

# **KAFFEE**

Von der Bohne bis zur Crema



**Physiologie**  
Die Alltagsdroge  
Koffein

**Wissenschaft im Alltag**  
Hydrodynamik im  
Kaffeeglas

**Züchtung**  
Einmal koffeinfrei,  
bitte!



Jan Osterkamp  
E-Mail: [osterkamp@spektrum.de](mailto:osterkamp@spektrum.de)

*Liebe Leserin, lieber Leser,*  
Kaffeefreunde aufgemerkt: Die Wissenschaft hat festgestellt, dass Koffein weder nutzt noch schadet und nur wirkt, weil es die antrainierten Entzugsscheinungen von uns Alltagsdrogenabhängigen wieder aufhebt. Aber was weiß schon die Wissenschaft? Beim Kaffee geht es um viel mehr, wie die frisch aufgebrühte Melange unserer Kaffeethemen beweist: Um Geruch und Geschichte, um Stile und Schaum, Morgenland und -muffel, »to go« oder nicht und am Rande sogar um Tee. Hoch die Tassen!

Ein genussvolles Lesevergnügen  
wünscht

FOLGEN SIE UNS:



**CHEFREDAKTEURE:** Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.), Dr. Uwe Reichert

**REDAKTIONSLINTER:** Christiane Gelitz, Dr. Hartwig Hanser, Dr. Daniel Lingenhöhl

**ART DIRECTOR DIGITAL:** Marc Grove

**LAYOUT:** Oliver Gabriel

**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle

**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

**PAID-CONTENT-MANAGERIN:** Antje Findeklee

**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Slevogtstraße 3–5, 69126 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, UStd-Id-Nr. DE147514638

**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle, Thomas Bleck

**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.)

**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ute Park, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner der Nationales Institut für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik).

**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer

**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an [anzeigen@spektrum.de](mailto:anzeigen@spektrum.de).

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2016 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

04

## ZUBEREITUNG

## Von der Bohne zum Espresso ...

Für Kaffee höchster Qualität  
muss alles stimmen



ISTOCK / ZORAN SOLUNDZIA

16

## PHYSIOLOGIE

## Die Alltagsdroge Koffein

Koffein ist das meistbenutzte Aufputschmittel



ISTOCK / TRAVELLINGLIGHT

29

## ERNÄHRUNG

## 10 Fakten über Kaffee

Die wichtigsten Erkenntnisse über  
das beliebteste Getränk der Deutschen



ISTOCK / STEVANOVICIOR



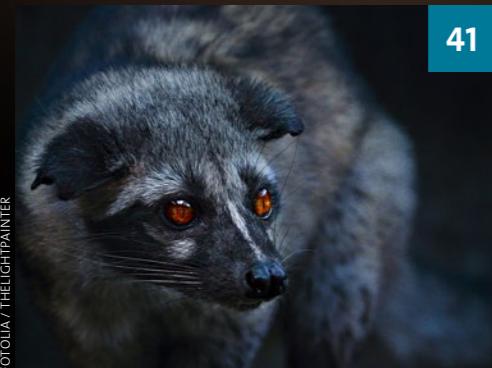
ISTOCK / ROBERTO A. SANCHEZ

39

## GENETIK

Genom der Kaffeepflanze  
sequenziert

Das entzifferte Erbgut der Kaffeepflanze  
gibt Hinweise auf sein besonderes Aroma



FOTOLIA / THELIGHTPAINTER

41

## KOPI LUWAK

Chemisches Geheimnis  
des Edelkaffees gelüftet

Die typischen Geschmacksnoten  
des teuersten Kaffees der Welt



ISTOCK / SHAITH

56

## CHRONOBIOLOGIE

## Kaffee verstellt die innere Uhr

Ein doppelter Espresso am Abend lässt  
die innere Uhr im Schnitt 40 Minuten  
nachgehen



FOTOLIA / PHOTOCREW

43

## ZÜCHTUNG

## Einmal koffeinfrei, bitte!

Die quälende Suche nach der Bohne  
ohne Boost



FOTOLIA / SEEN

## WISSENSCHAFT IM ALLTAG

## Hydrodynamik im Kaffeeglas

Latte macchiato physikalisch betrachtet

52 DAS DIKTAT DER TASSE

62 WARUM KAFFEE MIT ZUCKER WENIGER BITTER SCHMECKT

66 DARMBAKTERIEN MACHEN KAFFEESCHÄDLING IMMUN GEGEN KOFFEIN

58 IST KAFFEE GUT FÜR'S HERZ?

63 KOFFEIN WIRKT AUF MÄNNER STÄRKER ALS AUF FRAUEN

60 KOFFEIN LINDERT CHRONISCHEN STRESS

64 SCHATTENKAFFEE ERHÄLT BAUMVIELFALT



ZUBEREITUNG

# VON DER BOHNE ZUM ESPRESSO

von Ernesto Illy

Für Kaffee höchster Qualität muss alles stimmen: von den Anbau- und Erntebedingungen über die Röstung und das Aufbrühen bis hin zur Wahl der Tasse. Nur dann entfalten sich die vielen hundert Aromastoffe, die den Geschmack eines Espresso ausmachen.

Unter den Genüssen, die der Alltag unseren Sinnen bietet, kommt wenig einer guten Tasse Kaffee gleich. Frisch gebrüht aus frisch gerösteten Bohnen verströmt das dampfende Getränk ein verführerisches Aroma, das Schläfer aus ihren Betten und Passanten in Cafés lockt. Millionen Menschen auf der ganzen Welt kämen nicht durch den Tag ohne das Gefühl geistiger Klarheit, zu dem ein Kaffeinstoß verhilft.

Tatsächlich verbirgt sich hinter dem so vertrauten Getränk eine ungeahnte chemische Komplexität. Die Gewinnung und Röstung der Bohnen, ja selbst das Aufbrühen steckt voller Finessen. Alle Verarbeitungsschritte beeinflussen auf subtile Weise die vielen hundert Verbindungen, die Geschmack, Aroma und Körper von Kaffee ausmachen. Hätten Experten in den Röstereien nicht ein tiefes Verständnis dafür entwickelt, wäre eine Tasse guten Kaffees ein seltener Glückfall. Kenner sind sich einig, dass die Quintessenz von Kaffeegenuss im Espresso liegt: einem dunklen, un durchsichtigen Gebräu in einer kleinen, dickwandigen Porzellantasse, bedeckt von einer samartigen rötlich braunen Schicht

CHRISTOPHER MICHEL / CC-BY-2.0 (CC BY)



Schaum. Diese überraschend langlebige Crema hält mit ihren winzigen Gasbläschen, die von einem Flüssigkeitsfilm umgeben sind, Duft und Aroma des Kaffees zurück und lässt ihn nicht so schnell abkühlen.

Das Wort Espresso kommt daher, dass das Getränk auf Bestellung und ausdrücklich (ex-presso) für diese eine Tasse hergestellt wird. Eine spezielle Maschine presst

#### BARISTA

**Eine Maschine hilft, die ganz speziellen Extraktionsbedingungen für Espresso einzuhalten.**

eine kleine Menge erhitzten Wassers mit Hochdruck durch einen komprimierten Kuchen aus fein gemahlenem und gerösteten Kaffeepulver. Heraus kommt eine konzentrierte Flüssigkeit, die nicht nur lösli-



ISTOCK / JEFF GINIEWICZ

## ESPRESSO

**Nicht ohne Grund ist der Espresso für viele das Nonplusultra an Kaffeegenuss. Seine besondere Zubereitung bringt die Inhaltsstoffe der Bohnen optimal zur Geltung.**

che Bestandteile, sondern auch fein verteilte, winzige Ölträpfchen mit vielerlei Aromastoffen enthält. Zusammen geben sie dem Espresso seinen einzigartig vollen Geschmack und Geruch. Die spezielle Zubereitung bringt die Inhaltsstoffe der Bohnen konzentriert und optimal zur Geltung. Für Kaffee höchster Qualität muss von den Anbau- und Erntebedingungen über die Verarbeitung bis zur Wahl der Tasse alles stimmen. Schon auf der Plantage gilt es, eine Unmenge von Variablen zu überwachen und zu steuern. Sobald eine Kaffee-kirsche reif am Strauch hängt, kann nichts mehr zugefügt oder weggenommen werden: Das volle Inventar an Geschmacksstoffen und ihren Vorläufern muss bereits vorhanden sein.

Für eine Tasse Espresso benötigt man 50 bis 55 geröstete Bohnen; eine einzige minderwertige verdirbt den Geschmack schon spürbar. Das hängt damit zusammen, dass der Geruchs- und Geschmacks-sinn bei unseren Vorfahren als Abwehrmechanismus gegen verdorbene – und daher ungesunde – Lebensmittel entstand. Nur mit modernster Technologie gelingt es, mit vertretbarem Aufwand fünfzig fast perfekte Bohnen zuverlässig aufzuspüren.

Rohe Kaffeebohnen sind die Samen von Pflanzen aus der Familie der Rubiaceae (Rötel- oder Krappgewächse), die mindestens 66 Arten der Gattung *Coffea* umfasst. Kommerziell genutzt werden nur *Coffea arabica*, die etwa zwei Dritteln der Weltproduktion ausmacht, und *C. canephora*, die für das restliche Drittel aufkommt und auch *C. robusta* heißt. Deren Pflanzen haben die bei allen wilden *Coffea*-Arten üblichen 22 Chromosomen. *C. arabica* verfügt dagegen über die doppelte Anzahl und lässt sich daher nicht mit anderen Kaffeesorten kreuzen.

## Kirschen mit zwei Kernen

Wie der Name schon sagt, ist *C. robusta* ein wenig krankheitsanfälliger, ertragreicher Baum. Er wächst bis zu zwölf Meter hoch und gedeiht am besten in warmem, feuchtem Klima. Der aus seinen Bohnen gebrühte Kaffee verfügt über einen beträchtlichen Körper und ein etwas strenges, erdiges Aroma. Der Koffeingehalt liegt mit 2,4 bis 2,8 Prozent ziemlich hoch. Obwohl Robusta-Bohnen von vielen Händlern verkauft werden, ergeben sie keinen Kaffee höchster Qualität. Der *Arabica*-Baum, der aus dem äthiopischen Hochland stammt,

liefert nur geringe bis mittlere Erträge, wächst nicht höher als fünf bis sechs Meter und ist recht empfindlich: Er benötigt ein gemäßigtes Klima und viel Pflege beim Anbau. In Plantagen werden die Sträucher auf eine Höhe von 1,5 bis 2 Metern gestutzt. Kaffee aus *Arabica*-Bohnen hat ein intensives, volles Aroma, das an Blumen, Früchte, Honig, Schokolade, Karamell oder getoastetes Brot erinnern kann. Sein Koffeingehalt geht nie über 1,5 Gewichtsprozent hinaus. Höhere Qualität und besserer Geschmack schlagen sich auch im Preis nieder: *Arabica* kostet deutlich mehr als sein robuster, etwas grobschlächtigerer Verwandter.

Ergiebiger Regen bringt die *Arabica*-Pflanzen zum Blühen. Etwa sieben Monate später erscheinen rote oder gelbe Früchte,

## KAFFEEPFLANZE

**Die ursprüngliche Heimat der kommerziell genutzten Kaffeearten liegt in Afrika: *Coffea arabica* stammt aus Äthiopien, *Coffea canephora* (für die Sorte Robusta) aus West- und Zentralafrika. Die Kaffeebeeren umhüllen die Samen, die dann als »Kaffeebohnen« gewonnen werden.**

FERNANDO REBELO / CC-BY-SA-3.0 (CC BY-SA)



# Zur Geschichte des Kaffees

**1000 V. CHR. BIS 500 N. CHR.:** Der Nomadenstamm der Oramas, der im Königreich von Kefa (dem heutigen Äthiopien) wohnt, isst zerstoßene Kaffeebohnen, mit Fett gemischt und zu Kugeln in Golfballgröße geformt, als Muntermacher.

**UM 600:** Kaffee gelangt über das Rote Meer nach Arabien (das heutige Jemen).

**ENDE DES 15./ANFANG DES 16. JAHRHUNDERTS:** Moslemische Pilger bringen Kaffeebohnen, bisher ein arabisches Monopol, bei der Rückkehr aus Mekka in die Türkei, nach Ägypten und Syrien. In Konstantinopel, Damaskus und anderen Städten des Nahen Ostens öffnen »arabische« Kaffeehäuser; dort lernen auch europäische Händler, vor allem Venezianer, das Getränk kennen.

**UM 1600:** Papst Clemens VIII. wird von seinen Beratern gedrängt, das Lieblingsgetränk der ungläubigen osmanischen Türken als »bitter schmeckende Erfindung des Satans« zu verdammen. Stattdessen setzt sich das Kirchenoberhaupt mit seiner ganzen Autorität für den Kaffee ein und macht ihn so zu einem für Katholiken akzeptablen Getränk.

**1616:** Niederländische Unternehmer beginnen den kommerziellen Kaffeeanbau mit einer aus Jemen stammenden Kaffeepflanze.

**1658 (NACH ANDEREN QUELLEN 1690):** Die Holländer bauen Kaffee in Ceylon und ihrer ostindischen Kolonie Java an.

**1714:** Der Bürgermeister von Amsterdam schenkt dem französischen König Ludwig XIV. eine Kaffeepflanze aus Java.

**1723:** Der französische Marineoffizier Gabriel Mathieu de Clieu nimmt drei Kaffee-Setzlinge, die er unter fragwürdigen Umständen aus den Königlichen Botanischen Gärten erhalten hat, mit auf eine gefährliche Reise zur Karibikinsel Martinique, wo eine der Pflanzen gedeiht.

**1727:** Eigentlich soll Francisco de Melo Palheta, ein portugiesisch-brasilianischer Beamter, nur einen Grenzstreit zwischen den beiden Kaffee anbauenden Kolonien Niederländisch- und Französisch-Guayana schlichten. Er nimmt jedoch die Gelegenheit wahr und schmuggelt einige Kaffee-Setzlinge auf seine heimatlichen Güter.

**1905:** Der Bremer Kaffee-Importeur Ludwig Roselius erfindet den koffeinfreien Kaffee.

**1933:** Francesco Illy patentiert die erste automatische Espressomaschine.

**1961:** Ernesto Valente aus Foema entwirft den Prototyp der modernen Espressomaschine.



die man Kirschen nennt. Jede enthält zwei längliche Samen: die Kaffeebohnen. Da ein Ast gleichzeitig Blüten und Früchte tragen kann, sind Zeigefinger und Daumen die besten Werkzeuge, um nur die reifen Kirschen zu pflücken. Beim maschinellen Ernten oder Abstreifen ganzer Zweige mit der Hand werden unweigerlich auch unreife Kirschen gesammelt. Die Qualität der Bohnen hängt von vielen Faktoren ab. Dazu gehört das genetische Material der Pflanze, aber auch die Beschaffenheit des Bodens, auf dem sie gewachsen ist. Hinzu kommt das Mikroklima, also zum Beispiel die Höhe, die Menge an Regen und Sonnenschein sowie das Ausmaß der täglichen Temperaturschwankungen. Zusammen mit den angewandten Röstverfahren bestimmen diese landwirtschaftlichen und geografischen Bedingungen die Geschmacksvielfalt von Kaffeebohnen, aus

#### **KAFFEEKIRSCHEN**

**Die Kaffeebeeren oder -kirschen sind botanisch gesehen Steinfrüchte, allerdings mit wenig Fruchtfleisch. Nach dem Trocknen und Schälen der Früchte werden die verbleibenden Bohnen schließlich geröstet.**

denen dann die unterschiedlichen Mischungen für den Einzelhandel hergestellt werden.

Die Kaffeekirschen müssen sofort nach der Ernte verarbeitet werden, da sie sonst faulen. Das ältere, traditionelle Verfahren ist, sie zunächst an der Sonne zu trocknen. Dazu werden sie auf einer Terrasse ausgetragen und immer wieder umgerührt, damit die Früchte gleichmäßig Wärme und Luft bekommen. Nach drei bis fünf Wochen lassen sich die getrockneten Kirschen maschinell schälen, wobei das Fruchtfleisch samt der »Pergamenthaut« um die Bohnen entfernt wird. Bei dem alternativen nassen Verfahren kommen die Früchte in den »Pulper«. Dieser quetscht das Fruchtfleisch so schonend ab, dass die Bohnen unversehrt in der Pergamenthaut verbleiben. Eine noch anhaftende Schleimschicht muss anschließend durch Fermentation und Waschen entfernt werden. Nach einem Trockenschritt wird schließlich auch die Pergamenthaut abgeschält. Das Ziel ist bei beiden Verfahren dasselbe: Die Kaffeekirschen mit ihrem Wasseranteil von 65 Prozent auf die rohen, grünen Kaffeebohnen zu reduzieren, die nur noch zehn bis zwölf Prozent Wasser enthalten.

## Andere Methoden der Kaffeezubereitung

### FILTERMETHODEN

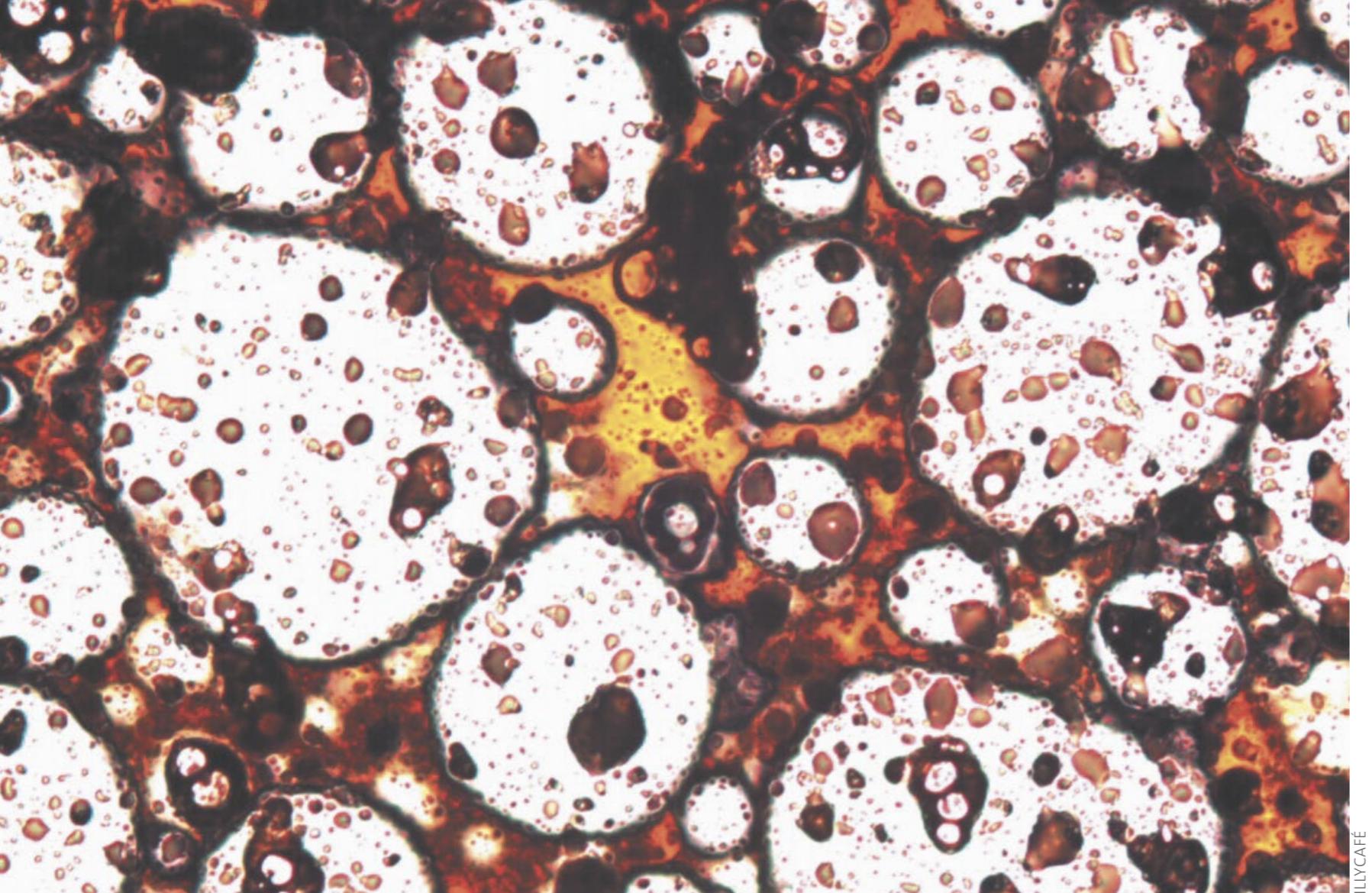
Bei diesen populären Verfahren gibt man fein gemahlenen Kaffee in einen mit Filterpapier ausgelegten Behälter und gießt heißes Wasser darüber. Um auf diese Weise Spitzenkaffee zu erhalten, sollte man das Filter vorab mit heißem Wasser spülen, um den Papiergeruch zu entfernen. Außerdem ist sicherzustellen, dass das fast kochende Wasser nicht länger als vier bis sechs Minuten braucht, um durch das Kaffeepulver zu laufen; denn nur dann werden die erwünschten Geschmacksstoffe optimal extrahiert. Die Aufgusszeit einer automatischen Kaffeemaschine lässt sich über die Wassermenge regulieren.

### DIE TÜRKISCHE METHODE

Man gibt gleiche Teile von gemahlenem Kaffee, Zucker und Wasser in eine langstielige, Ibrik genannte Messing- oder Kupferkanne, die direkt auf dem Feuer steht. Fängt die Mischung an zu sieden, wird sie so lange gerührt, bis das Kaffeepulver nicht mehr am Löffel kleben bleibt. Sobald der Aufguss zu kochen und aufzuschäumen beginnt, nimmt man den Ibrik vom Feuer und klopft leicht dagegen, damit der Schaum zusammensinkt. Das Aufkochen wird noch zweimal wiederholt. Heraus kommt ein einzigartig dicker, süßer Sud mit Resten von Kaffeesatz.

### MIT DER CAFETIÈRE NACH DEM PRESSO-SYSTEM

Man übergießt grob gemahlenen Kaffee in einem zylindrischen Glasbehälter mit heißem Wasser und lässt je nach gewünschter Stärke zwei bis fünf Minuten ziehen. Dann presst man das Siebfilter von oben durch den Aufguss und trennt so das Pulver am Boden des Topfes von der Flüssigkeit darüber.



