Schokoladenmasse auf ein Zehntel. Ein struktureller Vergleich zwischen Lecithin und den beiden Hauptbestandteilen der Schokolade, Kakaobutter und Zucker, verdeutlicht die Ursache dieses Effektes.

Kakaobutter ist ein typisches Fett: die drei Hydroxylgruppen des dreiwertigen Alkohols Glycerin ($\text{HOCH}_2\text{-CH}(\text{OH})\text{-CH}_2\text{OH}$) sind mit den drei am häufigsten vorkommenden langkettigen Fettsäuren Palmitinsäure $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$, Stearinsäure $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ und Ölsäure $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ verestert. Während die Fettsäuren in den meisten Fetten über die drei Positionen des Glycerins relativ statistisch verteilt sind, also immer ein Gemisch vieler unterschiedlicher Moleküle darstellen, besteht Kakaobutter nur aus drei verschiedenen Verbindungen. Die Ölsäure ist immer an der mittleren 2-Position und die Palmitin-

TAB. 2 | POLYMORPHE FORMEN VON KAKAOBUTTER

Kristallform [45]	Entstehungsbedingungen	Schmp. [°C]
I	schnelles Abkühlen der Schmelze	17.3
II	rasches Abkühlen der Schmelze mit 2 °C/min	23.3
III	Kristallisieren der Schmelze bei 5-10 °C wandelt sich in II bei 5-10 °C um	25.5
IV	Kristallisieren bei 16-21 °C	27.3
V	langsames Kristallisieren der Schmelze	33.8
VI	aus Form V nach mehreren Monaten bei RT	36.3

Kakaobutter kann in sechs verschiedenen Kristallformen kristallisieren, die sich in der Anordnung und Packung der Fettmoleküle unterscheiden. Die polymorphen Formen bilden sich bei unterschiedlichen Kristallisationsbedingungen. Die thermodynamisch stabilste Form VI zeigt eine stumpfe Oberfläche und ist weich, nur die Form V zeigt die vom Verbraucher geschätzte Härte und Glanz.



oder Stearinsäure an den 1- und 3-Positionen des Glycerins gebunden.

Zucker in Schokolade ist Rohrzucker (Saccharose), ein Disaccharid mit einer komplexen Struktur, die durch viele Hydroxylgruppen charakterisiert wird. Durch die Hydroxylgruppen ist Rohrzucker sehr polar, löst sich leicht in Wasser, ist aber fast unlöslich in Fetten.

Alle Bestandteile des Lecithins sind gleich aufgebaut: Glycerin ist mit zwei unpolaren (lipophilen) Fettsäuren und einer polaren, geladenen (hydrophilen) Phosphatgruppe mit einem variablen Rest verestert. Nach Zugabe von Lecithin zur Schokoladenmasse binden dessen *polare* Gruppen an die *polaren* Hydroxylgruppen auf der Oberfläche des Zuckerkristalls, so dass der Kristall von einer geschlossenen Lecithinschicht umhüllt ist. Die beiden *unpolaren* Fettsäurereste des Lecithins binden an die *unpolaren* Fettsäurereste des umgebenden Kakaofetts. Insgesamt werden dadurch die polaren und fettunlöslichen, kleinen Zuckerkristalle über eine Zwischenschicht von Lecithinmolekülen im Fett wesentlich besser emulgiert. Die Viskosität nimmt ab (Abbildung 6).

Polymorphismus und die Lust am „Knack“

Schokolade ist einzigartig, bei Raumtemperatur fest und bei Körpertemperatur flüssig. Dabei handelt es sich jedoch nicht um ein einfaches Kristallisieren und Schmelzen, sondern Kakaobutter ist polymorph und kann in mehreren Kristallformen auskristallisieren, die unterschiedliche physikalische Eigenschaften wie Glanz, Härte und Schmelzpunkt haben (Tabelle 2).

Kakaobutter kann in sechs polymorphen Formen kristallisieren, die entsprechend ihrer Stabilität bezeichnet werden (I – VI) [20]. Die chemische Zusammensetzung ist in allen Formen identisch, nur sind die Fettmoleküle im Kristall unterschiedlich angeordnet.

Feinschmecker akzeptieren Schokolade nur in der Kristallform V, denn

nur diese zeigt den edlen Oberflächenglanz, die knackige Härte und das angenehme Schmelzen im Mundraum. Der Schokoladenhersteller muss nun das physikalisch-chemische Kunststück fertigbringen, die Schokolade *nicht* in der thermodynamisch stabilsten Form VI, sondern in der etwas energiereicheren Form V auszukristallisieren. Gelingt das nicht, ist die Schokolade aus drei Gründen praktisch unverkäuflich: 1. Die Oberfläche ist stumpf und zeigt ein an Eisblumen erinnerndes Muster. Dies macht die Schokolade optisch unattraktiv (Abbildung 7). 2. Im Vergleich zu Form V mit einem Schmelzpunkt von 33,8 °C zergeht die Kristallform VI wegen ihres höheren Schmelzpunktes von 36,2 °C nur sehr langsam auf der Zunge und vermittelt ein grobes, sandiges Zungengefühl. 3. Die Kristallform VI ist weich und zeigt keinen „Knack“. Im Vergleich zur Form V ist der Biss in eine Tafel der Form VI nicht knackig, sondern erinnert an eine Wachskerze.

