

Zeitschrift: Botanica Helvetica
Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft
Band: 106 (1996)
Heft: 2

Artikel: Coffein
Autor: Baumann, Thomas W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-72196>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Coffein

Thomas W. Baumann

Institut für Pflanzenbiologie, Universität Zürich, Zollikerstr. 107, CH-8008 Zürich, Schweiz

Manuskript angenommen am 29. August 1996

Abstract

Baumann T. W. 1996. Caffeine. Bot. Helv. 106: 127–158.

The discovery, metabolism, compartmentation and ecology of caffeine and related purine alkaloids are reviewed. The plant species cultivated by humans in East and West and manufactured into pleasant “stimulants” such as coffee, cocoa, tea, cola, maté and guaraná are presented. Special emphasis was put on somatic embryogenesis in coffee, biodiversity in cocoa and seed dispersal in guaraná.

Key words: Caffeine, chemical defence, chlorogenic acid, compartmentation, ecology, metabolism, methylxanthines, purine alkaloids, *Camellia*, *Coffea*, *Cola*, *Ilex*, *Paullinia*, *Theobroma*.

Einleitung

Im Alltag ist „Coffein“ der Inbegriff für das aktivierende Prinzip schlechthin, für den dringend benötigten Stimulus mit gesellschaftlicher Akzeptanz. Im Pflanzenreich ist Coffein eine – gemessen am Artenreichtum – seltene „Erfindung“, um welche sich aber in jedem Fall noch andere Purinalkaloide scharen, was an sich die ausschließliche Behandlung von Coffein als Einzelverbindung verbieten würde. Dessen ungeachtet lassen wir aber den Titel so wie er ist: Blickfang für ein pflanzliches Sekundärstoffprinzip mit strukturellen Variationen.

1 Entdeckung und Phytochemie

Wenn wir den historischen Quellen glauben wollen, so war es kein geringerer als Johann Wolfgang Goethe, der den Anstoß zur Entdeckung des wohl populärsten Naturstoffes gegeben haben soll. In jener Zeit geschah es immer häufiger, daß Giftmischer (und ihre Kolleginnen) anstelle der „klassischen“ anorganischen Verbindungen, deren Nachweis dank den Fortschritten in analytischer anorganischer Chemie zusehends unproblematisch wurde, pflanzliche „Produkte“ für ihre verbrecherischen Zwecke einzusetzen. Der junge Chemiestudent Runge, der bereits Erfahrung in der Untersuchung von Giftpflan-

Herrn Professor Dr. Hans Wanner, der in mir die Freude an den tropischen Nutzpflanzen geweckt hat, zu seinem 80. Geburtstag gewidmet.

zen besaß, kam von Göttingen nach Jena und traf dort auf Doeberreiner, den berühmtesten „Scheidekünster“ der damaligen Zeit. Runge schreibt dazu (Anft 1937): „Er war freudig erstaunt, als ich ihm sagte, daß ich nicht nur im Stande sei, das Giftigwirkende des Bilsenkrautes, der Tollkirsche und des Stechapfels für sich als einzelne Stoffe darzustellen, sondern auch das Mittel gefunden habe, das Vorhandensein dieser Giftstoffe in Speisen und Getränken, sowie in damit vergifteten Thieren und Menschen nachzuweisen.“ Runge verwendete hierzu eine Katze, in deren Auge er die zu testende Lösung trüpfelte (wie bereits der Artnamen der Tollkirsche, *Atropa belladonna* L., zeigt, hat Runge den Effekt der Pupillenerweiterung sicherlich nicht entdeckt, sondern höchstens neu bekannt gemacht, denn er berichtet in köstlicher Weise, wie er einen seiner Kollegen mydriasiert und so vor der Rekrutierung und dem sicheren Tode im Feldzug gegen Napoleon bewahrt hatte. Also, Doeberreiner und Runge bereiteten zusammen ein Spinatgericht zu, in welchem jedes elfte ein Bilsenkrautblatt war. Der Preßsaft des fertigen Breis war im Test eindeutig positiv, wie dies aus Runges Kommentar hervorgeht: „Ich hatte die Genugtuung, daß Doeberreiner mir seinen ganzen Beifall zollte und mir beim Abschied dankte für die höchst belehrenden Versuche. Sie sind von der höchsten Wichtigkeit, und noch heute Abend werde ich Goethe davon erzählen.“

So kam es, daß Goethe – in seiner Funktion als Geheimrat – im Jahre 1819 dem Studenten Runge, der mit einer „bilsenkrautbehandelten“ Katze unterm Arm erschien, Audienz erteilte und ihm bei dieser Gelegenheit eine Schachtel mit Kaffeebohnen überreichte, die ihm ein Griechen als etwas ganz Vorzügliches gesandt hatte, und hinzufügte: „Auch diese können Sie zu Ihren Untersuchungen brauchen.“ Ein Jahr später, 1820, berichtet Runge von seiner Entdeckung der „Kaffebase“.

Von Giese isolierte die gleiche Verbindung im selben Jahr aus Kaffee und nannte sie „Kaffeestoff“ (zitiert durch von Giese 1821). Kurz darauf gelang weiteren Forschern die Isolierung. Offenbar wird auch nach Studium dieser frühen Literatur nicht klar, wer die Bezeichnung „Coffein“ eingeführt hat (Kihlman 1977). Der vergleichsweise bescheidene Kontakt unter den Forschern und die begrenzten analytischen Möglichkeiten sind die Gründe, weshalb Coffein später noch zweimal „entdeckt“ wird: Martius findet 1826 in der Guaraná-Paste, welche aus den Samen einer in Südamerika beheimateten Liane (s. 5.6, Guaraná) zubereitet wird, das „Guaranin“, welches er 1840 als Coffein erkennt. Schließlich isoliert Oudry 1827 aus den Blättern verschiedener (Schwarz-)Teesorten das „Thein“. Daß Coffein mit Thein identisch sei, darüber berichtete Jobst 1838, also vor rund 160 Jahren. Umso verwunderlicher ist, daß heute noch die Meinung herumgeistert, es handle sich um zwei verschiedene Verbindungen. Dies mag daran liegen, daß Kaffee und Tee als Getränke häufig ganz unterschiedlich erfahren werden, obwohl sie das gleiche Wirkprinzip enthalten, wobei in der Regel der Tee halb so „coffeinstark“ wie der Kaffee angerichtet wird. Eine gültige Erklärung für dieses Phänomen existiert noch nicht. Vielfach werden dafür komplexierende Begleitstoffe (Polyphenole), welche die (intestinale) Resorption von Coffein beeinflussen könnten, verantwortlich gemacht. Ein weiteres Argument wäre: Coffein ist nicht gleich Coffein!

Damit werfen wir einen ersten Blick auf die „Trabanten“ dieses faszinierenden Naturstoffes. Genau genommen war Oudrys Thein mit Runges Kaffebase nicht identisch, denn jede coffeinhaltige Pflanzenart (und jedes ihrer Organe oder Gewebe) weist ein spezifisches Spektrum an zusätzlichen Verbindungen auf, welche strukturell und biogenetisch mit dem Coffein verwandt sind, dieses häufig nur in relativ kleinen Konzentrationen begleiten und dann aus physikalischen Gründen (hydrophobe Interaktion) mit den klassischen Methoden der Chemie nur unter größtem Aufwand abgetrennt werden können. Coffein z. B. aus der Entcoffeinierung von Kaffee, wie es neuerdings einer Vielzahl von

„Energy-Drinks“ (mit dem meist irreführenden Aufdruck eines Pflanzennamens wie „Cola“ oder „Guaraná“) zugesetzt wird, kann heute mit moderner Analytik (HPLC-DAD) auf Grund der Verunreinigung mit Begleitalkaloiden jedoch als solches erkannt und von anderen Quellen unterschieden werden (Kappeler & Baumann 1985, Regenass 1995). Weshalb der Etikettenschwindel munter weiterblüht, ist ein bundesamtliches Rätsel, vor dem die Leserschaft verschont bleiben soll.

Unter den Begleitverbindungen des Coffeins (Abb. 1), das selbst ein Trimethylxanthin (1) ist, muß allen voran das Dimethylxanthin Theobromin (2) genannt werden, welches im Falle des Kakaos sogar Hauptverbindung ist. Ansonsten tritt diese Verbindung von vergleichsweise geringer pharmakologischer Wirkung als Nebenalkaloid und zwar vor allem dort auf, wo die Coffeinebiosynthese besonders intensiv ist. So enthalten reife Kaffeebohnen nur Spuren (1/250–1/1000 der Coffeinkonzentration), hingegen junge Teeblätter erhebliche Konzentrationen (1/10) dieses Purinalkaloids. Theobromin wurde 1842 erstmals durch Woskresensky aus Kakaobohnen isoliert. Er schreibt hierzu: „Schon lange Zeit kannte man die beiden stickstoffreichen Substanzen, das Caffein und das Thein; ihre Identität wurde aber erst im Jahre 1837 [publiziert Jobst 1838; Anm. d. A.] durch Mulder und Jobst nachgewiesen. Nachdem die Anwesenheit des Caffeins in beiden so verschiedenen Pflanzen einmal erkannt war, lag es sehr nahe, denselben Stoff oder wenigstens einen ähnlichen in der Cacaobohne zu suchen, deren schwach bitterer

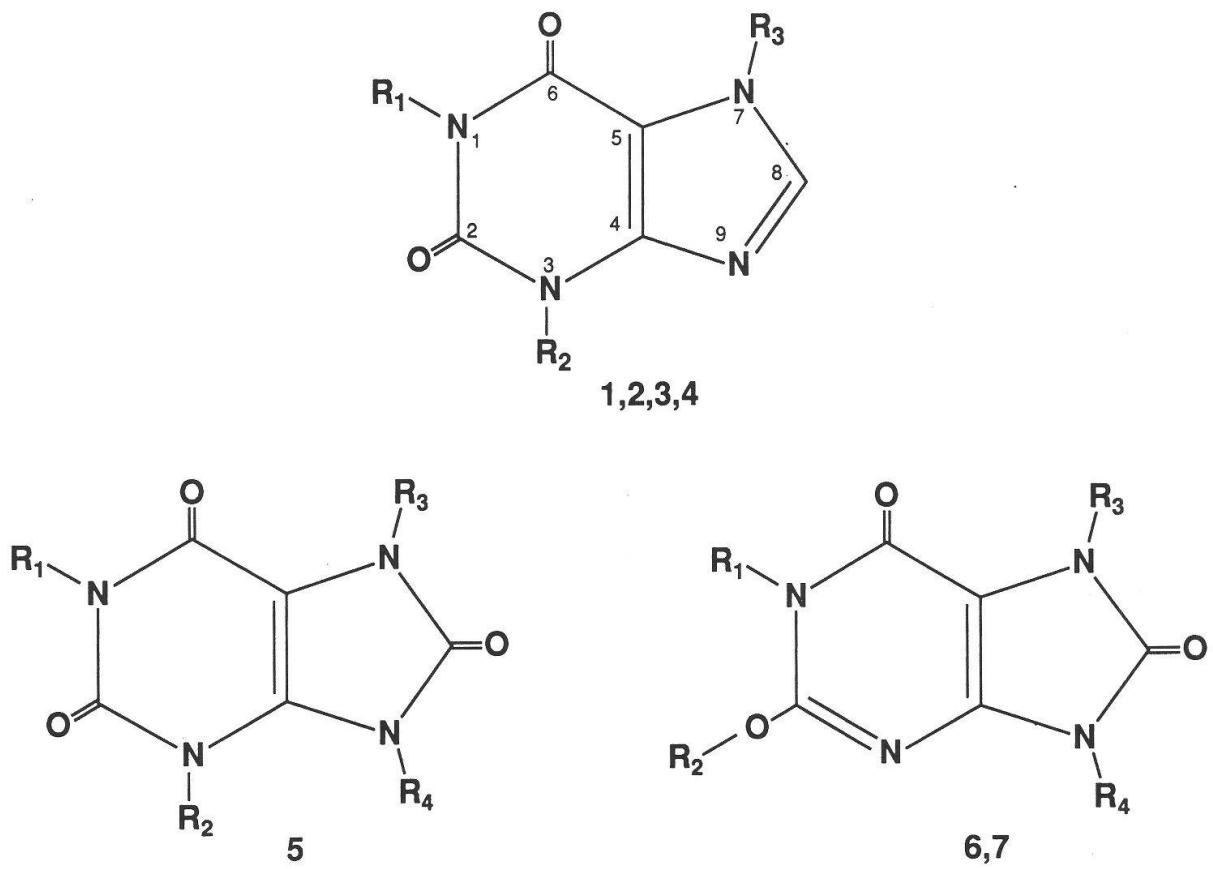


Abb. 1. Strukturen der Purinalkaloide in Pflanzen. 1, Coffein, $R^1 = R^2 = R^3 = \text{Me}$; 2, Theobromin, $R^1 = \text{H}$, $R^2 = R^3 = \text{Me}$; 3, Theophyllin, $R^1 = R^2 = \text{Me}$, $R^3 = \text{H}$; 4, Paraxanthin, $R^1 = R^3 = \text{Me}$, $R^2 = \text{H}$; 5, Theacrin (1, 3, 7, 9-Tetramethylharnsäure); 6, Liberin ($\text{O}(2), 1,9$ -Trimethylharnsäure), $R^3 = \text{H}$; 7, Methylliberin ($\text{O}(2)$, 1,7,9-Tetramethylharnsäure).

Geschmack vollkommen an das Bitter des Caffeins erinnert, und die auch die Haupteienschaft des Caffees, die aufregende Kraft, besitzt, welche denselben so gesucht macht.“ Woskresensky isolierte ein weißes Pulver, „bei dessen ersten Anblick man leicht erkennt, daß es kein Caffein, sondern ein eigenthümlicher Körper ist, den ich Theobromin nennen will. Es ist ein krystallinisches Pulver, von schwach bitterem, dem des Caffeins und der Cacao selbst ganz entsprechenden Geschmack; wegen der Schwerlöslichkeit der Substanz entwickelt sich dieser Geschmack nur langsam und hat wenig Intensität.“

Theophyllin (3), ein weiteres Dimethylxanthin, wurde 1888 von Albrecht Kossel, dem späteren Nobelpreisträger für Chemie (1910), erstmals isoliert. Er schreibt hierüber in einer ausführlicheren Arbeit (Kossel 1889) folgendes: „Vor einiger Zeit erhielt ich aus der Fabrik von Dr. Fr. Witte in Rostock eine größere Menge eines Extractes, welches durch Ausziehen von Theeblättern mit Alkohol gewonnen war. Das Extract war zur Syrupsdicke eingedampft und der größte Theil des Caffeins durch Krystallisation entfernt (industrielle Coffeingewinnung; Anm. d. A.). In dem mir zugesandten Product fand sich eine bisher unbekannte Base vor, für die ich den Namen Theophyllin vorschlage.“ Heute wissen wir, daß die Konzentration von Theophyllin in Teeblättern etwa 0,001% (TG), d. h. 10 ppm beträgt. Seine Isolierung vor über hundert Jahren war nur möglich, weil es im Ausgangsprodukt stark angereichert war, bleibt aber trotzdem ein Meisterstück. Auch in den übrigen Coffeindrogen ist dieses Alkaloid nur in Spuren vorhanden. Kürzlich sind jedoch verhältnismäßig hohe Theophyllinkonzentrationen in der Fruchtscheidewand von *Paullinia cupana* (Baumann et al. 1995) und in Blütenteilen von *Coffea arabica* (Kretschmar und Baumann, nicht publiziert) entdeckt worden.

Paraxanthin (4), welches bereits 1883 von Salomon aus dem menschlichen Urin (Demethylierungsprodukt von Coffein) isoliert wurde, hat als letztes der Dimethylxanthine die Aufmerksamkeit der phytochemischen Forschung auf sich gezogen, und zwar erst im Zusammenhang mit der Aufklärung der Coffeinbiosynthese. Ohne vorzugreifen sei hier erwähnt, daß unter allen Dimethylxanthinen, die einem syntheseaktiven Gewebe angeboten werden, das Paraxanthin am besten zu Coffein (durch Methylierung) umgesetzt wird. Bis anhin ist es nur in Spuren in Pflanzen aufgefunden worden: Reife Kaffeebohnen verschiedener Provenienzen zeigen einen durchwegs tiefen (< 10 ppm), unspezifischen Gehalt (Kappeler & Baumann 1985). Ein Nachweis von Spuren mittels MS, jedoch ohne Gehaltsangabe, gelang erstmals in unsteril gezogenen Kaffeesämlingen (Chou & Waller 1980). Da verschiedenste Mikroorganismen die Fähigkeit besitzen, Coffein (unter anderem) zu Paraxanthin zu demethylieren, ist seine Bildung aus radioaktivem Coffein in steril gezüchtetem Gewebe von „wilden“ (nicht kultivierten) Kaffearten wohl der erste Beweis seiner Biogenese in der Pflanze (Baumann & Frischknecht 1982).

