

***ILEX PARAGUARIENSIS* ST.-HIL. (MATE)**

Variabilität phytochemischer Merkmale
in Ausgangsmaterial und Produktion

Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.)

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt von

Melanie Haaf

aus

Essen

Bonn 2004

Angefertigt mit Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

1. Referent: Priv.-Doz. Dr. W. Knöß
2. Referent: Prof. Dr. G. M. König

Tag der Promotion:

Vorabveröffentlichungen der Dissertation

Teilergebnisse dieser Arbeit wurden mit Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät vertreten durch den Betreuer dieser Arbeit in folgenden Beiträgen veröffentlicht:

Tagungsbeiträge

W. Knöss, M. Haaf, W. Schlüter, A. Bach, N. Klein und L.B. Gheno:

Variability of phytochemical constituents in samples of Mate (*Ilex paraguariensis*, Aquifoliaceae)

Posterpräsentation anlässlich des Kongresses „2000 Years of Natural Products Research – Past, Present and Future“, Amsterdam, Niederlande, 26. bis 30. Juli 1999, Congress Abstracts

M. Haaf, E. Neu, K. Fisch, L.B. Gheno, W. Knöss:

Mate (*Ilex paraguariensis*) – correlation of phytochemical characteristics and antioxidative properties

Kurzvortrag anlässlich des Internationalen Kongresses und der 48. Jahrestagung der Gesellschaft für Arzneipflanzenforschung (GA) „Natural Products Research in den New Millennium“, Zürich, Schweiz, 3. bis 7. September 2000, Book of Abstracts, Abstract SL05

K. Fisch, M. Haaf, E. Neu, W. Knöss, G.M. König, A.D. Wright:

Measurement of antioxidative activity employing a TBARS assay in microtiter plates as a screening method

Poster anlässlich der Jahrestagung der Deutschen Pharmazeutischen Gesellschaft (DPhG), Münster, Deutschland, 4. bis 7. Oktober 2000, Arch. Pharm. Med. Chem. (Suppl. 2) 2000, Abstract P 3.04

M. Haaf, S. Plos, L.B. Gheno, W. Knöss:

Mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.) – Variability within and between individual Plants

Poster anlässlich des Internationalen Kongresses und der 49. Jahrestagung der Gesellschaft für Arzneipflanzenforschung (GA) „Traits, Tracks and Traces“, Erlangen, Deutschland, 2. bis 6. September 2001, Book of Abstracts, Abstract 6.12

M. Haaf, K.M. Fisch, S. Plos, W. Knöss:

Nutritional elements and antioxidative properties of Mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil., Aquifoliaceae)

Poster anlässlich der 50. Jahrestagung der Gesellschaft für Arzneipflanzenforschung (GA), Barcelona, Spanien, 8. bis 12. September 2002, Revista de Fitoterapia 2002: 2 (1), Abstract B180

M. Haaf, W. Knöss:

Alternative Drying-procedures in processing of Mate

Poster anlässlich der 48. Jahrestagung der Amerikanischen Gesellschaft für Pharmacognosy (ASP)
„The Changing Face of Natural Products Chemistry“, Chapel Hill, Vereinigte Staaten von Amerika,
12. bis 16. Juli 2003, Book of Abstracts, Abstract P69

Publikationen

M. Haaf, L.B. Gheno, W. Knöss:

Variability of phytochemical parameters in Mate (*Ilex paraguariensis*, Aquifoliaceae)

Planta medica (in Vorbereitung)

M. Haaf, L.B. Gheno, W. Knöss:

Evaluation of characteristic phytochemical parameters of Mate (*Ilex paraguariensis*, Aquifoliaceae)
during industrial processing

Planta medica (in Vorbereitung)

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IV
1 EINLEITUNG	1
1.1 Grundlage und Vorarbeiten	4
1.2 Zielsetzung der Arbeit	7
2 ILEX PARAGUARIENSIS ST.-HIL.	8
2.1 Zur Geschichte	8
2.2 Botanische Beschreibung	10
2.2.1 Taxonomische Abgrenzung	11
2.2.2 Anatomie des Mate-Blattes	12
2.2.3 Herkunft und Verbreitung	12
2.3 Anzucht und Ernte	13
2.4 Das Produkt Mate	14
2.5 Inhaltsstoffe	18
2.6 Pharmazeutische Bedeutung	23
2.6.1 Monographien	23
2.6.2 Pharmakologische und weitere Eigenschaften einzelner Inhaltsstoffe	24
2.6.3 Pharmakologische und weitere Eigenschaften von <i>Ilex paraguariensis</i> -Zubereitungen	26
2.6.4 Toxische und erbgutverändernde Eigenschaften	32
3 MATERIAL UND METHODEN	34
3.1 Untersuchungsmaterial	34
3.2 Chemikalien und Lösungsmittel	35
3.3 Kalluskultur von <i>Ilex paraguariensis</i>	36
3.3.1 Anlage von Kalluskulturen	36
3.3.2 Charakterisierung des Wachstums	37
3.4 Analytische Methoden	37
3.4.1 Trocknung	37

3.4.2	Zerkleinerung	38
3.4.3	Gehaltsbestimmung von Gesamtchlorophyll und Carotinoiden	38
3.4.4	Qualitative und quantitative Bestimmung der Naturstoffe (Caffeoylchinasäuren, Coffein und Rutin)	39
3.4.4.1	Dünnschichtchromatographie	40
3.4.4.2	Hochdruckflüssigkeitschromatographie	41
3.4.4.3	Validierung	42
3.4.5	Statistische Auswertung	43
3.4.6	Bestimmung der Mineralstoffe	43
3.4.7	Bestimmung der antioxidativen Eigenschaften	44
4	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	47
4.1	Erläuterungen zur Erfassung und Auswertung der Daten	47
4.2	Methodik der Durchführung und Auswertung der Untersuchungen	48
4.3	Bewertung der analytischen Methoden	56
4.4	Untersuchungen zur biologischen Variabilität	58
4.4.1	Analyse von Einzelblättern	58
4.4.2	Untersuchung von Blättern einzelner Zweige	59
4.4.3	Analyse von Blättern markierter Bäume	67
4.4.3.1	Auswertungen auf der Ebene der Zweige	69
4.4.3.2	Vergleiche auf der Ebene der Bäume	78
4.4.4	Versuche zur Bestimmung des Einflusses von Licht	83
4.5	Untersuchungen zur produktionsbedingten Variabilität	89
4.5.1	Mate cancheada	89
4.5.2	Zwischenstufen	95
4.5.3	Vergleich verschiedener Handelswaren	99
4.5.4	Alternative Trocknungsmethoden	105
4.6	Einsatz der Analytik als Qualitätskontrolle	109
4.6.1	Analyse von pilzbefallenen Proben	109
4.6.2	Fallbeispiel	110
4.7	Untersuchungen mit Kalluskulturen aus <i>Ilex paraguariensis</i>	113
4.7.1	Kalluscharakterisierung	113
4.7.2	Der Einfluss von Licht auf die Gehalte an phytochemischen Parametern	117

