



KURIOS, SPANNEND, ALLTÄGLICH...

Espresso – ein Dreistufenpräparat

Espresso, dieser wunderbare Extrakt aus fein gemahlenden, dunkel gerösteten Kaffeebohnen ist in Maßen genossen unschädlich, regt den Geist an, macht nicht dick und hat den päpstlichen Segen [1].

Kurzum: Genuss pur, ohne Reue! Die Herstellung einer Tasse Espresso scheint ein einfaches Dreistufenpräparat zu sein: die grünen Kaffeebohnen werden trocken erhitzt (Röstung), dann fein gemahlen und schließlich unter Druck mit heißem Wasser extrahiert. Dieser Ansatz wird täglich über 50 Millionen Mal durchgeführt, leider nicht immer mit optimalem Ergebnis. Kein Wunder, denn die Metamorphose von knapp 50 Kaffeebohnen zu einer Tasse Espresso ist reinste Chemie – und kulinarische Meisterleistungen lassen sich eben nur mit chemischen Grundkenntnissen erzielen.

Die Bezeichnung *espresso* stammt vom italienischen „auspressen“, wo durch der Unterschied zu allen anderen Zubereitungsarten charakterisiert wird: fast kochendes Wasser wird *unter Druck* durch eine Schicht Kaffeepulver gepresst.

Aber beobachten wir den Mann (oder die Frau) an der Espressomaschine: zuerst wird der Siebträger gelöst und der alte Kaffeesatz in eine spezielle Schublade abgeschlagen. Dann werden genau 6,5 g fein gemahlenes Kaffeepulver in den Siebträger eingefüllt und festgedrückt, damit eine gleichmäßige Verteilung erreicht wird. Nun wird der Siebhalter eingespannt, der Druckhahn geöffnet und die Extraktion beginnt. Nach wenigen Sekunden strömt der erste duftende Espresso in die vorgewärmte Tasse ein; nach 30 Sekunden ist alles fertig.

Beginnen wir beim Ausgangsmaterial [2]: Die etwa 1,5 cm großen, roten Kirschen der beiden Kaffeesträucher *Coffea arabica* und *Coffea canephora* var. *Robusta* enthalten zwei gelb-grünliche Bohnen. Die mittlere chemische Zusammensetzung roher und gerösteter Bohnen ist in Tabelle 1 angegeben [3].

1. Stufe: Die Röstung – entscheidend für Aroma und Geschmack

In der ersten Reaktionsstufe werden die grünen, zusammenziehend schmeckenden Rohbohnen in aroma-

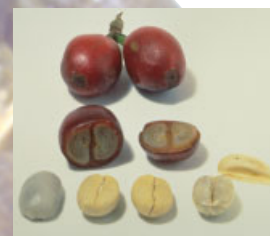
tisch duftende, kaffeebraune Bohnen umgewandelt. Bis 150 °C verlieren die Bohnen Wasser, erst ab 160 °C beginnen die Röstprozesse. Eine unübersehbare Zahl von chemischen Reaktionen läuft ab und die Zusammensetzung der Bohnen ändert sich. Hauptprodukt ist Kohlendioxid, je Kilogramm Bohnen werden beim Rösten bis zu 12 Liter CO₂ frei! Da die sehr dicken Zellwände der Bohne während des Röstens intakt bleiben, steigt durch das freiwerdende CO₂ der Druck in den Zellen auf bis zu 25 bar an. Mit anderen Worten: Die chemischen Röstreaktionen laufen zwischen 160 °C und 240 °C in Zehntausenden von Mini-Autoklaven ab. Dass unter diesen harschen Bedingungen aus den über 700 bisher identifizierten Inhaltsstoffen der grünen Kaffeebohnen und den vielen polymeren Speicher- und Gerüstsubstanzen durch thermischen Abbau Tausende neuer Verbindungen entstehen, kann nicht verwundern [4]. *Tatsächlich ist Kaffee aus chemischer Sicht das komplexeste Getränk, das wir zu uns nehmen.*

Welche Verbindungen beim Rösten reagiert haben, zeigt Tabelle 1. Am reaktivsten sind die freien Aminosäuren und die einfachen Zucker wie Glucose, Galactose, Arabinose und das Disaccharid Saccharose (Rohrzucker). Mit steigender Rösttemperatur werden auch das Trigonellin 2 und die Chlorogensäuren [5, 6] weitgehend abgebaut, wäh-

rend die Lipide und das Koffein 1 durch den Röstvorgang kaum verändert werden.

