

1 Einleitung und Grundlagen

1.1 Tee

1.1.1 Begriffsbestimmung und botanische Einordnung

Als Tee werden umgangssprachlich fast alle Getränke bezeichnet, welche durch einen heißen, wässrigen Aufguss getrockneter Pflanzenteile wie z.B. Kamillenblüten oder Pfefferminzblätter hergestellt werden. Tee im eigentlichen Sinne stammt „ausschließlich aus Blättern, Blattknospen und zarten Stielen des Teestrauches *Camellia sinensis* L. O. Kuntze aus der Familie der Teegewächse (Theaceen), die nach den üblichen Verfahren bearbeitet sind“.¹ Bei Aufgussgetränken aus anderen Pflanzen wie Kräutern und Früchten handelt es sich dagegen um „teeähnliche Erzeugnisse“.¹ In anderen Sprachen wird dieser Unterscheidung durch eigene Terminologien Rechnung getragen (z. B. Spanisch: té ↔ infusión). Der in europäischen Sprachen zumeist ähnliche Begriff für „Tee“ entstammt der südostchinesischen Dialektbezeichnung „te“ oder „tay“. In (Südost-)Asien, Indien, Russland, der Türkei sowie der arabischen Welt haben sich dagegen Abwandlungen des südchinesischen Ausdruckes „ch’a“ durchgesetzt.²



Abb. 1–1 Links: Farblithographie eines Zweiges von *Camellia sinensis* var. *sinensis* mit charakteristischen Merkmalen, 1–blühender Zweig, 2–Blüte im Längsschnitt, 3–Fruchtknoten im Querschnitt, 4–Stempel mit Kelch, 5–Staubgefäß, 6–Samen, 7–reife Frucht (verändert nach KÖHLER, 1897).³ **Rechts oben:** Fotografie einer Blüte (Braunschweig, 2014). **Rechts unten:** Fotografie einer Frucht (Kerala, Indien, 2013).

1.2 Verarbeitung von Tee

1.2.1 Grüner Tee

Zur Herstellung von grünem Tee ist es notwendig, die frisch geernteten Teeblätter im ersten Schritt zu erhitzen, um die in den Blättern enthaltenen Enzyme zu inaktivieren und enzymatische Reaktionen zu unterbinden. Dabei sollen die Inhaltsstoffe, insbesondere die Flavan-3-ole, möglichst unverändert erhalten bleiben. Das Erhitzen erfolgt gemeinhin in großen Röstpfannen (v. a. in China üblich) oder durch das Dämpfen in heißem Wasserdampf (v. a. in Japan üblich).^{5, 25} Anschließend werden die Blätter maschinell geformt und/oder zerkleinert. Am verbreitetsten ist das Rollen längs der Blattachse; einige Sorten werden auch traditionell zu kleinen Kugeln gerollt (chinesischer *Gunpowder*) oder zu flachen Nadeln geformt (japanischer *Sencha*- oder chinesischer *Long Jing*-Tee). Der so verarbeitete Tee wird getrocknet. Oft wiederholen sich Roll- und Trocknungsschritte mehrfach, bis ein Feuchtigkeitsgehalt von etwa 6 % erreicht wird.⁵² Die drei Schritte *Enzymdeaktivierung* → *Rollen/Zerkleinerung* → *Trocknen* stellen die Basis der Grünteeherstellung dar, die in einer Vielzahl regionaler Variationen durchgeführt wird.



Abb. 1–5 Links: Spross einer Teepflanze mit Blattknospe und den beiden jüngsten Blättern. Mitte: Teeplückerinnen auf einer Plantage in Südindien. Rechts: frisch geerntete Teeblätter (Aufnahmen aus den Westghats bei Munnar, Indien, 2013).

1.2.2 Schwarzer Tee

Im Vergleich zum grünen Tee ist die Herstellung schwarzen Tees komplexer und erfordert weitere Verarbeitungsschritte. Die genauen Ursprünge der Schwarzteeherstellung sind nicht bekannt, werden aber im China der Tang-Dynastie (618–907 n. Chr.) vermutet.⁵⁵ Nachfolgend werden die wichtigsten Schritte in der Schwarzteeproduktion erläutert und in **Abb. 1–6** anhand von Fotografien schematisch dargestellt.

Welken

Zunächst müssen die frisch gepflückten und noch festen Blätter gewelkt werden. Die bedeutendste Methode ist das Welken in Wannen, die einen siebartigen Boden besitzen (engl. *Trough Withering*). Dabei werden die Teeblätter in Schichten ausgebreitet und etwa 6–18 Stunden von unter dem Wannenboden befindlichen Lüftern mit Luft durchblasen. Um eine gleichmäßige Behandlung der Blätter zu erreichen, ist es möglich, den Luftstrom umzukehren, so dass abwechselnd auch Luft von oben durch das Blattbett gesaugt wird. Dieser Vorgang reduziert den Wassergehalt, macht die Blätter geschmeidiger und erhöht die Durchlässigkeit der Zellwände.^{25, 56-57}

Zellaufschluss

Im Anschluss an das Welken wird die Zellstruktur der Blätter maschinell durch Rollen, Quetschen, Schneiden und/oder Zerreißen aufgebrochen und das Blattmaterial durch den austretenden Zellsaft eingeweicht. Diese Mazeration der Teeblätter kann durch unterschiedliche Techniken erreicht werden. Mit Abstand am gebräuchlichsten sind die traditionelle orthodoxe Methode sowie die CTC-Methode. Daneben existieren weitere Technologien wie der Lowry-Tea-Processor, auf die wegen ihrer untergeordneten Bedeutung hier nicht näher eingegangen werden soll.⁵⁸