Eine zweite Gruppe der Purinalkaloide stellen jene Verbindungen dar, in welchen das Xanthingerüst zur Harnsäure oxidiert ist. Es sind dies die Methylharnsäuren. Allen voran ist hier die 1,3,7,9-Tetramethylharnsäure (5) zu erwähnen, welche an jedem der vier Stickstoff-Atome eine Methylgruppe trägt. Wir haben sie Theacrin genannt, weil sie erstmals im Tee entdeckt wurde (Johnson 1937) und dort in den jungen Blättern am „reichlichsten“, aber trotzdem nur in Spuren (um 10 ppm) vorkommt (Citroreksoko et al. 1977). Theacrin ist wie Theophyllin in Rückständen der industriellen Coffein-Extraktion aus Tee aufgefunden worden, die in diesem Fall über Jahre gesammelt worden waren und gesamthaft von mehreren Millionen Pfund Tee stammten. Vor gut zwanzig Jahren haben wir an unserem Institut eine große Zahl von Kaffee-Arten auf Purinalkaloide hin untersucht und dabei entdeckt, daß die bis 20 m hohen Kaffeebäume Westafrikas wie *Coffea liberica*, *C. excelsa*, *C. dewevrei* usw. die heute gesamthaft als Formen

(*Liberio-excelsoides*) einer komplexen Art angesehen werden, in ihren jüngsten Blättern große Mengen (d. h. 1–2% des Trockengewichtes) an Theacrin sowie mindestens zwei weitere Methylharnsäuren, Liberin (6) und Methylliberin (7), bilden (Wanner et al. 1975, Baumann et al. 1976). Die Samen dieser Gruppe sind coffeinhaltig. Methylharnsäuren in gut nachweisbaren Konzentrationen finden wir auch in Samen verschiedener *Theobroma*- und *Herrania*-Arten (Hammerstone Jr. et al. 1994) sowie einer Population der madagassischen *Coffea kianjavatensis* (Rakotomalala 1993). Es ist vorauszusehen, daß die Schar der Purinalkaloide noch wachsen wird.

2 Strukturaufklärung

In seiner Habilitationsschrift aus dem Jahre 1875 leitete Ludwig Medicus mit wenigen Experimenten, aber mit viel Scharfsinn, die Strukturen der damals bekannten Purine (Harnsäure, Xanthin, Guanin, Hypoxanthin) sowie der Purinalkaloide Coffein und Theobromin her. Mit Ausnahme von Theobromin, in welchem er eine Methylgruppe falsch plazierte, waren sie alle richtig. Doch der „Chemiepapst“ jener Zeit, Emil Fischer, bekämpfte Medicus' Arbeit aufs heftigste. Es brauchte 22 Jahre, bis Fischer seinen Irrtum einsah (Fischer 1897) und Medicus' wissenschaftliches Ansehen wiederhergestellt wurde: „Durch eine ausführliche Untersuchung der Methylharnsäuren kam ich später allerdings zu der Überzeugung, daß die Formel von Medicus den Vorzug verdiene, und dieselbe hat sich auch bei allen von mir neuerdings studierten Verwandlungen der Harnsäure bewährt. Trotzdem glaubte ich bis vor Kurzem an meinen Formeln des Xanthins und Caffeins festhalten zu müssen, weil mir ein principieller Unterschied zwischen der Structur dieser Basen und der Harnsäure zu bestehen schien.“ Vereinfacht dargestellt lag die Schwierigkeit darin, daß Fischer durch Methylierung und Oxidation von Xanthin nicht das gleiche Produkt wie durch Methylierung von Harnsäure, einer Oxidationsstufe des Xanthins, erhielt: Die Methylierung von Xanthin führte zu Coffein, welches er zu 8-Hydroxycoffein oxidierte. Die anschließende Methylierung, Erhitzen mit Methyliodid, lieferte 8-Methoxycoffein. Hingegen erhielt er aus Harnsäure durch Methylierung die 1,3,7,9-Tetramethylharnsäure (5). Hätte Fischer bei der Methylierung des 8-Hydroxycoffeins das methylierende Agens in alkalischer Lösung eingesetzt, so wäre die Tetramethylharnsäure entstanden! Schließlich muß erwähnt werden, daß Emil Fischer auf dem Gebiet der Purine trotz dieser leidigen Angelegenheit führend war. Beispielsweise war er der erste, der Coffein aus einfachen Vorstufen (Dimethylharnstoff und Malonsäure) synthetisierte (Fischer und Ach 1895), und dies ohne Kenntnis der Struktur!

3 Biosynthese, Abbau und Verteilung in der Pflanze

Es sei hier vermieden, die geneigte Leserschaft mit Einzelheiten der Aufklärung der Coffeinbiosynthese zu langweilen, die Gegenstand einer jahrzehntelangen Forschung in einem halben Dutzend Laboratorien der ganzen Welt war und ist (Suzuki et al. 1992). Drei wichtige Aspekte sollen jedoch kurz erwähnt werden. 1. Die Suche nach der Schlüsselreaktion, also nach jenem Schritt, der vom ubiquitären Primär- in den spezifischen Coffeinstoffwechsel führt, ist mit einer Suche nach der berühmten Stecknadel im Heuhaufen vergleichbar, weil nämlich Coffein ein Produkt des äußerst komplexen Purinstoffwechsels ist. Er umfaßt unter anderem die Bildung von Nukleinsäuren, energiereichen Verbindungen und Co-Substraten, wobei *de novo*-Synthese, Rückführung, Wiederver-

wertung und Speicherung miteinander verstrickt sind. In einem solchen System sind Tracerversuche nur dann sinnvoll, wenn die Kinetik auf jeder Ebene (Basen, Nukleoside, Nukleotide) verfolgt und die jeweilige Poolgröße bestimmt werden kann, was aufwendige Experimente mit anspruchsvoller Analytik bedingt. 2. Die Aufklärung der Coffeinsynthese wurde durch ein unerwartetes Ergebnis begünstigt: Von außen zugegebenes Adenin, also ein typisches Produkt des Primärstoffwechsels, wird vom Pflanzengewebe effizient zu Coffein umgewandelt. Die höchsten Einbauraten von 60 bis 80% konnten in *in vitro*-kultivierten Kaffeezellensuspensionen gemessen werden, wobei Adenin von hoher spezifischer Radioaktivität, also geringer Konzentration, eingesetzt worden war (Schulthess & Baumann 1995 b). Wird das Pflanzengewebe mit vergleichsweise hohen Konzentrationen an Adenin „überflutet“, so findet ebenfalls, doch mit erheblicher Verzögerung, der Umbau in Coffein statt. Überschüssiges „Puringerüst“ wird vorübergehend in Form von Xanthosin gespeichert, welches deshalb lange als direkter Coffeinvorläufer angesehen wurde (Suzuki et al. 1992). 3. Schließlich wissen wir heute, daß die erste Methylierung auf Stufe der Nukleotide stattfindet. Die Bildung von 7-MethylXMP, wie sie in Abb. 2 gezeigt wird, ist höchstwahrscheinlich die Nahtstelle zwischen Primärstoffwechsel und Coffeinbiosynthese. In welchem Zellkompartiment letztere stattfindet, ist nicht bekannt.

Die Blätter beispielsweise des Kaffees verlieren mit der Alterung zusehends ihr Coffein und fallen coffeinfrei vom Strauch. Rund 29% der Molekülmasse dieses Sekundärstoffs sind Stickstoff, auf den die Pflanze offenbar nicht verzichtet, welcher aber nicht in Form von Coffein sondern seiner Kataboliten der Pflanze vor dem Blattfall rückgeführt wird. Seit der klassischen Arbeit von Kalberer (1965) zum Coffeinabbau im Kaffee, in welcher nebst Demethylierungen der Katabolismus zu Allantoin, Allantoinsäure und

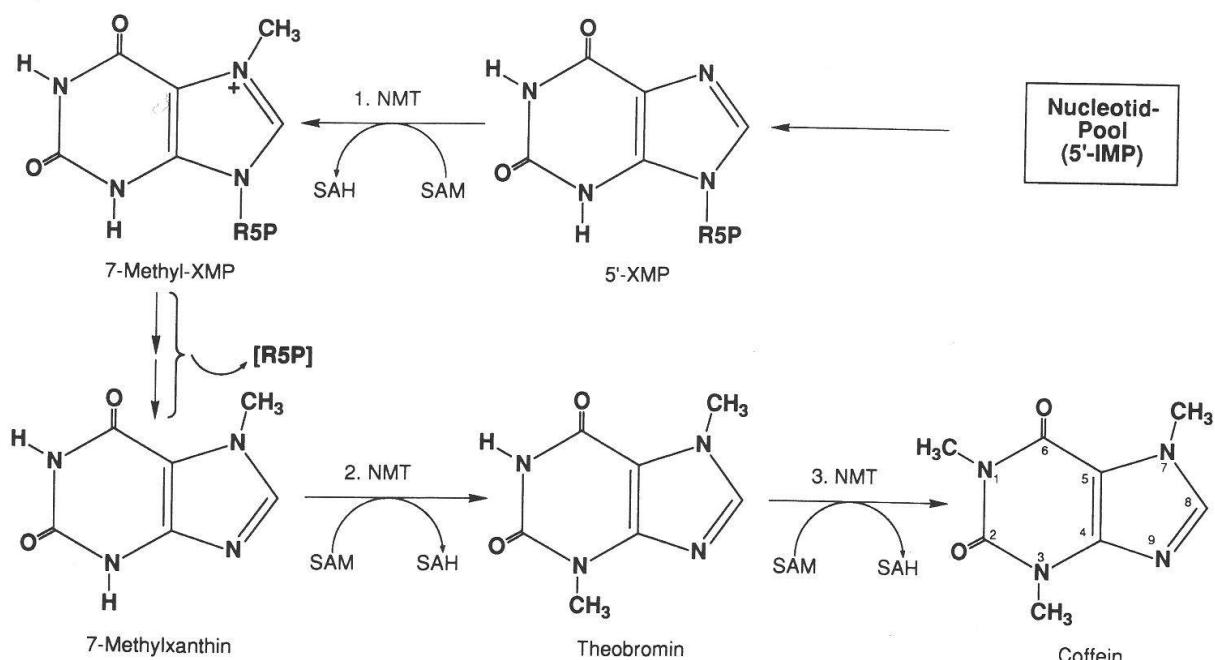


Abb. 2. Biosynthese des Coffeins. Ausgangspunkt ist Xanthosinmonophosphat (5'-XMP), welches nach dreifacher Methylierung und Abspaltung des Ribosephosphatrestes (R5P) Coffein ergibt. Methylgruppen-Donor ist S-Adenosylmethionin (SAM). Das Schema basiert auf den Arbeiten von Schulthess und Baumann (1995 a), Schulthess und Baumann (1995 b), Schulthess et al. (1996).

Harnstoff gezeigt wurde, sind hierzu keine nennenswerten Fortschritte erzielt worden (siehe z. B. Ashihara et al. 1996). Hingegen ist der Coffeinkatabolismus im Menschen bestens bekannt. Das in der Leber lokalisierte, Cytochrom-P450-abhängige Entgiftungssystem metabolisiert Coffein und verwandte Verbindungen in drei Prozessen: Demethylierung zu Dimethyl- und Monomethylxanthinen, Oxidation zu den entsprechenden Methylharnsäuren, Öffnung des Imidazolringes und damit Bildung substituierter Aminouracile (Arnaud 1984). Der Coffeinabbau eignet sich deshalb für den klinischen Leberfunktions- test.

In der Regel akkumulieren alle Gewebe purinalkaloidhaltiger Pflanzen mäßige bis sehr hohe Konzentrationen an Coffein und verwandten Verbindungen (ca. 0,2 bis 7% des Trockengewichtes). Ausnahmen sind die Wurzel des Kaffees und der reife Arillus von Guaraná (s. 5.6), die alkaloidfrei sind. Sowohl die Sproßachse als auch die Laubblätter zeigen einen von der Spitze zur Basis der Pflanze abnehmenden Konzentrationsgradienten. Ebenso wie die jungen Blätter haben auch die jungen Früchte und die Blüten meist hohe Alkaloidgehalte, was einen ersten Hinweis auf eine mögliche Funktion liefert: Junge, zarte und/oder nährstoffreiche Organe genießen einen ausgeprägten chemischen Schutz, der später (z. B. während der Verfestigung des Blattes) durch einen mechanischen ergänzt oder ersetzt wird (siehe auch Kap. 4, „Physiologie und Ökologie“). Ganz passend, und als Ausnahme die Regel bestätigend, fügen sich hier die Kotyledonen des reifen Teesamens ein, welche einen nur geringen Gehalt (0,05%) an Coffein aufweisen, aber von einer stark coffeinhaltigen Testa sowie einer dicken, hartschaligen und ebenfalls coffeinhaltigen Kapsel eingeschlossen sind (Weevers 1930, Suzuki & Waller 1985).

Zum Ferntransport in der Pflanze gibt es meines Wissens nur die bald 25jährige Arbeit aus unserem Institut, in welcher mit doppeltmarkiertem Coffein gezeigt wurde, daß im Kaffee von Blatt zu Blatt nur eine geringe, hingegen von der Fruchtwand in die Samen eine bedeutende Verfrachtung stattfindet (Baumann & Wanner 1972), obschon letztere die Fähigkeit der *de novo*-Synthese besitzen (Keller et al. 1972). Der Nahtransport der Purinalkaloide von Pflanzenzelle zu Pflanzenzelle oder innerhalb dieser wickelt sich, wie die neuesten Studien zeigen, in einer recht unüblichen Weise ab und wird offenbar durch das „ambivalente Verhalten“ (gute Lipid- und Wasserlöslichkeit) bedingt, welches beim Coffein am stärksten ausgeprägt ist. Aus dem täglichen Umgang mit coffeinhaltigen Genußmitteln wissen wir, wie rasch die stimulierende Wirkung zu verspüren ist und wie unverzüglich deshalb die Verteilung des Coffeins in unserem Körper vor sich gehen muß. In der Tat werden maximale Plasmakonzentrationen bereits nach 15–45 Minuten erreicht (Elias 1985). Coffein respektiert keine Zell- oder Organgrenzen: es durchdringt die plazentare Schranke und erreicht sozusagen ungehindert den Foeten. Es erscheint nur leicht abgereichert in der Muttermilch, und im Speichel dient es der einfachen Bestimmung seiner Halbwertzeit, die großen individuellen Schwankungen unterliegt (Durchschnitt 4–6 h) und im letzten Trimester der Schwangerschaft stark verlängert ist (Literatur hierzu bei Baumann & Seitz 1992). Es ist zu erwarten, daß die Pflanze zur „Bändigung“ dieses „Hansdampfs in allen Gassen“ etwas Außergewöhnliches „erfunden“ hat, denn sie muß mit Coffein-Konzentrationen umgehen, die etwa 10 000mal so hoch sind wie jene einer eingefleischten Kaffeetante! Alle purinalkaloidhaltigen Pflanzenarten häufen in ihren Zellen hohe Konzentrationen von phenolischen Verbindungen an. Beispielsweise enthält das Teeblatt (*Camellia sinensis*) eine große Zahl von Flavanolen, die gegen 30% seines Trockengewichtes ausmachen, wovon rund ein Drittel auf Gallocatechine entfällt (Roberts 1962). Die Blätter und Samen des Kaffees (*Coffea arabica*) sind reich an Chlorogensäuren, allen voran die 5-Caffeoylchinasäure (5-CQA). Höchst auffällig ist das korrelative Vorkommen der beiden Substanzgruppen Chlorogensäuren und Purinal-

kaloide in den Samen der Gattung *Coffea*: Da ist einmal der stark coffeinhaltige (2–3%) Robusta-Kaffee (*C. canephora*), der bis zu 9% Chlorogensäuren enthält. Daneben stellen wir den etwa halb so starken Arabica-Kaffee (um 1,4%), der etwa 6% dieser phenolischen Säuren akkumuliert. Und schließlich seien die vielen coffeinfreien Arten aus Madagaskar erwähnt, die weniger als 1% Chlorogensäuren aufweisen (Anthony et al. 1993; Carelli et al. 1974). Diese Gleichläufigkeit hatte unseren Verdacht erweckt. Es war nämlich schon seit fast 90 Jahren bekannt (Gorter 1907), daß im Reagenzglas Coffein mit der oben erwähnten Chlorogensäure, 5-CQA, einen löslichen 1:1 Komplex eingeht. Er steht im Gleichgewicht mit den freien Komplexpartnern, deren Ausgangskonzentrationen maßgebend für die Konzentration des Komplexes sind (Sondheimer et al. 1961). Es war also anzunehmen, daß diese Reaktion auch im lebenden Pflanzengewebe, oder genauer in der Vakuole, wo sich die Chlorogensäure befindet (Baumann & Röhrig 1989), abläuft, und daß der Komplex ebenfalls in diesem Kompartiment gefangen bleibt. Wir vermuteten daher, daß dieser rein physikalisch-chemische Prozeß vollumfänglich und alleinig den Aufenthaltsort und die Bewegungsfreiheit des Coffeins in der Pflanzenzelle bestimmen könnte. Hilfreich in der Überprüfung dieser Hypothese erwiesen sich coffeinproduzierende Kaffee-Suspensionskulturen, denn nicht-komplexiertes Coffein erscheint dort, wie zu erwarten, im Medium und kann direkt mittels HPLC quantifiziert werden. Die postulierte Funktion des Komplexes läßt sich am besten überprüfen, wenn die Konzentrationen der Komplexpartner in der Zellkultur eine drastische Änderung erfahren. So werden beide „Kontrahenten“ im Dunkeln kaum synthetisiert (Abb. 3 a), während Licht eine starke, parallele Bildung hervorruft (Abb. 3 b). Starke Konzentrationsunterschiede (von Partner zu Partner) können beispielsweise durch Zugabe (von außen) von Coffein oder durch eine Reduktion der Chlorogensäure-Bildung mittels der Hemmung von PAL, dem Schlüsselenzym der Phenylpropansynthese, erwirkt werden. Kurzum, alle Resultate aus solchen Versuchen bekräftigten die Hypothese, daß die treibende Kraft der Coffein-kompartimentierung die beschriebene Komplexbildung ist, welche auch in der intakten Pflanze diese Rolle spielt. Da Purinalkaloide leicht durch den Tonoplasten permeieren, scheint ein Transportmechanismus überflüssig zu sein. Mehr noch, es gibt gute Anhaltspunkte dafür, daß diese beiden Stoffklassen in ihrer Regulation auf noch unbekannte Weise miteinander verquickt sind, denn die Zugabe von Coffein induziert mittelfristig die Chlorogensäuresynthese, und die experimentelle Hemmung der Chlorogensäurebildung reduziert die Coffeinbildung (Mösli Waldhauser & Baumann, 1996).