## DIE CREMA

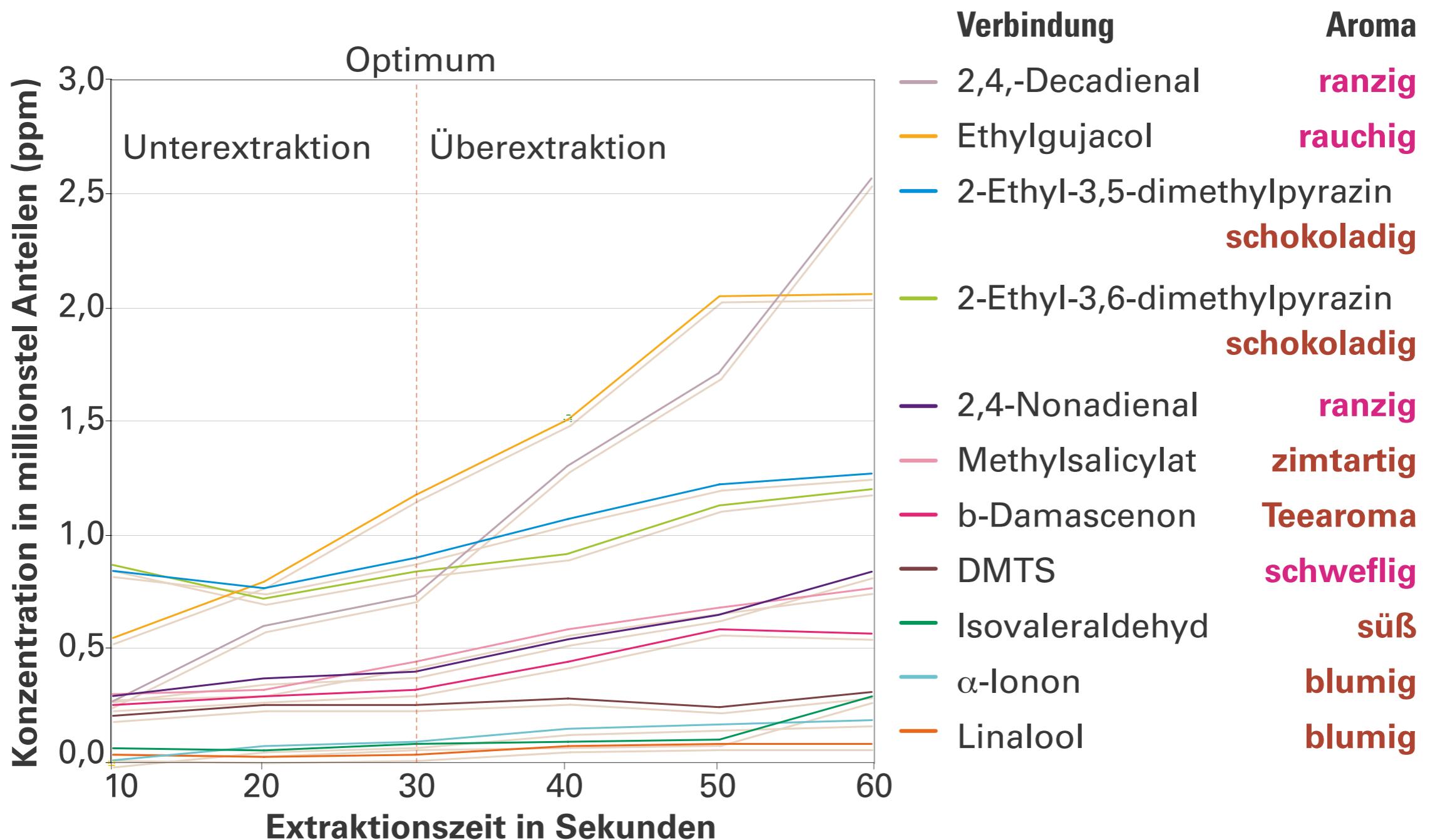
Der rötlich braune Schaum auf dem Espresso besteht hauptsächlich aus winzigen Kohlendioxid- und Wasserdampfblasen, die von oberflächenaktiven Filmen umgeben sind. Sie erscheinen in dem vergrößerten Querschnittsbild als weiße Kreise. Außerdem enthält die Crema aber auch emulgierte Öle (rot geränderte Flecken) mit den wichtigsten Aromastoffen sowie dunkle Bruchstücke der Zellstruktur von Kaffeebohnen.

Eine der größten Herausforderungen bei der Produktion von Spitzenkaffee besteht darin, ausschließlich erstklassige grüne Bohnen zu verwenden. Qualitätsbewusste Firmen wie Illycaffè in Triest (Italien) nutzen viele raffinierte Kontrolltechniken, um den Anteil an minderwertigem Rohmaterial zu minimieren. Beispielsweise werden angeschimmelte Bohnen durch UV-Fluoreszenzanalyse erfasst. Ein spezielles Abbildungsverfahren erzeugt außer-

dem von jeder Charge einen »Fingerabdruck« im gelbgrünen, roten und infraroten Spektralbereich. Schließlich kontrolliert ein dichromatisches Sortiersystem, das Illycaffè zusammen mit der englischen Firma Sortex entwickelt hat, die Bohnen unmittelbar vor der Röstung noch einmal. Während sie in Behälter fallen, entdecken photoelektrische Zellen die letzten »Nieten«, die sofort einzeln mit einem Luftstoß aus einer Düse entfernt werden. Das ge-

schieht mit einer Präzision, derer selbst das geübteste Auge nicht fähig wäre. Auch die Geschwindigkeit von 400 Bohnen pro Sekunde ließe sich beim Sortieren von Hand unmöglich erreichen.

Eine reife grüne Kaffeebohne besteht aus Zellen mit ungewöhnlich kräftigen Wänden. Sie sind fünf bis sieben Mikrometer dick – eine Ausnahme im Pflanzenreich. Die Zellen selbst haben Durchmesser zwischen 30 und 40 Mikrometern. Beim Rösten dienen sie als winzige Reaktoren, in denen unter Wärmezufuhr all die chemischen Reaktionen ablaufen, die den verführerischen Geschmack und Duft von Kaffee erzeugen. Die Zellen unreifer Boh-



#### CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG VON ESPRESSO

Die chemische Zusammensetzung von Espresso ändert sich mit der Extraktionszeit. Wird das Kaffeepulver zu lange (das heißt über die empfohlenen 30 Sekunden hinaus) extrahiert, gelangen auch unerwünschte und weniger gut lösliche aromatische Verbindungen in das Getränk.

nen haben dünnere Wände. Außerdem fehlen ihnen wichtige Vorläuferproteine für die späteren Aromastoffe, die sich erst in den letzten Stadien des Reifungsprozesses bilden. Angefaulte Bohnen haben diese entscheidenden Bestandteile dagegen durch die Wirkung von Schimmel oder Bakterien eingebüßt. Die Röstung ist ein pyrolytischer (hitzegetriebener) Prozess, der die chemische Komplexität der Bohnen enorm steigert. Das Aroma von grünem Kaffee enthält etwa 250 flüchtige Moleküle, bei geröstetem Kaffee sind es mehr als 800. Die Röstmaschine ist im Grunde nur ein riesiger, heißer, rotierender Zyliner. Beim Erhitzen der Bohnen verwandelt sich das Restwasser in den Zellen in Dampf, der verschiedene komplizierte chemische Reaktionen zwischen den Zuckern, Proteinen, Lipiden und Mineralstoffen im Zellinnern auslöst.

## Verfeinerung durch Rösten

Bei Temperaturen zwischen 185 und 240 Grad Celsius läuft der wohlbekannte Karamellisierungsprozess ab, auch Maillard-Reaktion genannt. Dabei verbinden sich die Zucker mit Aminosäuren, Peptiden und Proteinen. Die Endprodukte sind Glykosyl-

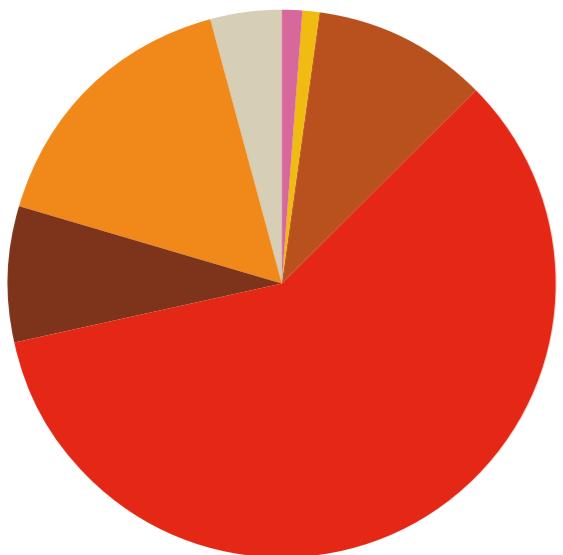
amin und Melanoidine, beides bräunliche, bitter-süße Substanzen, welche die Hauptgeschmacksnote von Kaffee bilden. Außerdem wird eine Menge Kohlendioxid erzeugt: bis zu zwölf Liter je Kilogramm gerösteten Kaffees. Daneben entsteht eine breite Palette an kleinen, aromatisch riechenden Molekülen; diese flüchtigen Verbindungen geben dem Kaffee die vertraute Duftnote. Der Dampf und das Kohlendioxid bleiben innerhalb der dicken, wenig porösen Zellwände eingesperrt und treiben so den Druck auf Werte von 20 bis 25 Atmosphären. Einige Zellen platzen schließlich, was zu charakteristischen Knallgeräuschen führt.

Je nach Temperatur und Verfahren kann der Röstprozess zwischen 90 Sekunden und 40 Minuten dauern; üblich sind zwölf Minuten. Dabei wächst das Volumen der Kaffeebohnen um gut die Hälfte, während ihre Masse um ein Fünftel abnimmt. Je nach Röstdauer laufen unterschiedliche Reaktionen in der Zelle ab, und folglich ist auch das Resultat verschieden. Kurzes Erhitzen auf sehr hohe Temperaturen minimiert den Gewichtsverlust, verleiht dem Kaffee jedoch einen metallisch bitteren Geschmack. Er röhrt von Polyphenolen

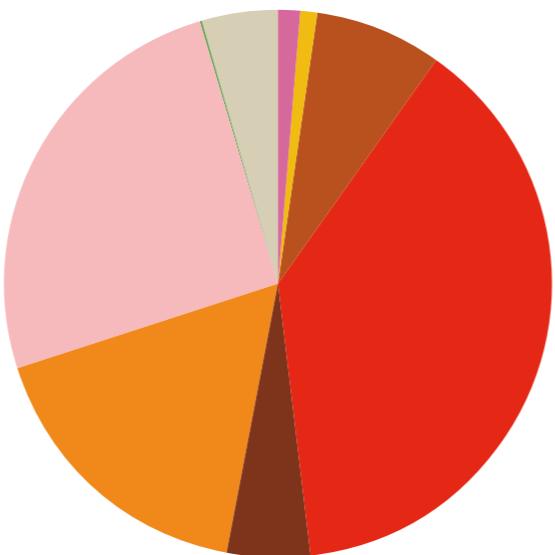
her, die nicht genug Zeit hatten, vollständig abzureagieren. Langes Rösten ist oft in ärmeren Ländern üblich, wo sich viele Verbraucher nur die billigen Bohnen minderer Qualität leisten können. Es vertreibt alle unerwünschten Geschmacks- und Duftstoffe, aber leider ebenso die erwünschten. Heraus kommt ein ziemlich fades, bitteres Getränk.

Optimal ist eine mittlere Röstdauer bei mäßigen Temperaturen. Je höher und länger man die Bohnen erhitzt, desto ärmer wird ihr Aroma, und die Bitterstoffe überwiegen. Umgekehrt kann sich bei zu niedrigen Rösttemperaturen der Geschmack gar nicht erst richtig entwickeln, und die ursprünglich vorhandene Säure drängt sich in den Vordergrund. Nase und Analysegerät sind ebenbürtige Instrumente, wenn es darum geht, die beim Kaffeerösten entstandenen Düfte zu identifizieren. Ein Gaschromatograf trennt zunächst die Geruchskomponenten. Dann "erschnuppern" ausgebildete Prüfer die einzelnen Aromen und versuchen sie so weit wie möglich zu definieren. Oft wird schließlich auch noch die genaue chemische Zusammensetzung per Massenspektrometrie bestimmt.

## Chemische Zusammensetzung von rohem und geröstetem Arabica-Kaffee in Prozent Trockenmasse



**grüne Bohnen**  
(durchschnittlicher Wassergehalt 8 bis 12 Prozent)



**geröstete Bohnen**  
(durchschnittlicher Wassergehalt 0 bis 5 Prozent)

- Koffein
- Trigonellin
- Proteine und Aminosäuren
- Zucker (hauptsächlich Polysaccharide)
- Säuren
- Lipide
- Karamellisations- und Kondensationsprodukte
- flüchtige Aromen
- Mineralien (wie Oxidasche)

ten Punkt nimmt man nur mehr die stärksten Komponenten wahr. Leider stammen genau diese hervorstechenden Geruchsstoffe von qualitativ minderwertigen, unreifen Bohnen.

Dazu gehören Moleküle wie Ethylbutanoat und Ethylglykolat. Schon Spuren davon können den Geschmack einer Tasse Kaffee ruinieren. Methylisoborneol und Trichloranisol (TCA) erzeugen das erdige, etwas chemisch wirkende Aroma von Robusta-Kaffee. TCA findet sich auch in korkigen Weinen. Die menschliche Nase ist dafür extrem empfindlich: Die Wahrnehmungsschwelle liegt bei sechs Millionsteln eines Milliardstel Gramms pro Milliliter ( $6 \times 10^{-15}$  g/ml).

## Vielfalt von Duftnoten

Das Riechen der Aromen von geröstetem Kaffee nach ihrer gaschromatografischen Trennung ist eine aufschlussreiche Erfahrung: Man kann den Duft von Rosen, Darjeeling-Tee, Schokolade, Vanille und Veilchen wahrnehmen; die geübte Nase entdeckt zudem den Geruch von Trüffeln, Suppe, Käse und Schweiß sowie ein Aroma, das Katzengeruch genannt wird. Verdünnt erinnert es an die Blume von Weißwein der Rebsorte Sauvignon, konzentriert stinkt es

jedoch widerlich. In den Laboratorien von Illycaffè konzentrieren wir uns auf die stärksten Duftstoffe. Stellen Sie sich vor, Sie hören die Aufnahme eines Chors mit 800 Sängern, darunter die kräftigen Solostimmen von Jessye Norman und Luciano Pavarotti. Reduziert man die Lautstärke fast auf null, bleiben die dominierenden Stimmen noch schwach hörbar, während vom Rest des Chores nichts mehr zu vernehmen ist. Analoges gilt für das Verdünnen des Kaffearomas; ab einem bestimm-

## Geheimnisse der Zubereitung

Der letzte Schritt ist dann die Transformation der gerösteten Bohnen in eine Tasse Espresso. Das geschieht durch Extraktion der aktiven Komponenten im gemahlenen Kaffee mit Hilfe von heißem Wasser. Dieser Vorgang zeichnet sich beim Espresso durch einige Besonderheiten aus. Bei der üblichen Filtermethode läuft das Wasser durch eine lose Anhäufung von mittelfein gemahlenem Kaffeepulver. Während des

vier- bis sechsmünütigen Kontakts nimmt es die meisten löslichen Stoffe auf. So gelangen große Mengen an sehr gut löslichen Säuren und Koffein in die Tasse. Nicht so beim Espresso. Seine Zubereitung erfordert eine spezielle Apparatur, mit der man Wasser auf eine Temperatur zwischen 92 und 94 Grad Celsius erhitzen und auf einen Druck von neun Atmosphären bringen kann. Der fein bis mittel gemahlene Kaffee wird in einen perforierten Behälter gefüllt und mit einem Stempel fest zusammengedrückt, damit eine kompakte Masse entsteht. Die komprimierten Pulverteilchen haften aneinander, da sie mit einem dünnen Ölfilm bedeckt sind, der so zäh wie Honig ist. Dadurch bilden sie ein dreidimensionales Labyrinth von winzigen Luftkanälen. Der hydraulische Widerstand dieser Masse aus Kaffeepulver ist gerade ein wenig kleiner als der Druck des dampfend heißen Extraktionswassers, sodass es mit einer Geschwindigkeit von etwa einem Milliliter pro Sekunde hindurchfließen kann.

Bei einer empfohlenen Durchlaufzeit von 30 Sekunden erzeugt ein geschickter Barista – wie in Italien die Person heißt, welche die Espressomaschine bedient –

also etwa 30 Milliliter einer konzentrierten Kaffeelösung. Wegen des kurzen Kontakts enthält sie weniger Säure als Filterkaffee und nur 60 bis 70 Prozent des Koffeins. Gekrönt wird sie von der Crema, an deren Beschaffenheit sich ablesen lässt, ob der Kaffee richtig zubereitet wurde. Hat sie eine helle Farbe, ist der Espresso zu dünn, weil das Pulver zu grob, die Wassertemperatur zu niedrig oder die Durchlaufzeit zu kurz war. Erscheint die Crema sehr dunkel mit einem Loch in der Mitte, war der Kaffee wahrscheinlich zu fein gemahlen oder die Menge zu groß. Weißer Schaum mit großen Blasen weist darauf hin, dass das Wasser zu heiß war, während ein bloßer weißer Fleck in der Mitte der Tasse eine zu lange Durchlaufzeit anzeigen. In beiden Fällen wurde der Pulverkuchen zu stark extrahiert.

Das hindurchgepresste Wasser spült auch unlösliche Stoffe von der Oberfläche der Kaffeeteilchen ab, darunter aromareiche Öle und Stückchen aus der Zellstruktur. Unter dem hohen Druck, den die Espressomaschine erzeugt, wird ein kleiner Teil des Öls emulgiert; pro Tasse sind das etwa 0,1 Gramm. Intakte Zellen im Pulver verursachen ein leichtes Moussieren; denn

Gase – insbesondere Kohlendioxid – dringen durch winzige Poren in den Zellwänden ins Freie. Manchmal gelangen auch sehr feine Pulverteilchen zusammen mit Bruchstücken der Zellwand ins Getränk. Sie geben der Crema ein Aussehen, das man als Tigerfell-Look bezeichnet. Somit umschließt die wässrige Kaffeelösung im Espresso eine Vielzahl fein verteilter Gasblasen, Ölropfchen und fester Teilchen, die alle kleiner als fünf Mikrometer sind. Chemiker sprechen von einem mehrphasigen Kolloidsystem. Diese Beschaffenheit verleiht dem Espresso viel Körper sowie eine hohe Viskosität und eine geringe Oberflächenspannung. Er bedeckt daher sichtbar die Zunge und setzt, solange er dort bleibt, die flüchtigen Duftstoffe aus den emulgierten Ölen frei. So kommt es, dass sein köstliches Aroma noch bis zu zwanzig Minuten lang nach dem Trinken zu schmecken ist.

Vielleicht wissen Sie den Espresso nach dieser kurzen Einführung in seine komplexe Chemie noch mehr zu schätzen. Zum Glück aber kann man ihn auch ohne solche Kenntnisse genießen. ↗

PHYSIOLOGIE

# Die Alltagsdroge Koffein

Koffein ist das meistbenutzte Aufputschmittel. Im Gehirn heftet es sich an Rezeptoren, die den Schlaf beeinflussen.

Aber auch Blutgefäße und Muskeln sowie Herz, Nieren und weitere Organe reagieren auf die Droge.

**B**ei der Arbeit, im Straßenverkehr oder allgemein in Situationen, die hohe Anforderungen an Aufmerksamkeit und Reaktionsvermögen stellen, ist Wachheit gleichbedeutend mit Sicherheit und Leistungsfähigkeit. Mit bestimmten Wirkstoffen kann man den natürlichen Rhythmus von Wachen und Schlafen teilweise beherrschen, wobei jedoch oft Nebenwirkungen auftreten.

Koffein ist nicht nur eines der ältesten Aufputschmittel, sondern auch eines der wirksamsten und am besten verträglichen. Die meisten von uns nehmen es täglich in Form einer Tasse Kaffee zum Frühstück zu sich, um die letzten Reste von Müdigkeit abzuschütteln und sich für den Tag fit zu machen.

Wie Koffein diesen Muntermachereffekt und andere Wirkungen ausübt, konnte inzwischen auf physiologischer Ebene geklärt werden. Demnach konkurriert es mit einer körpereigenen Substanz um deren Andockstelle. Wenn es sich daran heftet, sind die Folgen allerdings entgegengesetzt: Statt hemmend wirkt es aktivierend auf eine wichtige Signal- und Reaktionskaskade innerhalb der Zelle.

Auch Pharmakologen interessieren sich schon länger für Koffein. Inzwischen prüft man, inwieweit es sich als Komponente von Psychostimulanzien für all jene Berufsgruppen eignet, bei denen Wachsein oberste Priorität hat. Dabei geht es vor allem darum, eine Form der Verabreichung zu finden, die eine lange Wirkdauer garantiert und unerwünschte Nebenwirkungen vermeidet. Zu den unliebsamen Folgen von Koffein in hohen Dosen gehören vor allem Harndrang, aber auch Herzrasen, Zittern und Nervosität. Inzwischen gelang die Entwicklung eines »Koffeins mit langsamer Freisetzung«, das die positiven Effekte optimiert und die negativen weitgehend ausschaltet.