Damit die Schokolade ausschließlich in Form V kristallisiert, muss der Kristallisationsprozess durch einen raffiniert ausgeklügelten Temperaturverlauf (Tempern) gesteuert werden. Die Schokolade wird zunächst bei 50 °C aufgeschmolzen, dann zur optimalen Kristallkeimbildung von Form V mit 1 °C/min auf 22 °C abgekühlt und für einige Minuten auf dieser Temperatur gehalten, damit sich genügend Kristallisationskeime bilden. Anschließend wird mit 4 °C/min wieder auf 31 °C erwärmt, damit die thermodynamisch instabilen Kristallkeime insbesondere der Form IV schmelzen [21]. Die genaue Temperaturkontrolle ist hierbei ausschlaggebend, ein Grad zuviel oder zuwenig entscheidet über die Produktqualität [22]. Anschließend wird abgekühlt, wobei die Abkühlungsgeschwindigkeit von der Schokoladensorte und Rezeptur abhängt.

Die Ursache für die geringere Stabilität der Kristallform V liegt in der relativ lockeren, mit Hohlräumen versehenen Packung der Fettmoleküle [23]. Die Kristallform V ist auch im



**Alles Kakao:
Von der Frucht
zum Pulver.**

Festkörper bestrebt, sich in die stabilere Form VI umzulagern. Dieser Prozess läuft bei Raumtemperatur zwar langsam ab [24], begrenzt aber die Haltbarkeit von Schokolade auf einige Monate. Deswegen sollte Schokolade immer kühl (15–18 °C) aufbewahrt werden. Bei höheren Temperaturen (z.B. in der Sonne oder im aufgeheizten Kofferraum) läuft die unerwünschte Phasenumwandlung V → VI rasch ab, noch schneller bei unbeabsichtigtem Schmelzen und anschließender Abkühlung. Dann ist alle Mühe des Herstellers umsonst gewesen: die Schokolade ist stumpf, weich und schmilzt nur sehr langsam im Mund.

Über den richtigen Genuss

Der in einem Stück Schokolade versteckte Genuss eröffnet sich nur demjenigen, der in Muße, aber mit klarem Verstand und wachen Sinnen dafür bereit ist. Das In-sich-Hineinstopfen einer 100 g Tafel bei gleichzeitigem Telefonieren degradiert auch die edelste Schokolade zum dumpfen Sättigungsmittel. Liegt die zu genießende Schokolade noch im Kühlschrank, sollten wir gar nicht erst anfangen, sie auszupacken, denn Scho-



KAKAO-GRUNDREZEPT



Das Schokoladenmädchen
Jean-Etienne Liotard (um 1745)
Dresdner Gemäldegalerie

Zwar kann Kakao mit Nesquick & Co. bequem mit Wasser zubereitet werden, aber für Genießer ist das Resultat zu süß und der volle Kakaogeschmack wird durch andere Zutaten wie Milchpulver überdeckt. Das folgende Grundrezept ist kinderleicht und das Resultat hervorragend. Selbst bereiteter Kakao krönt manchen Winterabend, vor allem aber eignet er sich zum Aufpäppeln kleiner und großer Patienten nach Erkältungskrankungen oder „Seelenschmerz“.

Zutaten:

1/2 Liter Milch
4 Teelöffel Kakaopulver
2 Teelöffel Zucker

Das Kakaopulver in einem Schüsselchen mit dem Zucker vermischen, von der kalten Milch 4 Esslöffel abnehmen und dazugeben und glatt rühren. Die restliche Milch erhitzen, die angerührte Masse zugeben und kurz aufkochen. Vor dem Servieren kann das Getränk mit einem Schneebesen kurz aufgeschäumt werden. Je nach Geschmack kann der heiße Kakao mit Chilipulver, Zimt oder echter Vanille gewürzt und mit Zucker nachgesüßt werden.

Erläuterung: Die nahe liegende Herstellungsmethode wäre die direkte Zugabe von Kakaopulver und Zucker in heiße Milch und anschließendes Umrühren. Leider geht das schief, denn die Kakao-Teilchen sind durch ihren Fettgehalt hydrophob und klumpen zusammen. Dabei schließt das unbenetzte Kakaopulver viele kleine

Luftbläschen ein, steigt auf und bildet auf der Milchoberfläche eine zusammenhängende, trockene Pulverschicht. Das Benetzen dieser Schicht und das Zerdrücken der Klumpen mit einem Löffel ist mühsam und zeitaufwendig; trotzdem bleiben im Kakao immer noch kleine Klumpen. Deswegen rührt man das gesamte Kakaopulver in wenig Milch ein. Obwohl sich nun auch beim Rühren Klumpen bilden, führt die langsame Zerteilung des Pulvers zu einer starken Zunahme der Viskosität, die angerührte Masse wird immer dickflüssiger.

Genau das ist der Trick: rührt man jetzt mit einem Löffel, wirken viel stärkere Scherkräfte und brechen die noch vorhandenen Klümpchen auseinander. Diese dickflüssige, glatte Suspension lässt sich schließlich leicht in der heißen Milch gleichmäßig verteilen, der sämige, aber klumpenfreie Kakao ist fertig. Mit diesem physikalischen Trick werden alle Pulver klumpenfrei in großen Mengen Flüssigkeit suspendiert, z.B. Stärke zum Andicken von Soßen, Gelatine in Wasser etc.

Im Laufe der langen Geschichte dieses Getränks sind unendlich viele Rezepte ausprobiert worden. Der große Brillat-Savarin sagt dazu: „Fügt man zu Zucker, Zimt und Kakao noch das berückende Aroma der Vanille, so erreicht man das Nonplusultra von Vollkommenheit, bis zu der diese Mischung sich hinaufentwickeln lässt. Auf dieses kleine Quartett haben Geschmack und Erfahrung die Vielheit der Ingredienzen zurückgeführt, die man dem Kakao versuchte einzurühren, etwas Pfeffer, Beißbeere, Anis, Ingwer und andere, die man nacheinander ausprobierte.“

kolade sollte wie ein guter Rotwein gelagert und genossen werden, bei Temperaturen von 15-18 °C.