Bei der orthodoxen Methode werden die welken Teeblätter durch eine unten offene, zylindrische Presse auf einen runden Tisch mit regelmäßigen Erhebungen aufgebracht. Währenddessen kreist der nur geringfügig höher angebrachte Zylinder über diesem Tisch und reißt dabei die Blätter mit. Durch den sich ergebenden Druck werden diese an den Erhebungen zerquetscht und gerollt. Dieser Vorgang soll die ursprüngliche Mazeration der Blätter durch Reiben zwischen den Handflächen nachbilden.^{57, 59}

Auf den orthodoxen Rolltisch wird immer eine bestimmte Menge Tee aufgebracht, welche erst abgearbeitet wird, bevor wieder neuer Tee hinzugefügt wird. Die CTC-Maschinen werden hingegen mit einem konstanten Zufluss an Teeblättern versorgt. Da die Blätter hierbei nicht zu flach sein dürfen, müssen sie zunächst vorbehandelt werden. Dies erfolgt entweder durch ein kurzes Rollen auf dem orthodoxen Rolltisch oder mit dem ebenfalls kontinuierlich arbeitenden *McTear Rotorvane*, einer innen mit Schaufeln versehenen zylindrischen Trommel, welche die Blätter befördert, aber auch einen ähnlichen Rolleffekt hervorruft.^{57, 59} Anschließend gelangen die Blätter in die CTC-Maschinen (CTC = Crush-Tear-Curl; engl.: Zerdrücken-Zerreißen-Rollen), wo sie durch zwei gegenläufig rotierende und mit Zacken versehene

Edelstahlrollen gequetscht werden. Je nach gewünschtem Feinheitsgrad der Blattstücke können mehrere CTC-Maschinen in Reihe geschaltet werden.^{58, 60}

Fermentation

Der charakteristische Schritt in der Schwarzteemanufaktur ist die sog. *Fermentation*. Die Mazeration der Blattzellen führt dazu, dass die im Cytoplasma lokalisierten Enzyme Polyphenoloxidase und Peroxidase mit den in den Zellvakuolen gespeicherten Flavan-3-olen (Catechinen) in Kontakt treten.⁶¹ Im Zusammenspiel mit dem Sauerstoff aus der Umgebungsluft kommt es zu einer enzymatisch katalysierten Oxidation der Catechine und der Bildung rotbraun gefärbter Oxidationsprodukte, vornehmlich der Theaflavine und Thearubigene.⁶² Ferner entstehen zahlreiche Aromastoffe, u. a. durch die Strecker-Reaktion von Aminosäuren mit oxidierten Flavan-3-olen sowie durch die Oxidation ungesättigter Fettsäuren.^{5, 63-64} In Abschnitt 1.3.2.4 folgt eine ausführlichere Beschreibung der enzymatisch-oxidativen Vorgänge. Der Begriff *Fermentation* für diese Reaktionen beruht auf der lange Zeit fälschlicherweise verbreiteten Annahme, dass Mikroorganismen maßgeblich an den chemischen Prozessen beteiligt sind. Obwohl der Irrtum seit 1901 bekannt ist, ist die Bezeichnung *Fermentation* bis heute am gebräuchlichsten.⁵ Zur korrekten Beschreibung dieses Verarbeitungsschrittes haben sich in der Fachliteratur auch die Termini *Oxidation* oder *Aeration* (gemäß ISO 3720:2011) etabliert.⁶⁵ In dieser Arbeit werden die beiden Begriffe *Fermentation* und *Oxidation* synonym verwendet.

Eine bis heute verbreitete Methode zur Durchführung der Fermentation ist das flache Auslegen der gerollten Teeblätter auf einem Zementboden in einem gut belüfteten Raum. Insbesondere für CTC-Tees werden auch kontinuierlich arbeitende Maschinen verwendet. Diese transportieren den Tee in Schichten auf perforierten Fließbändern, so dass sowohl von oben als auch von unten Luft zugeführt werden kann. Anhand der Geschwindigkeit der Fließbänder lässt sich die Fermentationsdauer regulieren. Diese ist abhängig von der Umgebungstemperatur (optimalerweise 25–29 °C) und dem Zerkleinerungsgrad des Tees; so ist die Oxidation bei den stark zerkleinerten Blättern eines CTC-Tees aufgrund der größeren Oberfläche und gründlicheren Durchmischung der Inhaltsstoffe nach etwa 45–90 min abgeschlossen, während nach orthodoxer Art gerollte Blätter 2–3 Stunden benötigen. Der Endpunkt des Oxidationsvorganges wird an der Farbe der Blätter erkannt.^{57, 59}

Gegenüber der CTC-Methode ist die orthodoxe Methode schonender und wird bevorzugt für die Herstellung von Blatt-Tees eingesetzt, da das Blatt nicht vollständig in kleine Stücke