### Siegeszug einer Bohne aus Arabien

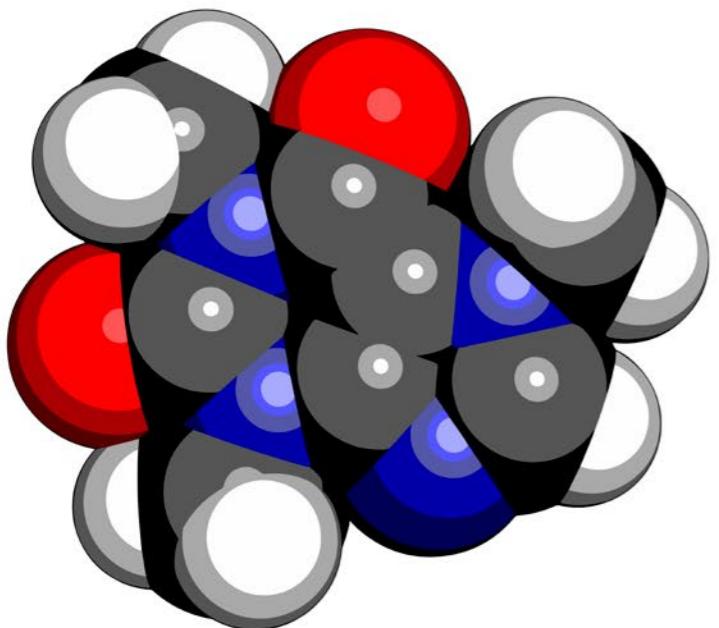
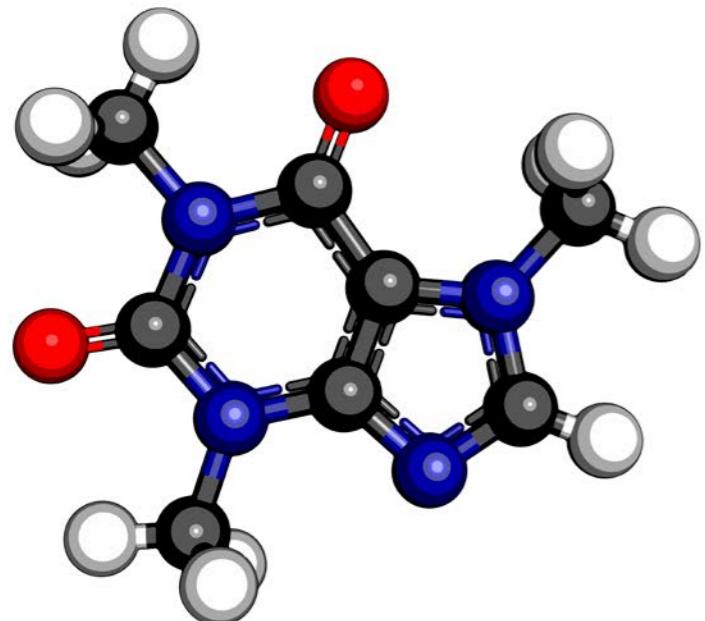
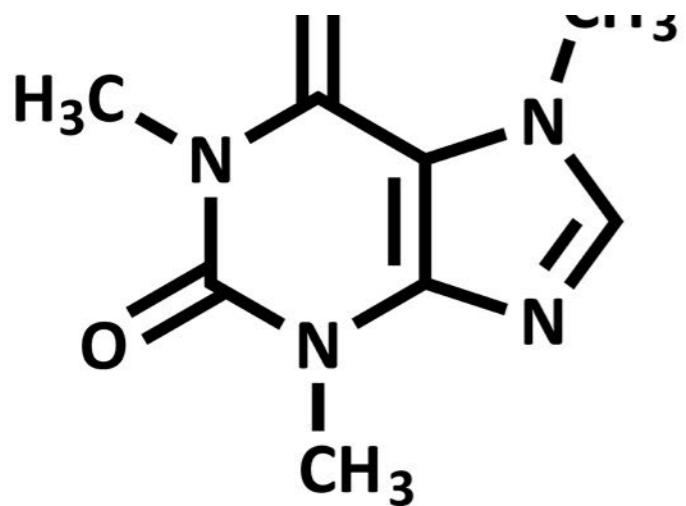
Um die Entdeckung des Kaffees ranken sich viele Legenden. Nach einer bemerkte ein Hirte im Jemen, dass seine Schafe in einen ungewohnten Zustand der Aufregung gerieten, sobald sie die Früchte eines bestimmten Gebirgsbaumes fraßen. Er teilte seine Beobachtung einem Mönch aus dem benachbarten Kloster mit, der daraufhin die Beeren sammeln ging, sie trocknete und daraus einen Aufguss zubereitete, den

er seinen Mitbrüdern zu trinken gab. Diese waren danach in den nächtlichen Gebeten mit viel mehr Ausdauer und Eifer bei der Sache.

Die ersten schriftlichen Zeugnisse von Kaffee finden sich im 9. und 11. Jahrhundert bei zwei persischen Ärzten: Rhazes (865-923) und Avicenna (980-1037). Beide erwähnen ein Stärkungsmittel, das aus dem Jemen stammt. Ausfuhrhafen für Kaffee war Al Mukha (das heutige Mokka). Von dort gelangten die Bohnen über Dschidda (im heutigen Saudi-Arabien), wo sie auf große Schiffe oder Galeeren umgeladen wurden, ins ägyptische Sues. In Ballen von 150 Kilogramm nahmen sie dann die Karawanenstraßen nach Kairo oder Damaskus.

Der Verkauf von Kaffee begann in Mekka, der heiligen Stadt des Islam und Ziel muslimischer Pilger. Hier machten die ersten Kaffehäuser auf. Im 16. Jahrhundert gelangte das Getränk in die Türkei und im Jahr 1615 nach Venedig. Griechische, türkische und armenische Händler brachten es dann nach Frankreich. Als Geschenk des türkischen Botschafters Soliman Afga hielt Kaffee 1669 Einzug am Hof Ludwigs XIV.

Binnen Kurzem verbreitete sich das neue Modegetränk über ganz Europa; in al-



len großen Städten schossen Kaffeläden aus dem Boden. Auch Beethoven gehörte zu den passionierten Kaffeetrinkern. Bei der Zubereitung war er äußerst pingelig: Genau sechzig Bohnen zählte er für eine Tasse ab. Um das Jahr 1734 schrieb Bach seine »Kaffeekantate«; immerhin pflegte das von ihm geleitete Collegium Musicum in den Lokalitäten des Leipziger Cafetiers Gottfried Zimmermann aufzutreten. Später trank Balzac bis zu dreißig Tassen am Tag und widmete dem Kaffee und seinen Wirkungen eine umfangreiche Abhandlung.

Doch gab es auch ablehnende Stimmen. Der preußische König Friedrich der Große erklärte 1777, mit Kaffee getränkte Soldaten könnten gegen Biertrinker keine Schlachten gewinnen. Bei der damaligen Kriegsführung war vielleicht die durch einen leichten Rausch hervorgerufene Euphorie

nützlicher als extreme Klarsicht und Wachheit; denn die Infanteristen mussten ungestoppt der Gefahr, von der nächsten Salve niedergemäht zu werden, standhaft weiter vorrücken.

Der französische Kaufmann und Weltreisende Sylvestre Dufour machte im 17. Jahrhundert erste Beobachtungen wissenschaftlichen Charakters über die Wirkungen der schwarzen Bohnen. »Wenn unsere französischen Kaufleute die ganze Nacht arbeiten wollen, trinken sie am Abend eine oder zwei Tassen Cahué«, schrieb er. »Nach dem Abendessen verhindert er das Einschlafen, daher wird er dann von Leuten getrunken, die nachts studieren wollen.«

Die Fähigkeit des Kaffees, Müdigkeit zu vertreiben, fiel demnach als erste auf. Gleichzeitig berichtete Dufour, dass das Getränk, »nüchtern genossen, sich im Magen in Galle verwandelt und ihn zerfrisst ... Daher sieht man jeden Morgen an den Pforten von Kaffehäusern eine Unmenge von Biscuit- und anderen Gebäckverkäufern.« Der Kaufmann konstatierte jedoch auch, dass »der Kaffee in wunderbarer Weise die erste Verdauung unterstützt. Die erste Verdauung ist die Umwandlung der Nahrungsmittel im Magen in eine weiße,

## KOFFEIN

**Koffein ist ein Purin-Alkaloid, das sich von Xanthin ableitet. Es wurde in reiner Form erstmals 1819 von F. F. Runge aus Kaffeebohnen von *Coffea arabica* isoliert. Kaffeebohnen enthalten etwa 0,3-2,5 Prozent Koffein.**

flüssige Substanz, Chylus oder Milchsaft genannt.«

## Das Weckmolekül

Hat der Kaffee nun einen schädlichen Einfluss auf die Verdauung oder nicht? Und wie verlängert er den Wachzustand? Erst moderne Untersuchungen haben Antworten auf diese Fragen geliefert. Insbesondere ergaben sie, dass Kaffee eine Mischung von ganz unterschiedlichen Bestandteilen ist, die den Organismus verschieden beeinflussen. So enthält er Mineralsalze, Saccharide (Zucker), Proteine, Lipide (Fettstoffe) und Vitamine. Der aktivste Bestandteil aber ist das Koffein.

Am 3. Oktober 1819 besuchte der »junge Chemikus Runge« Goethe in Jena. Nach Gesprächen über Gifte in Pflanzen, so erinnert sich Friedlieb Ferdinand Runge (1794–1867) später, »übergab er (Goethe) mir noch eine Schachtel mit Kaffeebohnen, die ein Griechen ihm als etwas ganz Vorzügliches gesandt. ›Auch diese können Sie zu Ihren Untersuchungen brauchen!‹, sagte Goethe. Er hatte Recht; denn bald darauf entdeckte ich darin das wegen seines großen Stickstoffgehaltes so berühmt gewordene Koffein.« Bei der farblosen, in Wasser und

Alkohol löslichen Substanz, die Runge durch eine Serie von Destillationen erhielt, handelt es sich um ein Alkaloid – ein Mitglied aus der Klasse pflanzlicher Naturstoffe, zu denen auch das Nikotin im Tabak, das Theobromin im Kakao und das Theophyllin im Tee gehören.

War Kaffee zu Goethes Zeiten noch ein Luxusartikel, den sich nur Wohlhabende leisten konnten, so ist er heute zum Alltagsgetränk geworden. Weltweit werden täglich eine Milliarde Tassen konsumiert. Jede davon enthält um die hundert Milligramm Koffein – eine relativ konstante Dosis, ob man nun Espresso oder Filterkaffee trinkt. Auch die Nahrungsmittelindustrie verbraucht das Aufputschmittel. So werden Cola-Getränke und »Energydrinks« damit versetzt: Der Koffeingehalt eines Liters entspricht dem einer Tasse Kaffee. Ebenso befindet sich die Substanz in Schokoriegeln; ihre Menge erreicht hier etwa ein Fünftel derjenigen in einer Tasse Kaffee. Im Übrigen enthalten auch zahlreiche Medikamente Koffein. Das gilt vor allem für Mittel gegen Migräne, Schmerzen und Fieber. Die Höchstmenge in einer solchen Tablette entspricht dem Gehalt einer Tasse Kaffee.

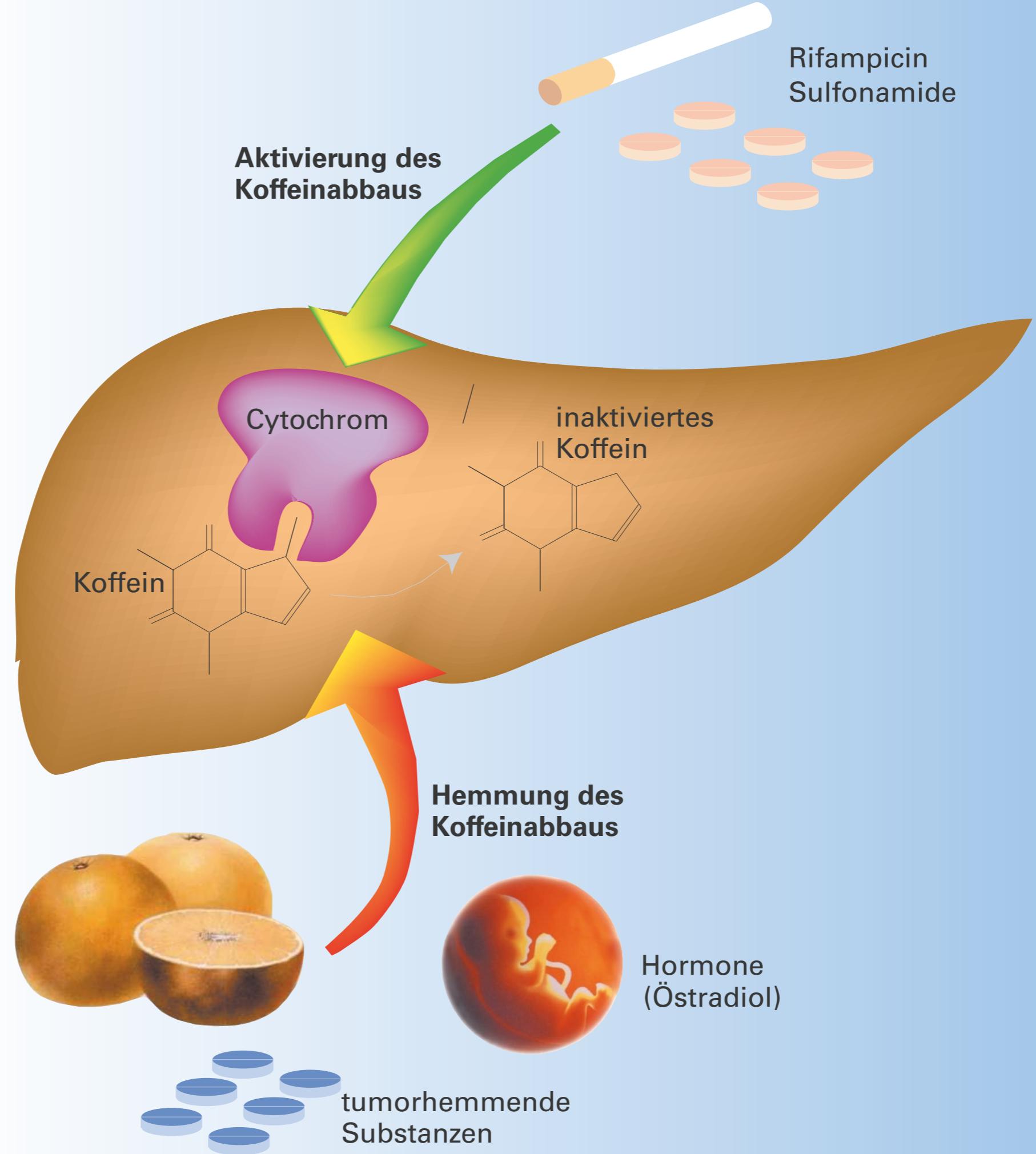
Für Kinder ist das »versteckte« Koffein nicht unproblematisch. Drei Dosen Cola und drei Schokoriegel enthalten das Äquivalent von zwei Tassen Kaffee. Ein dreißig Kilogramm schweres Kind erreicht damit eine Konzentration von sieben Milligramm Koffein pro Kilogramm Körpergewicht. Für ähnlich hohe Werte braucht ein Erwachsener vier bis sechs Tassen Kaffee. Da ist es kein Wunder, wenn ein solches Kind Schlafprobleme bekommt.

## Zwischenstation Blutkreislauf

Die Resorption von Koffein findet teilweise im Magen, hauptsächlich aber im Darm statt. Das Blut befördert den Stoff dann zu den verschiedenen Organen. Wie schnell das Koffein vom Körper aufgenommen wird, hängt stark vom Mageninhalt ab. Eine reichhaltige Mahlzeit braucht mehrere Stunden, bis sie verdaut ist und in den Darm weiterwandert. Dadurch verlängert sich zugleich die Verweilzeit des Kaffees im Magen, und das Koffein wird langsamer resorbiert. Denselben Effekt hat, wenngleich in geringerem Maße, die Zugabe von Milch; denn Milch ist alkalisch und reich an Proteinen, Galaktose und Fetten, was gleichfalls die Entleerung des Magens verlangsamt.

## ABBAU VON KOFFEIN

In der Leber wird das Koffein von einem Enzym namens Cytochrom abgebaut. Tabak sowie gewisse Medikamente wie das Antibiotikum Rifampicin und die Sulfonamide stimulieren das Enzym und beschleunigen so den Abbau. Umgekehrt hemmen Hormone wie Östradiol, gewisse Antikrebsmittel oder auch Grapefruitsaft das Cytochrom. Das Koffein bleibt dadurch länger im Blut.



Aus ähnlichen Gründen tritt das Molekül auch dann verzögert in den Blutkreislauf über, wenn es mit kohlensäurehaltigen Getränken statt mit Tee oder Kaffee aufgenommen wird.

Erst einmal in den Adern angelangt, erreicht das Koffein in weniger als fünf Minuten die Organe und das Nervensystem. Allerdings wird rund ein Drittel der Menge im Blutplasma an Proteine wie Albumin gebunden und bleibt inaktiv. Bei älteren Menschen enthält das Blut weniger Eiweißstoffe, weil ihr Proteinstoffwechsel verlangsamt ist: Die Leber bildet nicht mehr so viele Proteine, und die Nieren lassen mehr davon passieren. Daher ist bei diesen Menschen der Anteil an freiem Koffein im Blut höher und die anregende Wirkung entsprechend stärker.

Wie stark die Droge wirkt, hängt aber auch davon ab, wie schnell sie wieder abgebaut wird. Der Abbau geschieht in der Leber, wo Enzyme jene Methylgruppen vom Molekül entfernen, die ihm seine Aktivität verleihen. Im Allgemeinen ist die Koffeinkonzentration im Blut nach etwa vier Stunden auf die Hälfte gesunken.

Die Aktivität der abbauenden Enzyme in der Leber variiert allerdings von Mensch

zu Mensch und hängt zudem von diversen Umweltfaktoren ab. So wird sie durch polycyclische Kohlenwasserstoffe gesteigert, die im Zigarettenrauch enthalten sind. Raucher scheiden Koffein deshalb schneller aus. Auch bestimmte Medikamente enthalten Stoffe, welche die Leberenzyme anregen und so den Abbau der Droge beschleunigen.

Umgekehrt verhalten sich gewisse Hormone wie Östradiol, die in der Antibabypille enthalten sind: Sie senken die Aktivität der Enzyme. Sie werden nämlich auch von diesen Enzymen abgebaut, so dass sie einen Teil davon belegen, der dann nicht mehr für das Koffein zur Verfügung steht. Dieses bleibt daher länger im Blut. Aus demselben Grund kann bei schwangeren Frauen manchmal eine einzige Tasse Kaffee einen ganzen Tag lang wirken. Außerdem hat das Koffein, das sehr leicht in alle Gewebe diffundiert, im Blut von Mutter und Fötus dieselbe Konzentration. Man kann schwangeren Frauen also nur raten, möglichst auf den Genuss von Kaffee zu verzichten.

Bevor ich nun die Wirkungen des Koffeins näher beschreibe, möchte ich kurz auf einen scheinbaren negativen Effekt einge-

hen, der ihm gelegentlich zugeschrieben wird und den auch Dufour im obigen Zitat erwähnte. Manchmal hat man den Eindruck, dass allzu viel Kaffee im Laufe des Tages die Verdauung beeinträchtigt und Sodbrennen verursacht. Das kann jedoch nicht dem Koffein angelastet werden; denn bei entkoffeiniertem Kaffee treten die gleichen Symptome auf. Kaffee ist eine komplexe Mischung aus Hunderten von Substanzen, von denen einige auf das Verdauungssystem wirken. Sie verursachen insbesondere eine Kontraktion der Gallenblase sowie die Ausscheidung von Pankreasensaft und einen Anstieg in der Konzentration der Verdauungshormone Cholezystokinin und Gastrin. Letzteres regt die Sekretion von Magensäure an und aktiviert die Magendarmbewegung, was zu Übersäuerung und Reflux in die Speiseröhre führen kann. Koffein ist daran nicht beteiligt.

### Eingriff in eine zentrale Signalkaskade

Was aber sind die eigentlichen Wirkungen von Koffein, und wie ruft es sie hervor? Es gibt einen Hauptmechanismus, über den die Droge die verschiedensten Organe und Gewebe beeinflusst: Sie bindet sich an die Andockstellen für Adenosin. Dieses kleine,

im Organismus allgegenwärtige Molekül bildet sich überall dort, wo der zellinterne Energieträger Adenosintriphosphat (ATP) verbraucht wird, dessen Zersetzungprodukt es ist. Wenn Adenosin an seine Rezeptoren andockt, hemmt es das Enzym Adenylylatcyclase. Heftet sich stattdessen das Koffein an dieselben Rezeptoren, hat das die entgegengesetzte Wirkung: Die Adenylylatcyclase wird aktiviert. Als Folge davon löst sie die Bildung des chemischen Botenstoffes cAMP (zyklisches Adenosinmonophosphat) aus, der seinerseits so genannte Proteinkinasen aktiviert.

Diese Signalkaskade hat in verschiedenen Geweben unterschiedliche Folgen. In Muskeln beeinflussen die Proteinkinasen die Kontraktion der Fasern. Allerdings hängt die Art des Effekts vom jeweiligen Muskeltyp ab. Die Muskelfasern der Blutgefäßwände werden veranlasst, sich zusammenzuziehen. Dadurch steigt der Blutdruck. Dagegen dehnen sich die Muskeln

#### **SPORTLERIN**

**Koffein steigert die sportliche Leistungsfähigkeit – allerdings nicht so erfolgreich wie regelmäßiges Training.**

ISTOCK / NAUTILLUZ56



in den Wänden der Bronchialgefäße aus; diese Bronchodilatation erleichtert den Atmungsvorgang.

Außerdem kurbelt Koffein den Fettstoffwechsel an. Das cAMP, dessen Synthese es durch Bindung an die Adenosinrezeptoren in Gang setzt, stimuliert nämlich die Lipasen, also die Enzyme für den Abbau von Fett. Diese transformieren es in energiereiche Stoffwechselprodukte, was eine zusätzliche Möglichkeit zur Energiegewinnung darstellt – außer dem Verbrauch von Zucker und dem Abbau von Glykogen, der Zuckerrreserve des Organismus.

Als Folge davon hat Koffein auch »Doping«-Eigenschaften. Den Beweis lieferten unter anderem Experimente, bei denen sitzende Versuchspersonen ein am Knöchel befestigtes Gewicht bei gestrecktem Bein in der Luft halten sollten. Die Zeitspanne, während der sie das schafften, war um gut 15 Prozent länger, wenn sie eine Stunde zuvor drei bis vier Tassen Kaffee getrunken hatten.

Aus diesem Grund betrachten auch Sportler Koffein als Dopingmittel, das die Atmungskapazität und die Ausdauer erhöht. Allerdings muss man, um in flagrant erwischt zu werden, mehr als fünf Tassen

Kaffee an einem Tag trinken. Das Team des niederländischen Triathleten und Radsportlers Asker Jeukendrup, der an der Universität Birmingham Trainingsphysiologie und Ernährung für Sportler lehrt, hat auf einem virtuellen Radkurs über vierzig Kilometer den Nutzen diverser Maßnahmen ermittelt. Seiner Computersimulation zufolge ist Training immer noch am effektivsten: Es verbessert die Zeit um eine bis sieben Minuten. Mit einer aerodynamisch günstigen Haltung lassen sich gleichfalls einige Minuten gewinnen. Aber auch Koffein in mäßigen Dosen bringt immerhin 55 bis 84 Sekunden, während bei einem längerer Aufenthalt in der Höhe als Vorbereitung nur rund 30 Sekunden herausspringen.

Indem Koffein die Blutgefäße verengt, vermindert es zugleich die Durchblutung des Gehirns und damit dessen Versorgung mit Glucose. Das Gehirn reagiert äußerst empfindlich auf eine Hypoglykämie, also den Abfall des Blutzuckerspiegels unter Normalwerte. Schon lange bevor die Muskeln dieses Energiedefizit bemerkten, kommt es zu Kopfschmerzen, Schweißausbrüchen und Schwindel- oder gar Ohnmachtsanfällen. Koffein verstärkt die Wirkung einer Unterzuckerung auf das Gehirn

noch, so dass sich die Alarmsignale vorzeitig einstellen. Deshalb empfiehlt man Personen mit dem Risiko einer Hypoglykämie die Droge in mäßigen Dosen – vor allem jenen, die Antidiabetika einnehmen.