4 Physiologie und Ökologie

Es wird immer offensichtlicher, daß Sekundärstoffe polyfunktionell sind, indem sie nicht nur im angestammten Organismus verschiedene Aufgaben erfüllen, sondern auch nach außen, je nach Zielorganismus, ganz unterschiedliche, jeweils hochspezifische Wirkungen entfalten. Für den ersten Fall sei hier das anschauliche Beispiel der cyanogenen Glykoside zitiert (Selmar et al. 1988): In den Samen des Parakautschukbaums, *Hevea brasiliensis* (Willd.) Muell. Arg., haben sie einerseits auf Grund der verletzungsbedingten Freisetzung von Blausäure eine Schutzfunktion gegen Schadorganismen aller Art. Andererseits stellen sie einen wertvollen Stickstoffspeicher dar, der während der Sämlingsentwicklung mobilisiert wird. Obschon die Purinalkaloide wegen ihres großen Stickstoffanteils ideale Stickstoffspeicher-Substanzen wären, wird diese Eigenschaft während der Keimung der Kaffeebohne nicht (Baumann & Gabriel 1984) und während jener der Colanuß (Weevers 1930) nur teilweise genutzt. Sie sind jedoch sehr geeignet, den zweiten

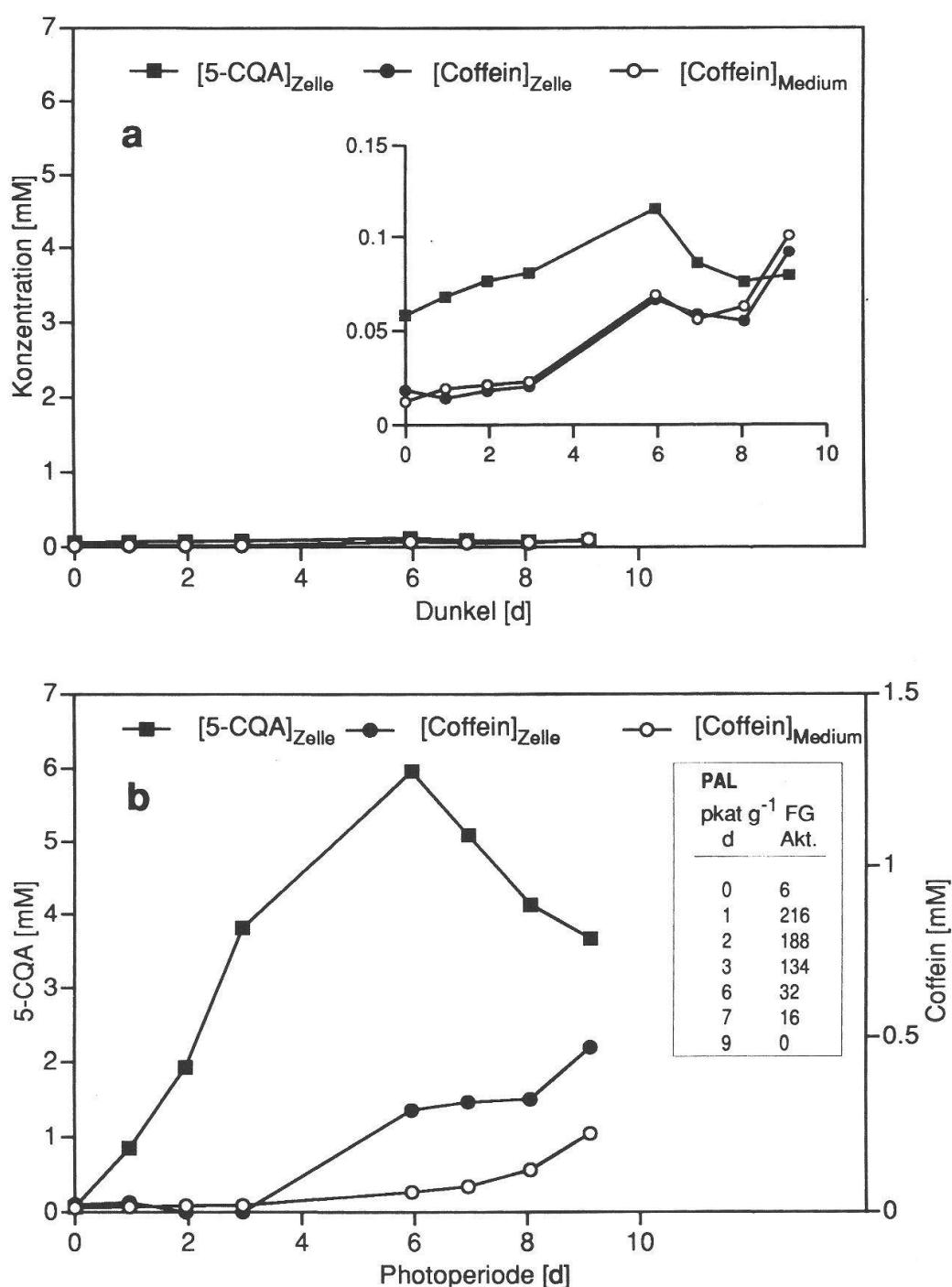


Abb. 3. Coffein und Chlorogensäure in Suspensionskulturen des Kaffees (*Coffea arabica*). Im Dunkeln gewachsene Zellen (a) bilden nur geringe Konzentrationen an Chlorogensäure. Gleicher gilt für Coffein, welches infolge der tiefen zellulären Chlorogensäure-Konzentration zwischen Zellen und Medium praktisch uniform verteilt ist. Im Licht (Photoperiode von 9 h) wird, nach vorgängiger Induktion von PAL, eine starke Bildung von Chlorogensäure hervorgerufen. Mit einer gewissen Verzögerung wird auch die Synthese von Coffein verstärkt. Letzteres ist in der Zelle erheblich angereichert, und zwar als Folge seiner Komplexbildung mit Chlorogensäure (Reprinted from Phytochemistry 42: Möslig Waldhauser S. M. and Baumann T. W., Compartmentation of caffeine and related purine alkaloids depends exclusively on the physical chemistry of their vacuolar complex formation with chlorogenic acids, 985–996, 1996, with kind permission from Elsevier Sciences Ltd, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington OX5 1GB, UK.)

Fall der Multifunktionalität zu illustrieren, welche die spezifischen, gegen verschiedene Organismen gerichteten Wirkungen umfaßt, wobei Coffein in der Regel am potentesten ist. Aus Platzgründen sei hier nur ein stichwortartiger, kurzer Streifzug durch die Hierarchie der Organismenwelt unternommen. In Bakterien wird der „UV dark repair mechanism“ selektiv gehemmt, das heißt, der Reparaturvorgang an der DNS zur Entfernung der durch UV-Strahlung induzierten Thymindimeren wird verunmöglicht, was zum Tod des Bakteriums führt (Kihlman 1977). Die „Manufacturers“ purinalkaloidhaltiger Ge- nußmittel kennen das Schreckgespenst „Mycotoxine“ kaum, welches sonst die Verarbeitung von Pflanzenprodukten aus den warmen Klimazonen hartnäckig begleitet. Soweit untersucht limitieren Coffein und Theobromin das Wachstum der entsprechenden *Penicillium*- und *Aspergillus*-Arten und unterbinden deren Toxin-Produktion (Buchanan et al. 1981). Der Ansatzpunkt ist nicht bekannt. In höheren Pflanzen wird durch Methylxanthine die Bildung der Zellplatte verhindert, es entstehen binukleäre Zellen. Es wird vermutet, daß der Ca^{2+} -abhängige Fusionsprozeß der Golgivesikel, welcher die Bildung der Tochterzellmembranen und der Zellplatten-Komponenten bewirkt, verunmöglicht wird (Verma & Gu 1996). Die Hemmung der Tracheidendifferenzierung in *Zinnia elegans* wird auf einen durch Coffein induzierten Efflux von intrazellulärem Ca^{2+} zurückgeführt (Roberts & Haigler 1992). In Insekten greifen Coffein und Theobromin in den Metabolismus von cAMP, einem „second messenger“, ein, indem sie die entsprechende Phosphodiesterase selektiv hemmen. Dadurch steigt die Konzentration von zyklischem AMP an, womit eine große Zahl von Zellfunktionen tangiert wird, was zu Entwicklungsstörungen und zum Tod führt (Nathanson 1984). Schließlich gelangen wir zu den Säugetieren und ihrem für unsere Zukunft wichtigsten Vertreter, dem *Homo sapiens*. Als möglicher Angriffspunkt wurde früher ebenfalls die vorhin erwähnte Phosphodiesterase (PDE) diskutiert (Butcher & Sutherland 1962), wobei aber bald klar wurde, daß die zur eindeutigen Hemmung der PDE benötigte Coffeinkonzentration im millimolaren Bereich liegt und daher etwa 100mal höher sein muß als jene im Körper nach Coffein-Einnahme. (Wenn wir in Gedanken die in einer Tasse Kaffee enthaltene Coffeimenge von rund 100 mg auf 50 Liter Körperflüssigkeit verteilen, erhalten wir 2 mg/l, was etwa 10 μ M (MG 194) entspricht.) Sattin & Rall (1970) zeigten als erste, daß bei der Wirkung der Methylxanthine ein Rezeptor im Spiel sein muß. Heute wissen wir, daß sie als Antagonisten von Adenosin die mit G-Proteinen gekoppelten, in allen Geweben vorhandenen Adenosinrezeptoren (A1 und A2) blockieren und deshalb Wirkungen hervorrufen, die jenen von Adenosin entgegengesetzt sein können. Letztere Verbindung ist ein Neuromodulator und bewirkt unter anderem eine Sedierung des ZNS, Dilatation der cerebralen Gefäße, Erniedrigung der Schlagfrequenz des Herzens sowie des Blutdrucks und Verminderung der Lipolyse im Fettgewebe (Olah & Stiles 1995, Snyder 1984). Selbstverständlich kommen bei toxischer Dosierung, die z. B. für Coffein bei 15 mg/kg KG beginnt und um 150 mg/kg KG letal ist, noch andere Effekte ins Spiel (Rall 1990).

Diese hier geschilderte Multifunktionalität der Purinalkalioide hat, obwohl in ihrer Entstehung rätselhaft, zweifelsohne eine zentrale ökologische Bedeutung: Die Pflanze benötigt diese Verbindungen (nebst andern) zu ihrer chemischen Verteidigung. Die große Zahl der Generalisten, also Freßfeinde und Schädlinge aller Art, wird in Schranken gewiesen. Auf jeder Entwicklungsstufe gibt es jedoch Spezialisten, welche die phytochemische Barriere scheinbar mühelos überwinden. Dazu gehören zum Beispiel der gefürchtete Kaffeerost (*Hemileia vastatrix* B. et Br.), welcher vor und während der letzten Jahrhundertwende die Arabica-Plantagen in den fernöstlichen Kolonialländern verwüstete, der lästige Kaffeebohrer (*Hypothenemus hampei* Ferrari), der sich in der reifen Kaffeebohne wohlfühlt und dort den ganzen Entwicklungszyklus durchläuft sowie – last

but not least – der Mensch in allen Kulturkreisen, welcher in seiner Geschichte die purinalkaloidhaltigen Pflanzen zu Genußmitteln transformierte.

Bevor wir zu diesen übergehen, wollen wir noch einen kurzen Blick auf die Dynamik der Coffeinbildung während der frühen, kritischen Phase der Entwicklung des Kaffeeblattes (*Coffea arabica*) werfen. „Kritisch“ deshalb, weil wir vorderhand einmal annehmen dürfen, daß das junge, zarte Blatt, wie bereits oben angetönt, über einen nur geringen mechanischen Schutz verfügt, aber gleichzeitig für Freßfeinde eine Quelle von relativ hohem Nährwert darstellt. In Abb. 4a sehen wir, daß das junge Blatt mit hohen Konzentrationen an Theobromin und Coffein ausstaffiert ist (der maximale Absolutgehalt an Coffein wird hingegen erst gegen Ende der Beobachtungszeit erreicht). Die relativen Aktivitäten der entsprechenden Enzyme, *N*-Methyltransferasen (s. auch Abb. 2), erreichen ihre Spitzenwerte in den jüngsten, wenige Millimeter langen Blättchen, um später steil auf einen sehr tiefen Wert abzufallen (Abb. 4b). Die spezifischen Aktivitäten, auf lösliches Blatt-Protein bezogen, zeigen eine ähnliche Charakteristik. Auch die absoluten Enzymaktivitäten sind zu Beginn der Blattentwicklung am höchsten und nehmen weniger steil aber doch stetig mit dem Blattwachstum ab. Es ist augenscheinlich, daß die Maschinerie der Coffeinbiosynthese einsetzt, sobald das Blatt aus der Knospe, welche mit derben Stipeln bedeckt ist, hervorbricht. Dann beträgt der Kohlenstofffluß in das Coffein etwa 15% desjenigen, der in die Atmung geht (Frischknecht et al. 1985).

5 Genußmittelpflanzen

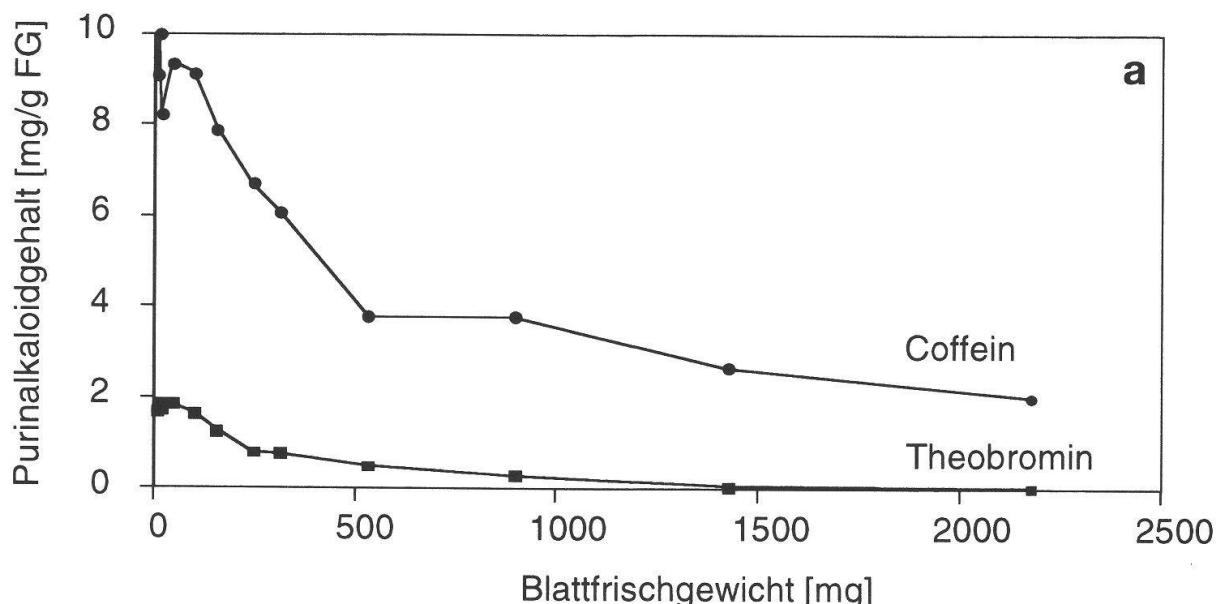
Coffein und verwandte Verbindungen treten in verschiedenen Familien der Dikotyledonen auf, die nicht oder kaum miteinander verwandt sind. Eine Häufung ist in den Sterculiaceae zu beobachten. Innerhalb von Gattungen, in welchen die Purinalkaloide chemotaxonomische Bedeutung haben können, finden wir des öfteren Arten, die praktisch purinalkaloidfrei sind. Abgesehen von der Teepflanze, welche in der Varietät *sinensis* (s. dort) bis in das gemäßigte Klima hineingebracht werden kann, bleibt dieser phytochemische Charakter, soweit bekannt, auf das tropische Klima konzentriert. Obwohl in der älteren Literatur eine große Zahl von Pflanzenarten als purinalkaloidhaltig aufgeführt wird, hat die Überprüfung mit modernen analytischen Methoden ergeben, daß diese Eigenschaft im wesentlichen auf die hier zu besprechenden Genußmittelpflanzen beschränkt ist, die unsere Vorfahren aus Ost und West mit sicherem Instinkt aufspürten (Tab. 1). Es kann nicht die Aufgabe dieses Artikels sein, den Anbau, die Ernte und Verarbeitung dieser Nutzpflanzen *in extenso* zu beschreiben. Vielmehr möchte ich gewisse Aspekte herausgreifen und der Leserschaft schmackhaft machen. Weiterführende Literatur ist jeweils angegeben.