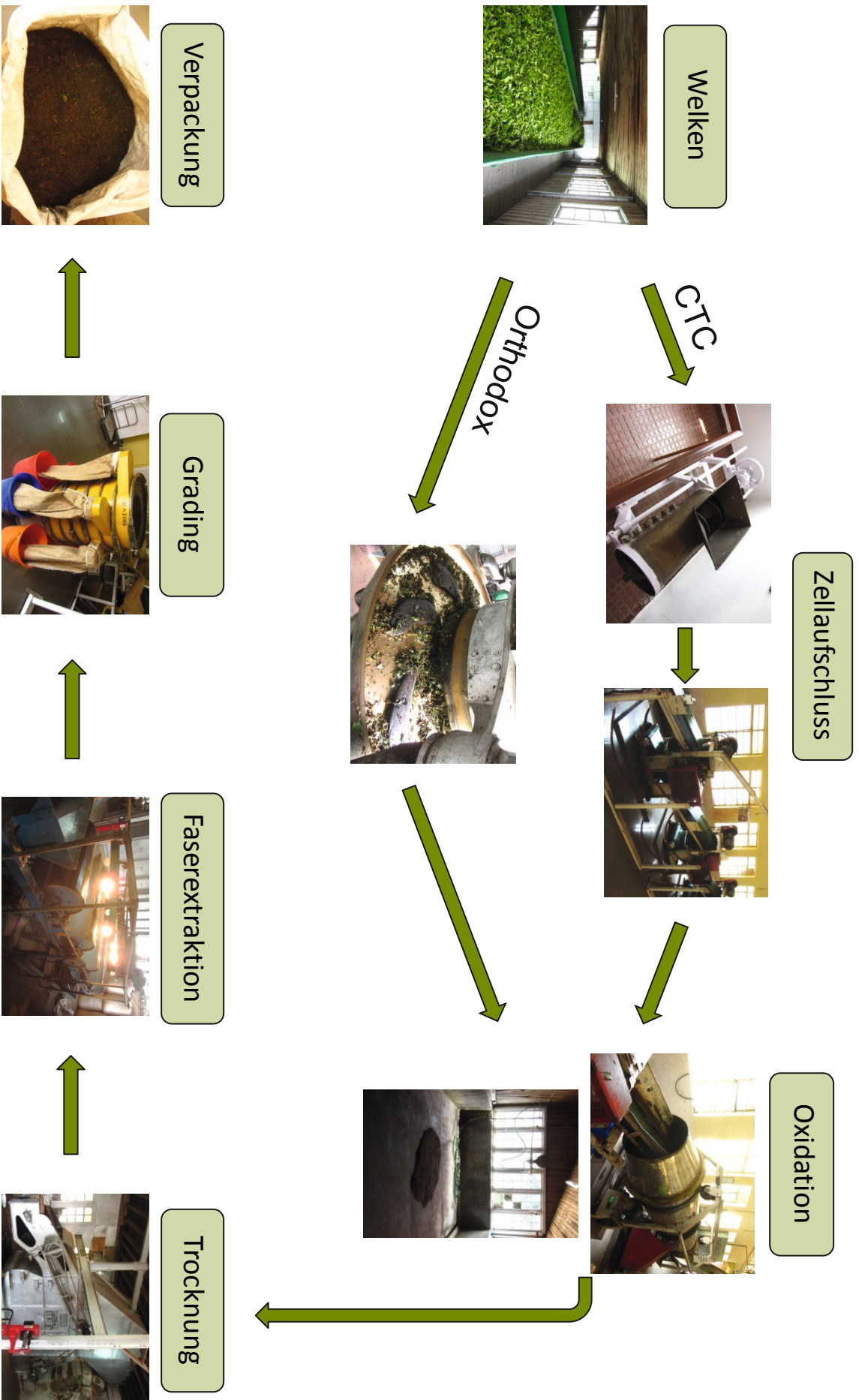


Abb. 1–6 Schematische Darstellung der einzelnen Verarbeitungsschritte während der Herstellung von schwarzem Tee (Aufnahmen aus dem Kanan Devan Tea Museum Munnar, Kerala und dem Kollukkumalai Tea Estate, Tamil Nadu, Indien, 2013).



zerrissen wird. Die CTC-Methode ist als kontinuierlich durchführbarer Prozess effektiver und führt üblicherweise zu dunkleren und kräftigeren Tees.

Trocknung

Ist der gewünschte Fermentationsgrad erreicht, werden die Blätter getrocknet. Dies geschieht beispielsweise in einer Maschine, die der Tee auf durchbrochenen Metallschienen langsam durchläuft, während von außen heiße Luft (80–115 °C) zugeleitet wird. Durch die Hitze werden die Enzyme inaktiviert und der Fermentationsprozess gestoppt. Es kommt zum Abbau des Chlorophylls zugunsten des braun-schwarzen Phaeophytins.⁶⁶ Gleichzeitig wird der Wassergehalt auf etwa 3–4 % gesenkt und so die Haltbarkeit des Tees sichergestellt.^{57, 59,}

63

Grading

Nach dem Trocknen werden die Blätter durch mehrstufige Siebverfahren anhand ihrer Größe in Blattgrade eingeteilt. Oft werden die Blattfasern vorab durch einen *Fibre Extractor* mittels elektrostatisch geladener Rollen entfernt.⁵⁷⁻⁵⁸

1.2.3 Weitere Teearten

Während das Herstellungsverfahren von Schwarztee zumindest in groben Zügen definiert ist, ist dies bei anderen Teearten bisher entweder gar nicht oder nur sehr ungenau geschehen. Oolong-Tee wird allgemein als *halbfermentierter* Tee beschrieben, dessen Produktion der des schwarzen Tees ähnelt. Vorgaben für den Grad der enzymatischen Oxidation existieren nicht, so dass sowohl ein nur sehr geringfügig als auch ein fast vollständig oxidiertes Tee als Oolong bezeichnet werden kann.