Beim vorsichtigen Auspacken sollte man zunächst mit Respekt und Dankbarkeit an die vielen Hände denken, von der Plantage bis zum *Chocolatier*, die aus den bitteren Bohnen dieses wunderbare Produkt entstehen ließen. Zu allererst sollten sich unsere Augen am edlen Glanz und der satten Farbe erfreuen. Dann erst wird das erste Stück abgebrochen und ein satter „Knack“ verkündet uns die reine Kristallform V. Nach dem optischen und akustischen kommt der Geruchssinn an die Reihe. Atmen wir den herrlichen Duft der Schokolade ruhig, aber tief ein und freuen uns auf die folgenden Genüsse.

Nach dieser sensorischen Overture legen wir das erste Stück Schokolade auf unsere Zunge. Sollte das Stück zu groß geraten sein, zerkleinern wir es vorsichtig mit ein, zwei Bissen, aber um Gottes Willen nicht

hinunterschlucken, dann wäre alles verloren, denn im Magen sind keine Geschmacks- und Geruchsneuronen. Mit jedem Hin- und Herschieben der Schokoladenstückchen tastet die Zunge als extrem empfindliches Tastorgan die glatte Schokoladenoberfläche ab. Feste Bestandteile mit einem Durchmesser von mehr als 20 µm würde unsere Zunge sofort als unangenehme Sandigkeit verschrecken.

Nun überrascht uns die geschmolzene Schokolade mit ihrer nicht-Newtonschen Fließeigenschaft. Vereinfacht ausgedrückt verhält sich Schokolade wie Ketchup [25]: Aus einer vorsichtig umgedrehten, geöffneten Flasche läuft kein Ketchup heraus (hohe Viskosität); dies ändert sich nach mehrmaligem Schütteln (Schubspannung) der Flasche, das Ketchup fließt dünnflüssig (niedrige Viskosität) heraus. Eine solche Änderung der Viskosität durch mechanische Kräfte (Schubspannung) bezeichnet man als nicht-Newtonsches Fließver-

halten [26]. Wenn ein Stück Schokolade auf der Zunge schmilzt, bleibt es zunächst formstabil und verläuft nicht. Drückt die Zunge diese hochviskose Flüssigkeit gegen die Gaumenplatte, wird die Schokolade durch die mechanische Beanspruchung dünnflüssig, ergießt sich über die Zungen- und Gaumenoberfläche und ihre süß-bittere Geschmackskomposition erfasst endlich den fünften Sinn, den Geschmackssinn.

Den eigentlichen Höhepunkt erreicht der Schokoladengenuss erst mit dem Schmelzen. Durch den unpolaren Charakter haftet eine dünne Schokoladenschicht auf der gesamten Oberfläche der Zunge und des Gaumens und wird auch bei mehrfachem Schlucken vom wässrigen Speichel nicht abgelöst. Aus dieser dünnen Schicht steigen bei Temperaturen > 35 °C die flüchtigen Aromastoffe auf, erfüllen den Mundraum, steigen in die Nasenhöhlen auf, und binden dort an die Rezeptoren der Geruchsneuronen, die nach der Signalverar-



beitung im Gehirn in uns das schöne Geruchsempfinden erzeugen. Aus der dünnen Schokoladenschicht auf Zunge und Gaumen löst der wässrige Speichel stetig Bitterstoffe und Zucker und sorgt für einen lang anhaltenden bitter-süßen Grundton. Erst wenn der Nachgeschmack langsam nachlässt, sollten wir uns langsam auf das nächste Stück freuen.

Schokolade gibt es in vielen Qualitäten, die hochwertigsten davon werden als *Grand-Cru*-Schokoladen bezeichnet [27]. Die Unterschiede zwischen einem industriellen Massenprodukt und einer *Grand-Cru*-Schokolade kann jeder durch Probieren selbst genüsslich erfahren. So wie Weinkenner von Château d'Yquem oder Mouton-Rothschild Rotweinen schwärmen, bekommen schokophile Gourmets einen verklärten Blick beim Gedanken an die sanftwürzige Schokolade von Max Felchlin aus dem Kanton Schwyz, die aus made-gassischen *trinitario*-Bohnen durch 72-stündiges Conchieren hergestellt wurde und leichte Anklänge an Zedernholz und Nelken zeigt, oder sie schwärmen von Michel Cluizels Schokoladenkreation aus Bohnen von der Maralumi-Plantage in Neuguinea ohne (!) Zusatz von Lecithin, die sich durch ein würziges Aroma mit frischen Noten nach grünen Bananen und roten Johannisbeeren und einem langen Abgang mit an Havanna-Tabak anspielenden Nuancen auszeichnet. Der Schokoladen-Novize mag diese bildreiche Beschreibungen für völlig abgehoben halten, aber auch hier geht Probieren über Studieren. Erfreulich dabei ist, dass im Gegensatz zu Rotweinen selbst die edelsten *Grand-Cru*-Schokoladen nicht alle Welt kosten [28].