5.1 Kaffee, Rubiaceae (Abb. 5)

Die Gattung *Coffea* L. besteht aus etwa 90 Arten, welche geographisch auf Afrika, Madagaskar und die Maskarenen begrenzt sind (Chevalier 1947). Zwei Arten haben wirtschaftliche Bedeutung erlangt: *C. arabica* L. (Arabica-Kaffee) und *C. canephora* Pierre ex Froehner (Robusta-Kaffee). Zirka 80% des weltweiten Kaffeeanbaus entfällt auf Arabica, der Rest auf Robusta.

Wie die Menschheit auf den Arabica-Kaffee gestoßen sei, davon erzählt die folgende Legende (Sprecher von Bernegg 1934 a): Ein Hirte, der in der Nähe des (abessinischen) Klosters seine Herde weidete, erzählte den Mönchen, wie seine Tiere während der Nacht nicht ruhten, sondern fortwährend lustig und munter herumsprangen. Die klugen Mön-

Relativer Theobromin- und Coffeingehalt (*Coffea arabica*, Blätter)



Relative Aktivität der 2. und 3. NMT (*Coffea arabica*, Blätter)

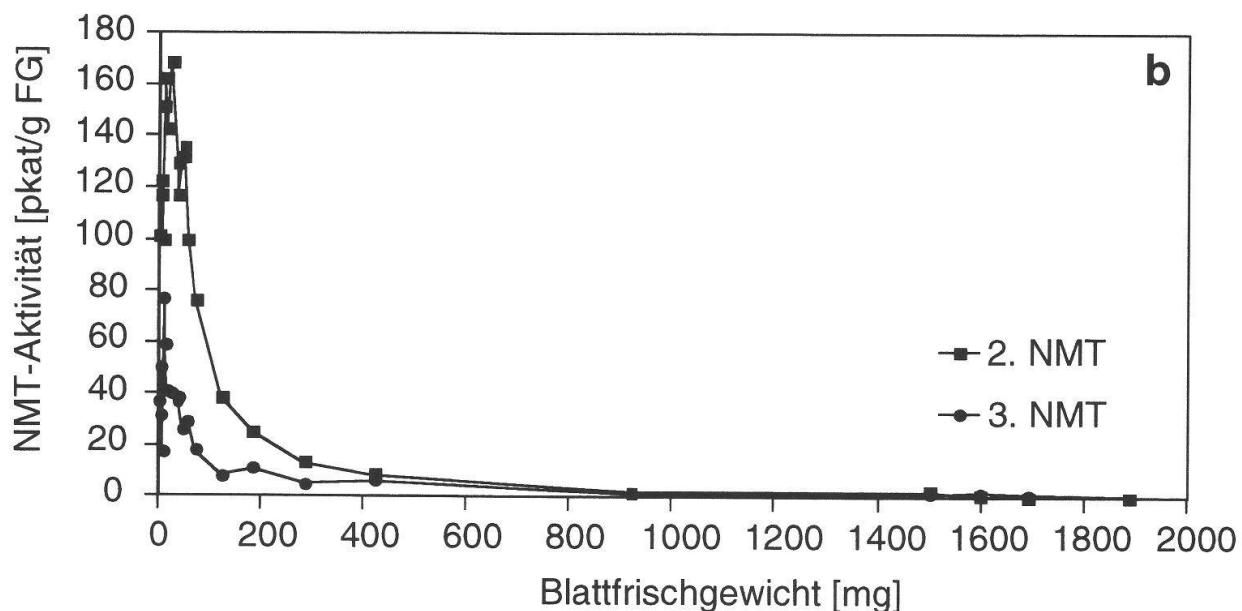


Abb. 4. Purinalkaloide und *N*-Methyltransferasen (NMT) während der Entwicklung des Kaffeblattes (*Coffea arabica*). Ganz zu Beginn der Blattentwicklung, die anhand des Blattgewichtes verfolgt wird, finden wir die höchsten relativen Werte für Caffein und Theobromin (a), was bedeutet, daß dann die chemische Verteidigung mittels Purinalkaloide am wirksamsten ist. In der gleichen Entwicklungsphase haben die entsprechenden Enzyme ihre höchste Aktivität (b), wobei die 2. NMT meistens die 3. NMT übertrifft (Mösl Waldauser et al. im Druck).

Tab. 1. Purinalkaloidhaltige Genußmittelpflanzen

Gattung	Spezies	Familie	Populärname	Heimat	Droge	(%) ^a
<i>Coffea</i>	<i>arabica</i>	Rubiaceae	Arabica-Kaffee	Äthiopien	Same	(1,2)
	<i>canephora</i>		Robusta-Kaffee	Zentral- & W'Afrika	Same	(2,2)
<i>Camellia</i>	<i>sinensis</i> var. <i>sinensis</i>	Theaceae	China-Tee	W'Yunnan (China)	Blatt	(3,5)
	<i>sinensis</i> var. <i>assamica</i>		Assam-Tee	Südchina	Blatt	(3,5)
<i>Ilex</i>	<i>paraguariensis</i>	Aquifoliaceae	Maté	Südamerika	Blatt	(1,3)
<i>Cola</i>	<i>nitida</i> (<i>acuminata</i>)	Sterculiaceae	Kola	Westafrika	Same	(2,5)
<i>Theobroma</i>	<i>cacao</i>	Sterculiaceae	Kakao	Zentral- & S'amerika	Same	(0,2 ^b)
<i>Paullinia</i>	<i>cupana</i>	Sapindaceae	Guaraná	Südamerika	Same	(3,6)
	<i>yoco</i>		Yoco	Südamerika	Rinde	(?)

^a Durchschnittswerte bezogen auf das Trockengewicht.

^b Zudem 1,2% Theobromin, welches ca. 10 × weniger stimulierend ist als Coffein.

che schrieben die Aufregung der Tiere der Nahrung zu, suchten nach der Ursache und fanden da, wo das Vieh weidete, den Kaffeestrauch, der nach ihrer Vermutung der Grund der Ruhelosigkeit sein könnte. Sie pflückten einige Früchte, ließen sie im Kloster kochen und genossen den Aufguß. Sie wurden davon angenehm erregt und verbrachten die Nacht ohne Schlaf. Von nun an bekamen die Mönche, die die Nacht im Gebet zubringen mußten, Kaffee zu trinken. Sie verrieten ihre Entdeckung an Kaufleute, die sofort mit den Kaffeefrüchten zu handeln anfingen, damit schöne Gewinne machten und den Mönchen in der Folge aus Dankbarkeit göttliche Ehre erwiesen.

Mit Sicherheit liegt das Ursprungsgebiet des Arabica-Kaffees in den südwestlichen Bergwäldern Äthiopiens auf 1000 bis 1800 m Höhe, wo die Pflanze in großer Zahl im Unterwuchs der immergrünen, feuchten Berg-Regenwälder gedeiht. Vor etwa tausend Jahren wurde er durch die Araber an der Küste des Roten Meeres, im heutigen Südjemen, erstmals kultiviert. Bekanntlich bildeten wenige Pflanzenexemplare, die aus solchen frühen arabischen Plantagen geschmuggelt wurden, die Grundlage für den Kaffeeanbau in den Kolonialländern. Die schmale genetische Basis war denn auch verantwortlich für das bereits erwähnte, ungehemmte Wüten des Kaffeerostes. Ihre Verbreiterung ist ein Hauptanliegen der Kaffeezüchtung (Berthaud & Charrier 1988, Charrier & Berthaud 1985). Als erstes wurde im Kongobecken kurz vor der letzten Jahrhundertwende *C. canephora* entdeckt. Diese im Handel und Anbau als Robusta-Kaffee bezeichnete Art ist wohl rostresistent, aber aus den folgenden zwei Gründen kein Ersatz für den Arabica-Kaffee, sondern höchstens eine Alternative zu ihm. Erstens sind die klimatischen Ansprüche recht verschieden. Arabica gedeiht optimal im Temperaturbereich von 15 (Nacht) bis 24 °C (Tag). Bei höheren Temperaturen ist die Photosynthese reduziert und die Anfälligkeit gegenüber Kaffeerost erhöht. Tiefere Temperaturen beeinträchtigen das Wachstum. Infolgedessen wird Arabica beispielsweise in den Subtropen auf Meereshöhe oder wenig darüber und unter dem Äquator ab 1500 und bis 2500 m kultiviert. Günstig für den Anbau ohne Bewässerung ist eine jährliche Niederschlagsmenge zwischen 1500 und 2000 mm, welche über eine Zeit von 9 Monaten verteilt sein sollte. Eine 2- bis 3monatige Trockenperiode führt zur Blühinduktion. Robusta-Kaffee hingegen gedeiht nur in relativ niederen Höhenlagen mit konstant hohen Temperaturen und hoher Feuchtigkeit (Mitchell 1988). Zweitens wird die sogenannte organoleptische Qualität des Arabica-Kaffees höher eingestuft, oder vereinfacht ausgedrückt, er mundet den Menschen in



Abb. 6. Somatische Embryonen des Kaffees (*Coffea arabica*).

den Konsumentenländern besser als der Robusta-Kaffee. In den letzten 20 bis 30 Jahren bilden spontan entstandene sowie gezüchtete Kreuzungen zwischen *C. canephora* und *C. arabica* die Hauptphalanx gegen die weltweite Bedrohung der Arabica-Kulturen durch den Kaffeerost. So wird mit gutem Erfolg versucht, die ausgezeichneten Resistenz-eigenschaften des spontan aufgetretenen „Hibrido do Timor“ (4n) durch Rückkreuzungen in die Arabica-Kulturformen Caturra und Catuai einzuschleusen. Die Kreuzungsprodukte Catimor werden zur Zeit in allen Kaffee-Versuchsstationen auf ihre Eignung im Anbau geprüft (Bettencourt & Rodrigues 1988). Nebst der Einkreuzung von Resistenz gegenüber verschiedenen Schadorganismen ist die Absenz von Coffein ein wichtiges züchterisches Ziel, da der weltweite Konsum von coffeinfreiem Kaffee rund 10–15% beträgt und die Entcoffeinierung einen hohen Aufwand an Energie und Technologie erfordert. Die meisten Kaffeearten sind coffeinfrei, und die Frage, weshalb nicht diese für die Zubereitung des coffeinfreien Kaffees gebraucht würden, ist berechtigt. Sie enthalten leider alle – am besten untersucht sind bis anhin Arten in Madagaskar und Ostafrika – ungewohnt bitter schmeckende Diterpenglykoside vom Furokauran-Typ, die den Genuss verunmöglichen. Der Bitterwert entspricht jenem von Coffein, welches jedoch eine vergleichsweise angenehme Bitterkeit besitzt (Prewo et al. 1990).

Wir haben in den letzten Jahren mit Hilfe der Gewebekultur, im speziellen der somatischen Embryogenese, versucht, zu coffeinfreien Kaffeepflanzen zu gelangen. Für viele Pflanzenarten ist bekannt, daß sie nach Regeneration aus der Gewebekultur eine hohe Variabilität aufweisen. Beat Neuenschwander ist es in seiner Doktorarbeit gelungen, die Embryonen des Arabica-Kaffees in Suspension in großer Zahl zu züchten (Abb. 6) und zur Regeneration zu bringen (Neuenschwander & Baumann 1992). Mit einem Enzymimmunotest für Coffein wurden gegen 4000 Embryonen und kleine Pflänzchen auf ihren Gehalt hin analysiert. Etwa 80 wiesen kein oder nur ganz wenig Coffein auf. Mit zunehmendem Alter wurde diese Gruppe immer kleiner, und mit der ersten Verzweigung der Jungpflanzen blieb schließlich kein coffeinarmes oder coffeinfreies Individuum mehr übrig. Auch Exemplare mit sehr hohem Coffeingehalt normalisierten

sich mit der Ausbildung der ersten paarigen Seitenäste. Aus dem Mißerfolg haben wir gelernt, daß die Kaffeepflanze offenbar erst mit der Bildung der (plagiotropen) Verzweigungen ihre volle „Coffeinkompetenz“ erreicht, also dann, wenn sie ins blühfähige Alter kommt und eben an diesen Seitenästen die Anlagen für die ersten Blütenknospen entwickelt. Weitere Literatur zu Kaffee und Coffein findet sich in Baumann & Seitz (1992).

5.2 Kakao, Sterculiaceae (Abb. 7)

Theobroma L. ist eine typisch neotropische Gattung, welche im Regenwald der westlichen Hemisphäre zwischen 18 Grad nördlicher und 15 Grad südlicher Breite heimisch ist und aus etwa 20 Arten besteht. Durch die Entstehung der Anden im frühen Tertiär kam es zur Auf trennung von Populationen, welche die Artbildung durch Isolierung begünstigt haben muß. Die komplexe Topographie des nördlichen Teils von Kolumbien und Zentralamerikas war ebenfalls ein Isolierungsfaktor, der in diesen Gebieten offenbar zu relativ kleinen Artarealen führte. Der größere Teil dieser Arten wird seit Menschenge denken von der lokalen Bevölkerung als Nahrung genutzt, doch nur *Th. cacao* hat bis heute weltwirtschaftliche Bedeutung erlangt (Cuatrecasas 1964). Die anschließende Beschreibung folgt weitgehend der Arbeit von Baumann & Seitz (1994), in welcher auch weiterführende Literatur zum Kakao zu finden ist. Überdies sei auch auf das kürzlich erschienene Buch von Young (1994) verwiesen.

Es werden zwei Subspezies unterschieden, die hier in starker Vereinfachung als Criollo und Forastero (Amelonado) bezeichnet werden und deren Fundorte in Zentral- bzw. Südamerika liegen. Der Criollo hat eiförmige oder ellipsoidische Samen, die im Querschnitt meist rund und von weißer oder gelblich-weißer Farbe sind. Seine Frucht ist stark gefurcht, warzig und länglich. Natürliche Populationen von Criollos wurden in Belize (Britisch-Honduras), Guatemala und im Süden Mexicos (Chiapas) aufgefunden. Der Forastero besitzt mehr oder weniger stark abgeplattete, purpur-rötliche bis dunkelviolette Samen und eine glatte Frucht, die manchmal fast rund sein kann. Die zweifelsfreien Wildstandorte von Amelonados sind Guyana (Britisch-Guayana), Surinam (Niederländisch-Guayana) sowie Französisch-Guayana und der Oberlauf des Rio Branco in Brasilien. Die Vorstellung ist, daß sich infolge der geographischen Trennung durch den Panama-Isthmus zwei Populationen mit den eigenständigen Eigenschaften von Unterarten entwickelt hätten. Ihre Domestikation führte während einiger Jahrtausende vor allem im Gebiet von Zentralamerika-Mexiko zur Selektion von vielen Mutanten, was den dortigen Formenreichtum erklären würde. Schließlich dürfen wir annehmen, daß das Zusammenbringen der zwei Unterarten durch den Menschen zu fertilen und robusten Hybriden (Trinitario) führte, wie dies auf Trinidad geschah, und die verwirrliche Vielfalt der Varietäten noch erhöhte (Cuatrecasas 1964). Die erwähnte Klassifizierung wird mittels RFLP und RAPD weitgehend bestätigt (N'Goran et al. 1994). Das Genom ($2n=20$) besteht aus etwa 2×10^8 Basenpaaren und ist nur wenig größer als jenes von *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. (Couch et al. 1993). Die genetische Karte ist schon weit gediehen (Lanaud et al. 1995).

Der Kakao ist eine Pflanze der feuchten Tropen und wächst am besten in Gebieten mit einer jährlichen Niederschlagsmenge zwischen 1500 und 2000 mm, und mit einer kurzen (< 3 Monate), milden Trockenzeit. Das monatliche (15 °C) und das absolute (10 °C) Minimum bestimmen nicht nur die geographische Breite, sondern auch die Höhe über Meer, in welcher der Kakao noch angebaut werden kann. Erstere liegt zwischen 20 °N und 20 °S, letztere etwa bei 1200 m. Der größte Anteil wird aber unter 300 m ü. M. und im Gürtel zwischen 10 °N und 10 °S Breite kultiviert. Im natürlichen Habitat wächst

Th. cacao in der untersten Baumschicht des tropischen Regenwaldes. Doch erträgt er ganz unerwartet die direkte Sonnenbestrahlung gut und ergibt unschattiert höhere Ernten. Jungpflanzen, die in der Regel aus Samen gezogen werden, müssen beschattet werden (Wood 1975).