Für den sog. *weißen Tee* fehlt eine international verbindliche Definition. Es besteht zum einen die Auffassung, dass weißer Tee ausschließlich aus den Blättern bestimmter, in der chinesischen Provinz Fujian heimischer Varietäten von *C. sinensis* hergestellt werden kann. Indessen wird auch in anderen Ländern „weißer Tee“ produziert, indem nur Blattknospen und sehr junge Blätter verarbeitet werden. Diese tragen an der Blattunterseite feine weiße Härchen, welche dem Blatt nach dem Trocknen einen weißen Schimmer verleihen. Nach der Ernte erfolgt eine schonende Trocknung der Blätter, bei der es zu einer leichten enzymatischen Oxidation kommen kann.⁶⁷⁻⁶⁹

Ferner existieren in China und Japan Tee-Spezialitäten, welche mit Hilfe von Mikroorganismen eine echte Fermentation durchlaufen, international jedoch von geringer Bedeutung sind. Noch am bekanntesten ist der chinesische *Pu-Erh*-Tee. Dieser wird traditionell durch das Pressen gedämpfter Grünteeblätter und eine anschließende bis zu 10-jährige Reifung

produziert. Durch gezielte Zugabe von Pilzkulturen kann die Reifung bei hoher Luftfeuchtigkeit und Temperatur auf wenige Monate verkürzt werden.^{68, 70-71}

1.2.4 Sortenvielfalt

Der Besuch eines modernen Teegeschäftes verdeutlicht schnell die enorme Sortenvielfalt des Tees, selbst wenn die teeähnlichen Erzeugnisse (Kräuter- und Früchtetees) außer Acht gelassen werden. Dabei spielen neben der Teeart auch die Anbauregion, der Erntezeitpunkt und weitere Details der Verarbeitung eine Rolle. Einige Beispiele für verschiedene Teearten und -sorten sind in **Abb. 1–7** dargestellt. Schon das Ernteverfahren ist für die spätere Qualität des Tees entscheidend. Da insbesondere junge Teeblätter einen guten Tee ergeben, werden für die hochwertigsten Tees nur die obere Blattknospe sowie die beiden darunter liegenden Blätter per Hand gepflückt und weiterverarbeitet („Two leaves and a bud“, **Abb. 1–5**).^{5, 63} Für weniger hohe Qualitäten erfolgt die Ernte mittels Scheren oder gänzlich durch Maschinen, wobei auch ältere Blätter erfasst werden.²⁵ Die Beschaffenheit der geernteten Teeblätter wird in einigen Ländern, vornehmlich in Indien und dessen Nachbarstaaten, anhand einer historisch gewachsenen Kodierung gekennzeichnet. Für einen schwarzen Blatt-Tee aus der indischen Region Darjeeling könnte diese beispielsweise lauten: Finest Tippy Golden Flowery Orange Pekoe (FTGFOP). Daraus lässt sich Folgendes entnehmen: Orange Pekoe = Standardqualität auf Basis der jüngsten 2–3 Blätter, enthält keine Blattknospen; Golden Flowery = junge Knospen enthalten; Tippy = viele Blattknospen enthalten; Finest = der Tee besteht bis zu einem Viertel aus Blattknospen und wurde i. d. R. von Hand verarbeitet. Die Qualitätsmerkmale werden dabei nicht ersetzt, sondern voreinander aufgereiht, soweit zutreffend. Somit entspräche der oben genannte Tee der höchsten Kategorie.^{57, 72}

Die Bezeichnung eines Tees kann auch die Einteilung nach dem Siebverfahren (*Grading*, s.o.) anzeigen: Die vier Hauptgrade sind *Whole Leaf*, *Broken*, *Fannings* und *Dust*, welche in weitere Unterkategorien unterteilt werden können. Hierbei werden die stark zerkleinerten Reste als qualitativ geringwertig angesehen und v. a. für Teebeutel verwendet.^{63, 73}

In Japan wird diese Terminologie nicht verwendet. Es findet sich dort allerdings eine ganz eigene Sortenvielfalt an grünen Tees (**Abb. 1–7**: Tees 1–3 und 7). Neben der Standard-Blatteesorte Sencha, die eine charakteristische Nadelform aufweist, ist die günstigere Variante Bancha verbreitet. Eine hochwertige Sorte ist der Gyokuro, für dessen Herstellung die Teepflanzen etwa 3–4 Wochen vor der Ernte abgedeckt werden, damit die Blätter der beschatteten Pflanzen mehr Chlorophyll synthetisieren und dadurch eine intensiv grüne Farbe erhalten.