Ist Schokolade gesund? [29]

Bereits in den mittelamerikanischen Hochkulturen wurde Kakao gegen eine Vielzahl von Erkrankungen eingesetzt. Durch Mischung mit anderen Heilpflanzen entwickelten die Azteken eine Vielzahl von Heilmitteln, z.B. gegen Infektionen, Durchfall und Husten [30]. Nach der Eroberung

DAS SCHOKOLADEN-REINHEITSGEBOT

Im 19. Jahrhundert wurden Kakao und dessen Produkte in erheblichem Maße mit billigen Streckmitteln wie Kakaobohnenschalen, Kartoffelstärke, Mehl, Sand, Kreide, Ziegelpulver, Gips, Talk, Mineralöl und sogar mit Mennige (Bleioxid) versetzt. Erst 1933 wurde die ersten Verordnungen über Kakao- und Kakaoverzeugnisse (KVO) in Deutschland erlassen, in denen die zugelassenen Inhaltsstoffe gesetzlich festgelegt wurden. Mit der heute geltenden KVO aus dem Jahr 2003 mussten einige Kompromisse eingegangen werden, um eine Harmonisierung in der EU zu erreichen [44]. Neben den traditionellen Bestandteilen Kakaomasse, Kakaobutter, Lecithin und Vanille dürfen heute bis zu 5% des (sehr teuren) Kakaobutteranteils durch bestimmte andere pflanzliche Fette (z.B. Palmfett) ersetzt werden. Dieser kakaofremde Fettzusatz war in einigen EU-Ländern schon immer erlaubt. Da dies zu einer Qualitätsverminderung führen kann, muss der Zusatz kakaofremder Fette auf der Packung deklariert werden.



TAB. | TYPISCHE ZUSAMMENSETZUNGEN VERSCHIEDENER SCHOKOLADEN:

Schokolade	Kakaomasse %	Kakaobutter %	Milchpulver %	Zucker %
Milch	15	15	20	50
Vollmilch	30	10	25	35
Halb- oder Zartbitter	50	5	0	45
Bitter	60	0	0	40

Mittelamerikas hat Europa ab der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts Kakao als medizinisches Heilmittel übernommen. Kakao förderte den Appetit und wurde bei körperlicher und seelischer Schwäche (Depressionen) zur Anregung, gleichzeitig bei „Hyperaktivität“ zur Beruhigung empfohlen. Kakao war ein populäres Mittel gegen viele Erkrankungen der inneren Organe, vom „schwachen Magen“ über die „Anregung der Nieren“ und „schwachen Urinfluss“ bis zur Stärkung des Darms, gegen Verstopfungen und Hämorrhoiden. In vielen überlieferten Rezepten wurden die eigentlichen Heilpflanzen dem Kakao zugemischt, so dass Kakao lediglich zur leichteren Verabreichung und Geschmacksverbesserung diente.

Wie wird Kakao und Schokolade aus heutiger Sicht bewertet? Betrachten wir die einzelnen Bestandteile.

Antioxidantien: Kakaobohnen enthalten mit bis zu 18% des Trockengewichts einen ungewöhnlich hohen Anteil von Polyphenolen wie Catechin, Epicatechin und deren oligomere Abkömmlinge (s. S. 420) sowie Catechinester der Gallussäure,

Quercetin und weitere Polyhydroxyverbindungen [29,31]. Diese Verbindungen sind sehr gute Radikalfänger und scheinen als Antioxidantien Schutz gegen kardiovaskuläre Erkrankungen und Krebs zu bieten [32]. Tierversuche legen dies zumindest nahe, aber als bewiesen kann dies nicht angesehen werden.

Fett: Schokolade als Pflanzenprodukt enthält kein Cholesterin [33]. Obendrein haben zahlreiche Studien gezeigt, dass Stearinsäure und Kakaobutter den Cholesterinspiegel nicht anheben und artherosklerotische Krankheiten nicht fördern [34]. Es ist aber möglich, dass dies für Hochrisikogruppen nicht gilt, d.h. für Patienten mit extrem hohen Cholesterinspiegel.

Koffein und Theobromin: Theobromin (3) und Koffein (4) wirken stimulierend auf das Zentralnerven- und Herz-Kreislauf-System, wobei Theobromin wesentlich schwächer wirkt. In vernünftigen Mengen genossen, führen die in Schokolade oder Kakao enthaltenen Alkaloidmengen nicht zu nachweisbaren physiologischen Effekten [35]. Im Gegensatz zum Menschen bauen einige Tierarten Theobromin nur langsam ab. Bei

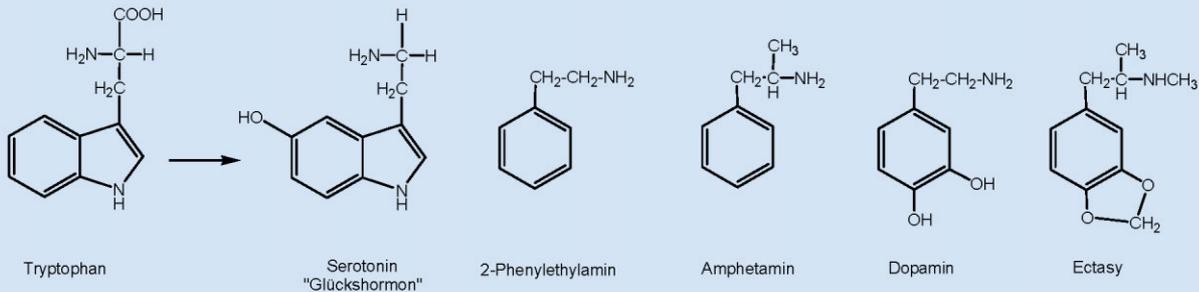


DIE MÖGLICHEN STIMMUNGSMACHER IN SCHOKOLADE

Tryptophan ist eine natürliche Aminosäure, die in allen proteinhaltigen Nahrungsmitteln enthalten ist, die vom Körper in Serotonin umgewandelt werden kann. Serotonin ist ein Neurotransmitter, der die Informationsweiterleitung zwischen zwei

benachbarten Nervenzellen gewährleistet. Serotonin zeigt eine breit gefächerte physiologische Wirkung, wegen seines stimmungsaufhellenden Effekts wird es umgangssprachlich auch als „Glückshormon“ bezeichnet.