5	ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION	119
6	ZUSAMMENFASSUNG	128
7	LITERATURVERZEICHNIS	131
8	ANHANG I: ZUSAMMENSTELLUNG DER ERHOBENEN DATEN	145
9	ANHANG II: BESTIMMUNG DER MINERALSTOFFGEHALTE SOWIE DER ANTIOXIDATIVEN EIGENSCHAFTEN VON MATE	192
9.1	Einleitung	192
9.2	Mineralstoffzusammensetzung von Mate	193
9.3	Antioxidative Eigenschaften von Mate	197

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BHT	Butylhydroxytoluen
CQA (nur in Tab. und Abb.)	Caffeoylchinasäure
Df (nur in Tab.)	Freiheitsgrade
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DPPH	α,α -Diphenyl- β -picrylhydrazyl
IR	Infrarot
J. (nur in Tab. und Abb.)	Jahre
k.A. (nur in Tab.)	keine Angabe
Kap.	Kapitel
LDL	Low-density Lipoproteine
PAL	Phenylalanin-Ammonium-Lyase
n.b. (nur in Tab.)	nicht bestimmt
Tab.	Tabelle
TBARS	Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen
UV	Ultraviolett

1 Einleitung

Mate ?

Mate – ist sowohl gebräuchliche Bezeichnung für eine Pflanzenart als auch für ein daraus zubereitetes Getränk. Letzteres wurde schon im Mittelalter von den Jesuiten nach Europa eingeführt. Doch seine Bekanntheit hält sich bis heute in engen Grenzen, obwohl der Mate-Tee z.B. in den 90er Jahren als „neuartiges Schlankheitsmittel“ einiges an Popularität gewonnen hatte. Die Pflanze Mate ist in unseren Breiten noch weniger bekannt als der Tee. Und dabei blicken beide, Mate als Pflanze und als Getränk, auf eine lange Tradition zurück.

Schon in der Kultur der Inkas (etwa 12. bis 15. Jahrhundert) und der Guaraní-Indianer (ein Eingeborenenstamm Südamerikas) war der Genuss von Mate bekannt. Auch wurde er als existentielles Lebensmittel sehr geschätzt. Ein besonderes Indiz seiner Bedeutung war der Glaube dieser Völker, dass die Mate-Pflanze unter einem besonderen göttlichen Schutz stehe. Insgesamt ist die Wertschätzung als anregendes Getränk bis heute unverändert und äußert sich alltäglich im Einsatz gegen vielfältige Beschwerden und Erkrankungen sowie in seiner unverminderten sozialen und ökonomischen Bedeutung.

Als erste Europäer haben die Jesuiten, welche zu missionarischen Zwecken nach Südamerika reisten, die Bedeutung des Mate für die Indios erkannt. Sie begriffen auch oder besonders den ökonomischen Wert dieser Pflanze. Deshalb verbanden die Jesuiten ihre Bemühungen, die Guaraní-Indianer vor Sklavenjägern zu schützen, mit dem Ziel, Mate in Wildvorkommen und Plantagen zu kultivieren. Weitere Bestrebungen um Mate erstreckten sich auf statistische und analytische Untersuchungen, um den Export zu stimulieren (Bartsch, 1998). Dadurch konnten sich die Jesuiten zeitweilig das Monopol des Mate-Handels sichern. Mit der Vertreibung der Jesuiten durch europäischen Eroberer zerfiel dieses Monopol jedoch wieder. Aufgrund der heutigen ökonomischen Bedeutung von Mate sind Forschungsprojekte an Mate in Südamerika bisher fast ausschließlich auf den agrar- und forstwirtschaftlichen Sektor begrenzt. So werden Ansätze zur vegetativen Vermehrung untersucht, um die zeitaufwendigere Keimung aus Steinfrüchten zu umgehen. Darüber hinaus zielen erste Schritte in Form von Vererbungsstudien auf Selektion zur Verbesserung der Qualität ab (Scherer *et al.*, 2002).

In Südbrasilien, Uruguay, Nordargentinien und Paraguay äußert sich die besondere soziale Bedeutung von Mate bis heute vielfältig im dortigen Alltag. Mit dem traditionellen Genuss des Mate stehen Attribute wie Ruhe und Beschaulichkeit in enger Verbindung. Als Gast zum Mate-Trinken aufgefordert zu werden, darf als sicheres Zeichen gewährter Gastfreundschaft verstanden werden. Auch kreist die Cuia (das traditionelle Gefäß, aus welchem Mate mit Hilfe einer „Bombilla“, einer Art Trinkhalm mit integriertem Sieb, getrunken



Abb. 1-1: Cuia und Bombilla

wird; s. Abb. 1-1) gerne bei geschäftlichen Besprechungen und in den Arbeitspausen. Wann auch

immer der Moment zum Mate-Trinken gekommen ist, steht stets der verbindende Aspekt dieser Tradition im Vordergrund, welcher durch die Zeremonie der Zubereitung eingeleitet wird.

Die Gewohnheiten, den Genuss von Mate betreffend, sind tief verwurzelt. Sie schienen bis vor etwa zwei Jahrzehnten resistent gegen Innovationen und Veränderungen zu sein. Mate und seine Produktion, Cuia und Bombilla sowie das Zeremoniell der Zubereitung hatten sich bis dahin seit mehr als 100 Jahren kaum geändert. So konnten sich in der traditionellen Bereitung des Getränks nur zwei minimale Änderungen durchsetzen, die auf die Anforderungen der neueren Zeit zurückzuführen sind. Zum einen wurde die einst silberne Bombilla durch eine aus Stahl ersetzt. Eine weitere Neuerung ist der Ersatz bzw. die Ergänzung des Kessels mit heissem Wasser über dem Feuer durch eine Thermoskanne. Damit kann der passionierte Mate-Trinker das heiße Wasser zur Zubereitung des „chimarrão“ (Bezeichnung für Getränk, das mittels gepulverten Mate-Tees hergestellt wird, aber auch Bezeichnung für das Mate-Pulver selbst) jederzeit mit sich führen und ist so unabhängig von der ehemaligen Feuerstelle bzw. der heutigen Küche (Vazquez und Moyna, 1986).