Was verursacht die harntreibende Wirkung von Koffein? Letztlich ist es ein indirekter Effekt, der auf der Kontraktion der Gefäßwände beruht. Als Reaktion auf den erhöhten Blutdruck steigern die Nieren den Filtrationsdurchsatz und verringern so das Blutvolumen. Bei drei Tassen Kaffee in zwei Stunden steigt die Urinmenge um dreißig Prozent.

Doch kommen wir nun zur wichtigsten Eigenschaft von Koffein: seiner Fähigkeit, wach zu halten. Auch diese Wirkung beruht auf seiner Bindung an den Adenosinrezeptor. Dessen Rolle beim Schlafen wird schon seit über einem Jahrhundert erforscht. Im Jahr 1912 hielten die Physiologen René Légendre und Henri Piéron Hunde mehrere Tage lang künstlich wach. Anschließend entnahmen sie ihnen Hirn-Rückenmarkflüssigkeit (Liquor cerebrospinalis) und injizierten sie in das Gehirn von gerade geweckten Tieren. Diese schliefen daraufhin sofort wieder ein. Demnach sammeln sich im Wachzustand im Gehirn Substanzen an,

die quasi »Sandmännchen« spielen. Seit den 1970er Jahren mehrten sich die Hinweise, dass es sich bei einer dieser Substanzen um Adenosin handelt.

## Regulation des Schlafbedürfnisses

Den Beweis dafür lieferten 1997 Tarja Porkka-Heiskanen und ihre Kollegen an der Universität Helsinki. Sie ließen Katzen stundenlang ununterbrochen spielen und hinderten sie so am Einschlafen. Gleichzeitig maßen sie mit Hilfe von Sonden, die sie durch die Schädeldecke eingeführt hatten, die Adenosinkonzentration im Gehirn. Diese nahm stetig zu, während die Katzen in ihrem künstlichen Wachzustand von Stunde zu Stunde immer müder wurden. Sobald die Tiere jedoch einschließen, sank sie wieder.

Je länger man wach ist, desto mehr Adenosin sammelt sich also im Gehirn an: es bildet eine Art »Müdigkeitssignal«. Indem es seine Rezeptoren zunehmend sättigt, hemmt es die Adenylatcyclase immer stärker, so dass die Produktion von cAMP stetig abnimmt. Verschiedene molekulare Kaskaden verursachen daraufhin kritische Veränderungen in den Wach- und Schlafzentren und lassen das Gleichgewicht vom Wach- in den Schlafzustand umkippen.

Adenosin ist folglich ein hochwirksamer Regulator des Schlafbedürfnisses. Weil es sich beim Wachen im Gehirn anhäuft, nimmt die Müdigkeit zu, je länger wir wach bleiben. Während des Schlafens wird es dann wieder abgegeben und verbraucht. Da Koffein als Gegenspieler von Adenosin agiert, kann man es als Anti-Müdigkeitsmittel ansehen. Wenn es sich an die Adenosinrezeptoren bindet, aktiviert es die Adenylatcyclase und löst so molekulare Kaskaden aus, die den Wachzustand verlängern. Dadurch wirkt es als Anregungsmittel.

Manchmal sind Piloten lange im Einsatz – etwa bei Langstreckenflügen, die 10 bis 15 Stunden dauern und denen ebenso ausgedehnte Vorbereitungszeiten vorausgehen. Dabei müssen sie jederzeit über einen klaren Kopf verfügen. In einem Forschungsprojekt mit Didier Lagarde und Maurice Beaumont vom militärischen Gesundheitsdienst in Brétigny-sur-Orge sowie Françoise Chauffard vom Nestlé-Forschungszentrum in Lausanne haben wir deshalb das Verhalten von Piloten während langer Wachzeiten untersucht und die Wirkung von Koffein erforscht. Dabei wollten wir herausfinden, wie es gelingt, von den positiven Effekten zu profitieren, ohne den

negativen ausgesetzt zu sein, die vor allem bei hoher Dosierung gelegentlich auftreten. Zu solchen unerwünschten Begleiterscheinungen des Kaffeegenusses gehören, wie anfangs erwähnt, neben der harntreibenden Wirkung vor allem Phänomene wie Herzrasen, Zittern und Nervosität.

In unserem Projekt haben wir verschiedene Formen der Verabreichung von Koffein getestet. So untersuchten wir ein »Koffein mit langsamer Freisetzung«. Dabei sind 300 Milligramm der reinen Substanz in Gelatinekapseln verpackt, und ein Bindemittel sorgt dafür, dass der Wirkstoff nur allmählich in den Darm und das Blut abgegeben wird. Die Koffeinkonzentration verteilt sich dadurch gleichmäßiger über größere Zeiträume. Damit bleibt sie auch viel länger oberhalb der Wirksamkeitsschwelle. Das ist jener Wert, der im Durchschnitt den Wachzustand aufrechterhält. Gleichzeitig werden die Nebenwirkungen vermieden, die hauptsächlich von einem starken Anstieg der Konzentration herrühren.

Beim ganz normalen Kaffeetrinken schnellt der Koffeinspiegel im Blut rasant empor und sinkt dann ebenso rasch wieder ab. Dadurch ist er nur für rund zwei Stunden hoch genug, um die üblichen Wir-



kungen hervorzurufen. Bei verlängerter Koffeinabgabe bleibt die wirksame Konzentration dagegen fast zehn Stunden bestehen. In unseren Versuchen mussten sich die Teilnehmer zugleich so genannten Überlebenstests unterziehen. Während dieses Trainings litten sie unter Stress und Schlafmangel, was Fähigkeiten wie Kopfrechnen, Kartenlesen und die Motorik beeinträchtigte. Im Laufe der Zeit ließen Geschicklichkeit und Aufmerksamkeit nach, und ein Schwächegefühl stellte sich ein. Geistige Leistungen, die uns als Maß dienten, dauerten immer länger. Dosierte freigesetztes Koffein in Gelatinekapseln mildert alle diese negativen Effekte – so das Fazit unserer Untersuchungen. Die Versuchsteilnehmer, die dadurch konstant unter dem Einfluss des Anregungsmittels blieben, konnten ihre Aufgaben besser erfüllen. Allerdings fühlten sie sich am Ende reizbarer und waren weniger umgänglich als ihre Kollegen, die nichts eingenommen hatten.

## FLUGZEUG

**Tests mit Piloten demonstrieren, dass Koffein erfolgreich die Symptome von Jetlag lindern kann, indem es die innere Uhr beeinflusst.**

In einer weiteren Studie hinderten wir Freiwillige 64 Stunden lang am Schlafen. Wenn sie alle zwölf Stunden eine Koffeinkapsel schluckten, blieben Konzentrationsfähigkeit und psychomotorische Leistungen bis zum zweiten Tag voll erhalten. Andernfalls gingen diese Fähigkeiten schon in der ersten Nacht deutlich zurück.

### Verstellen der inneren Uhr

Koffein kann aber nicht nur den Wachzustand aufrechterhalten, sondern auch helfen, die innere Uhr zu verstellen, um sie etwa an eine andere Zeitzone anzupassen. Üblicherweise schüttet die Epiphyse oder Zirbeldrüse im Gehirn nachts das Hormon Melatonin aus, das den Rhythmus von Wachen und Schlafen regelt. Tageslicht blockiert die Nervenbahnen, welche diese Sekretion stimulieren. Das Auf und Ab in der Melatoninausschüttung folgt daher genau dem Wechsel von Tag und Nacht. Wird einer der Parameter geändert, so kippt das Gleichgewicht. Nach einem Nachtflug von New York nach Berlin wird es »zu früh« hell. Die Zirbeldrüse gibt Melatonin daher auch noch am Tag ab, und man fühlt sich schlafbrig. Der Reisende leidet unter Jetlag, weil seine inne-

re Uhr und die äußeren Bedingungen aus dem Gleichtakt geraten sind.

Was kann man dagegen unternehmen? Um den Jetlag zu mildern, wird in den USA manchmal Melatonin verschrieben. Am frühen Abend eingenommen, soll es die Konzentration des Hormons zum Beginn der Nacht hin erhöhen. Auf diese Weise hofft man, die Schlafphase neu einzustufen und so die innere Uhr zu verstellen.

In einem Experiment haben wir die Wirksamkeit von Melatonin und Koffein gegen den Jetlag verglichen. Dabei flogen Testpiloten von San Antonio in Texas nach Mont-de-Marsan in Frankreich, ein zehnstündiger Flug mit einer Zeitverschiebung von sieben Stunden. Vor dem Start mussten sie sich kognitiven und psychomotorischen Tests unterziehen, die Aufschluss über ihre Leistungsfähigkeit gaben. Außerdem wurden verschiedene physiologische Parameter wie Puls und Blutdruck gemessen.

Einige Teilnehmer nahmen zwei Tage vor bis drei Tage nach dem Flug jeweils am späten Nachmittag Melatonin ein. Andere erhielten nach dem Flug fünf Tage lang am Morgen eine Koffeinkapsel mit verlängerter Freisetzung des Wirkstoffs. Wieder an-

dere schluckten ein Placebo, also ein Medikament ohne Wirkstoff, das jedoch genauso aussah wie die Melatonin- oder Koffeinkapseln. Nach dem Flug prüften wir wiederum die kognitiven und psychomotorischen Fähigkeiten und maßen die physiologischen Parameter, um Aufschluss über die Verschiebung der biologischen Rhythmen durch die Zeitverschiebung zu erhalten.

Bei diesem Versuch erwies sich Koffein als sehr wirksam. Am Morgen eingenommen, wird es an die Adenosinrezeptoren der Zirbeldrüse gebunden und hemmt die Freisetzung von Melatonin. Indem es die Abgabe des Hormons im richtigen Moment unterdrückt, verstärkt es also die Wirkung des Tageslichts. Dadurch gleicht sich die innere Uhr um eine Stunde pro Tag dem neuen Hell-Dunkel-Rhythmus an. Die Versuchsteilnehmer überwanden die Zeitverschiebung deshalb vier Tage früher als die Mitglieder der Kontrollgruppe mit Placebo. Gegenüber Melatonin hatte Koffein den Vorteil, dass es nicht schlafbrig macht.

Wenn ein Autofahrer die Herrschaft über sein Fahrzeug verliert, liegt das meist an mangelnder Wachheit – immerhin zehn bis zwanzig Prozent aller Verkehrsunfälle

haben diese Ursache. Deshalb ist es wichtig, regelmäßige Ruhezeiten einzuhalten. Zusätzlich empfiehlt die Internationale Konferenz über Ermüdungserscheinungen und die Unfallrisiken im Straßenverkehr aber auch die Einnahme von Koffein. Die Arbeitsgruppe von Elke de Valck an der Universität Brüssel hat die Fähigkeit von Fahrrern geprüft, ihren Wagen nach bestimmten Zeitspannen ohne Schlaf noch zu beherrschen. Dabei erwies sich die Einnahme von Koffein mit verzögerter Freisetzung als ausgesprochen günstig: Das Risiko, die Kontrolle über das Fahrzeug zu verlieren, war danach deutlich geringer.

Bei der Schifffahrt ist die Wache auf der Brücke oft monoton, so dass die Aufmerksamkeit allmählich nachlässt. Auch hier verbessert die Einnahme von Koffein die Konzentration beträchtlich und steigert insbesondere die Fähigkeit, am Horizont auftauchende Objekte wahrzunehmen, was von erinenter Bedeutung ist, um Zusammenstöße zu vermeiden.

### Macht Kaffee süchtig?

Nachdem ich all diese positiven Eigenschaften von Koffein hervorgehoben habe, denen nur wenige relativ harmlose Neben-

wirkungen gegenüberstehen, erhebt sich die Frage, ob es auf lange Sicht und bei hoher Dosierung nicht doch auch ernste gesundheitliche Probleme verursachen kann. Wie verhält es sich beispielsweise mit dem Krebsrisiko? Um es einzuschätzen, führten die Schweden, die zu den eifrigsten Kaffeetrinkern der Welt gehören, eine groß angelegte epidemiologische Studie durch. Sie erfasste 59 000 Frauen im Alter zwischen 40 und 76 Jahren. Die Auswertung der Daten ergab jedoch keinerlei Zusammenhang zwischen Kaffeekonsum und der Häufigkeit von Brustkrebs. Desgleichen fand sich auch keine Verbindung mit Pankreas-, Darm- oder Eierstockkrebs.

Was negative Langzeiteffekte betrifft, so steht Kaffee im Verdacht, den Cholesterinspiegel zu erhöhen. Koffein spielt dabei allerdings keine Rolle. Die Anreicherung von Fett im Blut röhrt möglicherweise von den Lipiden im Kaffee her. Ihr Gehalt ist besonders hoch, wenn das Pulver mit dem Wasser zusammen aufgekocht wird.

Als Droge muss sich Kaffee natürlich auch die Frage gefallen lassen, ob er vielleicht süchtig macht. In hohen Dosen konsumiert, kann er tatsächlich eine Art von Abhängigkeit erzeugen, aber sie un-

terscheidet sich von derjenigen, die durch Tabak- und Alkoholmissbrauch oder durch den Konsum von Rauschgiften wie Kokain, Cannabis oder Heroin entsteht. Ein positives neuronales Verstärkersystem in Form einer Belohnungsspirale, wie es bei harten Drogen auftritt, spielt beim Koffein keine Rolle.

Das Lustgefühl, das eine Person beim Drogenkonsum empfindet, hat viele Ursachen. Psychologische Faktoren spielen dabei ebenso eine Rolle wie physiologische und kognitive Prozesse sowie der Geschmackssinn. Abhängigkeit verlangt regelmäßigen und meist auch steigenden Drogenkonsum.

Am charakteristischen Suchtverhalten, zu dem Entzugserscheinungen, zwanghafte Drogenbeschaffung und Selbstverabreichung gehören, ist ein wohldefiniertes Ensemble von Neuronen beteiligt, das fünf Gehirnbereiche umfasst: das Ventrikeldach, die Substantia nigra, das Corpus striatum, den Kortex und den Nucleus accumbens. Die Verschaltung dieser Zentren stellt eine permanente Verknüpfung zwischen dem Lustgewinn und der bewussten Handlung her, die ihn herbeiführt – zum Beispiel das Anzünden einer Zigarette.

Koffein dagegen aktiviert Neuronen aus einer anderen Hirnregion, nämlich dem Nucleus caudatus (Schweifkern). Diese Region gehört nicht zu dem gerade erwähnten stark verknüpften Neuronensystem. Zwar kann sie Dopamin freisetzen, was Lustgewinn bedeutet, und dieses positive Gefühl zum Kortex weiterleiten. Die Verknüpfungen sind jedoch nicht so stark, dass die angenehme Empfindung als unverzichtbar erlebt wird. Falls es eine Abhängigkeit gibt, ist sie also in keiner Weise mit der durch harte Drogen, Tabak oder Alkohol vergleichbar.

Entsprechend sind auch die Entzugerscheinungen bei einem plötzlichen Abbruch des Koffeinkonsums in der Regel recht milde. Manchmal treten Kopfschmerzen auf, die umso stärker sind, je mehr Kaffee die betreffende Person regelmäßig getrunken hat. Doch halten sie nicht lange an: Sie beginnen etwa 12 bis 24 Stunden nach der letzten Tasse Kaffee, erreichen nach 48 Stunden ihren Höhepunkt und verschwinden spätestens nach einer Woche wieder. Diese Entzugserscheinung erklärt wohl die Kopfschmerzen mancher Menschen am Wochenende. Unter der Woche trinken sie am Arbeitsplatz gewohnheitsmäßig größere Mengen Kaffee, der die Blutgefäße im Gehirn verengt. Am Wochenende geht der Konsum plötzlich zurück. Folglich dehnen sich die Gefäße aus und erzeugen durch den entstehenden Druck im Schädel Kopfschmerzen.

### Vorbeugung gegen Schüttellähmung

Exzessiver Koffeinkonsum kann auf Dauer allerdings zu Koffeinismus führen, einem Syndrom, das durch Zittern, Angstzustände, Reizbarkeit, Nervosität und Schlafstörungen charakterisiert ist. In manchen Fällen treten auch Herzklopfen, eine Beschleunigung von Puls und Atemfrequenz sowie Magersucht auf. Frauen sind für solche Störungen anfälliger als Männer – vielleicht weil Koffein in ihrem Blut, wie erwähnt, weniger schnell abgebaut wird.

Andererseits scheint regelmäßiger Kaffeegenuss aber einen gewissen Schutz gegen die Parkinsonskrankheit zu verleihen. Bei dieser degenerativen Erkrankung, die meist im Alter auftritt, führt das Absterben von Nervenzellen im Gehirn, die den Botenstoff Dopamin produzieren, zu Störungen von Motorik und Aufmerksamkeit. In einer Studie, an der 8000 Personen über dreißig Jahre hinweg teilnahmen, zeigte sich, dass

das Parkinsonsyndrom bei Personen, die Kaffee trinken, seltener auftritt. Außerdem verläuft die Krankheit bei hohem Kaffeekonsum weniger schwer. Das ist insofern einleuchtend, als Koffein die Freisetzung von Dopamin bewirkt, an dem es bei der Parkinsonkrankheit mangelt. Auch die übliche Behandlung besteht ja in der Gabe von L-Dopa, das sich im Gehirn in Dopamin umwandelt.

Koffein hat also durchaus pharmakologische Wirkungen. Zugleich wird es von Milliarden von Menschen in der Welt täglich konsumiert. Ist es also ein Medikament oder ein Genussmittel? Wenn Koffein in Form von Gelatinekapseln als Medikament bezeichnet würde, wäre es rezeptpflichtig. Würde es hingegen frei verkauft, könnten viele Menschen von diesem Wachmachermolekül profitieren, sofern sie keinen Missbrauch damit treiben. Die Situation ist paradox: Üblicherweise rät man vom Gebrauch von Psychostimulanzien ab; aber Koffein, in Form von Kaffee oder Erfrischungsgetränken, ist de facto das am meisten konsumierte Psychostimulanz der Welt.

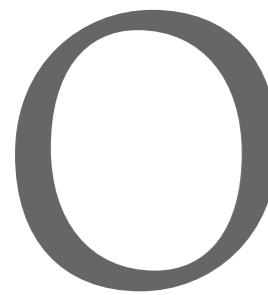
( Spektrum der Wissenschaft 6/2003)



# 10 Fakten über Kaffee

von Liesa Klotzbücher

Das Nationalgetränk der Deutschen ist nicht etwa Bier, sondern Kaffee. Umso erstaunlicher, wie viele Gerüchte und Halbwahrheiten darüber kursieren. Wir haben die wichtigsten Erkenntnisse über den beliebten Muntermacher zusammengetragen.



b klassischer Filterkaffee am Morgen, ein schneller Espresso vor dem Weg zur Arbeit, schwarz oder mit Milchschaum und Kakaoherz verfeinert: Kein anderes Getränk konsumieren die Deutschen so häufig und so gerne. 2012 trank jeder Bundesbürger im Schnitt 149 Liter – und damit mehr als Mineralwasser oder Bier. Bei einem täglichen Konsum von mehr als zwei Tassen müssen sich sogar klassische Kaffeestationen wie Italien geschlagen geben – wohl auch weil sich hier der kleine, starke Espresso größerer Beliebtheit erfreut. Europameister im Kaffeetrinken sind die Finnen: Sie trinken im Schnitt vier Tassen am Tag.

Kaffee enthält eine Mixtur aus über 1000 Substanzen. Die bekannteste ist das Koffein, das die Kaffeepflanze vermutlich bildet, um Insekten abzuwehren. Neben Kohlenhydraten, Proteinen, Lipiden und Mineralstoffen wie Kalzium und Magnesium enthalten die Samen des Gewächses auch 80 verschiedene Säuren, etwa Zitronen- und Apfelsäure. Espresso ist säureärmer und damit bekömmlicher als Filterkaffee, weil die Kaffeebohnen dafür länger geröstet werden. Den unverwechselbaren

Duft von frisch aufgebrühtem Kaffee ergeben mehr als 800 verschiedene Aromen. Das Geheimnis seines Geschmacks ist allerdings bis heute nicht gelüftet: Alle Versuche, aus den bekannten Inhaltsstoffen ein künstliches Kaffearoma herzustellen, schlugen bislang fehl.

Um das beliebte Heißgetränk ranken sich viele Mythen, und so mancher passionierte Kaffeetrinker empfindet den eigenen Konsum als Laster. Doch an welchen Gerüchten ist etwas dran, und welche gehören ins Reich der Märchen?

### 1. Macht Koffein abhängig?

Das im Kaffee enthaltene Koffein ist die am meisten konsumierte pharmakologisch aktive Substanz überhaupt. Das Stimulans kann sowohl zu körperlicher als auch zu psychischer Abhängigkeit führen, auch wenn sein Abhängigkeitspotenzial als gering gilt. Denn im Gegensatz zu Nikotin oder Kokain stimuliert Koffein nicht den Nucleus accumbens, der als Teil des Belohnungszentrums im Gehirn eine bedeutende Rolle bei Süchten spielt.

Bleiben Kaffeeliebhaber einen Tag lang abstinenter, können dennoch Entzugsscheinungen auftreten – etwa jeder zweite

### AUF EINEN BLICK

## Im Bann der Bohne

- 1 Kaffee gehört zu den am besten untersuchten Lebensmitteln. Jedes Jahr beschäftigen sich einige hundert Studien mit seiner Wirkung auf unseren Körper.
- 2 Jeder zweite Deutsche über 14 Jahre trinkt morgens regelmäßig Kaffee.
- 3 Das darin enthaltene Koffein macht tatsächlich wacher. Bei ständigem Kaffeekonsum tritt jedoch eine Gewöhnung ein.

bekommt zum Beispiel Kopfschmerzen. »Wenn die Teilnehmer unserer Studien für ein paar Tage auf Koffein verzichten, sind sie oft überrascht, wie müde sie sich plötzlich fühlen«, erklärt der Psychologe Peter Rogers von der University of Bristol. Ein unregelmäßiger Kaffeekonsum kann daher zu Entzugssymptomen führen.

Juliano, L. M., Griffiths, R. R.: A Critical Review of Caffeine Withdrawal: Empirical Validation of Symptoms and Signs, Incidence, Severity, and Associated Features. In: *Psychopharmacology* 176, S. 1-29, 2004; Nehlig, A. et al.: SPECT Assessment of Brain Activation Induced by Caffeine: No Effect on Areas Involved in Dependence. In: *Dialogues in Clinical Neuroscience* 12, S. 255-263, 2010

## 2. Entzieht Kaffee dem Körper Wasser?

»Kaffee dehydriert den Körper nicht. Ich wäre sonst schon Staub«, soll Franz Kafka gesagt haben – und lag damit völlig richtig. Denn entgegen einer verbreiteten Meinung ist Kaffee kein Flüssigkeitsräuber, sondern geht laut der Deutschen Gesellschaft für Ernährung positiv in die tägliche Flüssigkeitsbilanz mit ein. Kurzfristig erhöht Koffein zwar die Filterfunktion der Niere und damit die Urinmenge. Bei regelmäßigm Konsum fällt dieser Effekt aller-

dings kaum ins Gewicht. In üblichen Mengen getrunken, ergänzt Kaffee daher den Flüssigkeitshaushalt.