Die braunen bis schwarzen Pigmente entstehen in unübersichtlichen und im Detail nicht aufgeklärten Reaktionskaskaden [7], bei denen z.B. die Einfachzucker wie Glucose und Arabinose karamelähnliche Produkten bilden, die mit Chlorogensäuren zu rot- bis schwarz-braunen Huminsäuren weiterreagieren können. Parallel dazu reagieren die freien Aminosäuren mit den Sacchariden über Maillard-Reaktionen [8] zu gelb- bis schwarzbraunen Melanoidinen. Insgesamt sind an der Pigmentbildung bis auf Koffein und die Fette alle Substanzklassen beteiligt.

Das Rösten entscheidet über Aroma und Geschmack. Obwohl Espresso im Prinzip aus allen Kaffeeröstungen hergestellt werden kann, werden dunkler geröstete Bohnen bevorzugt, in denen die Inhaltsstoffe stärker thermisch abgebaut werden. So nimmt der Gehalt der zusammenziehend



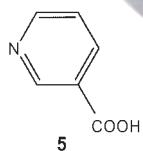
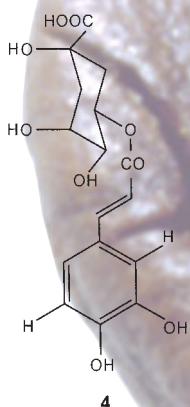
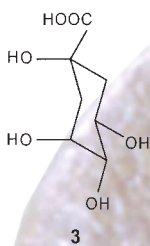
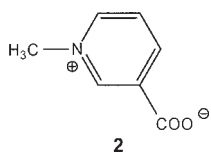
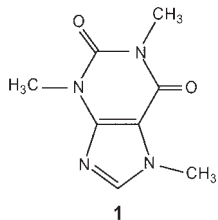
TAB. 1 ZUSAMMENSETZUNG VON GRÜNEN UND GERÖSTETEN ARABICA-BOHNEN IN % TROCKENGEWICHT

Bestandteile	grün	geröstet
Koffein 1	1,2	1,3
Trigonellin 2	1,0	1,0*
Aminosäuren	0,5	0
Proteine	9,8	7,5
Saccharose	8,0	0
andere Zucker	1,1	0,3
Polysaccharide	49,8	38,0
aliphatische Säuren	1,1	1,6
Chinasäure 3	0,4	0,8
Chlorogensäuren 4	6,5	2,5
Lipide	16,2	17,0
Flüchtige Aromastoffe	Spuren	0,1
Karamelisierungs-Produkte		25,4
Mineralien	4,2	4,5
* incl. Abbauprodukte beim Rösten		

*Die etwa 1,5 cm großen, roten Kirschen der beiden Kaffeesträucher *Coffea arabica* und *Coffea canephora* var. *Robusta* enthalten zwei gelb-grünliche Bohnen. Die mittlere Zusammensetzung roher und gerösteter Arabica-Bohnen ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Alle Angaben in Prozent Trockengewicht [3].*



INHALTSSTOFFE



schmeckenden Chlorogensäuren **4** ab [9]. Dies erklärt den weicheren Geschmack des Espressos gegenüber weniger stark geröstetem Kaffee. Auch Trigonellin **2** wird bei einer dunklen Röstung stark abgebaut, wobei eine Vielzahl von heterocyclischen Verbindungen entsteht, die zum kräftigen Röstgeruch beitragen. Bemerkenswert ist dabei die Entstehung des Vitamins Nicotinsäure (Niacin) **5**. Ein getrunken Espresso enthält etwa 15% der empfohlenen Tagesdosis dieses Vitamins!

2. Stufe: Das Mahlen – erhöht die Oberfläche für die Extraktion

Nach dem Rösten ist das Innere der Kaffeebohnen durch die Decarboxylierungsreaktionen mit Kohlendioxid gefüllt. Als Schutzgas verhindert es die unerwünschte Oxidation von Aromastoffen. Erst im Laufe einiger Wochen nach der Röstung wird das CO₂ durch Luft verdrängt und der Sauerstoff kann sein oxidatives Unwesen treiben; der Kaffee wird alt und muffig. Beim Mahlen wird das Kohlendioxid freigesetzt, die Oxidationsreaktionen setzen sofort ein, so dass ein guter Espresso nur aus frisch gemahlenem Kaffee bereitet werden kann.