Neben seiner anregenden Wirkung, für welche Mate schon immer geschätzt wurde, werden ihm zahlreiche weitere Eigenschaften zugeschrieben. So wird zum Beispiel immer wieder beschrieben, dass Mate-Tee über längere Zeiträume das einzige Nahrungsmittel der Guaraní war. Trotzdem waren sie noch zu körperlicher Arbeit in der Lage und büßten nicht an Leistungsfähigkeit ein (Knöss, 1997; Vera Garcia *et al.*, 1997). Darüber hinaus, so heisst es, bewahrte das Kauen der frischen Blätter als Obst- bzw. Gemüseersatz Eingeborene vor Vitaminmangel (Bartsch, 1998). Immer noch wird Mate heute in der Volksmedizin bei vielen Erkrankungen und Beschwerden verwendet: als Diuretikum, Antirheumatikum, Laxans, Digestivum und Diaphoretikum, bei Atherosklerose und Gicht sowie äußerlich bei Wunden, Geschwüren und Entzündungen (Ohem, 1990 und 1996; Filip *et al.*, 1998 und 2001; Saldana *et al.*, 2000; Martinet *et al.*, 2001). Verglichen mit der Anwendung als Lebensmittel ist die Nutzung von Mate auf dem pharmazeutischen Markt aber relativ begrenzt. Zur Zeit versuchen einige Firmen, die pharmazeutische Nutzung durch Kombination von Mate mit Arzneipflanzen zu erweitern.

Diese zunehmenden Bestrebungen, das Image des Mate zusätzlich um moderne Facetten zu erweitern, sind sehr viel stärker auf den Gebrauch als Lebensmittel ausgerichtet. Erste Anzeichen dafür liefern bereits einige im „Código Latinoamericano de Alimentos“ (nachzulesen bei Tenorio Sanz, 1991) aufgeführte Mate-Produkte wie Instantprodukte oder Pastillen und Tabletten. Weitere Ideen, Mate auch ein modernes Gesicht zu verleihen, sind sehr vielschichtig. So wurde z.B. „Mate automatico“ entwickelt. Dies ist eine „Einweg-Cuia“, in welche bereits Mate abgefüllt ist, so dass nur noch heißes Wasser zugegeben werden muss. In Analogie zu den bei Jüngeren besonders populären Softdrinks wurden Instantgetränke entwickelt. Zur Ausweitung des Marktes auf Verbrauchergruppen, die Mate bisher aus geschmacklichen Gründen nicht favorisiert hatten, werden nun Produkte mit Geschmackszusätzen wie Kirsche, Apfel oder Zitrone vertrieben. Als Folge dieser Entwicklungen wurde auch die noch bis vor ca. 20 Jahren unumstößliche Regel, dass Mate-Tee nicht in Eile getrunken werden

konnte, aufgehoben. Darüber hinaus wird Mate zur Aromatisierung in Eiscremes und Konditoreiwaren verarbeitet (Bartsch, 1998). Schließlich spiegelt sich die Bedeutung des Lebensmittels „Mate“ auch in den lebensmittelrechtlichen Bestimmungen wieder, die z.B. von Argentinien erlassen wurden. Sie beinhalten unter anderem, dass Mate ausschließlich von *Ilex paraguariensis* gewonnen werden darf. Darüber hinaus wird die Qualität des Produkts mittels Definitionen verschiedener Vermarktungsformen und physikalisch-chemischer Parameter spezifiziert (Bartsch, 1998). Durch all diese Bestrebungen wird der Eindruck vermittelt, dass neben dem Kulturgut Mate in Südamerika ein zusätzliches Image in der Form von modernen Lifestyle-Produkten entstehen soll.

Die vielschichtige Bedeutung und der kulturelle Hintergrund des Mate-Tees sind bis heute in Europa nur wenig bekannt. Hier wurden bisher eher die Lifestyle-Aspekte favorisiert. Im Zuge der immer wieder aufkommenden Welle der Vermarktung neuartiger Schlankheitsprodukte wurde auch Mate-Tee (s. Abb. 1-2) als solches vor einigen Jahren beworben. Bis heute kann eine entsprechende Wirkung jedoch nicht als gesichert betrachtet werden. Martinet *et al.* (1999) publizierten einen ersten Hinweis auf eine mögliche gewichtsreduzierende Wirkung aufgrund einer vermehrten Fett-Oxidation.

Als ein weiterer, aktueller Aspekt rückte in den letzten Jahren verstärkt das Interesse an antioxidativen Eigenschaften von Mate in das Blickfeld einiger Untersuchungen. Hintergrund solcher Arbeiten ist, dass die ungehinderte Produktion von freien Radikalen mit einer Reihe von pathologischen Befunden wie Atherosklerose in Verbindung gebracht wird. Atherosklerose stellt eine häufige Ursache für Herz-Kreislauf-Erkrankungen dar, welche einen hohen Prozentsatz der Morbidität in der westlichen Welt ausmachen. Diese Zusammenhänge führten zu der Überlegung, dass oxidative Schädigungen und daraus resultierende Erkrankungen durch die Supplementierung mit natürlichen Antioxidantien retardiert werden könnten (Gugliucci, 1996). Als prominentestes Beispiel zur Bekräftigung solcher Überlegungen ist der als französische Paradoxon bekannte Befund einer niedrigeren relativen Inzidenz von Herz-Kreislauf-Erkrankungen aufgrund eines erhöhten Rotweingusses zu nennen. (Frankel *et al.*, 1993).

All dies führte zu einem gesteigerten Interesse, die antioxidativen Eigenschaften von pflanzlichen Substanzen zu bestimmen. Als solches wurde auch Mate einbezogen, um eine Verbindung zwischen seiner Bedeutung als Nahrungsmittel und einer potentiellen Rolle zur Verbesserung der Gesundheit herzustellen (Schinella *et al.*, 2000).