2-Phenylethylamin ist in höheren Konzentrationen pharmakologisch wirksam und strukturell eng verwandt mit dem Neurotransmitter Dopamin, dem anregend wirkenden Ephedrin sowie den synthetischen Abkömmlingen Amphetamin und Ecstasy.



extrem hohen Dosen kann dies zu Schädigungen führen. Akute Theobromin-Vergiftungen werden vor allem bei Hunden beobachtet, die mit zu viel Schokolade verwöhnt wurden. Erbrechen, Durchfall und Herzrasen sind die ersten, meist unterschätzten Symptome, die in seltenen Fällen auch zum Tod des Tieres führen können [36].

Mineralstoffe: Kakao ist reich an Mineralstoffen und aus dieser Sicht ein wertvolles Nahrungsmittel. Mit 10,5 mg Eisen in 100 g ist Kakao das eisenreichste Nahrungsmittel überhaupt [37].

Migräne: Bei einigen Menschen kann Schokoladengenuss einen Migräneanfall auslösen. Hier stand zunächst Phenylethylamin als Auslöser im Verdacht, da es in Tierversuchen eine gefäßverengende Wirkung zeigte. Allerdings ist die Konzentration von Phenylethylamin in Kakao-Produkten viel zu gering, um einen physiologischen Effekt zu erzielen. Dieser Widerspruch konnte in einer Doppelblindstudie mit prädisponierten Patienten aufgeklärt werden. Danach beruht die Korrelation zwischen Schokoladengenuss und Migräne allein darauf, dass in dieser Patientengruppe Stress und Menstruation sowohl Migräne als auch das Verlangen nach Schokolade *gleichzeitig*

auslösen. Ein Ursache-Wirkungs-Zusammenhang konnte ausgeschlossen werden [37].

Andere Nebenwirkungen: Der in Schokolade enthaltene Zucker ist für Diabetiker gesundheitsschädlich und kann zudem bei mangelnder Mundhygiene zu Karies führen. Mit einem Nährwert von über 500 kcal/100 g kann übermäßiger Schokoladengenuss zu Übergewicht und den damit verbundenen gesundheitlichen Problemen führen.

Fazit: In jedem Jahr werden weltweit über eine Million Tonnen Schokolade verzehrt. Trotzdem geistert das medienwirksame Vorurteil, dass Schokolade unserem Körper nur „leere“ Kalorien [38] liefert und der Zuckeranteil und die gesättigten Fettsäuren gesundheitsschädlich sind. Viele Untersuchungen haben aber gezeigt, dass Schokolade weder den Cholesterin-, noch die enthaltene gesättigte Stearinsäure den Fettspiegel im Blut erhöht. Schokolade enthält viele Mineralstoffe und ist reich an polyphenolischen Antioxidantien, deren gesundheitsfördernde Wirkung gesichert ist. Insgesamt kann und darf in vernünftigen Mengen genossene Schokolade ein zwar kalorienreicher, aber besonders wohlschmeckender und wertvoller Teil einer ausgewogenen Ernährung sein.

Sex, Drugs and Chocolate

Immer wieder werden drei Eigenschaften der Schokolade kolportiert: sie wirke beruhigend, ver helfe zu einem Hochgefühl und wirke aphrodisisch. Eine Umfrage unter US-College-Studentinnen bringt es auf den Punkt: Schokolade ist beruhigend, erotisch, himmlisch, unwiderstehlich, geheimnisvoll, sättigend, sexy und sündhaft [30]. So wundert es nicht, dass Menschen in vielen Lebenssituationen ein großes Verlangen nach Schokolade empfinden. Einmal drückt dies den Wunsch nach dem Geschmack und dem wohligen Gefühl beim Schmelzen auf der Zunge aus, zum anderen könnte es aber auch physiologische Gründe haben. Mehrere Theorien wurden vorgeschlagen, z.B. die Steigerung des Serotoninspiegels, die Wirkung von Theobromin und Phenylethylamin und Mangel an Magnesium [37]. Die Ergebnisse von unzähligen experimentellen Studien ergeben ein ziemlich verworrenes Bild:

Die Aufnahme der natürlichen Aminosäure Tryptophan (Infokasten oben) kann die Konzentration von Serotonin im Zentralnervensystem erhöhen. Serotonin ist ein Neurotransmitter und überträgt Signale zwischen zwei Nervenzellen. Die Höhe des Serotoninspiegels hat daher weit-



reichende physiologische Konsequenzen, u.a. auch die Veränderung der Stimmung. Stark vereinfachend wird Serotonin als „Glückshormon“ bezeichnet. Der Tryptophangehalt von Schokolade ist jedoch viel zu gering, um einen physiologischen Effekt zu erzielen.

Koffein und Theobromin, beides physiologisch wirksame Verbindungen, kommen in Kakao und Schokolade in viel zu geringen Konzentrationen vor, um die Stimmungslage zu beeinflussen.