Das mechanische Zerkleinern des Kaffees dient zur Erhöhung der Oberfläche, um die Extraktion zu erleichtern. Allerdings erwärmt sich der Kaffee beim Mahlen, und bei schlechten Mühlen können schon Temperaturen bis 100 °C erreicht werden. Gute Mühlen sind so konstruiert, dass die Erwärmungsphase nur wenige Sekunden dauert und der Temperaturanstieg im Mahlgut gering bleibt. Tatsächlich ist die Mühle für die Qualität eines Espressos genauso wichtig wie die Espressomaschine selbst. Hier wird im Heimbereich meist an der falschen Stelle gespart.

Das Kaffeepulver für die Zubereitung von Espresso hat Korngrößen von 0,3–0,4 mm (herkömmlicher Filterkaffee: 0,4–0,6 mm), wobei es nicht das Ziel ist, eine homogene Kornverteilung zu erreichen. Im Gegenteil: nur eine breite Korngrößen-

verteilung garantiert die optimale Durchlaufzeit des heißen Druckwassers.

3. Stufe: Die Extraktion – sensorisch erwünschte Inhaltsstoffe

Das Durchlaufen eines Lösungsmittels (heißes Wasser) durch eine feste Phase (Kaffeepulver) unter Druck ist eine recht einfache apparative Anordnung und entspricht in gewissem Maße der Hochdruckflüssigkeits-Chromatographie (HPLC). Bei laminarer Strömung eines Lösungsmittels durch eine mit porösen Teilchen (Durchmesser d_T) gefüllte zylindrischen Säule (Radius r , Länge L) lässt sich aus dem Gesetz von Darcy folgender Näherungsausdruck für den Zusammenhang zwischen der Druckdifferenz und der Volumengeschwindigkeit V/t ableiten [10]:

$$\frac{V}{t} = \text{const.} \frac{d_T^2 \cdot P \cdot r^2}{L}$$

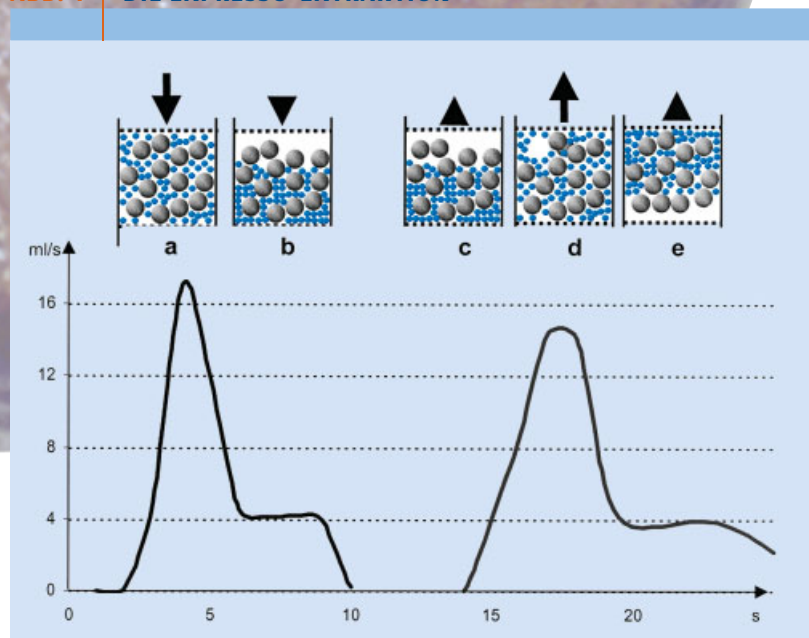
Die Randbedingungen wie Kaffeemenge, Wassertemperatur, Durchmesser des Siebes, angelegter Druck und

Extraktionszeit sind in Tausenden von italienischen Espresso-Bars über Jahrzehnte empirisch optimiert worden [11]. Heutige Standards sind: Siebradius 3,5 cm, Wassermenge 30 ml, Kaffeepulver $6,5 \pm 1,5$ g, Druck 9 ± 2 bar, Wassertemperatur 90 ± 5 °C. Am Anfang der Extraktion ist das Kaffeepulver trocken, so dass der erste Espresso erst nach einigen Sekunden in die Tasse tropft. Dann sollte sich eine konstante Volumengeschwindigkeit einstellen, die bei richtiger Korngröße und Dimensionierung der Maschine in 30 ± 5 Sekunden die ersehnte Tasse Espresso ergibt. Die experimentellen Befunde zeigt Abbildung 1.