Über diese beiden Aspekte eines Schlankheits- oder Gesundheitstrends hinaus hat Mate bisher nicht viel mehr Interesse in Deutschland hervorgerufen. Auf wissenschaftlicher Ebene existierten bisher



Abb. 1-2: Werbung für Mate-Tee als Schlankheitsmittel

zwei Dissertationen (Ohem, 1992 und Brieger, 1995), die beide im Arbeitskreis von Professor Hölzl in Marburg angefertigt wurden. Ohem beschäftigte sich mit phytochemischen Untersuchungen zu Mate, in dem er Analysenmethoden ausarbeitete und anschließend Substanzen (sechs Caffeyolchinasäuren, vier Flavonoide und zwei Triterpene) isolierte und identifizierte. Die Arbeit von Brieger zielte auf die botanische und phytochemische Charakterisierung von *Ilex paraguariensis* im Vergleich zu weiteren *Ilex*-Arten ab, um eine sichere Abgrenzung von Mate zu ermöglichen.

In beiden Dissertationen wurde die Vielfalt der Blattformen von *Ilex paraguariensis* angesprochen. Sie äußerte sich zuerst in dem Auftreten zahlreicher botanischer Namen für Mate. Später wurde ihr Rechnung getragen, indem verschiedene morphologische Varietäten unterschieden wurden. Ohem wies auch darauf hin, dass bisher keine angemessenen Untersuchungen zu der Variabilität der Inhaltsstoffe existieren. Er forderte, diese Lücke durch breite wissenschaftliche Basisanalysen zu schließen, um dadurch Instrumente einer effektiveren, über die Bewertung der Blattmasse hinausgehende Qualitätsbeurteilung zu schaffen. Auch in weiteren wissenschaftlichen Arbeiten finden sich Hinweise auf die Variabilität von *Ilex paraguariensis*. So wurde die Variation der Purinalkaloidgehalte in epicuticulärem Wachs der Blätter (Athayde *et al.*, 2000), in verschiedenen Handelswaren (Pomillio *et al.*, 2002) und bei Vererbungsstudien (Scherer *et al.*, 2002) beobachtet. Insgesamt wurde die Variabilität als „bemerkenswert“ oder „hoch“ beurteilt. Auch wurden variierende Coffeingehalte in Abhängigkeit vom Alter der Blätter (Descartes de Garcia Paula, 1962), von ihrer Herkunft (Ohem, 1992), vom Erntezeitpunkt (Athayde und Schenkel, 2000) und von der Blattmasse (Scherer *et al.*, 2002) beschrieben.

1.1 Grundlage und Vorarbeiten

Bisher wurden in der Literatur einige Beobachtungen zur Variabilität der Gehalte von Coffein in *Ilex paraguariensis* sowie Forderungen nach einer breiteren wissenschaftlichen Basischarakterisierung der Variabilität veröffentlicht. Die vorliegende Arbeit soll deshalb einen ersten Schritt zur Erfüllung dieser Forderungen darstellen und dabei nicht nur Coffein bestimmen, sondern eine Matrix von Parametern analysieren.

Da mit *Ilex paraguariensis* eine in Südamerika heimische Pflanze im Mittelpunkt dieser Arbeit steht, war eine Grundvoraussetzung die Versorgung mit angemessenem Probenmaterial aus Südamerika. Dies wurde durch eine ausgeprägte Zusammenarbeit mit einem brasilianischen Mate-Produzenten, der Firma Baldo S/A sowie deren zuliefernden Plantagenbesitzern (syn.: Anbauern) sichergestellt. Nur in dieser Form konnte gewährleistet werden, dass die Untersuchungsobjekte den gewünschten Ursprung hatten und sorgfältig behandelt wurden. Darüber hinaus bot nur eine sehr enge Kooperation die Möglichkeit, Entscheidungen über die Art der zu untersuchenden Proben selbst zu treffen sowie besondere Feldversuche vor Ort abzustimmen.

Eine wichtige Frage, die für die gesamte Planung der Arbeit von grundlegender Bedeutung war und vor ihrem Beginn geklärt werden musste, war, in welchem Zustand das Pflanzenmaterial, das aus Südamerika geliefert wurde, untersucht werden sollte. Frisch geerntete Proben mussten aufgrund des weiten Weges und der damit verbundenen langen Transportzeit ausgeschlossen werden.

Eines der ersten Ziele im Rahmen der Kooperation mit Baldo war deshalb die Analyse der ersten Trocknungsschritte. Die entsprechenden Untersuchungen und die Festlegung der Methoden sowie deren Validierung wurden noch vor Beginn dieser Arbeit durchgeführt. Sie bildeten aufgrund der erzielten Ergebnisse die Basis der hier vorgestellten Arbeit, indem sie zeigten, dass zapekiertes Probenmaterial am besten für die geplanten Untersuchungen geeignet war.

Die Verarbeitung von *Ilex paraguariensis* beginnt mit drei aufeinanderfolgenden Trocknungsschritten: Zapekieren (in Südamerika „Sapeco“ bezeichnet), Vortrocknen („pre-drying“) und Trocknen („Barbaquá“). In ersten Versuchen (Knöss *et al.*, 1998) wurde eine Serie von Proben untersucht, die aus dem kontinuierlichen Produktionsprozess in der Zeit von Januar bis Juli 1998 stammten. Diese Serie bestand aus frischen, zapekierten, vorgetrockneten und getrockneten Blättern sowie aus getrockneten Stielen. Die Analysen erstreckten sich auf die Bestimmung des Trockengewichts und die quantitative Bestimmung der Mono- und Dicaffeoylchinasäuren, des Coffeins und der Farbpigmente (Gesamtchlorophyll und Carotinoide). Die gemittelten Trockengewichte bzw. die mittleren Gehalte der untersuchten Proben sind in Abb. 1-3 bezogen auf 1g Trockengewicht dargestellt. Um aus dieser Abb. direkt abzulesen, wie sich jeder einzelne Trocknungsschritt auf den Gehalt eines phytochemischen Parameters auswirkt, wurde der Gehalt, welcher für frische Blätter gemessen wurde, 100 % gleichgesetzt. Da zwischen der Ernte des Pflanzenmaterials und dessen Zapekieren bis zu 50 % der Caffeoylchinasäuren durch Oxidation zerstört werden können, konnten für frische Blätter zu dem Zeitpunkt der Voruntersuchungen keine mittleren Gehalte für diese Substanzen angegeben werden. Deshalb wurde der mittlere Gehalt an Monocaffeoylchinasäuren, der in zapekierten Blättern bestimmt worden war, 100 % gleichgesetzt. Sowohl die mittleren Gehalte an Monocaffeoylchinasäuren der weiteren Proben als auch die mittleren Gehalte an Dicaffeoylchinasäuren aller Proben wurden zu diesem Wert ins Verhältnis gesetzt.