Phenylethylamin ist eine hochwirksame Verbindung, die strukturell den Amphetaminen [39] nahesteht. Da Phenylethylamin im Körper sehr schnell abgebaut wird und die Konzentration in Schokolade sehr gering ist, kann ein physiologischer Effekt ausgeschlossen werden.

Besonders überzeugend ist in diesem Zusammenhang eine Studie von Michener und Rozin [40], wonach das krankhafte Verlangen nach Schokolade auch nach Gabe aller physiologisch wirksamen Bestandteile des Kakaos nicht nachließ. Die Sehnsucht nach Schokolade scheint demnach nicht physiologisch, sondern eher psychologisch begründet zu sein, als Sehnsucht nach dem körperlich-sinnlichen Genuss beim Verzehr von Schokolade. Dies wird durch die Erfahrungen bestätigt, dass der Schokoladenverbrauch in Phasen emotionalen Stresses und besonders bei Frauen in der prämenstrualen Phase ansteigt. Da Schokolade emotionale Hochgefühle induzieren kann, besteht bei prädisponierten Menschen die Gefahr der Abhängigkeit [41].

Die immer wieder kolportierte aphrodisische Wirkung des Kakaos beruht auf Berichten der spanischen Eroberer Mittelamerikas. Obwohl keine aphrodisisch wirkende Substanz im Kakao nachgewiesen werden konnte und Historiker die entsprechenden Beschreibungen für maßlos übertrieben halten, ist der Glaube daran in der Bevölkerung fest verankert. Offensichtlich ist es dieser unerklärliche Glaube, der beim Genuss von Kakao oder Schokolade bis

dahin unterdrückte Fantasien freisetzt, die dann tatsächlich anregend wirken [42]. In der Werbung wird diese Fantasie gekonnt in Bild und Ton umgesetzt. Erotik und Schokolade gehen eine verführerische Verbindung ein und regen den Appetit an. Worauf? Der Feinschmecker genießt und schweigt.

Zusammenfassung

Alexander von Humboldt hatte Recht: „Kein zweites Mal hat die Natur eine solche Fülle der wertvollsten Nährstoffe auf einem so kleinen Raum zusammengedrängt wie gerade bei der Kakaobohne“. Ob nun einige Inhaltsstoffe der Schokolade unsere Stimmung in besonderer Weise heben, ist ungewiss und auch unerheblich, denn mit einem langsam schmelzenden, auf der Zunge zergehenden Stück Schokolade im Mund muss die Stimmung steigen. Völlig zu Recht widmet daher der große Gourmet Brillat-Savarin in seinem Opus „Die Physiologie des Geschmacks“ von 1826 der Schokolade genauso viel Platz wie dem Trüffel, dem König der Pilze [43].

Von über einer Million auf der Erde wachsenden Pflanzenarten haben zwei die Fantasie der Menschen in ganz besonderer Weise angeregt: der Kakaobaum (Theobroma cacao) und der Wein (Vitis vinifera). Wenn wir ein Stück Schokolade auf unserer Zunge zergehen lassen, genießen wir eines der ältesten Kulturgüter der Menschheit, dessen Geschichte bei den Olmeken begann und über das schaumige Kakaogetränk der Azteken bis zur modernen Grand Cru-Schokolade reicht.

Beim Genuss sollten wir auch der unzähligen Wissenschaftler, Ingenieure und Chocolatiers gedenken, die aus der bitteren Bohne dieses wunderbare Produkt erschufen. Die aufregende Chemie dabei, beginnend mit den natürlichen Inhaltsstoffen der Kakaobohne über die chemischen Veränderungen beim Fermentieren und Rösten bis zum Conchieren und Kristallisieren beweist uns erneut: erst die Chemie macht überirdische Genüsse möglich.

Danksagung

Ich danke Dr. Peter Fryer, University of Birmingham, Prof. K. Bolte, FU Berlin, dem Imhoff-Schokoladen-Museum in Köln, dem Info-Zentrum Schokolade des Bundesverbandes der deutschen Süßwarenindustrie in Leverkusen, den Firmen Reichmuth von Reding und Felchlin, Schwyz für die Hilfe bei den Recherchen und dem Überlassen von Bildmaterial.

Literatur

- [1] Bei Ausgrabungen in Colha (Yucatán) wurden mehrere Gefäße gefunden, und Gefäß #13 muss früher Kakao enthalten haben, da Theobromin nachgewiesen werden konnte und keine andere Pflanze Mittelamerikas dieses Alkaloid enthält. siehe W. J. Hurst et al., *Nature*, **2002**, 418, 289.
- [2] Hier sollen die vielen Histörchen nicht noch einmal nacherzählt werden. Die folgenden Ausführungen basieren auf den fundierten Studien der Anthropologen Sophie und Michael D. Coe, die mit „*The True History of Chocolate*“ (1996, Thames and Hudson, London) eine spannende und kompetente Darstellung dieses komplexen Gebiets vorgelegt haben.
- [3] Diese Darstellung beruht auf den Berichten eines Zeitzeugen, Bernal Diaz del Castillo. Da er seine Erinnerungen erst als über 80-jähriger niederschrieb, ist eine gewisse Vorsicht geboten. „... von Zeit zu Zeit brachten sie ihm eine Tasse aus feinem Gold, mit einem gewissen aus Kakao bereitetem Getränk, das, wie sie sagten, gut für den Erfolg bei Frauen sei.“ Die Trinkgefäße waren mit Sicherheit nicht aus Gold, sondern ausgehöhlte, gelbe Kürbisse und auch die aphrodisische Wirkung von Kakao dürfte mehr der Wunschfantasie des greisen Spaniers entsprungen sein.
- [4] Die Mayas und später die Azteken bereiteten aus Kakaobohnen vor allem ein Getränk, aber auch Breie oder Grützen zu. Gewürzt wurde mit Anis, Piment, Vanille oder Chili und mit Maismehl wurde angedickt.
- [5] Dies ist das Basisrezept. Je nach Mode und Geldbeutel wurden weitere Zutaten hinzugefügt: Moschus, Ambra, Jasminblüten, Gewürze wie Nelken, Chilipfeffer, schwarzer Pfeffer und Anis sowie verschiedene Nüsse und sogar berauschende Zauberpilze. Siehe „*The True History of Chocolate*“, S. und M. D. Coe, **1996**, Thames and Hudson, London.
- [6] Die Begriffe Kakao und Schokolade werden teilweise synonym verwendet. Dies ist von der Wortherkunft auch