Abb. 1–7 Auswahl verschiedener Teearten und -sorten. 1–Matcha: Grüner Pulverttee (Japan); 2–Shincha: Grüner Blatttee aus der ersten Frühjahrsernte, oftmals beschattet (Japan); 3–Sencha: Grüner Alltagsblatttee (Japan); 4–Lung Ching (auch Drachenbrunnentee): Hochwertiger Grüntee mit für China-Tee ungewöhnlicher Nadelform (China); 5–Gunpowder: Grüntee mit Blättern in Kugelform (China); 6–Grüner Blatttee mit vielen an ihrer weißlichen Behaarung erkennbaren Blattknospen (Südkorea); 7–Kukicha: Grüntee mit hohem Anteil an Blattstielen (Japan); 8–Formosa Oolong Ming Xiang: Halbfermentierter Tee mit großen, ganzen Blättern (Taiwan); 9–Darjeeling First Flush: Hochlandblatttee aus der Frühjahrsernte. Obwohl es sich offiziell um Schwarztee handelt, erfolgt keine vollständige Fermentation, so dass die Blätter z. T. ihre grüne Farbe behalten und die Zusammensetzung eher einem Oolong-Tee entspricht (Indien); 10–Munnar orthodox: Schwarzer Blatttee aus kaum zerkleinerten Blättern (Südindien); 11–Ceylon OP: Schwarzer Hochlandblatttee (Sri Lanka); 12–Ceylon BOP: Schwarzer Tee „Broken“ aus CTC-Manufaktur (Sri Lanka); 13–Assam FTGFOP: Schwarzer Blatttee der höchsten Qualitätsstufe mit sehr hohem Anteil an „goldenen“ Blattknospen (Indien); 14–Ostfriesentee: Blend verschiedener kräftiger Schwarztees unterschiedlicher Herkunft (zumeist CTC); 15–Typischer Teebeuteltee: Stark zerkleinerter CTC-Schwarztee (Kolumbien); 16–Instant-Tee: Aus aufgebühtem Schwarztee hergestellter und in heißem Wasser vollständig löslicher Tee-Extrakt.



Einleitung und Grundlagen

Außerdem kann der Schattentee zu Matcha verarbeitet werden, einem fein gemahlenden Pulverttee, welcher für Teezeremonien verwendet wird.^{19, 52} Gerösteter Tee sowie der hauptsächlich aus den Blattstielen bestehende Kukicha sind ebenfalls beliebt und werden im Sommer gerne kalt getrunken. Eine bekannte Spezialität ist der Genmaicha, ein Grüntee, dem gerösteter Reis beigemischt wird.^{19, 74}

Abgesehen von solchen traditionellen Zusätzen (weitere Beispiele sind die Verwendung von Jasminblüten in China oder das Bergamottöl im Earl Grey Tee) hat die moderne Lebensmittelindustrie mit einer Vielzahl natürlicher und künstlicher Aromastoffe zu einer Diversifikation des Teesortiments beigetragen. Zudem wird Tee nicht mehr nur als Heißgetränk konsumiert, sondern auch in anderen Formen wie Teebonbons oder Eistee. Letzterer macht etwa 85 % des US-amerikanischen Teekonsums aus.^{72, 75}



1.3 Inhaltsstoffe des Tees

Die Blätter von *C. sinensis* enthalten neben Wasser eine große Vielfalt an Komponenten wie Kohlenhydrate (Polysaccharide, Pektine, Zucker), Chlorophylle, Phenole und Polyphenole.²⁵

⁷⁶ Auf einige Inhaltsstoffe wird nachfolgend eingegangen.

1.3.1 Nicht-polyphenolische Inhaltsstoffe

Mineralstoffe

Tee enthält größere Mengen an Kalium (15 g/kg i. Tr.), Calcium (4 g/kg i. Tr.) und Magnesium (2 g/kg i. Tr.) sowie im Vergleich zu anderen Lebensmitteln viel Aluminium (1 g/kg i. Tr.), Mangan (0,8 g/kg i. Tr.) und Fluorid (0,2 g/kg i. Tr.).^{48, 51, 77}

Purinalkaloide

Neben geringen Gehalten an Theobromin (0,05–0,5 % i. Tr.) und Theophyllin (< 0,05 % i. Tr.) sind größere Mengen des Purinalkaloids Coffein (2–5 % i. Tr.) im Tee vorhanden (**Abb. 1–8**).⁷⁸ Die Gehalte sind in grünem und schwarzem Tee vergleichbar.²⁵ Aufgrund seiner anregenden Wirkung und des bitteren Geschmacks ist Coffein ein wertgebender Bestandteil des Tees.⁷⁹

Proteine, Aminosäuren, Enzyme

Proteine machen bis zu 30 % der Trockenmasse frischer Teeblätter aus. Da diese mit Wasser kaum extrahiert werden, sind sie von geringer Relevanz.²⁵ Erwähnenswert sind die 19 freien Aminosäuren, welche im Tee nachweisbar sind und eine gute Löslichkeit aufweisen (ca. 50 % innerhalb von 2 min Ziehzeit).^{77, 80-81} Der Gehalt sinkt tendenziell mit dem Verarbeitungsgrad (weißer Tee > grüner Tee > Oolong > schwarzer Tee) und liegt durchschnittlich bei 1,3–2,5 % i. Tr. Davon entfallen 30–50 % auf das L-Theanin (5-N-Ethyl-L-glutamin, **Abb. 1–8**), das fast ausschließlich in *C. sinensis* vorkommt.^{68, 81} Von großer Bedeutung sind Enzyme wie Polyphenoloxidase, Peroxidase oder Lipoxigenase (Abschnitte 1.2 und 1.3.2.4).²⁵

Carotinoide, Lipide und Aromakomponenten

Des Weiteren stellen Carotinoide einen Bestandteil der Teeblätter dar (u. a. Neoxanthin und β -Carotin, **Abb. 1–8**). Ebenso wie die Lipide (z. B. Linol- und Linolensäure) gehen sie nur in geringem Maße in das Aufgussgetränk über, spielen aber eine nennenswerte Rolle in der Aromaentwicklung des schwarzen Tees. In Tee wurden bereits über 600 flüchtige Verbindungen nachgewiesen, welche in Abhängigkeit von der Teesorte stark variieren können und eine Reihe unterschiedlicher Klassen (u. a. Alkohole, Terpenoide und Lactone) umfassen.²⁵