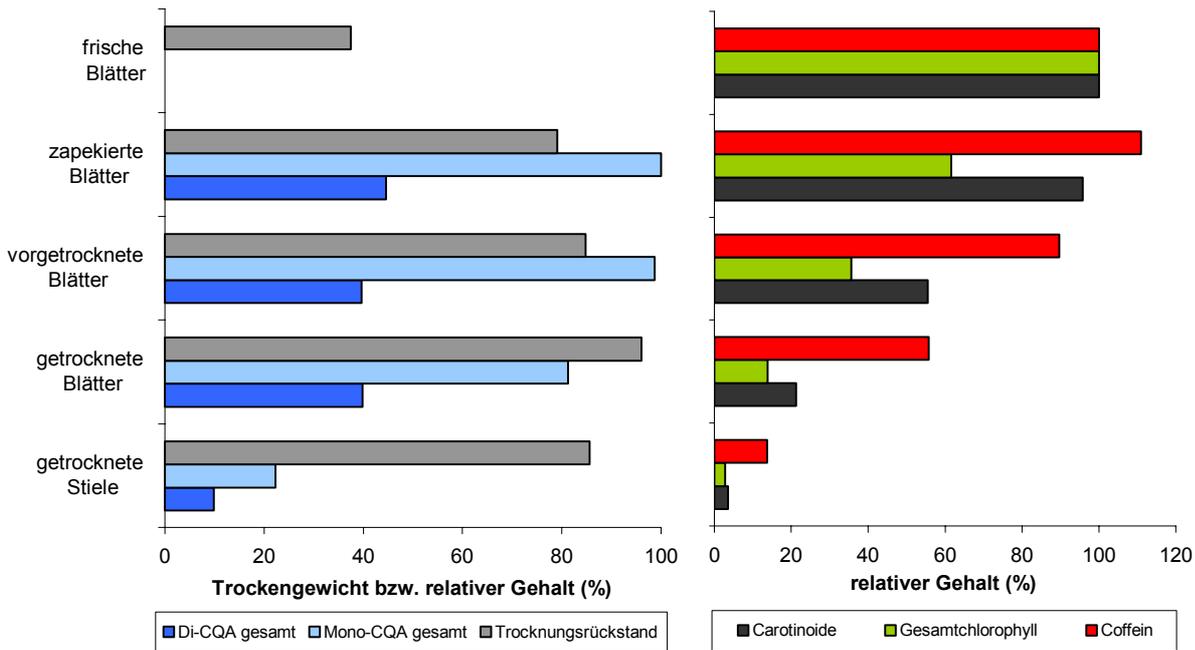


Abb. 1-3: links: Trockengewicht (%) bzw. relative Gehalte (% , bezogen auf 1 g Trockengewicht) an Monocaffeoylchinasäuren und Dicaffeoylchinasäuren (100 % - 38,2 mg Monocaffeoylchinasäuren) – rechts: relative Gehalte (% , bezogen auf 1 g Trockengewicht) an Coffein (100 % - 12,2 mg), Gesamtchlorophyll (100 % - 11,6 mg) und Carotinoiden (100 % - 1,1 mg)

Erwartungsgemäß stieg der Trocknungsrückstand der untersuchten Blätter ausgehend von den frischen Blättern (37,5 %) mit zunehmender Dauer der Trocknung bis zu deren Abschluss auf nahezu 100 % an. Für alle untersuchten phytochemischen Parameter war über die Dauer der drei Trocknungsschritte eine Gehaltsabnahme zu beobachten, am stärksten betroffen waren die Farbpigmente. Dagegen war der Gehalt von Coffein besonders nach dem Zapekieren und auch noch nach der zweiten Trocknung relativ wenig beeinträchtigt. Auch für die Caffeoylchinasäuren war die Gehaltsabnahme erst nach dem dritten Trocknungsschritt am größten.

Der erste Produktionsschritt, das Zapekieren, zeichnet sich sowohl durch Stabilität als auch durch Gleichmäßigkeit aus. Die Gleichmäßigkeit des Zapekierens äußert sich darin, dass schon auf dieser Stufe der Trocknung die enzymatische Aktivität unterdrückt und so der Abbau der Naturstoffe reproduzierbar unterbunden wird. Dies führt zu einem stabilen Produkt, dessen Gehalte an phytochemischen Parametern reproduzierbar bestimmt werden können. Wenn das Zapekieren schnellstmöglich nach der Ernte des Materials erfolgt, liegen die Gehalte mit Ausnahme der Pigmente noch in ähnlichen Bereichen wie die entsprechenden Gehalte frischen Pflanzenmaterials. Für die Pigmente muss mit einer deutlichen Gehaltsabnahme während der Lagerung gerechnet werden.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Schwerpunkt dieser Arbeit war die Erfassung der Variabilität einiger phytochemischer Merkmale von Mate. Es sollten Untersuchungen mit Material, das drei unterschiedlichen Bereichen zuzuordnen ist, durchgeführt werden:

- Zepkiertes Pflanzenmaterial von *Ilex paraguariensis* (einzelne Blätter, Blätter verschiedener Zweige und Blätter markierter Bäume)
- Proben aus wichtigen Produktionsschritten sowie verschiedene Handelsprodukte
- Undifferenziertes Gewebe (Kalluskulturen von *Ilex paraguariensis*)

Als Untersuchungsparameter wurden die phytochemischen Merkmale Coffein, Mono- und Dicaffeoylchinasäuren und Rutin sowie die Farbpigmente Gesamtchlorophyll und Carotinoide ausgewählt.

Aus jedem Bereich sollte eine möglichst große Zahl an Proben untersucht werden. Dadurch sollten nicht nur Aussagen über eine Variabilität der phytochemischen Parameter in Pflanzenmaterial, sondern auch deren mögliche Veränderungen im Lauf der Produktion erhalten werden. Um die bestimmten Gehalte und die Aussagen zur Variabilität einschätzen zu können, sollten möglichst viele charakteristische Informationen (wie z.B. Anbauer; Alter, Herkunft und Kulturform der Pflanze; Belichtung, Lage und Exposition von Zweigen) mit den Analyseergebnissen in Zusammenhang gebracht werden.