- berechtigt, denn die Olmeken sprachen von „*kakawa*“ und die Azteken von „*xocoatl*“. Im Deutschen ist heute mit Kakao meist das Pulver und das daraus bereitete Getränk, mit Schokolade die Tafel Essschokolade gemeint, allerdings ist auch der Begriff „heiße Schokolade“ für das Kakaotränkchen üblich.
- [7] Eine für Laien geeignete Einführung in die Schokoladenherstellung findet sich unter www.quarks.de/schokolade/
- [8] www.infozentrum-schoko.de/fs08_a.html, [www.quarks.de/schokolade.pdf](http://www.quarks.de/schokolade/schokolade.pdf)
- [9] R.F. Schwan und A.E. Wheals, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2004**, *44*, 205.
- [10] Hierbei handelt es sich um eine Asparagin- und eine Serin-Protease, die das Kakao-Speicherprotein Vicilin(7S)-Klasse-Globulin successiv zu kleineren Oligopeptiden aufspalten. Siehe Untersuchungen der Gruppe von B. Biehl et al.: *Food Chem.* **1994**, *49*, 173 und *J.Sci.Food Agric.* **2002**, *82*, 728 und dort zitierte Literatur.
- [11] M. Angrick und D. Rewicki, *Chem. unserer Zeit*, **1980**, *14*, 149.
- [12] Die ablaufenden Prozesse entsprechen im Prinzip denen der Kaffeeröstung, siehe K. Roth, *Chem. unserer Zeit*, **2003**, *37*, 215 und 280.
- [13] G. Tannenbaum, *J.Chem.Educ.* **2004**, *81*, 1131; *Lessons in Chocolate*, G. Tannenbaum, **1993**, Flinn Scientific Inc., Batavia, USA.
- [14] Van Houten hatte noch eine weitere brillante Idee: vor oder nach der Röstung können die Kakaobohnen mit wässriger Lauge („*Dutching*“) behandelt werden. Die Erhöhung des pH-Wertes von etwa 5,4 auf 7,0 ergibt ein milder schmeckendes, dunkleres und leicht in Wasser oder Milch verteilbares (aber nicht lösliches!) Kakaopulver. Erschrecken Sie also nicht, wenn heute auf Kakaopulverpackungen die Säureregulatoren Kaliumcarbonat und Natriumhydroxid auftauchen.
- [15] Dies ist bis heute so geblieben, Kakaobutter ist das teuerste Pflanzenfett.
- [16] Was wäre Schokolade ohne die Schweizer: der Chemiker Henri Nestlé (1814-1890) entwickelte ein Herstellungsverfahren für Milchpulver, das Daniel Peter (1836-1919) erstmals der Kakaomasse zusetzte und daraus 1879 nach jahrelangen Tüfteleien die erste Tafel Milkschokolade goss.
- [17] Das Conchieren wird in der Praxis in drei Stufen durchgeführt, wobei die in jeder Phase zunehmende Zerkleinerung, Vermengung und Umhüllung der festen Bestandteile mit Kakaobutter zur weiteren Abnahme der Viskosität führt.
- [18] Dazu ein Bild: zwei Toastscheiben können kaum gegeneinander bewegt werden. Bestreicht man beide Scheiben mit Butter, geht dies problemlos.
- [19] In der industriellen Schokoladenproduktion werden heute Conchiermaschinen mit rotierenden Schaufeln verwendet. Von kleineren Produzenten hochwertiger Schokoladen wird aber weiterhin die traditionelle *conche* (Längstreibe) nach Lindt verwendet.
- [20] *The Science of Chocolate*, S.T. Beckett, **2000**, Royal Soc.Chem., London.
- [21] P. Fryer und K. Pinschower, *MRS Bull.* **2000**, 25. www.mrs.org/publications/bulletin/; J. Kleinert-Zollinger, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 5th edition, Vol. A7, **1986**, 23, VCH, Weinheim.
- [22] Hobby-Chocolatiers ist es kaum möglich, Schokolade zu tempern. Durch Einrühren kleiner fester Schokoladenraspeln zur abkühlenden Masse können Kristallisationskeime der Form V zugefügt werden und durchaus gute Ergebnisse erzielt werden. Die Zugabe von Kristallisationskeimen ist bewährtes Verfahren der präparativen Chemie und einige neuere Verfahren bei der industriellen Schokoladenkristallisation basieren darauf.
- [23] R. Peschar et al., *J. Phys.Chem. B*, **2004**, *108*, 15450.
- [24] Zugabe von Milchlippen verzögert die Umwandlung, so dass die V_{VI} Umwandlung in Milkschokolade seltener beobachtet wird.
- [25] Feinschmecker mögen mir diesen Vergleich verzeihen.
- [26] Wasser und Lösungsmittel zeigen eine von mechanischer Beanspruchung unabhängige Viskosität (Newtonsche Flüssigkeiten). Im Gegensatz dazu nimmt die Viskosität von Ketchup, Schokolade, Blut und Malerfarben z.B. beim kräftigen Rühren ab (nicht-Newtonsche Flüssigkeiten).