Kleinlaut muss festgestellt werden, dass die Herstellung eines Espressos offensichtlich viel komplizierter ist als eine Hochdruckflüssigkeits-Chromatographie, denn die theoretische Vorhersage stimmt mit der Praxis ganz und gar nicht überein.

Wo liegt der Denkfehler? Folgendes brillante, von Baldini und Petrac-

ABB. 1 DIE EXPRESSO-EXTRAKTION



Nach Anlegen des Drucks (9 bar) beginnt nach wenigen Sekunden der Espresso aus der Maschine zu fließen. Die Durchflussgeschwindigkeit ist im Bereich 2-10 Sekunden nichtlinear. Umdrehen des Pulverkuchens nach 10 Sekunden und erneutes Druckanlegen führt faktisch zu einer Umkehrung der Flussgeschwindigkeit. Trotzdem beobachtet man ein fast identisches Geschwindigkeitsverhalten im Bereich 14-25 Sekunden (siehe Text) [3].



co [12] erdachtes Experiment bringt uns auf die richtige Spur: Die Extraktion wird nach 12 Sekunden unterbrochen, der Filterkuchen um 180° gedreht und anschließend fortgesetzt. Nach der faktischen Umkehr der Strömungsrichtung beobachtet man ein identisches Strömungsprofil (Abbildung 1). Daraus folgt, dass nicht die Extraktion selbst oder ein Quellen des Kaffeepulvers, sondern ein zeitlich veränderlicher hydraulischer Widerstand die Ursache sein muss. Ein Blick durch das Mikroskop gibt die Erklärung. Das Mahlgut ist nicht homogen (Abbildung 2). Unter dem angelegten Druck wandern mit der Wasserfront kleine Kaffeeteilchen an den großen vorbei und sammeln sich am unteren Ende der Kaffeepulverschicht. Diese partielle Verstopfung führt zum Anstieg des hydraulischen Widerstands und die Durchflussgeschwindigkeit nimmt ab (Abbildung 1 a, b). Drehen wir wie in dem beschriebenen Experiment die Strömungsrichtung um, wandern die kleinen Teilchen in die umgekehrte Richtung (Abbildung 1c). Zunächst verringert sich der hydraulische Widerstand durch die Auflösung der „Verstopfung“ (Abbildung 1d), bis sich die kleinen Teilchen am anderen Ende wieder sammeln und der hydraulische Widerstand erneut zunimmt (Abbildung 1e).

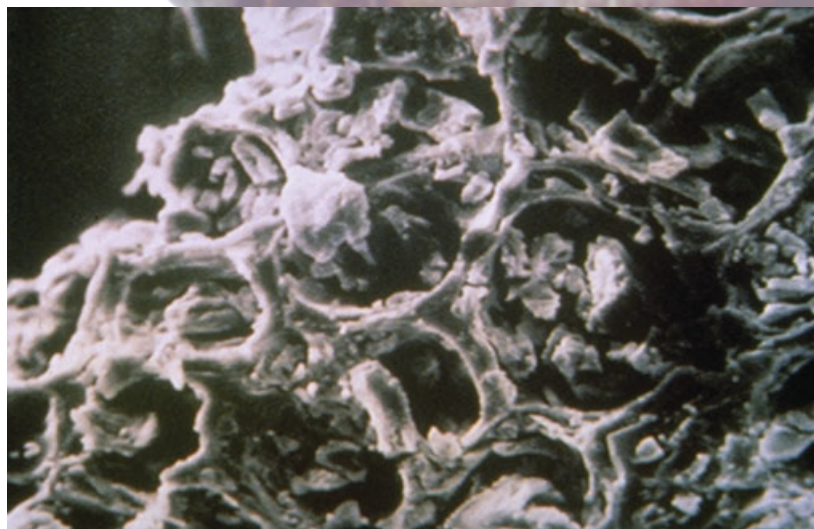


Abb. 2 Mikroskopische Aufnahme von fein gemahlenem Kaffee für Espresso [3].