Auf dieser Grundlage sollte die Variabilität der ausgewählten Parameter in brasilianischem Pflanzenmaterial von *Ilex paraguariensis* charakterisiert werden. Durch das Einbeziehen des Produktionsbereiches sollte anhand der gewonnenen Ergebnisse die Variabilität der Substanzen im Verlauf der Produktion bestimmt werden. Dieses Wissen kann dazu genutzt werden, die Qualität der Zwischen- und Endprodukte zu beurteilen. Darüber hinaus kann die Eignung der eingesetzten Methoden zur Qualitätskontrolle überprüft werden. Die vergleichende Untersuchung von undifferenzierten Kalluskulturen sollte ermöglichen, den Nutzen und das Potential von Gewebekulturtechniken für spätere Selektionsversuche einzuordnen.

2 *Ilex paraguariensis* St.-Hil.

Um die Facetten des Mate zu unterstreichen und seine Faszination zu verdeutlichen, wird im Folgenden der aktuelle Kenntnisstand zu Geschichte und Tradition, Botanik, Produktion und Marktsituation sowie zu den Inhaltsstoffen und der pharmazeutischen Bedeutung von *Ilex paraguariensis* St.-Hil. zusammengefasst.

2.1 Zur Geschichte

Legenden

Die Iguazu-Fälle im Dreiländereck Argentinien, Brasilien, Paraguay sind in den Legenden der Guaraní-Indianer ein heiliger Ort. Dort, so wird überliefert, residiert Kaa-Yare, die Göttin der Kräutersammler. Eine Pflanze, die unter ihrem besonderen Schutz steht, ist Mate. Aus den Blättern wird in Süd-Brasilien, Argentinien, Uruguay und Paraguay Mate-Tee zubereitet. Dieser gehört dort zum Alltag, er wird wegen seiner anregenden Wirkung geschätzt. In Legenden und im Erfahrungsschatz des Alltags wird Mate-Tee darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Wirkungen nachgesagt.

Aus einer Legende der Indios in Brasilien:

Es wiederholte sich immer wieder: Der Stamm rodete kleine Areale des Urwalds. Maniok und Mais wurden angepflanzt, doch nach vier oder fünf Jahren war der Boden nicht mehr fruchtbar und der Stamm zog weiter. Ein alter Indianer war des Umherziehens müde und beschloss, zu bleiben wo er war. Die wunderschöne Jary, die jüngste seiner Töchter, war hin- und hergerissen - den Jüngsten des Stammes zu folgen, oder alleine bei ihrem Vater zu bleiben und ihm bis zu seinem Tod beizustehen. Sie entschied sich, bei ihrem Vater zu bleiben.

*Diese liebevolle Geste verdiente einen Lohn. Eines Tages kam ein unbekannter Shamane und fragte Jary, welchen Wunsch sie hätte, um glücklich zu sein. Das junge Mädchen äußerte keinen Wunsch. Da bat der alte Mann: "Ich möchte wieder Kraft haben, um weiterzuziehen und Jary zu ihrem Stamm zu bringen." Der Shamane gab ihm eine kräftig grüne Pflanze und wies ihn an, sie zu pflanzen, die Blätter zu ernten, über einem Feuer zu trocknen, sie zu zerkleinern, die Stücke in ein Gefäß zu füllen, mit kaltem oder heissem Wasser zu versetzen und das Gebräu zu trinken. Der Shamane sagte: "In diesem neuen Getränk wirst du einen starken Begleiter finden, auch in den traurigen Stunden der schrecklichsten Einsamkeit." Danach verschwand der Shamane. Das war die Geburtsstunde des Getränkes, das die Indios als *caá-y* bezeichneten, und das die Weißen später unter dem Namen „chimarrão“ verwendeten.*

Nachdem der alte Mann das grüne Getränk zu sich genommen hatte, erholte er sich, er fand neue Kraft und konnte mit seiner Tochter den langen Weg zu ihren Stammesgenossen auf sich nehmen. Beide wurden mit großer Freude empfangen. Der ganze Stamm übernahm den Brauch, das grüne Kraut zu trinken, das bitter und doch süß schmeckt, das Kraft und Mut verleiht, und das Freunde in der Stunde der größten Not zusammenführt.

(frei übersetzt)

Geschichte (Miranda und Urban, 1998)

Die Verwendung von Mate zur Bereitung von Getränken war bereits bei den Inka bekannt: In präkolumbianischen Gräbern wurden Mate-Blätter in der Nähe von Lima (Peru) gefunden, ganz in der Nähe von anderen Lebensmitteln und Gefäßen. Demzufolge kannten bereits die Inkas den Wert des Getränks aus Mate-Blättern. Der Handel mit Mate-Blättern bis in Regionen, die weit von den Verbreitungsgebieten entfernt waren, stimmt mit den bislang erarbeiteten Wanderungsbewegungen der Tupi-Guaraní-Indianer überein.

Der Name „Mate“ leitet sich von dem Inka-Begriff „mati“ ab, mit dem das Gefäß, aus dem Mate getrunken wurde, bezeichnet wurde.

In den frühen Tagen der Spanischen Eroberung war der Gebrauch von Mate bei den Eingeborenen in Paraguay bekannt. Bereits die ersten Jesuiten beobachteten den Gebrauch von Mate-Blättern bei den Guaraní-Indianern in der Region. Später zeigte sich, dass auch Eingeborene in Brasilien an den Ufern des Paraná die Mate-Blätter verwendeten. Andere Stämme erwarben Mate über den Handel. Das Produkt wurde zum Teil über Tausende von Kilometern bis Peru, Chile oder Bolivien transportiert.

In den Zeiten der Kolonisation des südamerikanischen Kontinents drangen von Osten her immer wieder Sklavenjäger in das Gebiet der Guaraní ein, um diese zu fangen und als Sklaven zu verkaufen. Daher begannen die Jesuiten, die Guaraní in Reservaten zusammenzuführen, um sie vor den Sklavenjägern zu schützen. Die Jesuiten erkannten den Wert der Mate-Pflanze und studierten ihre Kultivierung. Daher leitete sich auch der in Europa lange Zeit gebräuchliche Name „Jesuiten-Tee“ ab.