Vitamine

Tee enthält die Vitamine C, E und K sowie Provitamin A (β -Carotin), Thiamin, Riboflavin, Nicotinsäure, Pantothersäure und Folsäure. Der Gehalt an Vitamin C im frischen Teeblatt ist vergleichbar mit dem von Zitronen, wird jedoch im Laufe der Verarbeitung und Lagerung sowie durch das Aufgießen mit heißem Wasser deutlich reduziert. Dagegen sind Thiamin, Riboflavin, Nicotin- und Pantothersäure nur in geringer Menge vorhanden, während im Falle der lipophilen Vitamine E und K sowie des Provitamins A die Extrahierbarkeit mit Wasser unzureichend ist. Bei hohem Teekonsum von etwa 1 L/Tag sind die Gehalte an Vitamin C und Folsäure geeignet, einen Beitrag zum Tagesbedarf zu leisten.^{76, 82}

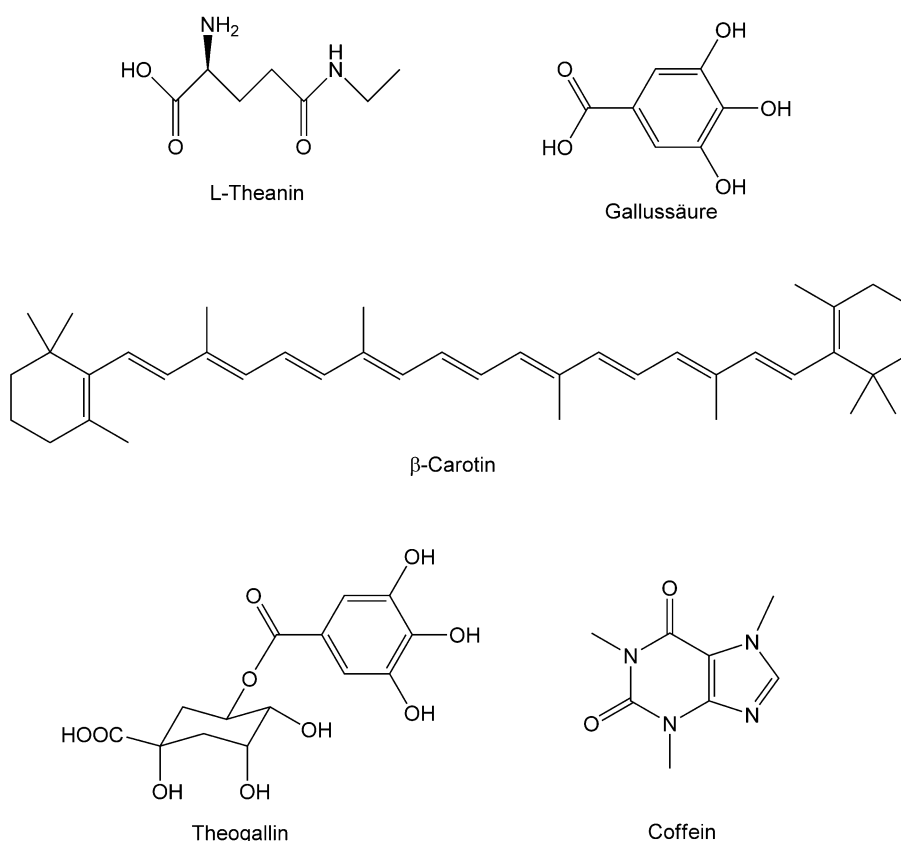


Abb. 1–8 Strukturformeln einiger nicht-polyphenolischer Inhaltsstoffe von *C. sinensis*.

Organische Säuren und Phenolsäuren

Im Tee wurden relativ hohe Gehalte an Oxalsäure und Chinasäure gefunden. Daneben sind einige Phenolsäuren wie die Gallussäure (**Abb. 1–8**) sowie Chlorogensäuren und *p*-Hydroxyzimtsäuren vorhanden. Zu den Hauptbestandteilen eines Teeaufgusses gehört die Phenolsäure Theogallin (5-Galloylchinasäure, **Abb. 1–8**).^{25, 83–84}



1.3.2 Polyphenole

1.3.2.1 Definition und Klassifizierung

Polyphenole zählen zu den sekundären Pflanzenstoffen und sind Bestandteile sämtlicher Pflanzen.⁸⁵ Aufgrund einer Vielzahl möglicher positiver gesundheitlicher Aspekte ist ihre Bedeutung für die menschliche Ernährung in den letzten Jahrzehnten zunehmend in den Fokus der Forschung gerückt (vgl. 1.1.5). Den Pflanzen dienen sie als Schutz vor Fraßfeinden und UV-Strahlung sowie außerdem durch ihre z.T. intensive Farbgebung in Blüten und Früchten zur Fortpflanzung.⁸⁶⁻⁸⁷