Maughan, R. J., Griffin, J.: Caffeine Ingestion and Fluid Balance: A Review. In: *Journal of Human Nutrition and Dietetics* 16, S. 411-420, 2003

## 3. Macht Kaffee wach?

Ohne die Tasse Kaffee am Morgen kommen viele Kaffeeliebhaber nicht in die Gänge. Sie schwören auf seine wach machende Wirkung und fühlen sich ohne den morgendlichen Koffeinkick unkonzentriert und müde. Jeder zweite Deutsche über 14 Jahre dopt sich morgens mit dem Heißgetränk.

Verantwortlich für den belebenden Effekt ist das Koffein. Eine Tasse Kaffee enthält bis zu 100 Milligramm dieser Substanz, eine Dose des Energy-Drinks »Red Bull« dagegen nur 80 Milligramm. Koffein steckt auch in Lebensmitteln, in denen man es vielleicht nicht erwarten würde: So beinhaltet eine Tafel Halbbitterschokolade mehr Koffein als ein Espresso.

Etwa 20 Minuten nach dem Konsum beginnt das Koffein zu wirken. Über Magen und Darm wird es innerhalb von 45 Minuten fast vollständig aufgenommen. Im

Lauf des Tages sammelt sich die Substanz Adenosin im Gehirn an und drosselt die Freisetzung aktivierender Neurotransmitter wie Glutamat und Dopamin. Dadurch werden wir müde. Die belebende Wirkung des Koffeins beruht hauptsächlich darauf, dass es an die Rezeptoren für das chemisch ähnliche Adenosin in der Membran der Nervenzellen bindet. Daher bleiben weniger Andockstellen für Adenosin frei, und die Ausschüttung von Glutamat und Dopamin wird nicht mehr so stark unterdrückt. Koffein wirkt daher dem »Müdigkeitssignal« entgegen.

Allerdings gewöhnt sich der Körper an regelmäßige Kaffeindosen – und bildet zusätzliche Rezeptoren aus, an die sich das Adenosin doch heften kann. Deshalb wirkt ein Latte macchiato bei Gelegenheitstrinkern stärker als bei regelmäßigen Konsumenten. Ob eine ständige Kaffeindosis dauerhaft wacher macht, ist aber fraglich.

Nach einer 2013 veröffentlichten Studie von Peter Rogers und seinen Kollegen bringt ein dauerhafter Kaffeekonsum keine Vorteile. Die Psychologen der University of Bristol gaben 369 Personen am Morgen entweder ein Placebo oder Koffein. Zuvor mussten alle Teilnehmer 16 Stunden

lang auf Koffein verzichten. Nach verschiedenen Reaktions- und Gedächtnistests zeigte sich: Diejenigen, die sonst stets Koffein konsumierten, schnitten im Gedächtnistest oder bei einfachen Messungen der Schnelligkeit ohne ihr morgendliches Aufputschmittel deutlich schlechter ab. Eine Kaffeetablette steigerte zwar ihre Leistung, und sie fühlten sich fitter und wacher – al-

lerdings nicht mehr als jene, die nie oder selten zu koffeinhaltigen Getränken griffen. Offenbar beruht die aufputschende Wirkung bei Dauerkonsumenten vor allem darauf, dass Koffein die sonst auftretenden Entzugssymptome abmildert.

Rogers, P. J.: Faster but not Smarter: Effects of Caffeine and Caffeine Withdrawal on Alertness and Performance. In: *Psychopharmacology* 226, S. 229-240, 2013



#### 4. Beeinträchtigt Kaffee den Schlaf?

Koffein kann die Qualität und Dauer des Schlafs verringern und das Einschlafen verzögern. Dies zeigte etwa eine 2013 veröffentlichte Studie von Forschern der Wayne State University in Detroit. Das Team um Christopher Drake untersuchte, wie Koffein den Schlaf beeinflusst, wenn es direkt vor dem Zubettgehen oder schon Stunden zuvor konsumiert wurde. Zwölf gesunde Probanden erhielten an vier Tagen unmittelbar vor dem Schlafengehen sowie drei und sechs Stunden davor eine Tablette. Jeweils eine der drei Kapseln enthielt Koffein, die anderen waren Placebos. An einem Tag erhielt keine der Pillen den Wirkstoff.

Während die Probanden schlummerten, wurden ihre Hirnströme über Elektroden am Kopf gemessen. Über die empfundene Qualität ihres Schlafs führten die Testpersonen ein Tagebuch. Drei Stunden oder unmittelbar vor dem Einschlafen verabreicht, reduzierte Koffein die Schlafdauer erheblich. Selbst sechs Stunden zuvor eingenommenes Koffein reduzierte die Zeit, die die Probanden effektiv schliefen, noch um eine Stunde.

Ob auf Grund der Ergebnisse auf den Nachmittagskaffee verzichtet werden

muss, ist jedoch fraglich. Zum einen war die Anzahl der Probanden gering, zum anderen war die Koffeinmenge in der Kapsel mit 400 Milligramm extrem hoch – das entspricht etwa vier bis acht Tassen Kaffee! Andere Studien, die etwa den Koffeinkonsum von Personen ohne und mit Schlafproblemen untersuchten, kamen dagegen zu dem Ergebnis, dass ein moderater Kaffeegenuss den Schlaf von gesunden Personen nicht beeinflusst, selbst wenn das Getränk abends konsumiert wird. Bei Schlafproblemen empfiehlt es sich dennoch, den eigenen Konsum zu beobachten und eventuell auf Kaffee am Nachmittag und Abend zu verzichten.

Drake, C. et al.: Caffeine Effects on Sleep Taken 0, 3, or 6 Hours before Going to Bed. In: Journal of Clinical Sleep Medicine 9, S. 1195-1200, 2013; Youngberg, M. et al.: Clinical and Physiological Correlates of Caffeine and Caffeine Metabolites in Primary Insomnia. In: Journal of Clinical Sleep Medicine 7, S. 196- 203, 2011

## 5. Fahren wir dank Kaffee besser Auto?

Koffein gilt als das verbreitetste Aufputschmittel: Es unterdrückt die Müdigkeit und verkürzt die Reaktionszeit. Zahlreiche Studien kamen zu dem Schluss, dass Koffein die Fähigkeit verbessert, in einfachen psy-

chologischen Tests über eine längere Zeit hinweg aufmerksam zu sein – und das vor allem bei übermüdeten und unkonzentrierten Personen. Auch die Fahrleistung beeinflusst Kaffee positiv.

Niederländische Forscher der Universität Utrecht gaben ihren Probanden eine monotone Aufgabe: Sie sollten vier Stunden lang in einem Simulator auf einer einsamen Autobahn fahren. In einer kurzen Pause tranken die Teilnehmer eine Tasse Kaffee; ob diese Koffein enthielt oder nicht, wussten sie nicht. Mit Koffeinschub fuhren sie anschließend besser und fühlten sich weniger müde als solche ohne Kaffeindosis.

In einer anderen Studie sollten Versuchspersonen bei Nacht eine 200 Kilometer lange Strecke auf der Autobahn fahren. Das Team um Nicholas Moore von der Université Victor Segalen in Bordeaux zeichnete die Fahrt per Video auf. Koffeinhaltiger Kaffee verbesserte die Fähigkeit, die Spur zu halten, ebenso wie ein kurzes Nickerchen. Eine koffeinfreie Variante nützte dagegen nichts.

Ob die Substanz aber auch dabei hilft, andere Alltagsaufgaben besser zu meistern – etwa bei der Arbeit weniger Fehler zu

## Türk kahvesi

Kaffee nach »türkischer Art« ist die wohl älteste Methode der Kaffeezubereitung. Dabei wird sehr fein gemahlenes Kaffeepulver zusammen mit Wasser und eventuell Zucker in einer Kanne aus Kupfer oder Messing mehrfach aufgekocht. Sobald sich der Kaffeesatz am Boden abgesetzt hat, wird der Kaffee ungefiltert getrunken.



machen oder sich Dinge besser zu merken –, ist umstritten.

Borota, D. et al.: Post-Study Caffeine Administration Enhances Memory Consolidation in Humans. In: Nature Neuroscience 10.1038/nn.3623, 2014; Nehlig, A.: Is Caffeine a Cognitive Enhancer? In: International Journal of Alzheimer's Disease 20, S. 85-94, 2010

## 6. Fördert Kaffee das Gedächtnis?

Während eine Übersichtsarbeit von Astrid Nehlig aus dem Jahr 2010 zu dem Schluss kommt, dass Koffein Lernen und Gedächtnis in der Regel nicht verbessert, findet eine Untersuchung von 2014 genau diesen Effekt.

Michael Yassa und seine Kollegen von der Johns Hopkins University in Baltimore zeigten Probanden zunächst eine Reihe von Bildern. Anschließend schluckte die Hälfte der Teilnehmer 200 Milligramm Koffein in Pillenform, der Rest erhielt ein Placebo. Nach 24 Stunden traten die Testpersonen zu einem Gedächtnistest an und sollten entscheiden, welche Bilder sie bereits gesehen hatten und welche nicht. Außerdem sollten sie angeben, welche zwar neu waren, den alten Bildern jedoch sehr ähnelten – so genannte Köder.

# Von der Kirsche zur Bohne

Die Kaffeepflanze zählt zur Familie der Rötegewächse und gedeiht in Ländern mit tropischem oder subtropischem Klima am Äquator, im »Kaffeegürtel«. Die reife, rote Frucht des Kaffeebaums ähnelt einer Kirsche und wird daher Kaffeekirsche genannt. Unter der Kirschhaut und dem Fruchtfleisch befinden sich üblicherweise zwei grün-graue Samen – die Kaffeebohnen. Die rotbraune bis schwarze Farbe und der unverkennbare Geruch der Bohne entstehen erst während der Röstung. Für ein Kilogramm Röstkaffee benötigt man sieben Kilogramm Kaffeefrüchte.



# Wie viele Tassen sind genug?

Ein maßvoller Kaffeekonsum entspricht laut dem Europäischen Informationszentrum für Lebensmittel (EUFIC) bei einem Erwachsenen etwa 300 Milligramm pro Tag, das sind drei bis sechs Tassen. Viele Mediziner raten jedoch, regelmäßig maximal drei Tassen am Tag zu trinken.



ISTOCK / BUTTERFLY PHOTO

Diejenigen, die am Tag vorher eine Koffeinkapsel bekommen hatten, entdeckten die Köder häufiger. Da das Koffein erst nach der Bilderpräsentation verabreicht wurde, konnten die Forscher ausschließen, dass etwa die munter machende Wirkung für das bessere Erinnern verantwortlich war. Möglicherweise begünstigt Koffein den Prozess der Konsolidierung, bei dem neues Wissen im Gedächtnis gefestigt wird. Die Regel »Viel hilft viel« gilt dabei nicht: Eine Dosissteigerung um 100 Milligramm steigerte die Gedächtnisleistung der Teilnehmer nicht.

Borota, D. et al.: Post-Study Caffeine Administration Enhances Memory Consolidation in Humans.  
In: Nature Neuroscience 10.1038/nn.3623, 2014; Nehlig, A.: Is Caffeine a Cognitive Enhancer? In: International Journal of Alzheimer's Disease 20, S. 85-94, 2010

## 7. Können Sportler mit Koffein dopen?

Ja, die »Doping«-Eigenschaften von Koffein sind sogar lange bekannt. Bis 2004 stand es auf der Liste verbotener Substanzen der Welt-Anti-Doping-Agentur (WADA). So durfte etwa die deutsche Langstreckenläuferin Petra Wassiluk bei den Leichtathletik-Meisterschaften 1997 nicht antreten: Ihr Koffeinwert im Blut war zu hoch. Heute ist

Koffein kein offizielles Dopingmittel mehr, wenngleich es die Leistung von Sportlern im Ausdauersport wie Radfahren oder Schwimmen verbessern kann. Warum Koffein zu Höchstleistungen anregt, ist noch nicht ausreichend geklärt. Der leicht schmerzstillende Effekt und die Mobilisierung von Kalzium in den Muskelzellen könnten dafür verantwortlich sein.

Goldstein, E. R. et al.: International Society of Sports Nutrition Position Stand: Caffeine and Performance. In: Journal of the International Society of Sports Nutrition 7, 5, 2010

## 8. Schadet Kaffee dem Herz-Kreislauf-System?

Koffein steigert kurzfristig den Blutdruck und regt die Herztätigkeit an. Daher stand es lange im Verdacht, kardiovaskuläre Erkrankungen zu begünstigen. Frühere Studien unterstützten die Annahme, allerdings beachteten sie oft nicht, dass exzessive Kaffeetrinker häufig auch anderen Lastern wie dem Rauchen frönen.

Anna Flögel und ihre Kollegen am Deutschen Institut für Ernährungsforschung in Potsdam untersuchten über neun Jahre hinweg die Ernährungs- und Lebensgewohnheiten von 42 600 gesunden Män-

nern und Frauen. Teilnehmer, die vier oder mehr Tassen pro Tag tranken, hatten im Vergleich zu solchen, die weniger Kaffee konsumierten, kein erhöhtes Risiko, einen Herzinfarkt oder Schlaganfall zu erleiden oder an Krebs zu erkranken. Eine Übersichtsarbeit von Forschern der Harvard Medical School in Boston fand sogar einen leicht schützenden Effekt des Getränks auf das Herz. Personen mit einem täglichen Konsum von vier Tassen hatten demnach ein um elf Prozent niedrigeres Risiko, eine Herzinsuffizienz zu entwickeln, als diejenigen, die völlig auf Kaffee verzichteten.

Allerdings kann ungefilterter Kaffee, beispielweise nach türkischer Art aufgebrüht, den Cholesterinspiegel erhöhen. Ein hoher Cholesteringehalt im Blut gilt als Risikofaktor für einen Herzinfarkt. Der klassische Filterkaffee verändert den Cholesterinwert im Blut dagegen nicht nennenswert, da die Cholesterin erhöhenden Stoffe Kafestol und Kahweol herausgefiltert werden.

Floegel, A. et al.: Coffee Consumption and Risk of Chronic Disease in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC)-Germany Study. In: The American Journal of Clinical Nutrition 95, S. 901-908, 2012; Mostofsky, E. et al.: Habitual Coffee

FOTOLIA / KNARTZ

LATTE MACCHIATO



Consumption and Risk of Heart Failure: A Dose-Response Meta-Analysis. In: Circulation: Heart Failure 5, S. 401-405, 2012

## 9. Macht Kaffee ängstlich und nervös?

Kaffee ist wegen seiner anregenden Wirkung beliebt, doch bei manchen Menschen kann der Genuss Angstsymptome wie Herzrasen, Schweißausbrüche oder Einschlafprobleme auslösen. Wer selten oder nie Kaffee trinkt, bei dem führt Koffein im Vergleich zu einem Placebo zu erhöhter Unruhe und Angst, entdeckten der britische Psychologe Peter Rogers und seine Kollegen von der University of Bristol. »Vor Prüfungen sollte man auf Koffein verzichten«, rät er. Regelmäßige Kaffeetrinker seien gegen diesen Effekt jedoch immun.

In einer gemeinsamen Studie mit dem Würzburger Forscher Jürgen Deckert fand Rogers heraus, dass Probanden, die bereits auf 150 Milligramm Koffein mit Angstsymptomen reagieren, in ihrem Erbgut eine veränderte Variante im Gen des Adenosin-A2A-Rezeptors besitzen. Ab einer Dosis von 400 Milligramm erhöhte sich bei allen Probanden die Ängstlichkeit, ob mit oder ohne Genvariante. »Im Einzelfall kann der Kaffeekonsum einen Risikofaktor für Angster-

krankungen darstellen«, erklärt Deckert, Leiter der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie, Psychosomatik und Psychotherapie der Universität Würzburg. So kann eine Panikattacke ausgelöst werden, wenn sich Menschen unter Stress kannenweise mit Kaffee leistungsfähig halten wollen. Er rät Patienten mit akuten Angstsymptomen von koffeinhaltigen Getränken ab.

Rogers, P. et al.: Association of the Anxiogenic and Alerting Effects of Caffeine with ADORA<sub>2A</sub> and ADORA<sub>1</sub> Polymorphisms and Habitual Level of Caffeine Consumption. In: Neuropsychopharmacology 35, S. 1973-1983, 2010

## 10. Schützt Kaffee vor Krankheiten?

Laut mehreren Studien hat das Getränk durchaus eine schützende Wirkung gegenüber bestimmten Erkrankungen. Wer täglich mehr als vier Tassen koffeinhaltigen Kaffee trinkt, leidet später seltener an Altersdiabetes als jemand, der weniger als eine Tasse am Tag trinkt, entdeckten 2012 Anna Flögel und ihr Team. Warum Kaffee in gewissen Maßen vor Diabetes Typ 2 schützt, wird derzeit intensiv erforscht. Vermutlich ist nicht das Koffein, sondern ein anderer Inhaltsstoff dafür verantwortlich – möglicherweise die ebenfalls enthal-

tenen Antioxidanzien. Diese wirken als Radikalfänger im Körper und machen gefährliche Stoffwechselprodukte unschädlich.

Auch bietet Kaffee offenbar einen gewissen Schutz gegenüber anderen Krankheiten: In mehreren Langzeitstudien, bei denen Forscher die Gewohnheiten gesunder Personen über Jahre hinweg erfassten, erkrankten Kaffeetrinker, die zu drei bis fünf Tassen täglich griffen, seltener an Morbus Parkinson und Alzheimerdemenz.

Ein schlechtes Gewissen beim Genuss von Cappuccino, Espresso und Co braucht niemand zu haben: Das Vorurteil, Kaffee sei ungesund, ließ sich trotz einer Fülle von Studien bisher nicht belegen. Wer gerne Kaffee trinkt und ihn gut verträgt, so die Ernährungswissenschaftlerin Flögel, solle dies auch weiterhin tun. ↗

Cano-Marquina, A. et al.: The Impact of Coffee on Health. In: Maturitas 75, S. 7-21, 2013; Eskelinen, M. H. et al.: Caffeine as a Protective Factor in Dementia and Alzheimer's Disease. In: Journal of Alzheimer's Disease 20, S. 167-174, 2010; Palacios, N. et al.: Caffeine and Risk of Parkinson's Disease in a Large Cohort of Men and Women. In: Movement Disorders 27, S. 1276-1282, 2012

(Gehirn und Geist, 4/2014)

- Borota, D. et al.: Post-Study Caffeine Administration Enhances Memory Consolidation in Humans. In: *Nature Neuroscience* 17, S. 201–203, 2014
- Cano-Marquina, A. et al.: The Impact of Coffee on Health. In: *Maturitas* 75, S. 7-21, 2013
- Drake, C. et al.: Caffeine Effects on Sleep Taken 0, 3, or 6 Hours before Going to Bed. In: *Journal of Clinical Sleep Medicine* 9, S. 1195-1200, 2013
- Eskelinen, M. H. et al.: Caffeine as a Protective Factor in Dementia and Alzheimer's Disease. In: *Journal of Alzheimer's Disease* 20, S. 167-174, 2010
- Floegel, A. et al.: Coffee Consumption and Risk of Chronic Disease in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC)-Germany Study. In: *The American Journal of Clinical Nutrition* 95, S. 901-908, 2012
- Goldstein, E. R. et al.: International Society of Sports Nutrition Position Stand: Caffeine and Performance. In: *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 7, 5, 2010
- Juliano, L. M., Griffiths, R. R.: A Critical Review of Caffeine Withdrawal: Empirical Validation of Symptoms and Signs, Incidence, Severity, and Associated Features. In: *Psychopharmacology* 176, S. 1-29, 2004
- Maughan, R. J., Griffin, J.: Caffeine Ingestion and Fluid Balance: A Review. In: *Journal of Human Nutrition and Dietetics* 16, S. 411-420, 2003
- Mets, M. M. et al.: Effects of Coffee on Driving Performance during Prolonged Simulated Highway Driving. In: *Psychopharmacology* 222, S. 337-342, 2012
- Mostofsky, E. et al.: Habitual Coffee Consumption and Risk of Heart Failure: A Dose-Response Meta-Analysis. In: *Circulation: Heart Failure* 5, S. 401-405, 2012
- Nehlig, A. et al.: SPECT Assessment of Brain Activation Induced by Caffeine: No Effect on Areas Involved in Dependence. In: *Dialogues in Clinical Neuroscience* 12, S. 255-263, 2010
- Nehlig, A.: Is Caffeine a Cognitive Enhancer? In: *International Journal of Alzheimer's Disease* 20, S. 85-94, 2010
- Palacios, N. et al.: Caffeine and Risk of Parkinson's Disease in a Large Cohort of Men and Women. In: *Movement Disorders* 27, S. 1276-1282, 2012
- Philip, P. et al.: The Effects of Coffee and Napping on Nighttime Highway Driving: A Randomized Trial. In: *Annals of Internal Medicine* 144, S. 785-791, 2006
- Rogers, P. et al.: Association of the Anxiogenic and Alerting Effects of Caffeine with ADORA2A and ADORA1 Polymorphisms and Habitual Level of Caffeine Consumption. In: *Neuropsychopharmacology* 35, S. 1973-1983, 2010
- Rogers, P. J.: Faster but not Smarter: Effects of Caffeine and Caffeine Withdrawal on Alertness and Performance. In: *Psychopharmacology* 226, S. 229-240, 2013
- Youngberg, M. et al.: Clinical and Physiological Correlates of Caffeine and Caffeine Metabolites in Primary Insomnia. In: *Journal of Clinical Sleep Medicine* 7, S. 196-203, 2011

**FÜR NUR  
€ 4,99**

# SCHLAFEN & TRÄUMEN

## Unser Körper im Ruhezustand

- > Auftauchen aus der Traumwelt
- > Guter Schlaf für gute Gesundheit
- > Der Duft der Träume

**HIER DOWNLOADEN**



GENETIK

# Genom der Kaffeepflanze sequenziert

von Daniela Zeibig

Forscher sequenzieren das Kaffee-Genom und kommen seinem besonderen Aroma auf die Spur.

Schätzungsweise mehr als 2,25 Milliarden Tassen Kaffee werden weltweit pro Tag konsumiert. Ob daheim am Frühstückstisch, im Büro oder unterwegs als Coffee to go – die meisten Menschen wollen keinen einzigen Tag auf den beliebten Wachmacher verzichten. Doch was verleiht dem Kaffee sein unverwechselbares Aroma? Eine Antwort auf diese Frage hat auch ein Team um Philippe Lashermes vom French Institute of Research for Development gesucht – und dafür direkt das gesamte Genom des Robusta-Kaffees (*Coffea canephora*) entziffert.