In den sogenannten Reduktionen lehrten die Jesuiten die Eingeborenen die Kultur und eine ökonomische Verarbeitung des Mate. In den umwehrten Gemeinden lebten und arbeiteten Tausende Indianer unter der Leitung der Jesuiten, mit den Produkten des Mate wurde gehandelt. Gemeinsam errichteten Guaraní und Jesuiten erste Plantagen von Mate, nachdem sie die Schwierigkeit der Anzucht von Jungpflanzen mit einem Trick überwunden hatten: Die äußeren Schichten der Steinfrüchte des Mate sind sehr hart, so dass sie normalerweise nicht keimen. Daher wurden die Früchte unter Hühnerfutter gemischt. Wurden die Früchte von den Hühnern gegessen, so passierten sie den Magen-Darm-Trakt. Dabei wurde die äußere Schicht der Steinfrüchte aufgeweicht, und diese konnten anschließend ausgebracht werden.

Von 1610 bis 1768 bestimmten die Jesuiten Anbau und Handel mit Mate. Sie berichteten, dass die Indianer Mate-Blätter mit heissem Wasser zubereiteten und ohne das Getränk nicht arbeiten konnten,

da es ihre einzige Nahrungsquelle war. Mit der Gefangennahme von Indios in den zentralen Regionen und deren Verschleppung in Richtung der Küste breitete sich der Gebrauch von Mate immer weiter aus. Auch den spanischen Kolonisatoren war bekannt, dass die physische Stärke der Guaraní-Indios auf Mate beruhte. Allerdings wurde von den Spaniern auch die Bezeichnung *erva do diablo* gebraucht (*erva*, port.; *yerba*, span.; beides bedeutet Kraut) - unter anderem wegen der dem Mate nachgesagten aphrodisierenden Wirkung. Im Jahre 1768 wurden die Jesuiten aus Südamerika vertrieben, da der Einfluss der Kongregation den europäischen Eroberern zu allumfassend schien. Damit gingen auch die großen Gemeinschaften in den Reduktionen zugrunde. Das Monopol der Jesuiten auf die Produktion von Mate zerfiel.

Bereits 1775 wurde Mate nach Portugal gebracht. Dort wurde es wegen seiner hervorragenden therapeutischen Eigenschaften gerühmt: Mate vertreibe die Müdigkeit und rege zur Arbeit an, es habe wohltuende Wirkungen, im sozialen Zusammenleben und auch für die Hygiene und Therapie allgemein. Der französische Arzt Dr. Doublet beschrieb 1885 eine allgemeine Aktivitätssteigerung, sowohl intellektuell, als auch motorisch und vegetativ, die Schwung und Kraft verleihe sowie ein allgemeines Wohlbefinden hervorrufe.

2.2 Botanische Beschreibung

Der 15 bis 20 m hohe Mate-Baum ist durch immergrüne, wechselständig angeordnete, verkehrt-eiförmige, mehr oder weniger zugespitzte Blätter (s. Abb. 2-1) charakterisiert. Diese weisen vor allem in der oberen Hälfte einen gesägt-gekerbten Rand und eine typische geschlossene Netznervatur auf. Die Blätter sind oberseits dunkelgrün, unterseits hellgrün, von derber bis lederartiger Konsistenz und können zwischen 6 bis 20 cm lang und 3 bis 9 cm breit werden. Zur Blütezeit von September bis Dezember finden sich bis zu 40 bis 50, in Büscheln angeordnete, weiße, meist eingeschlechtige Blüten in den Achseln der Triebe der diözischen Bäume. Die radiär angeordneten Blüten weisen 4 bis 5 Kelch- und Kronblätter auf. Als Frucht wird eine rote Steinfrucht gebildet, die 4 bis 8 Samen enthalten kann. (HagerROM, 2003)



Abb. 2-1: Blatt von *Ilex paraguariensis* St.-Hil.

2.2.1 Taxonomische Abgrenzung

Ilex paraguariensis St. Hil., Aquifoliaceae, wurde von dem französischen Botaniker Auguste de Saint-Hilaire systematisch eingeordnet. Dieser bereiste Brasilien zwischen 1816 und 1822. Die Beschreibung der Pflanze wurde 1822 in Paris im Naturhistorischen Museum veröffentlicht. St. Hilaire wies bereits daraufhin, dass die Indios die Blätter zur Zubereitung eines Getränkes nutzten.

Systematische Einordnung (nach Sitte *et al.*, 1998)

Abteilung: Spermatophyta

Klasse: Magnoliopsida

Ordnung: Cornales

Familie: Aquifoliaceae

Tribus: Iliaceae

Gattung: *Ilex*

Art: *Ilex paraguariensis* St.-Hil.

Zur Gattung *Ilex* (mit ca. 400 bis 600 Arten) gehörend, ist Mate nahe mit der in Westdeutschland verbreiteten, einzigen Aquifoliaceae *Ilex aquifolium*, der Stechpalme, verwandt. In Südamerika sind dagegen mehr als 60 *Ilex*-Arten bekannt (Alikaridis, 1987). Allein *Ilex paraguariensis* bildet viele, schwer abgrenzbare Varietäten (bekannt sind var. *vestita* Loes., var. *sincorensis*, var. *paraguariensis*) und Unterarten. Eine hohe morphologische Variabilität führt dazu, dass die Pflanze in der Praxis verschiedene Varietäten von *Ilex paraguariensis* wie z.B. groß- und kleinblättrig („folhas grandes“ und „folhas pequenas“) unterscheiden.

Ein weiteres Kriterium, das die Abgrenzung zu anderen Arten erschwerte, waren die verschiedenen Bezeichnungen, unter denen *Ilex paraguariensis* ebenfalls beschrieben wurde (s. Tab. 2-1).

Tab. 2-1: Synonyme von *Ilex paraguariensis* St.-Hil. (HagerROM, 2003)

Bezeichnungen	
<i>Ilex bonplandiana</i> Münter	<i>Ilex paraguayensis</i> Hook.
<i>Ilex domestica</i> Mers	<i>Ilex paraguayensis</i> Ed. Winkler
<i>Ilex domestica</i> Reiss.	<i>Ilex paraguayriensis</i> Bonpl.
<i>Ilex mate</i> St.-Hil.	<i>Ilex paraguensis</i> D. Don.
<i>Ilex paraguaiensis</i> Unger	<i>Ilex sorbilis</i> Reiss.
<i>Ilex paraguajensis</i> Endlicher	<i>Ilex theezans</i> Bonpl.
<i>Ilex paraguarensis</i> E. Spach.	<i>Ilex vestita</i> Reiss.