Die chemischen Vorgänge in der Espressomaschine sind aber noch komplizierter. Während der kurzen Extraktionszeit kann sich zwischen den Phasen kein Gleichgewicht einstellen und nur 75% des gut löslichen Koffeins werden extrahiert. Die unvollständige Extraktion erscheint auf den ersten Blick als Mangel, in Wirklichkeit liegt in der Unvollkommenheit aber die Perfektion: Viele sensorisch unerwünschte Inhaltsstoffe werden nämlich dabei *nicht* extrahiert; darum ist Espresso bekömmlicher als gebrühter Filterkaffee.

Es werden nicht nur wasserlösliche Verbindungen extrahiert, das heiße Wasser bringt die nach dem Rösten an die Oberfläche diffundierten Lipide zum Schmelzen, und die hohe Strömung zwischen den Kaffeepartikeln führt zur Bildung einer feinen Emulsion der Lipide mit Tröpfchengrößen zwischen 0,5 und 10 µm. In diesen Fetttröpfchen sind Aromastoffe gelöst, die sich sonst beim Austreten der heißen Flüssigkeit verflüchtigen würden. Aber keine Sorge, die im Espresso enthaltene Fettmenge ist gering; auch Kalorienbesessene müssen bei mageren 9 kcal kein schlechtes Gewissen haben.

Literatur

- [1] Papst Klemens VIII (1592-1605) wurde von Priestern aufgefordert, Kaffee für

ESPRESSO, EIN FEST DER SINNE ...

Lesen Sie im nächsten Heft, was schon ein Blick auf den Tigerfell-Effekt der Crema – die schaumige Deckschicht des Espressos – verrät und welche Stoffe das unvergleichliche Aroma hervorbringen!

Christen zu verbieten. Ihrer Meinung nach hatte der Teufel den ungläubigen Muslimen Wein verboten, denn dieser wird bei der Heiligen Kommunion getrunken. Als Ersatz gab der Teufel den muslimischen Ungläubigen dieses „höllisch schwarzes Gebräu“. Der Papst, wohl selbst ein Kaffeegenießer, lehnte die Forderung ab: „Es wäre eine Sünde, wenn dieses köstliche Getränk nur Ungläubige trinken dürften. Wir werden den Teufel überlisten und den Trank segnen“.

- [2] H.G. Maier, *Chem. unserer Zeit* **1984**, *18*, 17.
- [3] *Espresso Coffee: The Chemistry of Quality*, A. Illy und R.Viani (ed.), Academic Press, London, 1998.
- [4] *Coffee Flavor Chemistry*, I. Flament, John Wiley & Sons, Chichester, 2002.
- [5] Der Name Chlorogensäure geht auf die bereits im 19. Jahrhundert entdeckte grüne Farbreaktion beim Oxidieren im Alkalischen zurück.
- [6] Chlorogensäuren sind eine Gruppe von Estern, die aus Chinasäure **3** als Alkohol- und *p*-substituierten *p*-Hydroxycimtsäuren als Säurekomponente bestehen. Die Hauptkomponente ist die *n*-Chlorogensäure **4**.
- [7] R. Viani, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* **1996**, Vol. A 7, 315-339, Wiley-VCH, Weinheim.
- [8] M. Angrick und D. Rewicki, *Chem. unserer Zeit* **1980**, *14*, 149.
- [9] R. Viani, *AU Journal* **2002**, *6*(1), http://www.journal.au.edu/au_techno/index.html.
- [10] *Chromatography Today*, C.F. Poole, und S.K. Poole **1991**, Elsevier, Amsterdam. *Hochdruck-Flüssigkeits-Chromatographie*, H. Engelhardt, **1977**, Springer, Berlin.
- [11] Der kommerzielle Siegeszug des Espressos begann 1947 mit der *Crema Caffè Machine* der Firma Gaccia. Der Druck für die Extraktion wurde mit einem gewaltigen Hebel von Hand erzeugt. Die Qualität des Espressos wurde damit von der Erfahrung und dem Geschick des Mannes an der Espressomaschine bestimmt. Damals erlangte der Espresso Kultstatus und die Espressobars mit dem besten *barista* waren Geheimtipps in italienischen Städten.
- [12] G. Baldini und M. Petracco, *7th Conference Eur. Cons. Math. Ind* 1993, zitiert in [3].