Im Vergleich zu anderen Pflanzenarten wie der Traube oder der Tomate besitzt *Coffea canephora* wesentlich mehr verschiedene Gene, die für die Produktion von Alkaloid- und Flavonoidverbindungen verantwortlich sind, fanden die Wissenschaftler auf diesem Weg heraus. Diese Stoffe verleihen dem Kaffee unter anderem seinen besonderen Geschmack. Zudem verfügt *Coffea canephora* offenbar auch über eine besonders breite Kollektion an Enzymen für die Kaffeinsynthese. Mit einem genaueren Blick auf diese Enzyme stellten Lashermes und sein Team fest, dass die Kaffeienenzyme

genetisch betrachtet mehr Ähnlichkeit mit anderen Stoffen in der Kaffeepflanze aufwiesen als mit denen von Tee oder Schokolade. Die Forscher schließen daraus, dass sich die Koffeinproduktion im Kaffee unabhängig entwickelt haben muss.

Warum Koffein für die Pflanzen selbst so wichtig ist, ist bislang noch unklar. Wissenschaftler vermuten, dass die Stoffe vielleicht Schädlinge abwehren oder die Konkurrenz am Wachsen hindern. Möglicherweise gewöhnen sich aber auch die Insekten, welche die Pflanzen bestäuben, ähnlich wie der Mensch recht schnell an Koffein und kommen daher immer wieder zurück. Da die Kaffeeproduktion für viele tropische Länder ein wichtiges Wirtschaftsstandbein ist, hoffen die Forscher, mit ihrem Wissen über das Kaffee-Genom auf lange Sicht die Anbaubedingungen verbessern zu können. Etwa indem sie die Entwicklung neuer Kaffeesorten beschleunigen und die Pflanzen resistenter gegen Umweltstress und Klimaveränderungen machen. ↵

(Spektrum.de, 4. September 2014)

Science 345, S. 1181-1184, 2014



FÜR NUR  
€ 4,99

## GRÜNE GENTECHNIK

Fluch oder Segen für die Landwirtschaft?

- > Die nächste Generation
- > Wahrheiten und Legenden der Grünen Gentechnik
- > CRISPR verändert alles

HIER DOWNLOADEN

A close-up photograph of a civet cat's face, showing its dark fur and striking, glowing red eyes. The background is dark and moody.

# KOPI LUWAK

Chemisches Geheimnis des  
Edel-kaffees gelüftet

von Daniel Lingenhöhl

Der teuerste Kaffee der Welt muss erst den Darm einer Schleichkatze passieren. Nun identifizierten Forscher die charakteristischen Geschmacksnoten der Spezialität.

**W**er Kopi Luwak genießen möchte, muss rund 30 Euro für ein 125 Gramm schweres Kaffeepäckchen investieren – oder etwa 300 Euro für ein ganzes Kilogramm der Koffeinspezialität aus Indonesien. Herkömmlicher Kaffee kostet selbst bei »fairen« Preisen in Bioqualität nur ein Zehntel davon. Die ganz besondere Note und der Preis des Heißgetränks liegen in der einzigartigen Entstehungsgeschichte des Kaffees begründet, denn die Bohnen müssen den Darm von **Fleckenmusangs** (*Paradoxurus hermaphroditus*), einer Schleichkatzenart, passieren. Ihre Verdauungssäfte sorgen für eine gewisse Fertmentierung der unverdaulichen Kaffeebohnen, nachdem das Fruchtfleisch von den Enzymen im Darm zersetzt worden ist; es entstehen charakteristische Geschmacksnuancen mit einem besonders exquisiten Aroma. Der hohe Preis von originärem Kopi Luwak ruft jedoch auch zahlreiche Fälscher auf den Plan. Um sie zu enttarnen, haben nun Udi Jumhawan von der Universität Osaka und seine Kollegen endlich eine Art chemischen Fingerabdruck des Gebräus entschlüsselt.

Die Forscher verglichen dazu normalen Kaffee, Kopi Luwak, eine Mischung aus beidem und eine Sorte, bei der Produzenten den Schleichkatzenkaffee imitiert hatten, indem sie synthetische Verdauungsenzyme über die Bohnen gossen. Doch nur im Original wiesen die Biochemiker eine charakteristische Zusammensetzung verschiedener Bestandteile nach. So enthält die indonesische Delikatesse höhere Gehalte an Apfel- und Zitronensäure und ein verändertes Verhältnis von **Inosit** – einem sechswertigen zyklischen Alkohol – zu Pyroglutaminsäure. Vor allem die Konzentration an Zitronensäure erlaubt es, echten Kopi Luwak von den anderen Kaffeesorten abzugrenzen – sogar von einer 50-prozentigen Beimischung mit herkömmlich erzeugten Bohnen, so die Forscher.

Damit schneide ihre Nachweismethode deutlich besser ab als bisherige Versuche durch trainierte Kaffeeexperten oder künstliche Nasen, die geschmacks- beziehungsweise geruchssensorisch arbeiten. Sie scheiterten bislang aber vor allem an Mischprodukten. Für die Fleckenmusangs bedeutet das jedoch nicht unbedingt eine gute Nachricht oder eine Aufwertung ihrer Darmtätigkeit im Regenwald Sumatras, Ja-



LEENDERTZ / CC-BY-SA-3.0 (CC BY-SA)

**FLECKENMUSANG FRISST KAFFEEKIRSCHEN**  
**Eine Schleichkatze delektiert sich an den Früchten des Kaffeestrauchs. Nach der Darmpassage der Bohnen entsteht daraus eine teuer gehandelte Kaffeesorte.**

vas oder Sulawesis. 2012 berichtete der britische »Guardian« vom **zunehmenden Fang der kleinen Raubtiere**, die in engen Käfigen wie am Fließband Kaffeebohnen ausscheiden sollen: Der hohe Preis des Spezialkaffees verfüre dazu, die Bohnen nicht mehr im Wald aufzusammeln, sondern sie quasi industriell herzustellen

(Spektrum.de, 27. August 2013)

J. Agric. Food Chem. 61, S. 7994–8001, 2013

ZÜCHTUNG

# Einmal koffeinfrei, bitte!

von Brendan Borrell

Seit Jahren suchen Forscher nach der idealen koffeinfreien Kaffeebohne. Doch ihre Hoffnungen wurden immer wieder enttäuscht. Denn die Herausforderung ist größer als gedacht.



Wie schon an zahllosen Abenden zuvor hatte Paulo Mazzafera die erbsengroßen Scheibenchen aus den wächernden Kaffeestrauchblättern gestanzt und in einer Mischung aus Chloroform und Methanol aufgelöst. Später hatte er den Extrakt zusammen mit 95 weiteren Proben in einen Hochleistungsflüssigchromatografen gestellt, um ihn in seine einzelnen chemischen Bestandteile zu trennen. Als er nun am nächsten Morgen in sein Labor an der Landesuniversität von Campinas in Brasilien zurückkehrte, setzte sich der Pflanzenphysiologe an seinen Laptop und untersuchte die Ergebnisse. Er sichtete ein Chromatogramm nach dem anderen und achtete dabei besonders auf den Wert für den Koffeingehalt. In einer Pflanze fehlte er.

Mazzafera ließ die Probe noch zweimal durchlaufen, und dann, kurz vor Mittag, rief er seine Kollegin Bernadete Silvarolla in der benachbarten Agrarstation an, um

ihr die Neuigkeit mitzuteilen. »Sind Sie sicher?«, fragte sie. Er war sicher – und ziemlich aufgeregt: Nach zwei Jahrzehnten mit tausenden analysierter Pflanzen schien sein Projekt, eine Kaffeepflanze zu suchen, die natürlicherweise kein Koffein enthielt, endlich Früchte zu tragen. Das war Ende 2003. Kaffee enthält etwa 2000 chemische Bestandteile, die den aromatischen Geruch und Geschmack dieses Getränks ausmachen, darunter auch Koffein, ein Stimulans und natürliches Pestizid. Das Koffein zu entfernen, ohne die anderen zu beeinträchtigen, ist eine große Herausforderung. Kaffeeröster greifen dazu im Allgemeinen auf chemische Mittel zurück. Ludwig Roselius aus Bremen ließ sich 1905 das erste kommerzielle Entkoffeinierungsverfahren patentieren. Zur Extraktion des Koffeins aus seinem Kaffee, der unter dem Namen Kaffee HAG vertrieben wurde, verwendete er damals Benzol. Später wurde es durch weniger toxische Lösungsmittel ersetzt. Inzwischen können Unternehmen die noch rohen, grünen Kaffeebohnen unter Hoch-

---

Auch wenn Kaffee-liebhaber überzeugt sind, dass die herkömmlichen Methoden den Geschmack beeinträch-tigen – der Markt für koffeinfreien Kaffee ist ganze 1,5 Milliarden Euro jährlich wert.

---

druck in flüssiges Kohlendioxid tauchen oder sie mehrere Stunden lang in heißem Wasser einweichen, um das Koffein vor dem Rösten zu entfernen. Auch wenn Kaffeeeliebhaber überzeugt sind, dass alle diese Methoden den Geschmack beeinträchtigen – der Markt für koffeinfreien Kaffee ist ganze 1,5 Milliarden Euro jährlich wert.

Forscher suchen schon lange nach einer Bohne, die sich bereits koffeinfrei ernten lässt. Dadurch ließe sich der vielschichtige Geschmack bewahren, und Kaffeebauern könnten sich eine ordentliche Scheibe vom Markt für koffeinfreien Kaffee abschneiden. Die Entwicklung einer solchen Bohne durch herkömmliche Züchtung oder sogar genetische Veränderungen hat sich jedoch als schwieriger erwiesen als von einigen erwartet. Kaffeepflanzen brauchen immer erst einige Jahre, bis sie Früchte tragen, und können überdies im Ertrag sehr unbeständig sein. Damit sich der Anbau lohnt, müssen die Pflanzen ertragreich sein, gleichzeitig reifen und sich manuell oder maschinell leicht abernten lassen. Geht auch nur eine dieser Eigenschaften verloren, ist die Pflanze schnell wertlos. So hat die Suche nach der koffeinfreien Bohne zwar hochwertige Forschungsarbeiten hervorge-

bracht, jedoch keinen Tropfen marktreifen Kaffee.

»Die Grundlagenforschung lässt sich der Agrarindustrie häufig nur schwer vermitteln«, erklärt Rod Sharp, ein Pflanzenzellbiologe im Ruhestand, der in den 1980er Jahren bei der DNA Plant Technology in Cinnaminson im US-Bundesstaat New Jersey versuchte, koffeinfreie Kaffeebohnen herzustellen. »Im Forschungslabor ist man immer ein wenig naiv. Wir machen Luftsprünge, wenn wir einen Durchbruch erzielt haben, aber diesen zur Marktreife zu führen, ist noch einmal eine ganz andere Herausforderung.« Sharp ist jedoch zuversichtlich, dass die Pflanze ihr Geheimnis eines Tages preisgeben wird. »Ihre Zeit wird kommen«, sagt er. »Auch wenn es lange dauert.« Für Mazzaferas Pflanze stimmt Letzteres mit Sicherheit: Mehr als acht Jahre nach ihrer Entdeckung versuchen seine Kollegen immer noch, sie anbaufähig zu machen.

Kaffee bringt Exportländern wie Brasilien, Kolumbien und Vietnam jährlich insgesamt 11 bis 15 Milliarden Euro ein. Verglichen mit Tee oder Wein ist er eine noch relativ junge Erscheinung: Er geht auf das 15. Jahrhundert zurück. Damals beschrieb ein

Mystiker im Jemen ein belebendes Getränk, das in Äthiopien durch Rösten und Kochen von Bohnen hergestellt wurde. Heute wird der Markt von zwei Kaffeesorten beherrscht. *Coffea arabica* ist die wahrschmeckendere Bohne, die in kühlerem Klima wächst, und *Coffea canephora*, allgemein als »Robusta« bekannt, wird hauptsächlich in löslichem Kaffee und Verschnitten geringerer Qualität verwendet. Das Koffein, das in kommerziellem *C. arabica* zu 1,2 Prozent und in *C. canephora* zu zwei bis drei Prozent enthalten ist, hat beiden Sorten weltweit zu einer abhängigen Anhängerschaft verholfen.

Doch das von vielen geliebte Stimulans wird von jenen gemieden, die besonders sensibel für seine Wirkung sind, aus religiösen Gründen Abstand nehmen oder einfach nicht wach gehalten werden möchten. Gabriel Bertrand vom Pasteur-Institut in Paris entdeckte 1901 auf der größten Komoren-Insel bei Madagaskar eine koffeinfreie Kaffeeart. Tatsächlich sind viele der um die 100 *Coffea*-Arten entweder koffeinfrei oder enthalten nur einen geringen Anteil der anregenden Substanz. Einige natürlich vorkommende Kaffees mit einem mittleren Koffeingehalt (0,6 bis 1 Prozent)

sind bereits auf dem Markt, wie zum Beispiel der Kaffee des italienischen Anbieters Illy. Leider produzieren die meisten Pflanzen mit dem geringsten Koffeingehalt nur wenige Bohnen oder enthalten hohe Konzentrationen an Bitterstoffen. Das Vorkommen solcher natürlicher Spielarten lässt jedoch annehmen, dass ein fähiger Züchter eine marktfähige koffeinfreie Sorte erzeugen können sollte.

## Kaffeträume

Mazzafera begann 1983 mit ebendiesem Versuch am Agrarinstitut von Campinas, dem IAC, einer 100 Jahre alten Agrarstation in den sanften Hügeln nordwestlich von São Paulo in Brasilien. Er studierte die Genetik und Physiologie der Koffein-Biosynthese bei Alcides Carvalho, einem Pionier unter den Pflanzenzüchtern. Letzterer baute die Kaffeepflanzensammlung des IAC auf, die heute 70 000 Exemplare mit über 1000 Wildformen, Zuchlinien, Hybriden, Mutanten und kultivierten Arten aus der ganzen Welt umfasst.

Anfangs maß Mazzafera den Koffeingehalt jeder Probe einzeln mit einem damals üblichen Spektrophotometer. 1987 erhielt er eine Stelle an der Universität von

# Die Suche nach der koffeinfreien Kaffebohne

## Mögliche Bearbeitungsverfahren im Überblick



Campinas und stellte dort in seinem Labor einen Hochleistungsflüssigchromatografen auf, mit dem er die Proben effizienter verarbeiten konnte. Zu diesem Zeitpunkt hatten Wissenschaftler bereits grob den grundlegenden vierstufigen Prozess aufgeschlüsselt, mit dem *C. arabica* Koffein synthetisiert. Mazzafera untersuchte den Koffeinauf- und -abbau bei sieben Arten bis ins Detail und hoffte, eine darunter könnte Fehler bei diesem Prozess aufweisen, durch die sie nur einen geringen Koffeingehalt hätte. Parallel dazu kreuzten er und Carvalho, der 1993 starb, kommerzielle Kaffeezuchtpflanzen mit wilden Arten außerhalb der *Arabica*-Linie, die nur einen geringen Koffeingehalt aufwiesen. Es erwies sich jedoch als unmöglich, das Koffein auszuschalten und dabei die wünschenswerten Eigenschaften von *C. arabica* zu bewahren. »Wir haben einfach unsere Zeit verschwendet«, so Mazzafera.

Im Jahr 2000 tat er sich mit Silvarolla, einer Kaffeezüchterin am IAC, zusammen. Sie richteten ihre Aufmerksamkeit nun auf eine Gruppe von *C.-arabica*-Pflanzen, die bei einer UN-Expedition in Eritrea und Äthiopien gesammelt worden waren. Insgesamt 620 Samenproben wurden aufge-

teilt und in verschiedenen Ländern, darunter Costa Rica, angepflanzt. Später wurden in Costa Rica 308 dieser Linien geerntet und nach Brasilien geschickt. Mazzafera war überzeugt, dass sich aus den äthiopischen *C. arabica* viel einfacher ein marktfähiger Kaffee herstellen lassen würde als durch Hybridisierung mit anderen Arten.

Aus dieser Sammlung erhielt er 2003 die zuvor erwähnte viel versprechende Sorte sowie zwei weitere ähnliche. Nachdem er sich vergewissert hatte, dass die Bohnen wie die Blätter koffeinfrei waren, fand er heraus, dass die Pflanzen im letzten chemischen Verarbeitungsschritt einen Fehler aufwiesen, bei dem Theobromin, ein leichtes Stimulans und Diuretikum, in Koffein umgewandelt wird. Die brasilianische Regierung bot der Forschungsgruppe eine finanzielle Unterstützung in Höhe von 900 000 Euro an – unter der Bedingung, dass die Forscher den Ort, an dem die wertvollen Pflanzen wachsen, geheim hielten.

Mazzafera war sich sicher, dass gewerbliche Anbauer seine neue Varietät innerhalb von fünf Jahren anpflanzen würden. Zumindest, wenn ihnen niemand zuvorkam.

## Koffeinfrei dank Gentechnik

Der Zuwachs an gentechnischen Möglichkeiten in den letzten Jahrzehnten hat andere Wissenschaftler auf die Idee gebracht, koffeinfreien Kaffee durch Genmanipulation zu erzeugen. Kaffee hat sich diesen Eingriffen bisher jedoch erfolgreich widergesetzt. 1992 wollte sich der Genetiker John Stiles von der Universität von Hawaii in Honolulu die »Antisense«-Methode zu Nutze machen, bei der ein Gen, das in die Pflanze eingesetzt wird, die Produktion eines Zielproteins vermindert. Diese Methode wurde bei der Entwicklung der Tomate »Flavr Savr« eingesetzt, dem ersten genetisch veränderten Organismus, der für den menschlichen Verzehr zugelassen wurde. Stiles richtete seine Aktivität auf ein Protein, das bei der Koffeinproduktion eine Rolle spielt.

Es traten fast umgehend Probleme auf. Zur Schaffung einer gentechnisch veränderten Pflanze gehört die Kultivierung einer Ansammlung von Pflanzenzellen auf nährstoffreichem Agar. Das gewünschte genetische Material wird in diese Zellen eingeimpft, anschließend wird das Zellgewebe angeregt, sich zu einer Pflanze zu entwickeln. Dieser Prozess ist bei *C. arabica*

rätselhafterweise wirkungslos. Die nächsten sieben Jahre kämpfte Stiles gemeinsam mit den beiden promovierten wissenschaftlichen Mitarbeitern Kabi Neupane und Stefan Moisyadi darum, die biologischen Hindernisse zu überwinden. Sie produzierten Pflanzen mit anscheinend gerinem Koffeingehalt, und Stiles ließ sich zu voreiligen Versprechungen hinreißen. Im August 1999 erklärte er zum Beispiel gegenüber dem »Wall Street Journal«, dass er noch im gleichen Monat einen Feldversuch in Hawaii starten werde, bevor er nach Mexiko zu expandieren gedenke – mit der Aussicht auf eine kommerzielle Nutzung innerhalb von drei Jahren.

Die Pflanzen waren jedoch nicht zur Zusammenarbeit bereit. Mit ihrem Wachstum stieg auch ihr Koffeingehalt. Moisyadi und Neupane schlugen akademische Laufbahnen ein, und 2000 verließ Stiles die Universität, um in Waialua ein Privatlabor zu gründen. Nach Unstimmigkeiten mit der lokalen Bevölkerung und dem Gesetzgeber, was Genehmigung für Feldversuche mit seinem transgenen Kaffee anbelangte, brach das Unternehmen zusammen. Stiles erklärt heute, er sei sich nie hundertprozentig sicher gewesen, dass er koffeinfrei-

en Kaffee erzeugt hatte. Auch viele Kaffeeforscher bezweifeln das. »Wir hatten immer nur ein schmales Budget«, so Stiles. »Wir waren nie Monsanto.«

Shinjiro Ogita, ein promovierter wissenschaftlicher Mitarbeiter in Hiroshi Sanos Labor am Nara-Institut für Wissenschaft und Technik in Japan, war es ebenso wenig. 2001 begann er mit der Erforschung eines Enzyms, das erst kürzlich in Tee entdeckt worden war und eine Rolle bei der Koffeinsynthese spielte. Seine Gruppe verwendete die RNA-Interferenz als wirksames Gen-Silencing-Verfahren und arbeitete mit Robusta-Kaffee, in der Hoffnung, dass dessen Zellen einfacher zu kultivieren seien. Aber ohne Erfolg: Nur wenige Zellen nahmen die modifizierte DNA auf. Ogitas Ausbeute reichte nur für gerade einmal 35 transgene Setzlinge.

Er testete einige Blätter und entdeckte, dass ihr Koffeingehalt enorme 70 Prozent unter dem seiner Kontrollpflanzen lag. »Das war schon unglaublich«, erklärt er. Er erinnert sich, dass er an dem Tag, an dem »Nature« seinen Artikel veröffentlichte, eine Flasche Dom-Perignon-Champagner aufmachte. Seitdem hat er die Methoden an *C. arabica* angepasst, aber die Pflanzen

haben noch immer keine Bohnen produziert. An der Universität der Präfektur Toyama übernahm Ogita die Betreuung von 40 transgenen Pflanzen. Jedes Jahr reifte der weibliche Teil der Blüte, das so genannte Pistill, und verwelkte eine Woche, bevor der Pollen reif war.

Doch selbst wenn solche Zuchthinderisse überwunden werden, ist es nur schwer vorstellbar, dass transgener koffeinfreier Kaffee in absehbarer Zeit im Supermarktregal liegen wird. Ein grundsätzliches Hindernis ist laut dem Biochemiker Alan Crozier von der britischen University of Glasgow die Tatsache, dass das Koffein in der Pflanze auch noch auf anderen Wegen produziert wird, so dass transgener Kaffee niemals ganz koffeinfrei sein könnte. Die Akzeptanz in der Bevölkerung stellt wahrscheinlich ebenfalls eine Herausforderung dar. Monsanto und andere Agrarriesen haben generell nur anbauorientierte Verfahren kommerzialisiert, etwa für Schädlingsresistenz oder Herbizidtoleranz, und dabei verbraucherorientierte Eigenschaften, wie geringen Koffeingehalt oder hohe Konzentrationen von Antioxidantien, außer Acht gelassen. Entsprechend kann es schwierig werden, finanzielle Unterstützung zu finden.



## KAFFEEPLANTAGE

Zur Herstellung von entkoffeiniertem Kaffee werden bislang koffeinhaltige Bohnen nachbehandelt. Bislang gibt es keine Sorte, deren Bohnen bereits natürlicherweise kein Koffein enthalten und sich großflächig anbauen ließe.