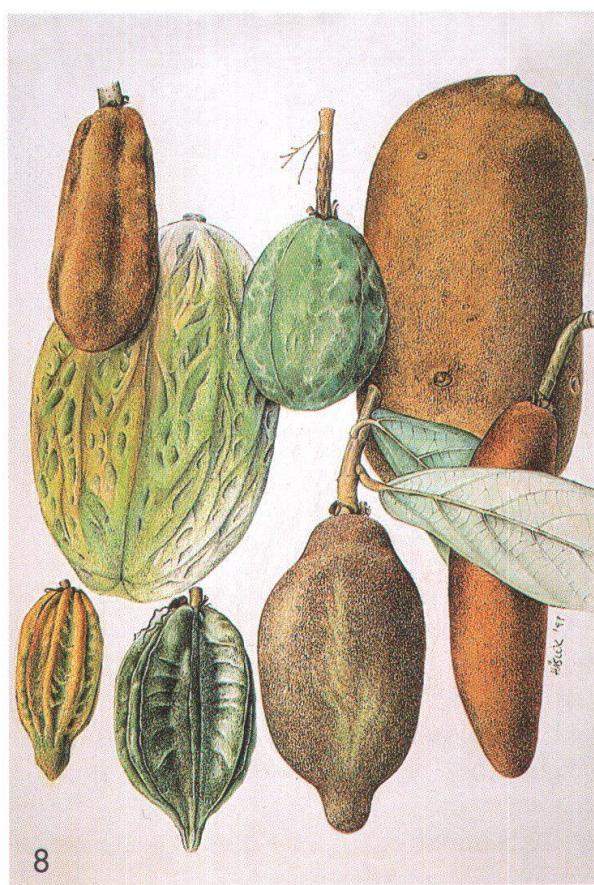
Etwa 5–6 Monate nach der Blüte, welche dem Stamm oder dicken Ästen entspringt (Kauli- oder Ramiflorie), ist die Kakaofrucht erntereif und wird mit einem scharfen Messer abgetrennt. Die Früchte werden sofort oder, was der späteren Qualität keineswegs abträglich ist, auch erst nach wenigen Tagen mit einem Messer meist diagonal geöffnet, wobei die Klinge mit einer schlagenden Bewegung in der Fruchtwand versenkt und anschließend gekippt (abgedreht) wird, was einen Teil der Fruchtschale wegsprengt. Die Bohnen (Samen), welchen der schleimige, weißlich-gelbe Samenmantel (Pulpa) anhaftet, werden gesammelt und die zentrale Plazenta sowie die Fruchtschale verworfen. Die Fermentation, ursprünglich nur ein Akt zur Entfernung der lästigen Pulpa, welche wegen ihrer schmierigen Beschaffenheit jede Handhabung verunmöglicht, ist im Zuge der Kakao-Veredelung zu einem wichtigen Faktor der Aromabildung geworden (Wood 1975, Biehl et al. 1993).

Hauptlieferländer sind die Elfenbeinküste, Brasilien, Malaysia, Ghana, Indonesien, Nigeria, Kamerun, Ecuador, Kolumbien, Dominikanische Republik und Mexico. Die Qualitätsbezeichnungen beziehen sich in der Regel auf das Ursprungsland. Grundsätzlich wird zwischen Edelsorten (flavour cocoas) und Massenware (bulk cocoas) unterschieden. Letztere sind Forasteros (Amelonados), deren Qualität am Handelskakao aus Ghana gemessen wird. Dem ghanesischen Standard kommt der Kakao aus Nigeria am nächsten, während beispielsweise jener aus der Elfenbeinküste tiefer eingestuft wird. Solche Qualitätsunterschiede sind durch das Produktionssystem, die Aufbereitung (Fermentation, Trocknung) und die Klassifizierung in den Anbauländern bedingt. Zu den

Abb. 5. Kaffee. Von rechts nach links sind die fruchtenden Äste von *Coffea arabica*, *C. canephora* und einer *libero-excelsoidea* *Coffea* dargestellt. Letztere hat nicht nur große Früchte, sondern auch riesige Blätter und ist ein etwa 20 m hoher Baum. Die Arabica-Früchte sind ellipsoidisch und locker angeordnet, während jene des Robusta-Kaffees rundlich sind und in dichten „Büschen“ stehen. Illustration Beatrice Häslер, Uster.

Abb. 7. *Theobroma cacao*. 1) Zweig mit junger und reifer Frucht, Blüten sowie jungen (flush) und alten Blättern. Die Blüten am jungen Trieb sind rein dekorativ und entsprechen nicht den natürlichen Gegebenheiten (Kauliflorie!). 2) Reife Frucht längs geöffnet, Samen stilisiert. Die wissenschaftlich-zeichnerische Darstellung der weißen Pulpa mit Silberglanz, durch welchen das Ziegelrot der Samenhaut schimmert, ist schwierig und erheischt als Vorlage eine frische Frucht im richtigen Stadium der Reife. 3) Blüte. 4) Kronblatt bestehend aus der basalen Haube und der gelenkartig verbundenen Spreite. 5) Androecium – Kelch- und Kronblätter sind entfernt – mit den basal zu einer Röhre verwachsenen Staminodien und Staubblättern. 6) Röhre aufgeschnitten und Blick auf das Gynoecium. 7) Querschnitt durch eine unreife Frucht. Die Samen wurden entfernt, damit die Scheidewände, welche sich während der Reife auflösen, sichtbar sind. 8) und 9) Quer- und Längsschnitt durch das Gynoecium mit der zentralwinkelständigen Samenanlage. Lithographie von C. F. Schmidt; reproduziert aus Mischlerlich (1859).

Abb. 8. Wildkakaos (*Theobroma*) und ihre nahen Verwandten *Herrania*. Es sind im Uhrzeigersinn von oben links nach unten links die Früchte der folgenden Arten abgebildet: *Theobroma angustifolium*, *T. bicolor*, *T. speciosum*, *T. grandiflorum*, *T. simiarum*, *T. mammosum*, *Herrania balaensis* und *H. purpurea*. Illustration Beatrice Häsler, Uster



Edelsorten werden in erster Linie die Criollos gezählt, wie sie z. B. in Venezuela (Maraibo, Puerto Cabello), Ost-Java und Samoa produziert werden. Sie sind wenig bitter, aber würzig. Der gleichen Gruppe werden mitunter auch die Trinitarios aus Trinidad, Grenada, Venezuela und Papua-Neuguinea zugeordnet. Schließlich gehört die aus Ecuador stammende, schwach fermentierte Arriba-Sorte „Nacional“, obschon ein Vertreter der Forasteros, ebenfalls zu den Edelkakaos (Wintgens 1991).

„Wildkakaos“ (Abb. 8)

Wie eingangs erwähnt umfaßt die Gattung *Theobroma* etwa 20 Arten (Cuatrecasas 1964), von denen nur die eine, *Th. cacao*, weltwirtschaftlich von Bedeutung ist. Unter den restlichen befinden sich solche, die von der indigenen Bevölkerung als Getränk oder eine Art von Schokolade genutzt werden, wobei bisweilen zu lesen ist, daß sie den üblichen Kakao an Wohlgeschmack sogar übertreffen (Pittier 1908, Brücher 1989). Weil die moderne Kakaozüchtung ganz auf die genetische Vielfalt von *Th. cacao* ausgerichtet ist, fristen diese Wildkakao-Arten ein erbärmliches Schattendasein und sind vom Aussterben bedroht, obschon sie ein wichtiger Gen-Pool für den Kakao-Anbau der Zukunft wären. Mit einer kleinen Auswahl an solchen Kakaofrüchten (Abb. 8) soll der faszinierende Formen- und Farbenreichtum der Gattung *Theobroma* illustriert werden. Zwei Arten der nahverwandten Gattung *Herrania*, welche bezüglich der Ausgestaltung der Blüten jene noch übertrifft (Abb. 10), sind ebenfalls abgebildet. Schließlich muß noch erwähnt werden, daß für die Gattung *Herrania* das Vorkommen von Theacrin, soweit untersucht, typisch ist (Hammerstone Jr. et al. 1994). Gleches gilt *grosso modo* für alle Sektionen der Gattung *Theobroma* mit Ausnahme der Sektion *Theobroma*, welche nur *Th. cacao* enthält, für die Coffein und Theobromin charakteristisch sind. Vier der abgebildeten Früchte seien hier vorgestellt. Die Angaben, falls nicht anders erwähnt, stammen aus den Monographien über *Theobroma* (Cuatrecasas 1964) und *Herrania* (Schultes 1958).

Th. angustifolium Moçiño & Sessé ist im Tiefland Costa Ricas und der benachbarten Länder beheimatet. Sie wird vereinzelt in Zentralamerika und in Südmexiko angepflanzt. Pittier (1908) schreibt hierzu (übersetzt aus dem Spanischen): „An den Abhängen des Pazifiks ist dieser Baum fast immer hoch und dickstämmig und mit symmetrischer Verzweigung, während die Exemplare, welche ich auf der Atlantikseite beobachten konnte, im allgemeinen deformiert und niedrig waren. Die Rinde ist glatt, die Blätter lanzettlich, schmal, und auf der Unterseite weißlich. Die Blüten, welche nur den neuen Ästen entspringen, sind lebhaft gelb und reichlich. Die „Kolben“ sind eiförmig, mehr oder weniger unregelmäßig geformt, dunkel-kastanienbraun oder zimtbraun und nicht sehr groß. In Nicoya, wo der Baum in den Wäldern sehr häufig vorkommt, werden die Samen für „refrescos“ verwendet und die Art wird „cacao de mico“ [mico = langschwanziger Affe] genannt.“

Th. grandiflorum (Willd. ex Spreng.) Schum. hat die größten Blüten innerhalb der Gattung und die größten Früchte unter den brasilianischen Kakao-Arten. Die Früchte fallen zur Reife ohne Fruchtwulst zu Boden. Diese Spezies, welche im südlichen Teil des Staates Pará (Brasilien) und dem angrenzenden amazonischen Maranhão beheimatet ist, wird Cupuassú (mit unterschiedlicher Schreibweise) genannt. Aus der Pulpa, deren Geschmack Llewelyn Williams mit dem von Guanábana (Soursack, *Annona muricata*) verglich, werden Fruchtsäfte, Eiscreme, Gelee und Purée hergestellt und zum Teil exportiert. Cupulade (engl. cupulate) ist der Name für die Schokolade aus den Cupuassú-Bohnen (Abb. 9). An Ort werden auch Pralinen angefertigt, mit einer Füllung aus Pulpa und



Abb. 9. Schnitt durch den Samen von *Theobroma grandiflorum*, der zur Hauptsache aus den stark gefalteten Keimblättern besteht. An seiner Oberfläche befinden sich Reste der Pulpa.



Abb. 10. Blüten von *Herrania purpurea* mit ihren lang ausgezogenen Kronblattzipfeln.

überzogen mit Cupulade aus der Bohne, sozusagen die technologische Invagination (outside in und inside out) des Cupuassú-Samens! Der steigende Bedarf an Cupuassú-Rohprodukten (Pulpa, Butter, Bohnen) hat dazu geführt, daß diese Spezies je länger je mehr in Pará und im östlichen Teil des Amazonas angebaut wird. Die heutige Verwendung der Samen zur Herstellung von Cupulade, was als eine Erweiterung der traditionellen und ausschließlichen Verwertung der Pulpa angesehen werden kann, muß mit Vorsicht verfolgt werden: Die Samen enthalten etwa 0,25% Theacrin (Baumann & Wanner 1980), dessen Pharmakologie und Toxikologie im Vergleich zu Theobromin und Coffein wenig untersucht ist (s. auch Kihlman 1977).

Th. mammosum Cuatr. & León. Sie hat ihre Heimat in Costa Rica, aber dort lediglich und zudem äußerst selten in den Bergen der Ostküste. Es sind bis anhin nur drei Funde bekannt (!), nämlich in der Nähe von Limón sowie Síquirres in den späten Vierzigerjahren (100–300 m ü. M.) und bei Heredia (700–800 m ü. M.) im Jahre 1959. Anscheinend wurde die Verwendung dieser Art nie erprobt.

Herrania purpurea (Pittier) Schultes. Es ist dies der einzige bis jetzt bekannte Gattungsvertreter, der außerhalb Südamerikas natürlicherweise vorkommt. Das Genzentrum liegt im südlichen Mittelamerika und hat einen Ausläufer bis zum äußersten Nordwesten Kolumbiens. Die spektakulären, stammbürtigen Blüten sind in Abb. 10 zu sehen. Die Früchte dieser Art sind relativ klein und mit feinen stechenden Haaren übersät. Gemäß Pittier (1908) verwenden die Bribri-Indianer Costa Ricas die gerösteten Samen für die Zubereitung eines bitteren Getränks. Ob *Herrania* als eine Sektion von *Theobroma* oder als eine eigenständige Gattung zu betrachten sei, ist wiederholt diskutiert worden.

5.3 Tee, Theaceae (Abb. 11)

Die hier verwendeten Angaben stammen, falls nicht anders vermerkt, aus den Werken von Sealy (1958) und Chang und Bartholomew (1984), wo auch weiterführende Literatur zu dieser Genußmittelpflanze zu finden ist.

Camellia sinensis (L.) O. Kuntze besteht aus zwei gut unterscheidbaren Varietäten. Die eine, kälteresistenter, in China angepflanzt und vermutlich auch dort (West-Yunnan) heimisch, hat schmalere und im allgemeinen kleinere Blätter mit stumpfer oder breit-abgestumpfster Spitze oder gelegentlich zu einer sehr kurzen und sehr breit gerundeten Spitze ausgebildet. Es ist dies die ursprünglich von Linné bezeichnete *Thea sinensis* und wird mit *C. sinensis* var. *sinensis* (China-Tee) benannt. Die zweite, kälteempfindlichere Varietät mit mehr südlicher Verbreitung ist in den wärmeren Teilen von Assam, Burma, Siam, Indochina und Südhina heimisch. Sie hat im Vergleich zum China-Tee breitere und gewöhnlich größere, dünn-lederige, schwach zugespitzte Blätter. Dies ist *C. sinensis* var. *assamica* (Assam-Tee).

Es wird in der älteren Literatur des öfteren darüber berichtet, daß die Teepflanze in China weitverbreitet als Teil der natürlichen Vegetation wild vorkomme, was mit Recht verschiedentlich bezweifelt wird, da ja meistens nicht entschieden werden konnte, ob es sich nicht um verwilderte, d. h. aus Plantagen oder Kollektionen stammende Individuen handelte. Auf Grund der Funde durch Augustine Henry (1857–1930) in unberührten Wäldern weitab von jeder Zivilisation und zwischen 2300 bis 3000 m ü. M. steht ziemlich fest, daß der westliche und südliche Teil der Provinz Yunnan die Heimat des China-Tees ist. Es scheint, daß Teetrinken ab dem 6. oder 7. Jahrhundert in China populär wurde und die Pflanze relativ früh nach Japan zur Kultivierung eingeführt wurde. Aber erst im Zuge des wachsenden Fernosthandels brachten die Europäer die Teepflanze in weitere Regionen: 1690 nach Java (Holländer), 1780 nach Indien (Engländer). Der eigentliche

Anbau in Java, Indien und Ceylon fand jedoch viel später, nämlich um die Mitte des 19. Jahrhunderts, statt.

Die Teeplantage wird in der Plantage durch Zurückschneiden als Busch und in der Hecke gezogen. Natürlich würde sie sich zu einem etwa 10 m hohen Baum entwickeln. Vermehrt wird meistens mit Stecklingen aus jungen Trieben. Zur Zeit sind Assam, Sri Lanka, Nordindien und Java die Hauptanbaugebiete außerhalb Chinas, wobei heute vorwiegend Assam-Tee oder Hybriden angepflanzt werden.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts richtete sich das Interesse der Engländer auf eine Tee-Varietät in Assam, welche dort von den Eingeborenen angepflanzt und genutzt wurde. Eine eigens für die Erkundung und Acquisition dieses Tees eingesetzte Delegation der „East Indian Company“ ließ sich am 16. Januar 1836 die Zubereitung des Getränks vorführen, und William Griffin, selbst Mitglied dieser Gruppe, schreibt dazu folgendes: „Ich muß vorausschicken, daß sie (die Singphos) ausschließlich die jungen Blätter verwenden, welche sie in großen eisernen und sauberen Gefäßen rösten, oder besser gesagt halb rösten, wobei sie diese Blätter umrühren und in ihren Händen rollen. Anschließend setzen sie die Blätter der Sonne aus, oder auch abwechselnd dem Tau und der Sonne. Schließlich werden damit Bambus-Rohre vollgestopft.“

Die umfassendste Darstellung des Tee-„Manufacturing“ haben wir jedoch C. A. Bruce, der zu den ersten Entdeckern des Assam-Tees gehört, aus dem Jahre 1837 (publ. 1839) zu verdanken: „Die Singphos kennen und trinken den Tee seit langer Zeit, aber sie bereiten ihn in einer ganz anderen Art als die Chinesen. Sie pflücken die jungen, zarten Blätter und trocknen sie ein wenig an der Sonne; andere legen die Blätter in den Tau und dann wieder an die Sonne, dies während drei Tagen; wieder andere geben die Blätter bereits nach kurzem Trocknen in eine heiße Pfanne und rühren sie, bis sie heiß sind, um sie nachher mit einem Stecken in ein Bambusrohr zu stopfen, wobei der Bambus während des Auffüllens über dem Feuer gedreht wird. Die Öffnung wird mit anderen Blättern verschlossen und das Rohr am rauchigsten Ort der Hütte aufgehängt; Tee auf diese Weise präpariert, ist auf Jahre hinaus haltbar. Weiter ostwärts heben die Leute ein Loch aus, welches sie mit großen Blättern auskleiden. Die Teeblätter werden gekocht und nach Verwerfen des Decocts zur Fermentation ins Loch gefüllt, mit Blättern zugedeckt und mit Erde beschwert. Nach Abschluß der Fermentation wird das Material in Bambus eingefüllt und so auf den Markt gebracht.“

Die heutige Aufbereitung geschieht in den Produzentenländern fast ausschließlich maschinell und besteht für Schwarztee aus den Schritten Welken, Rollen, Fermentieren, Trocknen und Sortieren. Die Blätter werden auf großen Tüchern oder Gittern ausgebreitet und in gut gelüfteten Räumen der natürlichen Welkung ausgesetzt. Nach 24 h gelangt der jetzt lippige Tee in Teerollmaschinen, in denen die Blätter durch kreisende Bewegungen aufgerollt werden. Die Fermentation ist qualitätsentscheidend (23–25 °C, 100% rel. Luftfeuchte, ständige Lufterneuerung) und verleiht dem Tee sein dunkles Aussehen. Sie wird durch eine schnelle Trocknung im Heißluftstrom (80–100 °C) beendet. Grüner Tee ist nicht fermentiert.