Im Teeaufguss stellen Polyphenole sowohl quantitativ als auch infolge ihrer sensorischen und physiologischen Eigenschaften die bedeutendste Substanzklasse dar. Hinsichtlich der Definition von *Polyphenolen* bestehen differente Ansichten. Der Versuch einer Definition von HASLAM aufbauend auf den Arbeiten von WHITE, BATE-SMITH und SWAIN (*WBSSH-Definition*) gilt inzwischen als veraltet. HASLAM definierte Polyphenole als wasserlösliche Substanzen mit einer Molekülmasse von 500-4000 Da sowie 5–7 Phenoleinheiten und 12–16 Hydroxylgruppen je 1000 Da.⁸⁸⁻⁸⁹ Es folgte die Beschreibung von Polyphenolen als mehrfach (mindestens zweifach) hydroxylierten Aromaten, welche in der Fachliteratur weiterhin geläufig ist. Nach jüngerer Auffassung müssen hingegen mindestens zwei hydroxylierte aromatische Systeme vorhanden sein.⁹⁰ Eine Definition „echter Polyphenole“ wurde von QUIDEAU et al. (2011) vorgestellt, gemäß der zusätzlich die Biosynthese über den Shikimisäure- oder den Polyketidweg sowie die Abwesenheit einer stickstoffhaltigen funktionellen Gruppe in der Grundstruktur vorausgesetzt wird.⁸⁹ In dieser Arbeit wird der Begriff *Polyphenole* nur für Verbindungen mit mindestens zwei phenolischen Gruppen verwendet, so dass z.B. Phenolsäuren und deren Ester (*Depside*) wie 3-*O*-Caffeoylchinasäure oder Theogallin (**Abb. 1–8**) nicht davon erfasst werden.

Polyphenole lassen sich in Flavonoide, Stilbene und Lignane einteilen, welche wiederum in Untergruppen eingeteilt werden können.^{86, 89} Außerhalb dieser drei Hauptpolyphenolklassen existiert im Tee noch die Gruppe der hydrolysierbaren Tannine, hauptsächlich vertreten durch das Strictinin (1-*O*-Galloyl-4,6-Hexahydroxydiphenoyl-β-D-Glucose).⁹¹⁻⁹³ Die Biosynthese der Polyphenole ist komplex und erfolgt über unterschiedliche Syntheserouten. Nichtflavonoide Polyphenole werden über den Shikimisäure- (C6-C1-Körper) und den Phenylpropan-Weg (C6-C3-Körper) gebildet. Zur Biosynthese der Flavonoide bedarf es zunächst einer Kombination dieser beiden Synthesewege, die zur Bildung des *p*-Cumaroyl-CoA führt. Durch Ad-

dition dreier Einheiten des über den Malonsäureweg gebildeten Malonyl-CoA entsteht das Flavonoid-Grundgerüst.³²

Da in den Blättern von *C. sinensis* v. a. Flavonoide enthalten sind, sollen diese im Folgenden näher betrachtet werden. Ihre Grundstruktur bildet ein C6-C3-C6-Gerüst aus zwei aromatischen Ringen (A und B), welche durch einen heterocyclischen Pyranring (C) miteinander verbunden sind (**Abb. 1–9**).⁸⁵

Anhand von funktionellen Gruppen am Pyranring ist eine weitere Einteilung in Untergruppen möglich. Die sechs wichtigsten sind: Flavonole, Flavone, Isoflavone, Flavanone, Anthocyanidine und Flavanole (**Abb. 1–9**). Flavonoide sind häufig mit Zuckern konjugiert und tragen Hydroxylgruppen, insbesondere an den Positionen 5, 7 und 4'. Hierdurch wird ihre Wasserlöslichkeit erhöht.^{32, 86, 94}