## Attraktive Zuchtformen

Die verbreitete Abneigung gegenüber genetisch veränderten Nahrungsmitteln lässt die natürlicherweise koffeinfreien äthiopischen Sorten wieder viel attraktiver erscheinen. Diese Eigenschaft in eine marktreife Kulturpflanze hineinzukreuzen, dauert jedoch viel länger, als Mazzafera oder Silvarolla erwarteten. Während der Blütezeit verbringt Silvarolla den ganzen Tag auf dem Feld damit, die Pollen tragenden Staubblätter von den Pflanzen abzuknipsen und die Pistille in Tüten zu hüllen, um sie später von Hand bestäuben zu können. Die Forscherin produziert dadurch jedes Jahr etwa 800 neue Pflanzen.

Laut vom IAC zusammengestellten Verkostergruppen schmecken die erzeugten Bohnen gut, aber die Pflanzen tendieren zu Verbuschung und blühen nicht einheitlich. Das Team arbeitet nun an Zuchtpflanzen, die beim gleichen geringen Koffeingehalt eine höhere Produktivität aufweisen. »Wir dachten anfangs, das sei ein Kinderspiel«, berichtet Miriam Mulaf, eine IAC-Genetikerin des Projekts. Die Forscher könnten jedoch vor der größten Herausforderung bei der Entkoffeinierung lebender Pflanzen stehen: Das Koffein existiert nicht ohne

Grund. Es ist ein natürliches Insektizid. Und genau darum, nämlich zur Abwehr von Schädlingen, enthalten wilde Kaffeepflanzen ohne Koffein mehr Bitterstoffe.

Die Forscher müssen bei dieser Angelegenheit zudem weit gehend ohne Mazzaferas Unterstützung auskommen. Kurz nach der Entdeckung 2004 und der nachfolgenden Veröffentlichung übernahm das IAC die Kontrolle über das Projekt, und der Universitätsforscher Mazzafera spielt nur noch eine begrenzte Rolle. »Das ist enttäuschend«, erklärt er.

Doch trotz all der erfolglosen Jahre scheint niemand die Lust an der Suche nach koffeinfreiem Kaffee zu verlieren. Der Pflanzengenetiker Benoît Bertrand vom französischen Zentrum für Agrarforschung und -entwicklung in Montpellier durchsucht die Sammlung der Einrichtung nach koffeinfreien Pflanzen. Und Chifumi Nagai vom hawaiischen Agrarforschungszentrum in Waipahu forscht auf Madagaskar gemeinsam mit dem japanischen Kaffeehersteller UCC Ueshima an einem Hybriden aus drei Arten, der ein gutes Aroma aufweist, eine moderate Ernte erzielt und nur 0,37 Prozent Koffein enthält. Der Erfolg ist ungewiss. Madagaskar hat schon erhebliche

---

Die größte Herausforderung bei der Entkoffeinierung lebender Pflanzen:  
Das Koffein existiert nicht ohne Grund.

---

logistische Schwierigkeiten mit dem Anbau und der Ernte von normalem *C. arabica*.

Selbst Mazzafera gibt nicht auf. An einem trüben Novembertag geht er an zwei schattierten Gewächshäusern hinter der biologischen Abteilung in Campinas vorbei und zeigt uns einige hundert hüfthohe Kaffeepflanzen. Einige von ihnen tragen Reihen von grünen Kaffeebeeren an den Zweigen. Viele davon sind seiner Aussage nach nahezu koffeinfrei.

In seiner Verärgerung darüber, dass er nicht mit den äthiopischen Varietäten weiterarbeiten konnte, entwickelte er 2006 einen neuen Plan. Er tränkte die Samen einer ertragreichen Varietät von *C. arabica* in Chemikalien, die Mutationen verursachen, und analysierte dann den Koffeingehalt von 28 000 Setzlingen. »Es war ein Schuss ins Blaue«, erklärt er. Er erhielt sieben Pflanzen, die nur zwei Prozent des herkömmlichen Koffeingehalts aufweisen. Er hat auch schon einen Markennamen angemeldet: Decaffito.

Es bleiben Herausforderungen. Die Sorte ist etwa anfällig für Fremdbestäubung, die dazu führen kann, dass die Bohnen wieder Koffein enthalten. Aber Mazzafera ist entschlossen, eine marktfähige Sorte zu züch-

ten. Er hat sogar mit einem Unternehmen über Investitionen in seine Forschung gesprochen. Da er jedoch die zu erwartenden Hindernisse kennt, würde er sich auch mit weniger zufrieden geben. »Wenn ich eine Farm hätte«, sagt Mazzafera, »dann würde ich den Kaffee auch selbst züchten.« ↪

Dieser Artikel ist eine Übersetzung von »Plant biotechnology: Make it a decaf« erschienen in: Nature 483, S. 264-266, 2012

(Spektrum.de, 10. April 2012)

- [1] Nature 429, S. 826, 2004
- [2] Nature 423, S. 823, 2003
- [3] Euphytica 164, S. 133–142, 2008
- [4] Trop. Plant Biol. 2, S. 63–76, 2009

# INVASIVE ARTEN



FÜR NUR  
€ 4,99

Gefahr für die  
biologische Vielfalt

- > Falsch verstandener Tierschutz
- > Wo Fuchs und Katz wüten
- > Die Freiheit beginnt hinter dem Zaun

HIER DOWNLOADEN

A close-up photograph of a white ceramic cup filled with dark coffee. Steam is visible rising from the surface of the coffee. The cup is resting on a soft, textured blue fabric, possibly a blanket or a sweater. The lighting is warm and focused on the cup.

KÜCHENPSYCHOLOGIE

# DAS DIKTAT DER TASSE

von Jan Osterkamp

Die Menschen im Süden sind alle so herzlich, es scheint ja auch immer die Sonne. Hier zu Lande sind im Nebelnovember dafür alle irgendwie abweisend, geradezu kalt. Gut, dass man das ganz einfach auch ohne Fernreisen ändern kann, wie streng wissenschaftliche Untersuchungen belegen.

Lawrence Williams braucht etwas, um auf den Punkt zu kommen – genau gesagt, rund die Hälfte seiner Sprechzeit. Ist ja auch ein wenig Vorbereitung und Hintergrundinfo nötig, um nicht am Ende unwissenschaftlich zu wirken, während man gleichzeitig behauptet, eine Kaffeetasse könne uns zu besseren Menschen machen. Zumindest im Prinzip, kurzzeitig. Und ein Eiskaffee ... ach, fangen wir besser auch ganz vorne an, bei Solomon Asch, im Jahr 1947.

Asch ist ein anerkannter Pionier der Sozialpsychologie: Auf sein Konto gehen einige Fortschritte bei der Erforschung von Phänomenen sozialer Interaktion, etwa den Auswirkungen von Gruppenzwang. Im Zuge seiner Studien beschäftigte Asch sich auch mit der »Eindrucksbildung« von Menschen in Gruppen. Er

sortierte nebenbei etwa die vielen farbigen Sprachetiketten, die wir gerne unseren Sozialpartnern verpassen, um ihren Charakter zu beschreiben – zum Beispiel die Begriffe »warm« und »kalt«. Beide transportieren treffend ein vielschichtiges Eigenschaften-Potpourri des sozialen Gegenübers. Über dessen Körpertemperatur sagen sie dabei natürlich wenig bis gar nichts, versteht sich.

Obwohl? Tatsächlich bemerkten nach Asch vor Jahrzehnten bald auch einige andere Wissenschaftler, dass reale Temperaturen mit realen Temperaturen möglicherweise mehr zu tun haben, als auf den ersten Blick erkennbar. Wieso, so eine berechtigte Einstiegsfrage in den Themenkomplex, kam überhaupt irgendjemand irgendwann auf die Idee, dass ein gutherziger Mensch gleichzeitig ausgerechnet ein warm-, niemals aber ein kaltherziger Typ

ist? Warum bedeutet warm im sozialen Kontext fast immer und überall auch »Freund« und »Vertraulichkeit« – kalt dagegen stets eher »Feind« und »Misstrauen«? Woher kommt der auffällige, althergebrachte Temperaturbezug in diesem Zusammenhang?

Psychologen machten sich auf die Suche nach experimentellen Belegen, die Wohlbefinden und Handlungsweisen von Menschen mit physikalisch messbarer Temperatur in Zusammenhang bringen. Teilweise war dies überraschend erfolgreich: Zuletzt etwa bewiesen kanadische Forscher, dass Menschen, während sie sich an sozial ausgrenzende Ereignisse erinnern, Raumtemperaturen als kälter einschätzten und häufiger fröstelten. Umgekehrt verlangten Probanden, die in einem Experiment absichtlich sozial ausgegrenzt worden waren, im Anschluss vermehr-

nach wärmendem Trost in Form von Heißgetränken.

Wärme ist also Trost, trostlose Situationen machen uns dagegen innerlich frösteln; unser psychischer Zustand schraubt offenbar an unserem Temperatursinn. Und umgekehrt? Genau das – ob also die Temperatur auch unsere Stimmung beeinträchtigt – wollte der am Anfang des Artikels weit ausholende Lawrence Williams zusammen mit seinem Kollegen John Bargh von der Yale University untersuchen. Natürliches Versuchsumfeld waren dabei Foyer, Lift und Laborräume ihres Universitätsgebäudes; insgesamt 41 freiwillige und ahnungslose Studenten dienten als Probanden.

Die Teilnehmer waren unter dem Vorwand eingeladen worden, an einem psychologischen Experiment teilzunehmen. Dieses begann allerdings schneller, als die Studenten gedacht hatten: Schon sobald sie ohne Argwohn in das Universitätsgebäude kamen, fing sie – ganz zufällig – ein mit Schreibblock, Klemmbrett, Stift und einem Getränk schwer beladener wissenschaftlicher Assistent ab und erbot sich, sie gleich mit nach oben zu begleiten. Im Aufzug fragte er dann beiläufig schon einmal

ein paar Daten des Freiwilligen, Datum und Uhrzeit ab, wollte sie niederschreiben – und bat sie, ob sie mal ganz kurz die Tasse halten könnten. Klar, gern.

Mit diesem Trick bekam eine Hälfte der Freiwilligen kurz eine Tasse mit heißem Kaffee, die andere einen Becher mit kaltem Eiskaffee zu spüren. Danach begann sofort die Befragung, bei der die Kandidaten unter anderem andere Personen charakterisierten sollten. Dabei zeigte sich, dass die Probanden, die zuvor ihre Hände am heißen Kaffee gewärmt hatten, häufiger andere als »wärmere« Charaktere einstuften – und auch andere, semantisch mit Wärme assoziierten Eigenschaften auf einer schon von Asch eingeführten Bewertungsskala häufiger zur Beschreibung wählten.

Auf die generelle Entscheidungsfähigkeit oder die Stimmung der Probanden wirkte sich der Temperaturtrick indes nicht aus, wie Kontrollfragen bestätigten: Nicht temperaturassoziierte Umschreibungen von Persönlichkeiten oder nüchterne Sachabwägungen behandelten die zuvor trickreich gewärmten oder abgekühlten Probanden unterschiedslos. Ganz ähnliche Resultate erzielt man übrigens, wenn Freiwilligen nur die Begriffe warm und kalt ge-

zeigt werden, wie der temperaturpsychologische Vorreiter Asch schon beschrieben hatte.

Williams und Bargh waren noch nicht ganz überzeugt. Hat tatsächlich nur die Temperatur des untergeschmuggelten Getränks Einfluss auf die soziale Beurteilungsfähigkeit gehabt? Einen Schwachpunkt machten sie in ihrem Versuchsassistenten aus, der den Probanden so beiläufig heißen und kalten Kaffee im Lift kredenzt hatte: Dessen Stimmung könnte ja auch durch die Temperatur der von ihm zuerst gehaltenen Getränke, vor allem aber durch sein Vorwissen beeinflusst sein, weswegen er dann unterschwellige Signale der Warmherzigkeitserwartung auf die Probanden projizierte – und so das Versuchsergebnis vielleicht mehr beeinflusste als die Temperatur des Getränks.

Ein zweiter Versuchsaufbau ohne menschliche Assistenz musste also her. Die Forscher baten 53 Probanden, zur Produkt-evaluation angeblich neu entwickelte Wärme- und Kühlkissen in die Hand zu nehmen und zu beurteilen. Danach fragten die Experimentatoren, ob die Freiwilligen gerne zur Belohnung selbst ein Getränk haben wollten – oder vielleicht einen gleichwerti-

gen Geschenkgutschein, den sie ja dann »zum Beispiel einem Freund schenken könnten, damit der sich freut«. Erstaunlicherweise hatten Kälte und Wärme der getesteten Produkte auch auf diese Entscheidung Einfluss: Probanden mit erwärmten Händen entschieden sich mehrheitlich für den Gutschein und gegen das Getränk, drei Viertel derer mit kalten Händen dagegen für die sofortige Selbstbelohnung.

Eindeutig, finden die Forscher: Die Wahrnehmung von Temperatur hat Auswirkungen darauf, wie man andere einschätzt – wobei Warmes einen wohlwollenen Blick auf das Gegenüber, also auch soziale Wärme fördert, Kälte dagegen eher die kaltherzige Abkapselung.

Ist sozial akzeptables Verhalten vielleicht wirklich nur eine Frage einer guten heißen Tasse Tee im richtigen Augenblick? Williams und Bargh finden schon – und fügen ihre lustigen Versuche und der mutigen Interpretationen andere Erkenntnissen hinzu, mit denen der Schlussfolgerung durch ernsthafte Indizien tatsächlich Gewicht verliehen wird. Hirnforscher fanden so etwa heraus, dass das Gehirnareal der Insula, die unter anderem bei der Einschätzung der Verlässlichkeit eines Gegenübers

aktiv ist, wirklich auch auf die eigene Hauttemperatur und andere äußere Sinneseindrücke reagiert. Solche Versuche die gefühlsmäßig einleuchtende Theorie auch wissenschaftlich zu untermauern, dürften allerdings weniger spaßig gewesen sein. ↪

(Spektrum.de, 23. Oktober 2008)

Williams, L. E., Bargh J. A.: Experiencing Physical Warmth Promotes Interpersonal Warmth. In: Science 322, S. 606-607, 2008.

The image shows the cover of the magazine 'Spektrum KOMPAKT'. The title 'KOMPAKT' is at the top right. Below it is a photograph of a large fish (possibly a mackerel) next to various cooking ingredients like salt, pepper, herbs, and a bowl of oil. A red circle on the right contains the text 'FÜR NUR € 4,99'. The main title 'ESSEN UND PSYCHE' is written in large yellow letters across the center. Below it, the subtitle 'Wie unsere Ernährung auf das Gehirn wirkt' is written in white. At the bottom right is a button with the text 'HIER DOWNLOADEN'.

FÜR NUR  
€ 4,99

# ESSEN UND PSYCHE

## Wie unsere Ernährung auf das Gehirn wirkt

HIER DOWNLOADEN

CHRONOBIOLOGIE

# Kaffee verstellt die innere Uhr

von Daniela Zeibig

Wer abends noch einen doppelten Espresso trinkt, bleibt anschließend nicht nur länger wach. Er bringt damit auch seinen inneren Taktgeber durcheinander, wie Forscher entdeckten.



**E**s ist kein Geheimnis: Wer sich kurz vor dem Zubettgehen noch eine Tasse Kaffee gönnt, tut danach meistens erst einmal kein Auge zu. Schuld daran ist der Wachmacher Koffein. Wissenschaftler um Kenneth Wright von der University of Colorado in Boulder konnten nun aber in einem kleinen Versuch erstmals zeigen, dass das Stimulans nicht nur unseren Schlaf stört, sondern tatsächlich auch unsere innere Uhr zurückstellt. Diese ging anschließend rund 40 Minuten nach, wenn die Probanden drei Stunden vor ihrer üblichen Schlafenszeit so viel Koffein zu sich nahmen, wie etwa in einem doppelten Espresso enthalten ist.

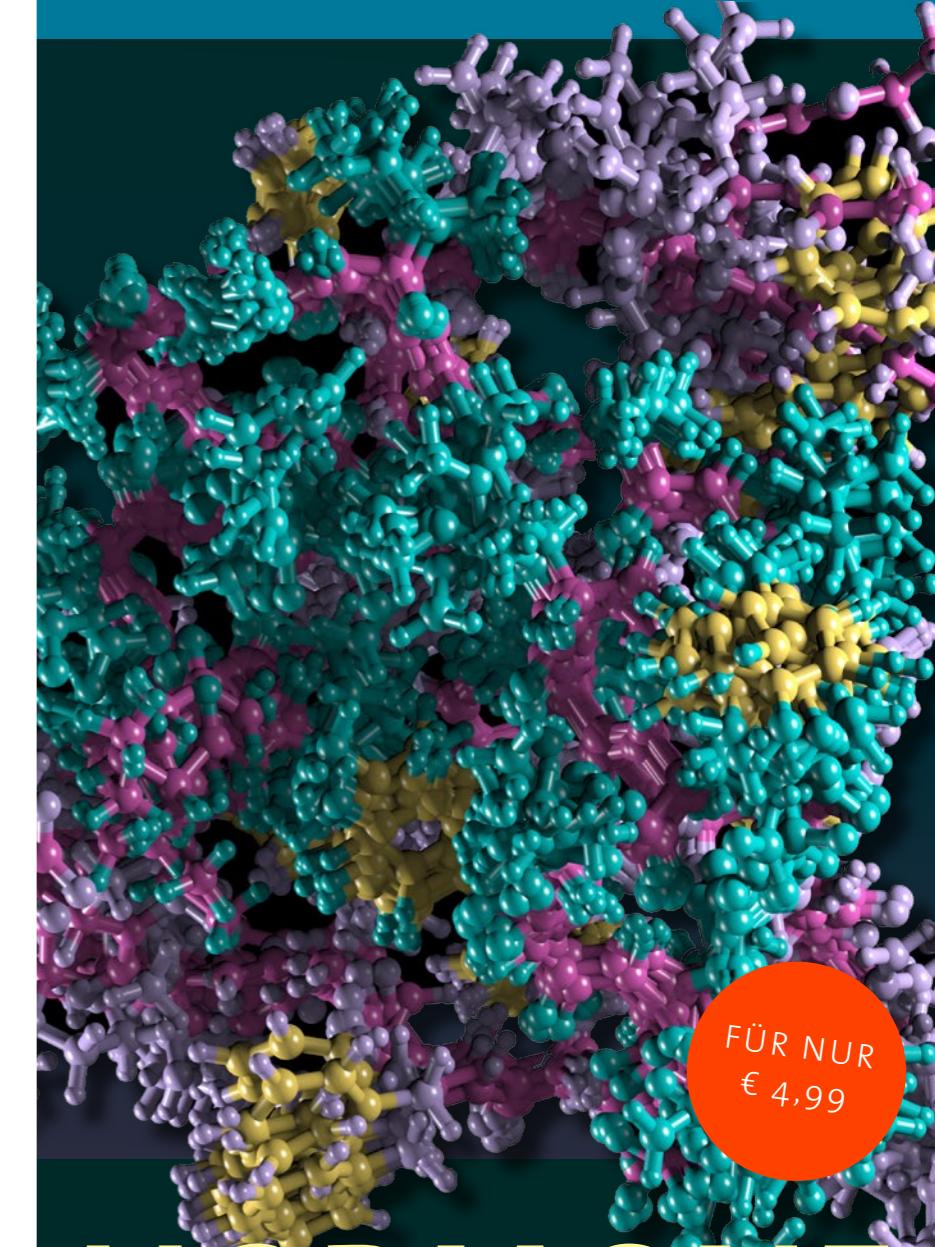
Wright und seine Kollegen bestellten für ihr Experiment fünf Freiwillige 49 Tage lang in ihr Schlaflabor, verabreichten ihnen abends eine Koffeinpille oder ein Placebo und setzten sie eine Zeit lang entweder hellen oder gedimmtem Licht aus. Alle Versuchspersonen durchliefen dabei jedes Studienprozedere, wodurch sie sozusagen als ihre eigene Kontrollgruppe dienen konnten. Während des Versuchs untersuchten die Forscher regelmäßig den Speichel der Probanden auf das Schlafhormon

Melatonin, das von der Zirbeldrüse im Gehirn ausgeschüttet wird. Das Startsignal für die Produktion gibt dabei die körpereigene »Master Clock«, die ihrerseits im Nucleus suprachiasmaticus im Hypothalamus sitzt und unsere Körperfunktionen einem 24-Stunden-Rhythmus unterwirft.

Der Versatz, den das Koffein bei gedimmtem Licht in der Melatoninproduktion auslöste, war dabei etwa halb so stark wie jener, der durch drei Stunden helles Licht ausgelöst wurde, was in diesem Fall durchschnittlich 85 Minuten waren. Im Zellversuch konnten die Wissenschaftler außerdem zeigen, dass Koffein auf molekularer Ebene offenbar die Rezeptoren für den Neurotransmitter Adenosin blockiert, der normalerweise Erregung dämpft und uns schlafbrig macht.

Wer gut schlafen möchte, sollte also wohl wirklich besser auf den Espresso nach dem Abendessen verzichten. Außer, man jettet gerade mit dem Flieger gen Westen um die halbe Welt: Dann könnten ein paar Tässchen Kaffee zur richtigen Zeit nämlich vielleicht dabei helfen, die innere Uhr schon mal auf die Zeitzone im Ankunftsland einzustellen, meinen die Forscher.

([Spektrum.de](http://www.spektrum.de), 17. September 2015)



FÜR NUR  
€ 4,99

# HORMONE

## Boten im Körper

- > Mehr als nur ein Kuschelhormon
- > Unscheinbarer Führungsspieler
- > Störenfriede im Hormonhaushalt

**HIER DOWNLOADEN**

SCHWACHE ERNÄHRUNGSSSTUDIEN

# IST KAFFEE **GUT FÜRS HERZ?**

von Jan Osterkamp

Womöglich sind die Herzarterien von Durchschnittskaffeetrinkern weniger verstopft, vermuten Mediziner aus Korea. Sicher können sie leider nicht sein.



# M

ediziner aus Korea haben sich eines beliebten Evergreens der Ernährungsmedizin angenommen: der gesundheitlichen Wirkung von Kaffee. Großen, kleinen und mittleren Mengen des Muntermachers wurden in der Vergangenheit verschiedene positive wie negative medizinische Wirkungen zugeschrieben, unter dem Strich waren daraus aber stets nur sehr schlecht verallgemeinerbare Empfehlungen herauszudestillieren. Das wird sich auch mit [der neuen statistischen Studie](#) nicht ändern, immerhin aber vermeldet sie ein erleichterndes Zwischenfazit für Kaffeefreunde: Ein paar Tassen täglich

scheinen mit einer weniger starken Tendenz zur Blockade von Herzarterien zu korrelieren und somit, so die Interpretation der Mediziner, womöglich mit einem verminderten Herzinfarktrisiko.