Die gute Teequalität ist charakterisiert durch die Formel „two leaves and the bud“. Abweichungen nach unten und oben werden wie folgt bezeichnet: Kongo, Bohi = alte, grobe Blätter; Souchong = große, weiche Blätter; Pekoe Souchong = 6.–3. Blatt; Orange Pekoe = 2. und 1. Blatt; Flowery orange Pekoe (FOP) = enthält Knospen; Tippy Golden Flowery Orange Pekoe (TGFOP) = enthält ausschließlich Knospen.

Ich möchte die Besprechung dieser Genußmittelpflanze nicht beenden, ohne auf die Schädlichkeit des Teetrinkens hinzuweisen. Etwas weniger schädlich dürfte der Kaffee sein, wie diese wahre Geschichte aus dem späten 18. Jahrhundert erzählt, als sich in

Schweden für jedes Getränk eine Partei bildete (Sprecher von Bernegg 1934a): „Der freisinnige König Gustav III, der von 1771 bis 1792 regierte, suchte dem Parteigezänke durch einen großzügigen Versuch ein Ende zu machen. Zwei Mörder, in ihrem Körperbau vollständig übereinstimmende Zwillingssbrüder, sollten gehängt werden. Der König begnadigte sie zu lebenslänglichem Zuchthaus und bestimmte, daß der eine täglich eine Riesenportion starken Kaffees und der andere die gleiche Quantität starken Tees trinken müsse. Zwei Mediziner, der eine von der Tee-, der andere von der Kaffeepartei, mußten das Experiment überwachen, die Wirkung beobachten und feststellen, welcher der beiden Missetäter zuerst von dem sicher wirkenden Gift ins Jenseits befördert werde. Zu ihrem großen Ärger ließ der Tod auf sich warten. Es vergingen Tage, Wochen, Monate, Jahre. Der eine der Professoren starb, dann der andere, der König wurde ermordet, und die beiden Todeskandidaten lebten und tranken täglich ihre Todesration Kaffee und Tee. Endlich starb als erster – Triumph des Kaffees! – der Teetrinker im Alter von 83 Jahren.

5.4 Maté, Aquifoliaceae

Eine gründliche Arbeit über Maté wurde von Sprecher von Bernegg (1936) verfaßt. Seither soll sich im Anbau und in der Verarbeitung wenig verändert haben. Unsere eigenen wissenschaftlichen Kontakte mit dieser Genußmittelpflanze sind noch rudimentär. So hat der Autor noch nie einen Matéstrauch in Kultur oder freier Natur gesehen und faßt sich hier dementsprechend kurz.

Ilex ist eine über die ganze Welt verbreitete Gattung mit einer Häufung im tropischen sowie gemäßigten Asien und Amerika. Viele der südamerikanischen *Ilex*-Arten werden zur Zubereitung von Getränken, vor allem Tees, verwendet. Die prominenteste unter ihnen, *I. paraguariensis* St. Hil. (Matéstrauch), ist in den bergigen Gegenden Südbrasiiliens, Paraguays und Uruguays heimisch, wurde erst vor gut 100 Jahren in Kultur genommen und wächst optimal bei 20–23 °C und bei jährlich 1300–2000 mm Niederschlag.

Alle zwei bis drei Jahre werden die jungen Äste geerntet und über dem Feuer getrocknet. Nachher werden die Blätter durch Schlagen mit Knebeln entfernt und nach einem weiteren „Röstprozeß“ über dem Feuer entweder grob zerkleinert oder zu Pulver gemahlen. Maté bedeutet Kürbis, der früher ausgehöhlt als Trinkgefäß diente (Abb. 12). Heute wird der Tee aus metallenen, kürbisähnlichen Gefäßen mit enger Öffnung getrunken, und zwar mit Hilfe eines Trinkrohres (Bombilla), welches am unteren Ende ein Sieb besitzt. Maté ist das National-Getränk Südamerikas. Der Gehalt von Coffein liegt zwischen 0,9 und 1,7% (Clifford und Ramirez-Martinez 1990). Es wird von außergewöhnlich hohen Theobrominkonzentrationen begleitet (0,5–0,9%). Die bei uns wachsende Stechpalme, *I. aquifolium*, ist purinalkaloidfrei.

5.5 Cola, Sterculiaceae (Abb. 13)

Die Gattung *Cola* besteht aus rund 60 Arten, die alle im tropischen Afrika beheimatet sind. Davon werden zwei Arten kultiviert, nämlich *C. acuminata* (P. Beauv.) Schott & Endl. und *C. nitida* (Vent.) Schott & Endl., die sich beispielsweise in der Zahl der Speckerkotyledonen unterscheiden. Erstere besitzt 3–6, letztere meist 2. Auch mit dieser Genußmittelpflanze haben wir bis anhin nur einen sporadischen Umgang gehabt. Sie wird hier deshalb summarisch und mit Beschränkung auf die vorrangig angebaute *C. nitida* abgehandelt. Verwendete und weiterführende Literatur: Brücher (1977), Seitz und Kraus (1992), Sprecher von Bernegg (1934b).

Der Colabaum (*C. nitida*) ist in den Wäldern von Sierra Leone, der Elfenbeinküste und ostwärts bis Ghana heimisch. Er wurde von den Sklaven im 17. Jahrhundert nach Jamaika und Brasilien gebracht. Dort wie auch in Asien (z. B. Java) wird Cola im bescheidenen Rahmen kultiviert. Im angestammten Kontinent Afrika wird *C. nitida* vor allem in Nigeria und Ghana angebaut, und zwar um 6–7 Grad nördlicher Breite mit einem jährlichen Niederschlag von 1300–1800 mm und mit ausgeprägter Trocken- und Regenperiode. Sie bevorzugt nährstoffreiche, gut drainierte Böden. In Ghana werden bei Rodungen natürlich vorkommende Colabäume stehengelassen und dienen als Schattenspender für Kakao. Der Baum trägt sowohl Zwitter- als auch männliche Blüten, meist in verschiedenen Blütenständen, wobei der Pollen der Zwitterblüte nicht „abgestoßen“ wird. Selbst-Inkompatibilität ist häufig. Die Bäume verhalten sich bezüglich der Ausbeute an Nüssen sehr heterogen. Der durchschnittliche Ertrag beträgt rund 200 Nüsse p. a. mit den Extremen 0 und über 2000. Die Ertragsselektion scheint äußerst schwierig zu sein.

Die Haupternte in Nigeria dauert vom September bis Januar. Die reifen zusammengesetzten Balgfrüchte werden, bevor sie sich öffnen, mit einer langen Stange, an deren Ende eine scharfe Klinge fixiert ist, vom Baum geschnitten. Die Früchte werden aufgebrochen und die Samen in Haufen während etwa fünf Tagen fermentiert. Die weiße Samenhaut zerfällt dabei vollständig. Die Samenkerne (= „Nüsse“) werden gewaschen, gereinigt und können in mit frischen Blättern ausgekleideten Körben während Monaten aufbewahrt werden.

Die Colanuß wird ohne weitere Verarbeitung gekauft. Seltener wird auch ein Getränk hergestellt, indem die pulverisierte Nuß in Wasser aufgekocht wird. Die Colanuß ist ein uraltes Genußmittel der Afrikaner und durchdringt als solches ihr ganzes Leben. Colanüsse gehörten zu den Geschenken, die der Bräutigam dem Vater der Braut zu machen hatte. Auch krönte der Genuß dieser „Samen“ jeden Geschäftshandel.

Es ist hinlänglich bekannt, daß die in unseren Breitengraden angebotenen Cola-Getränke, abgesehen vom Namen, heute mit der Pflanze nichts mehr zu tun haben. Die gleiche unheilvolle Entwicklung bahnt sich bei der nächstfolgenden Pflanze, Guaraná, an: Der ursprünglich zugesetzte Extrakt verschwindet heimlich aus der Formulierung, der Name der Pflanze hingegen prangt weiterhin auf dem Etikett, was auf gut Deutsch Etikettenschwindel heißt. Es versteht sich von selbst, daß dieser „Fortschritt“ den Beitrag der Produktionsländer im wahrsten Sinne des Wortes überflüssig macht. Die moderne Getränkeindustrie scheut die Logistik der Pflanzenprodukt-Beschaffung und verlegt sich auf das Design der Dose, deren Inhalt unwichtig wird. Die Innovation findet auf der Oberfläche statt. Das Nachsehen hat die Konsumentenschaft, die mit einem naturfremden Einheitsprodukt „abgefüllt“ wird, welches Coffein aus der industriellen Entcoffeinierung enthält. Was uns mit der heutigen Getränkeunkultur an phytotherapeutischer Unterstützung abgeht, sei mit der Schilderung der Colanuß durch Odoardo Lopez (deutsche Übersetzung aus dem Jahre 1591; Sprecher von Bernegg 1934 b) in Erinnerung gerufen: „Es wachsen noch andere Bäume, die eine Frucht tragen, welche sie Cola nennen, und ist in der Größe wie ein Dattelpflaum und hat inwendig andere Früchte wie Kastanien, in welchen vier unterschiedliche Leibfarbe Kerne [es wird berichtet, daß innerhalb einer Frucht unterschiedlich pigmentierte Samen nebeneinander vorkommen. Anm. d. A.]. Sie nennen sie in den Mund, kauen und essen sie für den Durst und brauchen sie zu dem Wasser, dem sie einen guten Geschmack mit machen. Sie seindt gut dem Magen und bringen ja wiederum zurecht, wenn er mit unordentlichem Essen und Trinken verderbt ist.“

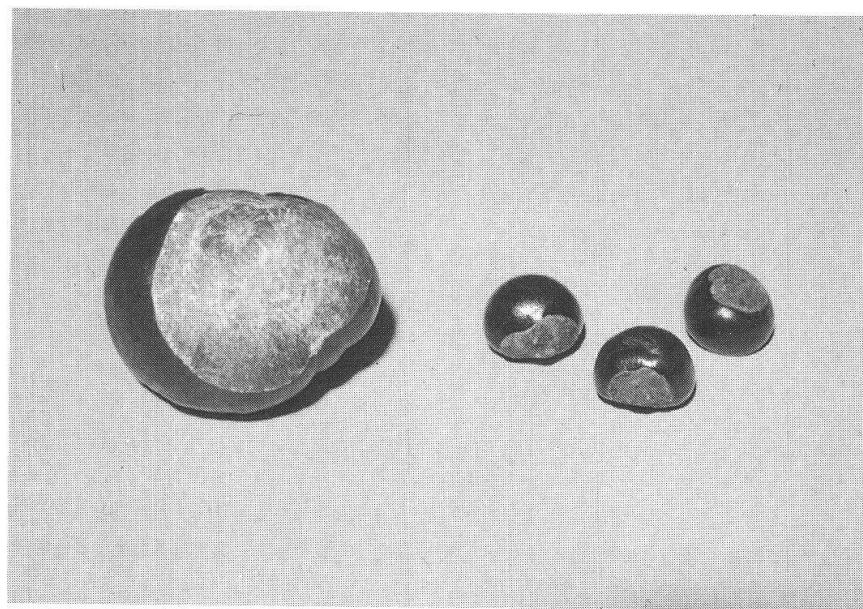


Abb. 15. Guaraná-Samen im Vergleich mit unserer Roßkastanie.

5.6 *Guaraná*, Sapindaceae (Abb. 14)

Die Gattung *Paullinia* besteht aus rund 180 Arten, die mit Ausnahme der weitverbreiteten *P. pinnata* auf die Neotropen eingegrenzt sind. Etwa 40 Arten dienen den Einheimischen seit Jahrhunderten als Fischgifte, als Medizin und zur Zubereitung von stimulierenden Getränken (Beck 1990). Für den letzteren Zweck werden die stark coffeinhaltigen *P. cupana* H. B. K. var. *sorbilis* (Mart.) Ducke und *P. yoco* Schultes & Killip eingesetzt. *P. yoco*, aus deren Rinde das Getränk zubereitet wird (Schultes 1941), hat nur lokale Bedeutung und soll hier nicht behandelt werden.

P. cupana var. *sorbilis*, auch Guaraná genannt, ist sehr wahrscheinlich die kultivierte Varietät des Wildtypus var. *cupana* Ducke, welche erstmals von Alexander Humboldt vor rund 190 Jahren am oberen Orinoco in Venezuela aufgefunden worden war. Spätere Funde beschränkten sich auf das Gebiet des oberen Amazonas (Radlkofer 1895).

Wenn wir Abbildung 14 betrachteten, so scheint es, als würden uns Augen entgegenblicken. Dieses Phänomen hat begreiflicherweise die Fantasie der indigenen Bevölkerung

Abb. 11. Teeblüte.