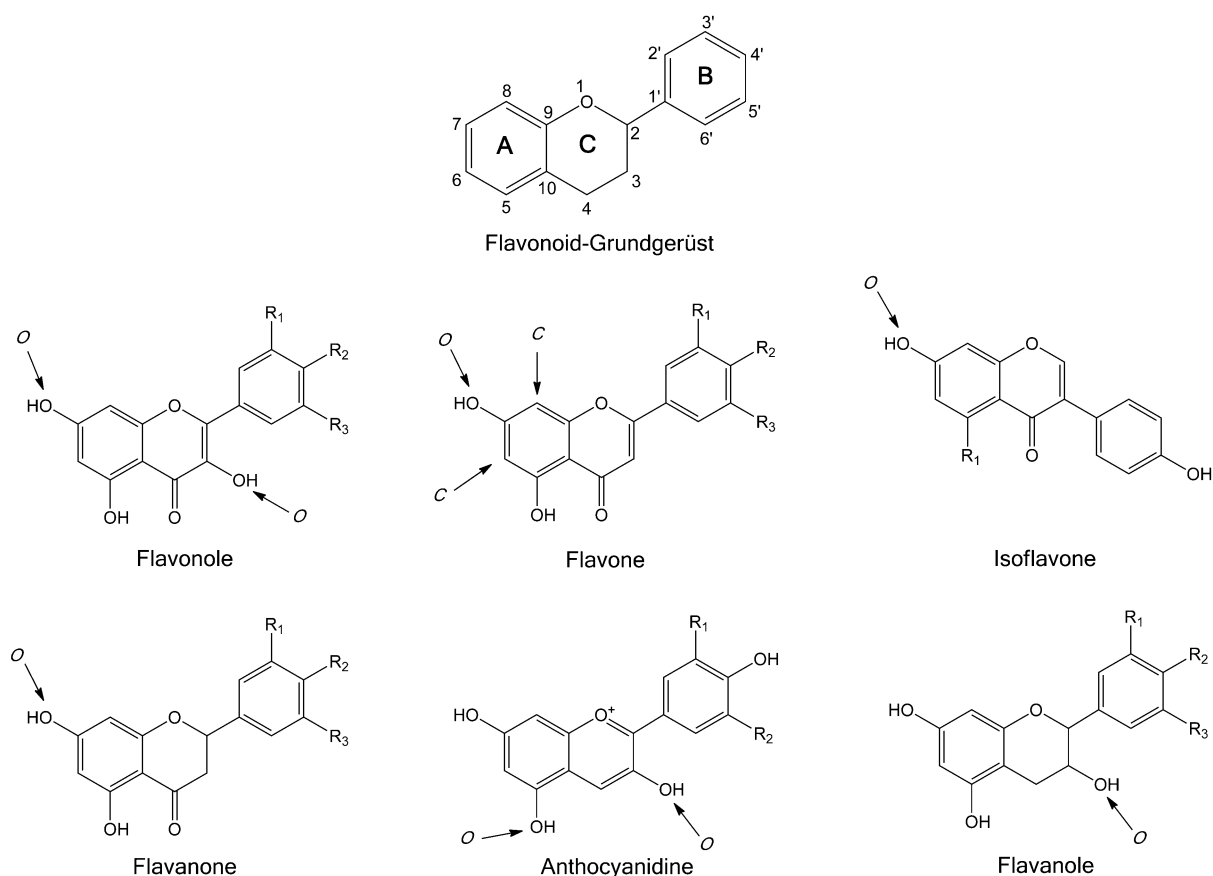


Abb. 1–9 Grundgerüst der Flavonoide sowie Grundstrukturen der sechs wichtigsten Untergruppen. Als Hauptsubstituenten (R_{1,2,3}) treten –H und –OH, seltener –OCH₃ auf. Bevorzugte Positionen für O- und C-verknüpfte Glycoside sowie organische/phenolische Säuren sind durch Pfeile markiert.

2 Zielsetzung

Hinsichtlich der Zusammensetzung von schwarzem Tee gibt es deutliche Wissenslücken. Dies lässt sich jedoch nicht auf ein mangelndes wissenschaftliches Interesse, sondern auf die hohe Komplexität der Inhaltsstoffe, konkret der sogenannten Thearubigene, zurückführen, die klassische analytische Herangehensweisen an ihre Grenzen bringt. Der Begriff Thearubigene stellt eine Sammelbezeichnung für im schwarzen Tee enthaltene Oxidationsprodukte dar, die im Rahmen der enzymatischen Oxidation v. a. aus Flavanolen gebildet werden und auf der Basis chemischer und sensorischer Eigenschaften sowie des chromatographischen Verhaltens zusammengefasst werden. Da die Thearubigene kaum charakterisiert sind, wird voraussichtlich infolge der fortschreitenden Erkenntnisgewinne eine differenziertere Nomenklatur für diese Substanzklasse notwendig werden.

Ein erstes Ziel dieser Arbeit ist es, die während der Teeherstellung ablaufenden Oxidationsreaktionen im Rahmen von Modellversuchen im kleinen Maßstab nachzuvollziehen, wofür vom Projektpartner Unilever R & D enzymhaltiges Teeblattpulver zur Verfügung gestellt wird. Durch die gezielte Auswahl von Substraten und die selektive (In-)Aktivierung der Enzyme Polyphenoloxidase bzw. Peroxidase sollen die Reaktionen vereinfacht und der Einfluss dieser Parameter auf die Bildung von Oxidationsprodukten untersucht werden. Damit einzelne Flavanole variabel als Substrat eingesetzt werden können, muss ein Verfahren zur kostengünstigen und effektiven Isolierung dieser Substanzen entwickelt werden. Über den gesamten Versuchszeitraum der Modelloxidationen werden Proben entnommen und mittels HPLC-DAD analysiert, um den Konzentrationsverlauf der wichtigsten Komponenten verfolgen zu können. Ferner sollen Messungen via HPLC-ESI-MSⁿ durchgeführt werden und die Identifizierung von Teeinhaltsstoffen ermöglichen. Die Beobachtungen sollen Rückschlüsse auf die Reaktionsabläufe liefern und mit Daten aus der Literatur verglichen werden.

Trotz ihrer Heterogenität verhalten sich Thearubigene untereinander und gegenüber anderen Teebestandteilen wie den Theaflavinen chemisch ähnlich. Thearubigen-Standards, welche z. B. zur Erforschung physiologischer Eigenschaften in weitergehenden Arbeiten eingesetzt werden könnten, sind nicht erhältlich. Deshalb ist die Isolierung möglichst reiner Thearubigenfraktionen aus Schwarztee ein weiterer Aspekt dieser Arbeit. Bestehende Methoden sollen aufgegriffen, bewertet und ggf. weiterentwickelt und optimiert werden.

Aufgrund des Mangels an Standardsubstanzen konzentrierten sich Studien zu teebezogenen Fragestellungen vornehmlich auf die Inhaltsstoffe des grünen Tees. Ein Gesichtspunkt ist



Zielsetzung

hierbei die Stabilität gelöster Teebestandteile über einen längeren Zeitraum, der beispielsweise für abgefüllte Getränke von Relevanz ist. Im abschließenden Teil der Arbeit sollen daher Lagerversuche mit einer zuvor gewonnenen Schwarzteefraktion Erkenntnisse über den Abbau von Thearubigenen und Theaflavinen im direkten Vergleich zu dem v. a. in grünem Tee vorkommenden EGCG liefern.