Das berichten die Forscher nach der Durchsicht der Daten von immerhin 25 138 Menschen, die routinemäßig an ihrem Arbeitsplatz befragt und auch medizinisch untersucht wurden. Dabei füllten die Probanden einen Fragebogen aus, in dem sie unter anderem auch ihren Kaffeekonsum einstuften; zudem bestimmten die Ärzte durch eine Herz-CT den so genannten Kalk-Score der Teilnehmer, der ein Maß für die Dicke der Kalkablagerungen in den Herzgefäßern ist. Dieser Wert korrelierte nun mit dem per Selbstauskunft abgefragten üblichen Kaffeekonsum: Wer drei bis fünf Tassen täglich trank, hatte weniger verkalkte Arterien – sowohl mehr als auch weniger Kaffee pro Tag erhöhte den Kalk-Score.

Welche Schlussfolgerungen aus der Studie zu ziehen sind, ist allerdings unklar: Sogar die Aussagekraft des Kalk-Scores für Herzinfarktrisiken ist in Fachkreisen umstritten. Zudem ist in der Studie nicht eingerechnet worden, ob mäßige Kaffeetrinker vielleicht anderweitig gesünder leben:

Die Forscher haben nur darauf geachtet, ob sich die Werte etwa bei Rauchern und Nichtrauchern und einigen wenigen anderen gesundheitlich relevanten Aspekten unterscheiden.

Insgesamt ist die Studie demnach kaum aussagekräftiger als frühere bessere oder schlechtere Untersuchungen, die Kaffee eine Wirkung gegen Diabetes und bestimmte Krebsrisiken, für das Kurz- und Langzeitgedächtnis oder gar keinen Effekt zugeschrieben haben. Noch am ehesten gilt bisher der Zusammenhang zwischen regelmäßiger Kaffeinzufuhr und Diabetes als möglich. Selbst die Autoren der aktuellen Studie warnen daher vor einer Überinterpretation: Ihre Daten würden nur weitere Indizien dafür liefern, »dass Kaffeekonsum vielleicht das Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen beeinflussen könnte. Weitere Forschung ist aber nötig, um das Ergebnis abzuschern.« Zudem müsste ja auch erst noch ein biologischer Mechanismus aufgedeckt werden, der den möglichen Zusammenhang erklärt. Das Thema dürfte demnach noch lange nicht vom Tisch sein. ↵



FOTOLIA / IRINA TISCHENKO

A white cup of coffee with latte art sits on a saucer surrounded by coffee beans on a wooden surface.

GESUNDHEIT

# KOFFEIN LINDERT CHRONISCHEN STRESS

von Daniela Zeibig

Stress steigert bei manchen Menschen auch automatisch den Kaffee- oder Teekonsum. Dass diese Taktik vielleicht gar nicht von ungefähr kommt, zeigt nun ein Versuch mit Mäusen.

**K**offein hilft offenbar gegen die Folgen von chronischem Stress. Das berichteten Forscher um Rodrigo Cunha von der Universität Coimbra in Portugal nach einem Versuch mit Mäusen. Die Wissenschaftler setzten die Nager drei Wochen lang andauernder Belastung aus, bis diese schließlich unter vergleichbaren Beschwerden litten wie auch Menschen, die lange Zeit unter Dauерstress stehen. Im Bezug auf die Tiere bedeutete das: Sie zeigten sich ängstlich und hilflos, entwickelten Gedächtnisschwierigkeiten und gar depressionsähnliche Symptome.

Hatten die Mäuse zuvor und während des Experiments allerdings regelmäßig Koffein oder einen synthetischen Wirkstoff, der ähnlich wie das Stimulans wirkte, über Futter oder Wasser zu sich genommen, prallte die seelische Belastung besser an ihnen ab. Auch im Nachhinein half Koffein den Tieren noch und ließ die chronischen Stresssymptome wieder abklingen: So schnitten die Nager nach der Einnahme besser im Gedächtnistest ab und zeigten außerdem weniger depressives Verhalten als eine unbehandelte Kontrollgruppe.

Die Wirkung des Koffeins hängt den Forschern zufolge mit den so genannten Adenosin-A2A-Rezeptoren im Gehirn zusammen. Diese werden bei Stress vor allem im Hippocampus hochreguliert und spielen offenbar eine entscheidende Rolle bei den Signalprozessen, die für die Entstehung der Stresssymptome verantwortlich sind. Koffein blockiert als Antagonist diese Rezeptoren und sorgt so auch für eine Linderung der Beschwerden. Dabei wirkte es zumindest im Tierversuch sogar ähnlich effektiv wie das Stummschalten des Gens, das für die A2A-Rezeptoren kodiert.

Die Wissenschaftler glauben, dass sich auch viele Menschen diese Eigenschaft des Koffeins unbewusst zu Nutze machen: »Wer unter Stress steht, **trinkt meist mehr Kaffee** oder Tee. Weil in beiden Getränken Koffein enthalten ist, handelt es sich dabei um so etwas wie eine Eigenbehandlung der Betroffenen«, sagt Christa Müller von der Universität Bonn, Mitautorin der Studie. Eine Einladung zum Kaffee- oder Teekonsum in rauen Mengen ist das zwar nicht, gegen ein paar Tassen täglich sei bei gesunden Personen jedoch nichts einzuwenden. Ob Koffein darüber hinaus aber auch Menschen mit chronischen Beschwerden oder

gar einer Posttraumatischen Belastungsstörung helfen kann, müsse noch in klinischen Studien erprobt werden. **Auch die gedächtnisfördernde Wirkung des Stimulans ist bisher nicht ausreichend belegt.** ↗

(Spektrum.de, 16. Juni 2015)



CHEMIE

# Warum Kaffee mit Zucker weniger bitter schmeckt

von Daniela Zeibig

Ohne Zucker ist Kaffee oder Tee vielen Menschen zu herb. Eine neue Theorie soll nun erklären, was der Süßmacher auf chemischer Ebene mit den Heißgetränken anstellt.

Wenn Kaffee oder Tee purzubitter schmeckt, der behilft sich gern mit ein bis zwei Löffeln Zucker. Tatsächlich übertüncht dieser aber nicht einfach nur den ursprünglichen Geschmack des Heißgetränks, sondern verändert vielmehr auch seine Chemie auf molekularer Ebene, [wie Forscher von der University of York im Magazin »Food and Function« berichten](#). Für die bittere Note von Kaffee oder Tee ist zum Teil das Koffein verantwortlich. Fügt man der Mischung Zucker hinzu, sorgt die Affinität zwischen Wasser- und Zuckermolekülen dafür, dass die Koffeinmoleküle sich stärker

zusammenlagern, um den Zucker zu meiden, so die Wissenschaftler. Das führt schließlich dazu, dass auch die Bitterkeit des Getränks nachlässt. Das Team um Seishi Shimizu bediente sich vor allem der Methoden der statistischen Thermodynamik, um das Zusammenspiel von Wasser-, Zucker- und Koffeinmolekülen zu analysieren. Die Ergebnisse der Wissenschaftler widersprechen damit der bisherigen Annahme, dass Zucker eigentlich die Bindungen der Wassermoleküle untereinander stärkt und so zur Dimerisation von Koffein und zur Milderung des bitteren Geschmacks führt. ↗

(Spektrum.de, 30. Juli 2015)



GENDERFORSCHUNG

## Koffein wirkt auf Männer stärker als auf Frauen

Schon nach zehn Minuten maßen Forscher erhöhte Aufmerksamkeit bei ihren Probanden – und zwar abhängig vom Geschlecht unterschiedlich stark.

**E**in Tässchen Espresso macht müde Männer munterer als Frauen – und das schon nach zehn Minuten. Selbst entkoffeiniert und damit eigentlich unter der Wirksamkeitsschwelle sorgt er für eine gesteigerte Aufmerksamkeit, diesmal allerdings vermehrt bei den Damen, berichten spanische Forscher.

Die Wissenschaftler hatten 688 Studierende in der Cafeteria der Universität de Barcelona auf einen morgendlichen oder nachmittäglichen Espresso eingeladen und nach 10, 20 und 30 Minuten anhand verschiedener standardisierter Fragebögen den Effekt gemessen. Normaler Espresso enthielt dabei 100 Milligramm Koffein pro Tässchen, entkoffeinerter 5

Milligramm. Die Forscher berücksichtigten dabei nicht, ob ihre Probanden bereits regelrecht konditioniert auf den Genuss von Kaffee reagieren – da sie auch eine entkoffeinierte Variante ausschenkten, sollte sich diese Grundhaltung nicht in den Ergebnissen niederschlagen, meinten Ana Adan und ihre Kollegen.

Während sich erste Reaktionen bereits nach zehn Minuten zeigten, steigerte sich der Effekt in den nächsten 20 Minuten weiter, berichten die Forscher. Sie vermuten, dass die Koffeinkonzentration nach dieser kurzen Zeitspanne womöglich schon die Hälfte des Maximums im Blutplasma beträgt; vielleicht handle es sich bei der frühen Reaktion aber noch um ein Placebo. Schließlich hatte auch der entkoffeinierte kleine Schwarze Wirkung gezeigt – doch klang diese nach einer halben Stunde bereits wieder deutlich ab. ↗

(Spektrum.de, 23. Dezember 2008)

Adan, A. et al.: Early effects of caffeinated and decaffeinated coffee on subjective state and gender differences. In: Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry 32, S. 1698-703, 2008.



AGRARÖKOLOGIE

# SCHATTENKAFFEE

## erhält Baumvielfalt

von Daniel Lingenhöhl

Der traditionelle Anbau von Kaffee unter Bäumen bietet nicht nur wertvolle Lebensräume, sondern bewahrt auch die genetische Vielfalt dieser Wälder.

**T**raditionelle Kaffeefeldungen, in denen Kaffee unter Schattenbäumen und damit naturnah gepflanzt wird, nützen der Artenvielfalt noch stärker als bislang bekannt: Sie bieten nicht nur zahlreichen Vogel- und Fledermausarten eine Ersatzheimat, sondern bewahren auch noch die genetische Diversität der Bäume.

Deshalb könnten diese auch Kaffeewälder genannten Pflanzungen helfen, die natürlichen Bergwälder wiederherzustellen, die einst in vielen Anbaugebieten der Plantagen wuchsen, meinen Shalene Jha und Christopher Dick von der University of Michigan in Ann Arbor. Eigentlich wollten die beiden Biologen studieren, ob stachellose Bienen auf Kaffeeplantagen im mexikanischen Bundesstaat Chiapas ihr Auskommen finden. Denn eine der wichtigen Schattennpflanzen – der zu den Hülsenfrüchten zählende Baum *Miconia affinis* – wird nur von bestimmten Bienenarten durch eine ungewöhnliche Methode bestäubt: Die Insekten hängen sich an die Blüten und vibrieren mit ihren Flügeln, um den Pollen aus der Pflanze zu schütteln. Honigbienen sind für die Pflanzen dagegen nutzlos, da sie diese Technik nicht anwenden.

Während ihrer Studie stellten die Wissenschaftler jedoch fest, dass die Geschichte hinter *Miconia affinis* noch mehr Forschung bedarf. Deshalb sammelten sie Genproben der Bäume von Plantagen und angrenzenden Waldfragmenten, um deren Verwandtschaftsverhältnisse aufzuschlüsseln. Normalerweise stammen innerhalb einzelner *Miconia*-Baumgruppen alle Individuen von einer gemeinsamen Mutterpflanze ab, da die Samen in der Regel nicht weit reisen. Nicht so in den Kaffeefeldungen: Dort erbrachte die DNA-Analyse, dass selbst in sehr eng zusammenstehenden Hainen sich die Bäume sehr stark unterschieden. Sie stammten folglich jeweils aus verschiedenen Quellen.

Im Gegensatz zum Inneren eines natürlichen Waldes, wo kleine Vögel wie Waldsänger die Samen verbreiten, sorgen in den Kaffeewäldern vermehrt größere Tiere wie Drosseln oder Rabenvögel für die Ausbreitung. Sie legen größere Distanzen zurück und kontaktieren verschiedene Nahrungsquellen. Dadurch sorgen sie dafür, dass eine hohe genetische Vielfalt innerhalb der Art erhalten bleibt, was letztlich deren Überlebensfähigkeit steigert. Zudem bilden sie auf diese Weise eine Brücke zwis-

schen den vereinzelten Waldfragmenten, die sich im Umfeld der Plantagen befinden und verhindern deren genetische Verarmung – zumal diese Waldinseln als Keimzelle der Wiederbewaldung dienen können: Nach rund 100 Jahren der Nutzung fallen viele Finca's wieder aus der Bewirtschaftung, weil die Böden erschöpft sind.

Auf Grund der leichteren Pflege und der höheren Erträge wandeln jedoch viele Plantagenbetreiber ihre Pflanzungen vom Schatten- zum Sonnenanbau, obwohl darunter häufig die Qualität leidet: Kaffeebohnen brauchen im Schatten länger zum Reifen und bilden daher mehr Aromastoffe. Neben diesen geschmacklichen Aspekten sollten Kaffeekonsumenten auch vermehrt die ökologischen Vorteile der traditionellen Plantagen bedenken und entsprechend kaufen, appelliert Jha. ↗

(Spektrum.de, 22. Dezember 2008)

Jha, S., Dick, C.: Shade coffee farms protect genetic diversity of native trees. In: Current Biology 18, S. R1126–R1128, 2008.

A close-up photograph of a dark brown coffee cherry. A small, light-colored insect, likely a coffee berry borer, is visible on the left side of the cherry. The background is a solid bright green.

KAFFEEKIRSCHENKÄFER

# Darmbakterien machen Kaffeeschädling immun gegen Koffein

von Daniela Zeibig

Der Kaffeekirschenkäfer ist so ein erfolgreicher Kaffeeschädling, weil ihm das giftige Koffein der Pflanze wenig ausmacht. Dabei hilft ihm offenbar eine spezielle Darmflora.

**D**er Kaffeekirschenkäfer (*Hypothenemus hampei*) ist der am weitesten verbreitete Kaffeeschädling, der im schlimmsten Fall den Großteil einer Ernte zunichtemachen kann. Er frisst sich durch die Bohnen der Pflanze und lässt sich im Gegensatz zu den meisten anderen Insekten nicht durch die immensen Mengen an Koffein abschrecken, denen er im Vergleich zu seinem Körpergewicht ausgesetzt ist und die üblicherweise als natürliches Pflanzenschutzmittel wirken. Diese Fähigkeiten verdankt *H. hampei* offenbar ganz bestimmten Darmbakterien, die Koffein für ihn unschädlich machen, wie Forscher um Javier Ceja-Navarro vom Lawrence Berkeley National Laboratory in Kalifornien nun berichten.

Die Wissenschaftler untersuchten Kaffeekirschenkäfer aus sechs Kaffee produzierenden Regionen, darunter Mexiko, Guatemala, Hawaii und Indien, isolierten ihre Darmbakterien und setzten sie im Labor auf ein koffeinhaltiges Nährmedium. Insgesamt 14 Bakterienspezies, von denen die meisten in den Verdauungstrakten von Käfern aus allen Anbaugebieten vorkamen, überlebten diesen Prozess und waren ent-

sprechend in der Lage, das Koffein abzubauen. Dabei stach vor allem das Bakterium *Pseudomonas fulva* hervor, das Koffein als einzige Nahrungsquelle für Kohlenstoff und Stickstoff zu nutzen scheint und ein Gen namens *ndmA* besitzt, das für die Umsetzung des Stimulans zuständig ist.

Verabreichten die Forscher ihren Kaffeekirschenkäfern ein Antibiotikum, das die Darmmikroben gezielt abtötete, verloren diese entsprechend ihre Fähigkeit, das Koffein abzubauen, und die Zahl der lebensfähigen Insekten sank im Vergleich zu einer Kontrollgruppe deutlich. Anstatt auf Pestizide zu setzen, könnte es sich demnach lohnen, einen verträglichen Weg für Kaffeebauern zu suchen, die Darmbakterien des Kaffeekirschenkäfers zu zerstören, sagen die Wissenschaftler. Dann könnte die Kaffeepflanze den Schädling, wie andere Insekten auch, selbst außer Gefecht setzen – mit Koffein. ↵

(Spektrum.de, 14. Juli 2015)

# EL NIÑO

## Klimapendel im Pazifik

- > Was Sie über den El Niño 2015 wissen müssen
- > Als die Wärme verschwand
- > Pazifik ließ Europa frieren

FÜR NUR € 4,99

HIER DOWNLOADEN



WISSENSCHAFT IM ALLTAG

# Hydrodynamik im Kaffeeglas

von Florian Beißner

Genießern mit Hang zur Physik  
empfiehlt der Küchenchef heute: Latte  
macchiato auf hydrodynamische Art.

**M**ilch aufschäumen und in ein großes Glas geben, dann vorsichtig frisch gebrühten Espresso eingießen. Auch optisch ist das Trendgetränk Latte macchiato ein Genuss, sofern der »Barista« hinter dem Tresen sein Handwerk versteht. Die wörtliche Übersetzung des Namens als »befleckte Milch« wird dem Latte macchiato kaum gerecht. Zumal er auch ein intellektuelles Vergnügen bereiten kann, denn was da im Glas geschieht, ist pure Physik. Da Espresso eine geringere Dichte als Milch besitzt, sammelt er sich zunächst im oberen Bereich des Glases. Doch in der Grenzschicht vermischen sich die beiden Flüssigkeiten. Wer genau hinschaut, kann hier sogar Wirbel beobachten.

So einfach dieses Geschehen wirkt, genau versteht man diese Vorgänge bislang nicht. Dabei wurde die nach den Physikern Claude Louis Marie Henri Navier (1785–1836) und Sir George Gabriel Stokes (1819–1903) benannte Navier-Stokes-Gleichung, eine der Grundgleichungen hydrodynamischer Prozesse, bereits vor über 150 Jahren aufgestellt. Doch sie ist von so komplexer Struktur, dass bis heute keine mathema-

tisch exakte Lösung der Gleichung bekannt ist. Das Interesse daran ist so groß, dass das Clay Mathematics Institute in Cambridge (Massachusetts) eine Million Dollar für die Entdeckung einer solchen Lösung ausgelobt hat. Natürlich geht es den Forschern dabei nicht um den Latte macchiato. Die Hydrodynamik spielt in vielen Naturwissenschaften eine wichtige Rolle. Ihre Gesetze beschreiben so unterschiedliche Phänomene wie die Explosion massereicher Sterne, die Dynamik von Lavaflüssen oder die Strömungen in den Ozeanen.

Aber eben auch die Vorgänge im Übergangsbereich zwischen Espresso und Milch im Latte macchiato. Denn dort kann man bereits kurz nach dem Eingießen beobachten, wie eine Abfolge von mehreren Schichten entsteht, die sich deutlich voneinander abheben. Dieser Effekt wird in der Hydrodynamik Layering genannt. Er tritt dann auf, wenn neben einem Temperaturunterschied auch ein Konzentrationsgefälle eines oder mehrerer gelöster Inhaltsstoffe existiert. Denn Temperatur und Konzentration bestimmen die Dichte der Flüssigkeit.

Auf den ersten Blick ist nicht verständlich, warum der nach dem Eingießen vorliegende Zustand in Bewegung gerät. So-

fern der Barista sauber gearbeitet hat, ist der Espresso etwas wärmer als die etwa siebzig Grad Celsius heiße Milch. Da bei diesen Temperaturverhältnissen Letztere dichter ist als der darüberliegende Kaffee, sollte der Zustand stabil sein. Dass dem nicht so ist, beruht auf der Temperaturdifferenz zwischen der Flüssigkeit im Glas und der Luft des umgebenden Raums. Sowohl Espresso als auch Milch kühlen an der Glaswand ab und sinken nach unten. Damit kommt eine Kreisbewegung, eine so genannte Konvektion, in Gang: Von der Mitte des Glases strömt warme Flüssigkeit zum Rand, die sich abkühlt, nach unten sinkt und so weiter. Der zusätzliche Einfluss der Konzentration auf die Dichte sorgt dafür, dass die Flüssigkeit nicht bis zum Boden des Glases absinkt, sondern dass sich eine vertikale Abfolge von Konvektionszonen ausbildet. Deren genaue Anzahl ist von den physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeit abhängig. Die Konzentration von Espresso in den Schichten nimmt dabei von oben nach unten ab. Dadurch ergibt sich, von der Seite betrachtet, das charakteristische Bild. Da die Bewegung von zwei Faktoren, nämlich Temperatur- und Konzentrationsgefälle, angetrieben wird,

spricht man auch von Doppeldiffusion oder doppeldiffusiver Konvektion.

Interessanterweise tritt derselbe Effekt auch im Ozean in der Nähe von Eisbergen auf. Durch das Schmelzen des Eises, das aus Süßwasser besteht, bildet sich in der Umgebung ein Gefälle in der Salzkonzentration aus: Wasser mit niedrigem Salzgehalt ist über solches mit höherem geschichtet. Da das umgebende Wasser wärmer ist als der Eisberg, kühlt es sich an der Eiswand ab und sinkt nach unten. Es kommt zum gleichen Effekt wie beim Latte macchiato – was sich allerdings im Kaffeeglas leichter beobachten lässt. Zumindest ein Weilchen. Am Ende aller Konvektion und Doppeldiffusion bleibt ein physikalisch eher uninteressanter Milchkaffee, der zweifelsohne aber noch geschmacklich seine Reize hat. ↵

(Spektrum.de, 9. Februar 2007)



The image shows the front cover of the German science magazine "Spektrum DER WISSENSCHAFT KOMPAKT". The title "Spektrum DER WISSENSCHAFT KOMPAKT" is at the top left, and "GEHIRN UND GEIST" is at the top right. A large, blurry close-up of a human eye dominates the center. In the bottom right corner, there's a red circle containing the text "FÜR NUR € 4,99". Below the main image, the title "UNSERE SINNE" is in large green letters, followed by the subtitle "Überraschend und unterschätzt". To the right of the subtitle is a vertical list of five topics, each preceded by a green arrow: "Fettig – ein neuer Geschmack?", "Verkannte Nase – der unterschätzte Geruchssinn", "Visuelle Stabilität – Augenblicke des Nichts", and "und vieles mehr ...". At the bottom right, there's a green button-like shape containing the text "HIER DOWNLOADEN". The small text "ISTOCK / BARTSADOWSKI" is visible at the very bottom left of the main image.

**Spektrum DER WISSENSCHAFT KOMPAKT**

**GEHIRN  
UND  
GEIST**

FÜR NUR  
€ 4,99

# UNSERE SINNE

## Überraschend und unterschätzt

- > Fettig – ein neuer Geschmack?
- > Verkannte Nase – der unterschätzte Geruchssinn
- > Visuelle Stabilität – Augenblicke des Nichts
- > und vieles mehr ...

HIER DOWNLOADEN

## Jetzt als Kombipaket im Abo: App und PDF

Jeden Donnerstag neu! Mit News, Hintergründen, Kommentaren und Bildern aus der Forschung sowie exklusiven Artikeln aus »nature« in deutscher Übersetzung. Im Abonnement nur 0,92 € pro Ausgabe (monatlich kündbar), für Schüler, Studenten und Abonnenten unserer Magazine sogar nur € 0,69.