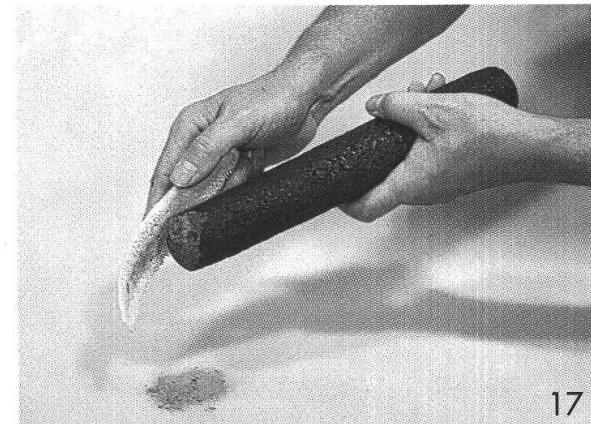
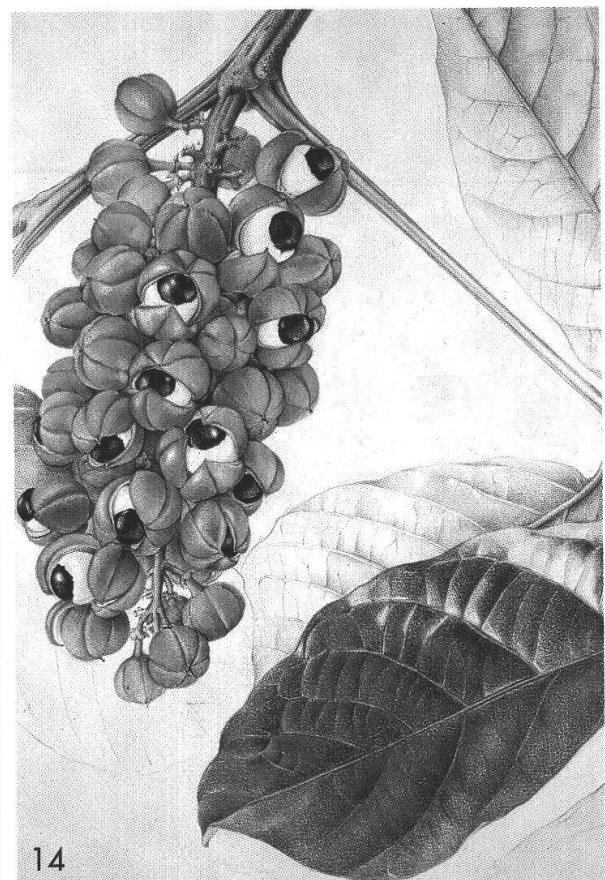
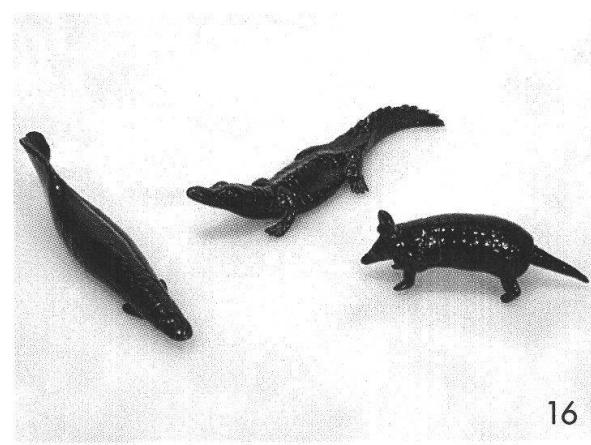
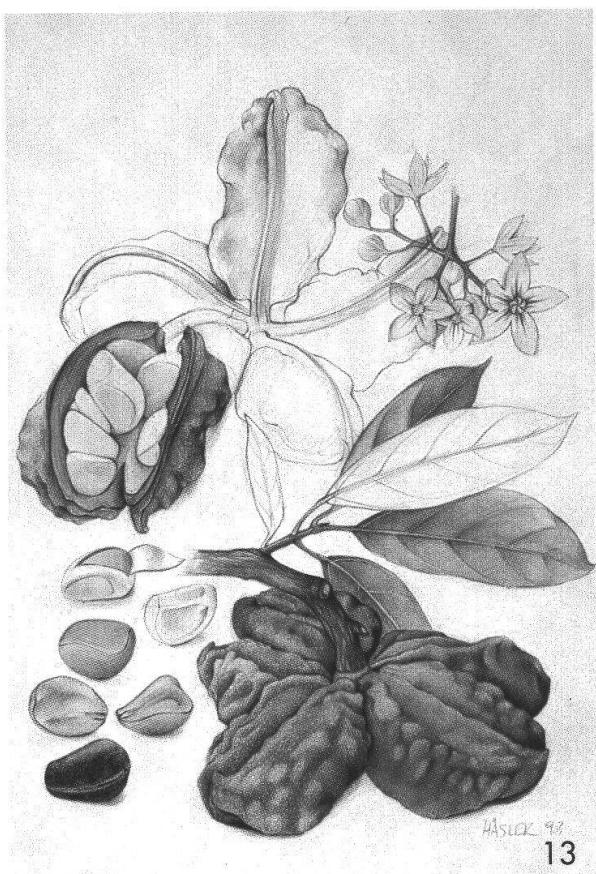
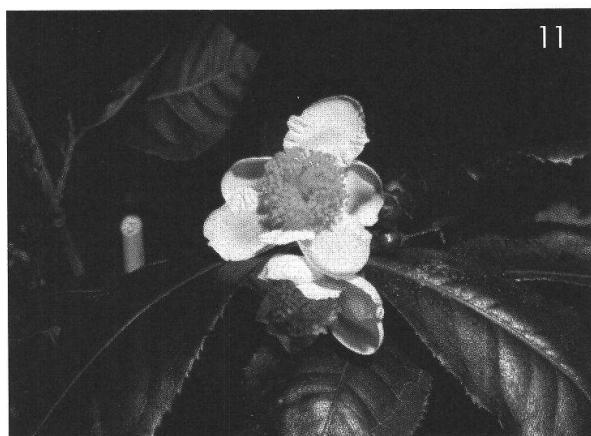
Abb. 12. Aus einem Kürbis kunstvoll hergestelltes Maté-Trinkgefäß mit Saugrohr.

Abb. 13. *Cola nitida*. Illustration Beatrice Häslер, Uster.

Abb. 14. Guaraná-Fruchtstand (Ausschnitt). Illustration Beatrice Häsler, Uster.

Abb. 16. Aus Guaraná-Paste kunstvoll geformte Figuren: Pirarucú, Krokodil und Gürteltier.

Abb. 17. Mit dem knöchernen Zungenbein des Pirarucú wird der Bastão zu feinem Pulver geraspelt.



im Verbreitungsgebiet der Pflanze angeregt und zur Bildung zahlreicher Legenden geführt, wovon die eine so lautet (Sprecher von Bernegg 1934c): „Einst wuchs in einem Indianervolk ein wundersamer Jüngling auf. Überall wo er gerade war, breiteten sich Freude und Zufriedenheit aus, ein wahrer Segen für den ganzen Stamm: Die Kranken wurden geheilt, Streitigkeiten geschlichtet und die Überfälle der Feinde vereitelt. Da wurde der böse Geist namens Jurupari von Eifersucht gepackt, und in Gestalt einer Schlange vergiftete er den Jüngling tödlich, als dieser im Wald Früchte pflückte. Der Jammer des Volkes war groß, aber ein Blitz vom Himmel unterbrach die Klage. Tupa, die Gottheit, stieg vom Himmel herab, tröstete die Mutter und gab ihr die Weisung, die schönen Augen ihres Sohnes zu begraben, denn es werde aus ihnen eine heilige Pflanze sprießen, die den Indianern Nahrung geben und ihre Leiden sowie Schmerzen lindern werde. Also wurden die Augen in die Erde gepflanzt und siehe da!, aus den kostbaren Samen keimte die Guaraná-Pflanze.“

So die Legende, welche die Vorzüge dieser faszinierenden Urwaldliane jedoch wohl etwas übertreibt. Denn im Vergleich zu vielen anderen Samen, die einen wichtigen Beitrag an die menschliche Nahrung liefern, sind jene von Guaraná eher nährstoffarm: je 10% an Eiweiß und Kohlenhydraten, wenig Fett (ca. 3%). Zudem sind die Samen, was ihrer Verdaulichkeit abträglich ist, sehr gerbstoffreich mit etwa 10% an Catechinen (Marx 1990). Obschon bei uns offizinell und in der Homöopathie zur Behandlung von Kopfschmerzen eingesetzt (Seitz 1994), ist der medizinische Nutzen von Guaraná recht umstritten. Dies röhrt davon her, daß diese Pflanze im Volkstum ihrer Heimat bei verschiedenartigsten Gebrechen und selbstverständlich ohne Segnungen der Wissenschaft eingesetzt wird. Der Katalog der Indikationen reicht von Arteriosklerose über Herz-, Lungen- und Altersbeschwerden bis zur Flatulenz und Impotenz (Beck 1990). Eines jedoch steht fest: Die Guaraná-Samen sind stark coffeinhaltig und deshalb äußerst stimulierend. Auf dieser Wirkung gründet der Hauptgebrauch dieser Pflanze in ihrem Ursprungsgebiet, wo sie zur Steigerung der „Fitness“ im tropischen Alltag dient. Die klassische Verarbeitung von Guaraná, wie sie seit alters her von den Sateré-Maué-Indianern im zentralen Amazonasbecken gepflegt wird, beginnt – sobald sich das erste „Auge“ öffnet – mit der Ernte des ganzen Fruchtstandes (Henman 1982, Erickson et al. 1984). Die Samen, 1 bis 3 pro Frucht und bis zu 80 pro „Traube“ (Abb. 14), werden von Hand herausgeschält und über Nacht im Korb am Rande des Flussbettes eingeweicht. Am nächsten Tag kann der Arillus mit den Fingern leicht weggerieben werden. Hernach werden die Samen, die nun ganz wie kleine Kastanien (Abb. 15) aussehen, in einer weiten Tonschale langsam unter stetem Wenden erhitzt und von Zeit zu Zeit mit wenig Wasser besprengt. Bei diesem Vorgang, der einer sehr schwachen Röstung gleichkommt, platzt die Samenschale. Nach dem vollständigen Entfernen der dunklen Samenschale werden die Samen im Mörser aus Holz unter Beigabe von Wasser zerkleinert. Die resultierende Masse, die noch große Bruchstücke enthält und etwa die Konsistenz eines schweren Brotteiges hat, wird zu kurzen Stangen, den Bastãos, geformt, welche schließlich über einem Feuer aus aromatischem Holz geräuchert werden. Als Holzquelle dient häufig die halbdomestizierte Malpighiacee *Byrsonima crassifolia* (L.) H. B. K., welche als Busch oder mittelgroßer Baum wächst und in Trauben kleine, gelbe, süß-saure Steinfrüchte trägt, welche in Lateinamerika „Murici“ (port.) oder „Nance“ (span.) genannt werden. Ein guter Bastão wiegt ein halbes Kilogramm und ist in Form, Farbe und Konsistenz am besten einem geschälten, harten Salami vergleichbar. Mitunter werden aus der Guaraná-Masse auch kleine Kunstwerke geformt (Abb. 16). Diese so hergestellte Vorratsform von Guaraná wird für die Zubereitung des Getränks verwendet, wobei der Bastão mit dem knöchernen Zungenbein eines Fisches (Pirarucú; *Arapaima gigas* Cuvier) geraspelt (Abb. 17) und das ent-

standene feine Pulver in Wasser aufgeschlämmt und getrunken wird. Dieses stark stimulierende Getränk wird von der Bevölkerung am Amazonas sehr geschätzt.

Für unsren Gaumen schmeckt die Guaraná ungewohnt „gerbig“-bitter. Der Geruch des in unsere Breitengradern exportierten, meist nicht geräucherten Guaraná-Pulvers ist schwierig zu beschreiben und ist am ehesten mit jenen geruchlichen Noten zu vergleichen, die einem beim Betreten einer Versuchstierstallung, einer Kleintierhandlung oder einer Reithalle entgegenschlagen! Vielleicht sind diese Eigenschaften auch der Grund dafür, daß die traditionelle Aufschlämzung von Guaraná-Pulver in Wasser keine große Verbreitung erfahren hat, und daß seit langem in Brasilien unter der Bezeichnung „Guaraná“ als Nationalgetränk ein kohlensäurehaltiges Surrogat getrunken wird, welches aber meines Erachtens geschmacklich keinen Fortschritt darstellt und vor über 60 Jahren offenbar auch nicht besser schmeckte, denn Sprecher von Bernegg schreibt 1934 (Sprecher von Bernegg 1934c): „In den Restaurants der größeren Ortschaften Brasiliens wird heute eine ... Limonade verkauft, die uns jedoch nicht in bester Erinnerung geblieben ist. Ob die Schuld ... an der durch den hohen Preis der Guaraná-paste bedingten Absenz oder durch mehr oder weniger starke Reduktion des Genußmittels und seinen Ersatz durch billigere Stimulans lag, lassen wir unerörtert.“

Mit Sicherheit war Sprechers Limonade wesentlich naturgetreuer als diejenigen Fabrikate, welche heute in Brasilien und neuerdings auch bei uns in Europa verkauft werden, denn seither ist das brasilianische Lebensmittelgesetz für Fruchtsäfte (lei dos sucos) wiederholt nach unten angepaßt worden, um das Angebot, nämlich den seit Jahren schleppenden Anbau von Guaraná (unter 1000 Tonnen pro Jahr), mit der massiv steigenden Nachfrage für die zuckerige Limonade in Einklang zu bringen. Der gesetzlich vorgeschriebene Minimalgehalt liegt zur Zeit bei 0,02% (Castro 1992), was bedeutet, daß 1 Deziliter dieses Getränks lediglich mit 20 mg Guaraná, entweder in fester oder Extrakt-Form, versetzt sein müßte. Zehn Liter einer solchen Limonade enthalten so viel Coffein wie eine Tasse Kaffee! Wenn in Brasilien der gesetzliche Mindestgehalt durchgesetzt würde, so müßten auf Grund des bekannten Marktvolumens an Getränken, die den Namen Guaraná tragen und dort produziert werden, jährlich etwa 3000 Tonnen Samen geerntet werden können Die gesetzlich unterstützte Verwässerung führt, wie wir dies bereits bei den Cola-Getränken feststellen konnten, letztlich zur Bedeutungslosigkeit des Pflanzenanteils und der Pflanze selber. Damit werden zwei wesentliche Dinge behindert oder vereitelt: Erstens die Produktion eines hochkarätigen Getränks und zweitens der Anbau von Guaraná, der in manchen Regionen (z. B. in Costa Rica) eine Alternative zu den Kaffeekulturen sein könnte.

Im Leben der Pflanzen nimmt die Artverbreitung häufig eine zentrale Stellung ein, was wir auch daran erkennen, daß von der Pflanze mitunter große Investitionen in die Verbreitungseinheit (meist Same oder Frucht) getätigt werden. Die Investitionen und damit verbundenen Strategien sind manchmal so gezielt, daß wir darüber nur staunen können, wie die Pflanze es fertigbringt, die richtigen Partner zu begünstigen und die andern auf der Strecke zu lassen. Hierfür ist die Guaraná ein Paradebeispiel: Der Blütenstand, botanisch ein Thrysus, steht senkrecht in den Himmel (Abb. 18). Mit seiner Entwicklung zum Fruchtstand geht eine starke Gewichtszunahme einher, so daß die reife Traube schließlich nach unten hängt. Der Lianenast ist relativ schmal und bietet kaum eine Plattform für Säuger, um nach den harten Samen zu angeln. Sie sind eindeutig zu groß für kleine Vögel, aber der Fruchtstand „sendet“ dennoch die Signale, welche bevorzugt Vögel ansprechen (bird dispersal syndrome) (van der Pijl 1982, Howe 1986): das kräftige Rot-Orange der Fruchthülle, die starken Farbkontraste („glänzende schwarze Pupille und Augenweiß“) der Samen, der fehlende Geruch und die winkende Belohnung (s. unten).



Abb. 18. Junger Blütenstand von *Paullinia cupana*.

Copyright. Autor: 9–12, 15–18; Beatrice Häslер, Uster: 5, 8, 13, 14.

Aus der Literatur sind zwei Vogelgruppen bekannt (Gonçalves 1971), die sich in ihrem Verbreitungsgebiet an Guaraná gütlich tun: Tukane (*Ramphastos* spp.) und Hokkohühner (*Penelope* spp.). Letztere krallen sich an den Lianenast und baumeln mit dem Kopf nach unten, wobei sie aus dieser Lage alle Samen eines Fruchtstandes problemlos erreichen können. Tukane sind bekannt für ihren langen überdimensionierten Schnabel, mit welchem sie stehend vom Ast aus bequem jede Frucht erreichen. Wir konzentrieren uns im folgenden auf das Verbreitungsgeschäft der Tukane und fragen uns dabei, welcher Art die Belohnung sei, und weshalb keine Vergiftung stattfinde, obwohl bekanntlich Guaraná-Samen eine natürliche Coffeinbombe darstellen. Zu diesem Zweck analysierten wir den ganzen reifen Fruchtstand mit Hilfe chemischer und biochemischer Methoden. Zudem simulierten wir im „Erlenmeyer“ die Bedingungen (pH und Temperatur) des Kropfes und des Muskelmagens um herauszufinden, wieviel Coffein ganze oder aufgeknackte Samen jeweils abgeben würden. Zusammenfassend ergaben sich die folgenden überraschenden Resultate (Baumann et al. 1995): Das „Augenweiß“, der Arillus also, enthält als einziges Gewebe des gesamten Fruchtstandes kein Coffein; über 60% seines Trockengewichtes sind hingegen Traubenzucker und Fruchtzucker im Verhältnis 1:1. Im künstlichen Vogelma gen löst er sich bald vom Samen und wird zu einer feinen Zellsuspension. Im Gegensatz zum aufgebrochenen Samen, welcher innert kürzester Zeit einen erheblichen Teil seines Coffeins abgibt, besitzt der intakte Samen eine wirksame Coffein-

barriere. Sie besteht vermutlich aus den eingangs erwähnten Gerbstoffen (Marx 1990), welche in der Samenschale das Coffein so stark binden, daß es praktisch den Samen nicht verlassen kann.

Tukane sind bekannt dafür, daß sie innert kürzester Zeit eine große Zahl von Samen (4–7% ihres Körpergewichtes) verschlingen, dann an einen ruhigen, sicherer Ort fliegen, wo sie nach 15 bis 25 min diese aus ihrem Kropf würgen (Howe & Vande Kerckhove 1981). Unsere Studien haben gezeigt, daß intakte Samen in keinem Fall, also auch wenn diese in den Muskelmagen gelangen sollten, nennenswerte Coffeinmengen abgeben. Aufgebrochene Samen jedoch würden zu schweren Vergiftungserscheinungen führen (Baumann et al. 1995), die der Tukan vermeidet, indem er äußerst behutsam mit den Guaráná-Samen umgeht – dies vielleicht ein leiser Wink für uns Menschen, den erstaunlichen und delikaten Verwebungen der Natur mit Sorgfalt zu begegnen.