- [27] *Grand Cru* = großes Gewächs. Im Burgund ist dies die höchste und im Bordeaux die zweithöchste Qualitätseinstufung von Rotweinen. Bei Schokolade soll dieser Begriff die Herkunft von Edelkakaobohnen (*Criollo* und *Trinitario*) aus einem begrenzten Anbauggebiet, die besonders sorgfältige Fermentierung, Selektion und Röstung ausdrücken. Die Hersteller sind kleine und mittelständische Betriebe, die ihre Produkte aufwendig und nach traditioneller und zeitaufwendiger Art herstellen. Selbstverständlich werden nur ausgesuchte Zutaten wie hochwertige Kakaobutter und Bourbon-Vanille und keine kakaofremde Fette verwendet. Die Verweilzeiten in der *conche* werden der gerösteten Bohne angepasst und häufig auf der Packung mit angegeben.
- [28] Produkte der Firma Felchlin, Kanton Schwyz (www.felchlin.com) vertreibt in der Schweiz Reichmuth von Reding (rvr@rvrtee.ch) und in Deutschland die Betty Tea Company (www.betty-darling.de). In Paris zeigt Michel Cluizel seine Produkte in der 201 rue Saint Honoré. Edelschokoladen sind im guten Fachhandel und über das Internet erhältlich (z.B. www.kaffeeshop24.de und www.schokoladengourmet.com).
- [29] Eine detaillierte Übersicht gibt: A. T. Borchers et al., *J.Med. Food* **2000**, *3*, 77.
- [30] T.L. Dillinger et al., *J.Nutr.* **2000**, 20575.
- [31] A. T. Borchers et al., *J.Med. Food* **2000**, *3*, 77; L.J. Porter et al., *Phytochemistry* **1991**, *30*, 1657.
- [32] C. Heiss, *J.Amer.College.Cardiol.*, **2005**, *46*, 1276; Eine Zunahme der Flavanoide im Blut wird allerdings nur nach dem Genuss von Bitterschokolade, nicht aber von Milkschokolade beobachtet. Siehe M. Serafini et al. *Nature*, **2003**, *424*, 1013 und **2004**, *426*, 788.
- [33] Durch den Zusatz von Milchpulver enthalten Milkschokoladen geringe Mengen Cholesterin.
- [34] Dies gilt bei einer ansonsten ausgewogenen Ernährung.
- [35] Theobromin ist als Alkaloid physiologisch nicht unwirksam. So lässt nach siebentägiger Gabe von 500mg/kg Theobromin die Spermienproduktion männlicher Ratten nach. Um diese Dosis zu erreichen, müsste ein Mann allerdings 50 (!) Tafeln Schokolade am Tag verzehren.
- [36] M.U. Eteng et al. *Plant Foods Hum. Nutr.* **1997**, *51*, 231; Die toxische Dosis für Hunde liegt bei 100 mg/kg Körpergewicht. Ein Hund von 10 kg erreicht diesen Wert nach Fressen einer Tafel Bitterschokolade (<http://vetmedicine.about.com>). Die *American Society for the Prevention of Cruelty for Animals* hält sogar nur Mengen von höchstens 20 mg/kg für vertretbar.
- [37] Mit einer Ausnahme: Currypulver ist noch eisenreicher. Siehe S. Schenker, *Nutr. Bull.* **2000**, *25*, 303.
- [38] Kalorienreiche Lebensmittel, die wenig oder keine essentielle Nährstoffe, wie Vitamine und Mineralstoffe enthalten.
- [39] Einige Derivate des 2-Phenylethylamins zeigen stimulierende Wirkungen (Weckamine). Die erste Verbindung dieser Reihe war das Amphetamin (2-Amino-1-phenylpropan), weitere Vertreter sind das Pervitin und die Modedroge Ecstasy.
- [40] W. Michener und P. Rozin, *Physiol. Behav.* **1993**, *56*, 419.
- [41] Schokoladensucht ist eine Essstörung, die nur mit professioneller Hilfe klinisch oder in Selbsthilfegruppen behandelt werden sollte. Siehe www.nakos.de und www.oa.org (in Englisch)
- [42] Höhepunkt aller erfundenen Geschichten dürfte das Fest des Marquis de Sade gewesen sein, auf dem gewaltige Mengen von Schokoladenplätzchen gereicht wurden. Dieser Genuss soll zu einer Massenorgie geführt haben, auf der mehrere Gäste an zuviel Liebe starben. Angeblich wurde den Schokoladenplätzchen auch Spanische Fliege (eigentlich ein Käfer) zugesetzt, über die im nächsten Heft dieser Zeitschrift Fritz Eiden berichten wird.
- [43] Physiologie des Geschmacks. J.A. Brillat-Savarin, Erstauflage 1826, **1979**, Insel Verlag.
- [44] www.theobroma-cacao.de/wirtschaft/gesetze.htm
- [45] In der Fettindustrie werden zur Unterscheidung der verschiedenen polymorphen Formen römische Zahlen, in der Schokoladenbranche griechische Buchstaben verwendet.



Autor dieser Rubrik ist Prof. Klaus Roth von der Freien Universität Berlin.
E-Mail: klaroth@chemie.fu-berlin.de