Literatur

- Anft B. 1937. Friedlieb Ferdinand Runge, sein Leben und sein Werk. Abhandlungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften, Heft 23. Eds. P. Diepgen, J. Ruska, J. Schuster & W. Artelt. Berlin: Dr. Emil Ebering. 207 S.
- Anthony F., Clifford M. N. & Noiroit M. 1993. Biochemical diversity in the genus *Coffea* L.: Chlorogenic acids, caffeine and mozambioside contents. Resources and Crop Evolution 40: 61–70.
- Arnaud M. J. 1984. Products of metabolism of caffeine. In: Caffeine, Ed. P. B. Dews. Berlin: Springer-Verlag. 3–38.
- Ashihara H., Monteiro A. M., Moritz T., Gillies F. M. & Crozier A. 1996. Catabolism of caffeine and related purine alkaloids in leaves of *Coffea arabica* L. Planta 198: 334–339.
- Baumann T., Oechslin M. & Wanner H. 1976. Coffein und methylierte Harnsäuren: Chemische Muster während der vegetativen Entwicklung von *Coffea liberica*. Biochem. Physiol. Pflanzen 170: 217–225.
- Baumann T. W. & Frischknecht P. M. 1982. Biosynthesis and biodegradation of purine alkaloids in tissue culture. In: Proceedings of the 5th Internat. Congress of Plant Tissue and Cell Culture in Tokyo and Lake Yamanaka, ed. by A. Fujiwara, The Japanese Association for Plant Tissue Culture, 365–366.
- Baumann T. W. & Gabriel H. 1984. Metabolism and excretion of caffeine during germination of *Coffea arabica*. Plant Cell Physiol. 25: 1431–1436.
- Baumann T. W. & Röhrig L. 1989. Formation and intracellular accumulation of caffeine and chlorogenic acid in suspension cultures of *Coffea arabica*. Phytochemistry 28: 2667–2669.
- Baumann T. W., Schulthess B. H. & Hänni K. 1995. Guaráná (*Paullinia cupana*) rewards seed dispersers without intoxicating them by caffeine. Phytochemistry 39: 1063–1070.
- Baumann T. W. & Seitz R. 1992. *Coffea*. In: Hagers Handbuch der Pharmazeutischen Praxis, eds. R. Hänsel, K. Keller, H. Rimpler & G. Schneider. 4, Drogen A-D. Berlin: Springer-Verlag. 926–940
- 1994. *Theobroma*. In: Hagers Handbuch der Pharmazeutischen Praxis, eds. R. Hänsel, K. Keller, H. Rimpler & G. Schneider. 6, Drogen P-Z. Berlin: Springer-Verlag. 941–955.
- Baumann T. W. & Wanner H. 1972. Untersuchungen über den Transport von Kaffein in der Kaffeepflanze (*Coffea arabica*). Planta 108: 11–20.
- 1980. The 1,3,7,9-tetramethyluric acid content of cupu (*Theobroma grandiflorum* Schum.). Acta Amazonica 10: 425.
- Beck H. T. 1990. A survey of the useful species of *Paullinia* L. (Sapindaceae). Adv. Econ. Bot. 8: 41–56.
- Berthaud J. & Charrier A. 1988. Genetic resources of *Coffea*. In: Coffee, eds. R. J. Clarke & R. Macrae. 4, Agronomy. London: Elsevier. 1–42.

- Bettencourt A. J. & Rodrigues C. J. 1988. Principles and practice of coffee breeding for resistance to rust and other diseases. In: *Coffee*, eds. R. J. Clarke & R. Macrae. 4, *Agronomy*. London: Elsevier. 199–234.
- Biehl H., Heinrichs H., Ziegler-Berghausen H., Srivastava S., Xiong Q., Passern D., Senyuk V. I. & Hammoor M. 1993. The proteases of ungerminated cocoa seeds and their role in the fermentation process. *Angew. Bot.* 67: 59–65.
- Brücher H. 1977. *Tropische Nutzpflanzen. Ursprung, Evolution und Domestikation*. Berlin: Springer-Verlag. 529 S.
- Brücher H. 1989. *Useful Plants of Neotropical Origin and Their Wild Relatives*. Berlin: Springer-Verlag. 296 pp.
- Buchanan R. L., Tice G. & Marino D. 1981. Caffeine inhibition of ochratoxin A production. *J. Food Sci.* 47: 319–321.
- Butcher R. W. & Sutherland E. W. 1962. Adenosine 3',5'-phosphate in biological materials. I. Purification and properties of cyclic 3',5'-nucleotide phosphodiesterase and use of this enzyme to characterize adenosine 3',5'-phosphate in human urine. *J. Biol. Chem.* 237: 1244–1250.
- Carelli M. L. C., Lopes C. R. & Monaco L. C. 1974. Chlorogenic acid content in species of *Coffea* and selections of *C. arabica*. *Turrialba* 24: 398–401.
- Castro N. D. 1992. *Cultura do Guaranazeiro*. Vol. 68. Belém: EMBRAPA-CPATU. 71 pp.
- Chang H. T. & Bartholomew B. 1984. *Camellias*. London: B. T. Batsford Ltd. 211 pp.
- Charrier A. & Berthaud J. 1985. Botanical classification of coffee. In: *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage*, eds. M. N. Clifford & K. C. Willson. London: Croom Helm. 13–47.
- Chevalier A. 1947. *Les cafiers du globe. III. Systématiques des cafiers et faux cafiers. Maladies et insectes nuisibles* Vol. 28, Fasc. III. *Encyclopédie biologique*, Paris: P. Lechevalier. 365 pp.
- Chou C.-H. & Waller G. R. 1980. Possible allelopathic constituents of *Coffea arabica*. *J. Chem. Ecol.* 6: 643–649.
- Citroreksoko P. S., Petermann J., Wanner H. & Baumann T. W. 1977. Detection of trace amounts of methylated uric acids in crude caffeine from different sources. *International Scientific Colloquium on Coffee (ASIC)* 8: 143–145.
- Clifford M. N. & Ramirez-Martinez J. 1990. *Food Chem.* 35: 13.
- Couch J. A., Zintel H. A. & Fritz P. J. 1983. The genome of the tropical tree *Theobroma cacao*, L. *Mol. Gen. Genet.* 237: 123–128.
- Cuatrecasas J. 1964. Cacao and its allies. A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Contrib. U. S. Nat. Herb.* 35: 379–614.
- Elias P. S. 1985. Current biological problems with coffee and caffeine. *International Scientific Colloquium on Coffee (ASIC)* 11: 93–112.
- Erickson H. T., Corrêa M. P. F. & Escobar J. R. 1984. Guaraná (*Paullinia cupana*) as a commercial crop in Brazilian Amazonia. *Econ. Bot.* 38: 273–286.
- Fischer E. 1897. Über die Constitution des Caffeins, Xanthins, Hypoxanthins und verwandter Basen. *Chem. Ber.* 30: 549–573.
- Fischer E. & Ach L. 1895. Synthese des Caffeins. *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* 28: 3135–3143.
- Frischknecht P. M., Ulmer-Dufek J. & Baumann T. W. 1985. Purine alkaloid formation in buds and developing leaflets of *Coffea arabica*: Expression of an optimal defence strategy? *Phytochemistry* 25: 613–616.
- Giese F. von 1821. Verschiedene Beobachtungen. *Journal für Chemie und Physik* 31: 203–209.
- Gonçalves J. R. C. 1971. *A cultura do guaraná*. Vol. 2/1. *Culturas da Amazônia*, Belém: Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte (IPEAN). 13 pp.
- Gorter K. 1907. Beiträge zur Kenntnis des Kaffees. *Ann. Chem.* 358: 327–348.
- Hammerstone Jr. J. F., Romanczyk Jr. L. J. & Aitken W. M. 1994. Purine alkaloid distribution within *Herrania* and *Theobroma*. *Phytochemistry* 35: 1237–1240.
- Henman A. R. 1982. Guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbillis*): ecological and social perspectives on an economic plant of the central Amazon basin. *J. Ethnopharmacol.* 6: 311–338.
- Howe H. F. 1986. Seed dispersal by fruit-eating birds and mammals. In: *Seed dispersal*, ed. D. R. Murray. Sydney: Academic Press. 123–189.

- Howe H. F. & Vande Kerckhove G. A. 1981. Removal of wild nutmeg (*Virola surinamensis*) crops by birds. *Ecology* 62: 1093–1106.
- Jobst C. 1838. Thein identisch mit Caffein. *Ann. Chem. Pharm.* 25: 63–66.
- Johnson T. B. 1937. Purines in the plant kingdom: The discovery of a new purine in tea. *J. Amer. Chem. Soc.* 59: 1261–1264
- Kalberer P. 1965. Breakdown of caffeine in the leaves of *Coffea arabica* L. *Nature* 205: 597–598.
- Kappeler A. W. & Baumann T. W. 1985. Purine alkaloid patterns in coffee beans. International Scientific Colloquium on Coffee (ASIC) 11: 273–279.
- Keller H., Wanner H. & Baumann T. W. 1972. Kaffeinsynthese in Früchten und Gewebekulturen von *Coffea arabica*. *Planta* 108: 339–350.
- Kihlman B. A. 1977. Caffeine and chromosomes. Amsterdam: Elsevier. 504 pp.
- Kossel A. 1888. Über eine neue Base aus dem Pflanzenreich. *Chem. Ber.* 21: 2164–2167.
- 1889. Über das Theophyllin, einen neuen Bestandtheil des Thees. *Hoppe-Seyler's Zeitschr. für Physiolog. Chemie* 13: 298–308.
- Lanaud C., Risterucci A. M., N'Goran A. K. J., Clement D., Flament M. H., Laurent V. & Falque M. 1995. A genetic linkage map of *Theobroma cacao* L. *Theor. Appl. Genet.* 91: 987–993.
- Martius T. 1826. Das Guaranim; ein neuer Pflanzenbildungstheil. *Arch. Ges. Nat.* 7: 266–271.
- 1840. Über die Zusammensetzung des Guaranim. *Ann. Chem.* 36: 93–95.
- Marx F. 1990. Analysis of guarana seeds. II. Studies on the composition of the tannin fraction. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 190: 429–431.
- Medicus L. 1875. Zur Constitution der Harnsäuregruppe. *Ann. d. Pharmacie* 175: 230–251.
- Mitchell H. W. 1988. Cultivation and harvesting of the Arabica coffee tree. In: *Coffee*, eds. R. J. Clarke & R. Macrae. 4, Agronomy. London: Elsevier. 43–90.
- Mitscherlich A. 1859. Der Cacao und die Schokolade. Verlag von August Hirschwald, Berlin. 126 S.
- Mösli Waldhauser S. M. & Baumann T. W. 1996. Compartmentation of caffeine and related purine alkaloids depends exclusively on the physical chemistry of their vacuolar complex formation with chlorogenic acids. *Phytochemistry* 42: 985–996.
- Mösli Waldhauser S. M., Kretschmar J. A. & Baumann T. W. (in press). *N*-Methyltransferase activities in caffeine biosynthesis: biochemical characterisation and time course during leaf development of *Coffea arabica*. *Phytochemistry*.
- N'Goran A. K. J., Laurent V., Risterucci A. M. & Lanaud C. 1994. Comparative genetic diversity studies of *Theobroma cacao* L. using RFLP and RAPD markers. *Heredity* 73: 589–597.
- Nathanson J. A. 1984. Caffeine and related methylxanthines: Possible naturally occurring pesticides. *Science* 226: 184–187.
- Neuenschwander B. & Baumann T. W. 1992. A novel type of somatic embryogenesis in *Coffea arabica*. *Plant Cell Rep* 10: 608–612.
- Olah M. E. & Stiles G. L. 1995. Adenosine receptor subtypes: Characterization and therapeutic regulation. *Ann. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 35: 581–606.
- Oudry V. 1827. Thein, eine organische Salzbase im Thee (*Thea chinensis*). *Geiger's Mag. Pharm.* 19: 49–50.
- Pijl L. van der 1982. Principles of dispersal in higher plants. 3rd ed., Berlin: Springer-Verlag. 214 pp.
- Pittier H. 1908. *Ensaya sobre las plantas usuales de Costa Rica*. Washington, D. C., The McQueen Press. 176 pp.
- Prewo R., Guggisberg A., Lorenzi-Riatsch A., Wettstein-Bättig M. & Baumann T. W. 1990. Crystal structure of mozambioside, a diterpene glycoside of *Coffea pseudozanguebariae*. *Phytochemistry* 29: 990–992.
- Radlkofer L. 1895. Monographie der Sapindaceen-Gattung *Paullinia*. Vol. II. C1. 19. Bd. I. Abth. Abhandl. kgl. bayer. Adad. Wiss., München: Verlag der kgl. Akademie. 315 S.
- Rakotomalala J.-J. R. 1993. Diversité biochimique des caféiers. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Paris. Num. 99 (Thesis Université Montpellier II). 219 pp.
- Rall T. W. 1990. Drugs used in the treatment of asthma. In: *The Pharmacological Basis of Therapeutics*, eds. A. G. Gilman, T. W. Rall, A. S. Nies & P. Taylor. 8 ed., New York: Pergamon Press. 618–637.

- Regenass R. 1995. Schlappe Muntermacher. K-TIP 13: 15–18.
- Roberts A. W. and Haigler C. H. 1992. Methylxanthines reversibly inhibit tracheary-element differentiation in suspension cultures of *Zinnia elegans* L. *Planta* 186: 586–592.
- Roberts E. A. H. 1962. Economic importance of flavonoid substances. In: The chemistry of flavonoid compounds, ed. T. A. Geissman. Oxford: Pergamon. 468–512.
- Runge F. 1820. Phytochemische Entdeckungen. Berlin: 204 S.
- Salomon G. 1883. Über das Paraxanthin, einen neuen Bestandtheil des normalen menschlichen Harns. *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* 16: 195–200.
- Sattin A. & Rall T. W. 1970. The effect of adenosine and adenine nucleotides on the adenosine 3',5'-phosphate content of guinea pig cerebral cortex slices. *Mol. Pharmacol.* 6: 13–23.
- Schultes R. E. 1941. A caffeine drink prepared from bark. *Econ. Bot.* 41: 526–527.
- 1958. A synopsis of the genus *Herrania*. *J. Arnold Arboretum* 39: 216–295.
- Schluthess B. H. & Baumann T. W. 1995a. Stimulation of caffeine biosynthesis in suspension-cultured coffee cells and the *in situ* existence of 7-methylxanthosine. *Phytochemistry* 38: 1381–1386.
- 1995b. Are xanthosine and 7-methylxanthosine caffeine precursors? *Phytochemistry* 39: 1363–1386.
- Schluthess B. H., Morath P. & Baumann T. W. 1996. Caffeine biosynthesis starts with the metabolically channeled formation of 7-methyl-XMP – a new hypothesis. *Phytochemistry* 41: 169–175.
- Sealy J. R. 1958. A revision of the genus *Camellia*. London: The royal horticultural society. 239 pp.
- Seitz R. 1994. *Paullinia*. In: Hagers Handbuch der Pharmazeutischen Praxis, eds. R. Hänsel, K. Keller, H. Rimpler, & G. Schneider. 6, Drogen P-Z. Berlin: Springer-Verlag. 53–59.
- Seitz R. & Kraus L. 1992. *Cola*. In Hagers Handbuch der Pharmazeutischen Praxis, eds. R. Hänsel, K. Keller, H. Rimpler & G. Schneider. 4, Drogen A-D. Berlin: Springer-Verlag. 940–946.
- Selmar D., Lieberei R. & Biehl B. 1988. Mobilization and utilization of cyanogenic glycosides. *Plant Physiol.* 86: 711–716.
- Snyder S. H. 1984. Adenosine as a mediator of the behavioral effects of xanthines. In: Caffeine, ed. P. B. Dews. Berlin: Springer-Verlag. 129–141.
- Sondheimer E., Covitz F. & Marquisee M. J. 1961. Association of naturally occurring compounds, the chlorogenic acid-caffeine complex. *Arch. Biochem. Biophysics* 93: 63–71.
- Sprecher von Bernegg A. 1934a. Der Kaffeestrauch. In: Kaffee und Guaraná, ed. A. Sprecher von Bernegg. III/2. Stuttgart: F. Enke. 1–264.
- 1934b. Der Kolabaum. In: Kakao und Kola, ed. A. Sprecher von Bernegg. III/1. Stuttgart: F. Enke. 214–256.
- 1934c. Guaraná. In: Kaffee und Guaraná, III/2. Stuttgart: F. Enke. 265–275.
- 1936. Maté. In Tee und Maté, ed. A. Sprecher von Bernegg. III/3. Stuttgart: F. Enke. 298–417.
- Suzuki T., Ashihara H. & Waller G. 1992. Purine and purine alkaloid metabolism in *Camellia* and *Coffea* plants. *Phytochemistry* 31: 2575–2584.
- Suzuki T. & Waller G. R. 1985. Purine alkaloids of the fruits of *Camellia sinensis* L. and *Coffea arabica* L. during fruit development. *Annals Bot.* 56: 537–542.
- Verma D. P. S. & Gu X. 1996. Vesicle dynamics during cell-plate formation in plants. *Trends in Plant Science* 1: 145–149.
- Wanner H., Pesakova M., Baumann T., Charubala R., Guggisberg A., Hesse M. & Schmid H. 1975. O(2),1,9-Trimethyluric acid and 1,3,7,9-tetramethyluric acid in leaves of different *Coffea* species. *Phytochemistry* 14: 747–750.
- Weevers T. 1930. Die Funktion der Xanthinderivate im Pflanzenstoffwechsel. *Arch. Néerl., Série III B* 5: 111–195.
- Wintgens J. N. 1991. Influence of genetic factors and agroclimatic conditions on the quality of cocoa. In: 2nd International Congress on Cocoa and Chocolate, München, 1–40.
- Wood G. A. R. 1975. Cocoa. 3rd ed., D. Rind (ed). Tropical Agriculture Series, London New York: Longman. 292 pp.
- Woskresensky A. 1842. Über das Theobromin. *Annalen der Pharmacie* 41: 125–127.
- Young A. M. 1994. The chocolate tree. A natural history of cacao. Washington and London: Smithsonian Institution Press. 200 pp.