2.2.2 Anatomie des Mate-Blattes

Im Querschnitt zeigt das Mate-Blatt einen bifacialen Aufbau. Die Epidermiszellen sind ungleichmäßig polygonal und oberseits größer als an der Blattunterseite. Dort zeichnen sie sich durch verdickte Zellwände aus. An die Epidermis der Blattoberseite schließt sich ein zwei- bis mehrreihiges Palisadenparenchym mit relativ kurzen Zellen an. Das ausgeprägte Schwammparenchym weist zusätzlich Calciumoxalatdrusen und weitere Idioblasten auf. Ausschließlich an der Blattunterseite befinden sich zahlreiche Spaltöffnungen.

Im Flächenschnitt ist auf der Epidermis beider Blattseiten ausgeprägte Cuticularstreifung zu erkennen. Die Nebenzellen der Spaltöffnungen der Blattunterseite sind anomocytisch angeordnet. (HagerROM, 2003, DAC 1986)

Insgesamt zeichnet sich das mikroskopische Bild von Mate-Blättern nicht durch besondere Strukturen aus (Bartsch, 1998), wodurch eine Abgrenzung gegenüber anderer *Ilex*-Arten nicht vereinfacht wird.

2.2.3 Herkunft und Verbreitung

Das Kerngebiet der natürlichen Verbreitung des Mate-Baumes erstreckt sich über eine Fläche von etwa 550.000 km². Es umfasst Teile von Paraguay, Uruguay, das südliche Brasilien und Argentinien (s. Abb. 2-2). Das Verbreitungsgebiet ist vor allem definiert durch eine Höhe von 500 bis 1000 m, ein mildes Klima ohne Trockenheit und gleichmäßig über das Jahr verteilte Niederschläge von 1200 bis 1500 mm. Die wildwachsenden Vorkommen des Mate-Baumes sind auf die Einzugsgebiete des Rio Paraná, des Rio Paraguay und des Rio Uruguay zwischen dem 20. und 30. Grad südlicher Breite beschränkt. (Knöss, 1997)

Ilex paraguariensis hat ein gemeinsames Verbreitungsgebiet mit *Araucaria angustifolia* (bras. pinheira), in dessen Schatten sich Wildvorkommen entwickeln. Der Grund dafür ist die gemeinsame Verbreitung der Früchte durch einen Vogel.

Der Mate-Baum wächst in Argentinien in den Provinzen Misiones und Tucuman, in Brasilien in den Staaten Paraná, Santa Catharina, Rio Grande do Sul und Mato Grosso. Diese Staaten sind gleichzeitig die Haupterntegebiete.



Abb. 2-2: Landkarte von Südamerika mit Markierung des Verbreitungsgebiets von *Ilex paraguariensis* St.-Hil.

2.3 Anzucht und Ernte

In Brasilien wird Mate sowohl in Plantagen angebaut und geerntet als auch in Wildbeständen gesammelt. Die Anzucht von Mate-Pflanzen aus Früchten von *Ilex paraguariensis* ist mittlerweile eine Routine. Jede Frucht enthält in der Regel vier Samen. Die Vorgehensweise beinhaltet meist ein Aufbrechen oder Anquetschen der harten Fruchtwand sowie ein Einweichen der Früchte in Wasser. Nach etwa sechs Wochen bis drei Monaten können erste Keimlinge wachsen. In den ersten zwei Jahren werden die jungen Pflanzen vor Licht geschützt. In Pflanzungen geschieht dies durch Netze oder zusammengestellte Holzscheite, in der natürlichen Vermehrung durch den Schatten ausgewachsener Mate-Bäume und der mit Mate gemeinsam vorkommenden Araukarie.

Nach eineinhalb bis zwei Jahren werden die Triebe der jungen Mate-Pflanzen fast unmittelbar über dem Boden abgeschnitten. Die Pflanzen treiben dann neue Sprossachsen aus und nehmen durch die auch weiter vorgenommene Beschneidung die Wachstumsform von Büschen an (s. Abb. 2-3).

Mate-Blätter werden meist zum ersten Mal bei vier bis sechs Jahre alten Pflanzen geerntet. Dazu werden fast alle Zweige einer Pflanze abgeschnitten, nur wenige verbleiben am Busch (s. Abb. 2-3). Bei der ersten Ernte wird ein Ertrag von etwa vier bis sechs kg je Mate-Baum erzielt. „Gute Blätter“, so die Aussage eines Pflanzers, „sind etwa zwei Jahre alt, haben eine etwas gräuliche Oberfläche durch Lufteinschluss unter der Epidermis, beim Biegen eines solchen Blattes ist ein leichtes Knacken zu vernehmen“. Dazu gibt es allerdings recht verschiedene Ansichten.

Die Häufigkeit der Ernte ist in den verschiedenen Anbauländern unterschiedlich: Die Intervalle reichen von sechs Monaten über ein Jahr bis zu zwei Jahren. Hauptperiode der Ernte ist der südamerikanische Winter, der Zeitraum zwischen Juli und September. Eine der Menge nach kleinere Ernte erfolgt im Dezember und Januar.

Beim Sammeln in Wildbeständen kann es zu Verwechslungen mit *Ilex dumosa*, *I. theezans*, *I. brevicuspis*, *I. conocarpa*, *I. microdonta* und *I. pseudobuxus* kommen (Hänsel *et al.*, 1993).



Abb. 2-3: Mate-Pflanzen nach der Ernte

2.4 Das Produkt Mate

Mate ist nicht nur die Bezeichnung einer Pflanze, sondern auch eines Produkts. In der Weise, wie verschiedenen Autoren *Ilex paraguariensis* unterschiedlich bezeichneten, existieren auch regional und in verschiedenen Sprachen unterschiedliche Bezeichnungen für das Produkt. Einige Bezeichnungen (s. Tab. 2-2) sind dabei von der Herkunft des Mate abgeleitet. Im Allgemeinen verbirgt sich hinter diesen Bezeichnungen zumeist grüner Mate-Tee, der aus geschnittenen Blättern besteht. Dieser wird in Brasilien „chá Mate“ genannt. Im Gegensatz dazu besteht das in Südamerika bekannteste Mate-Produkt „chimarrão“ aus einer Mischung aus geschnittenen Blättern und Pulvern, welche sich durch ihren Pulverisierungsgrad und den Stängelanteil unterscheiden. Darüber hinaus ist noch gerösteter Tee im Handel.

Tab. 2-2: Bezeichnungen von Mate-Produkten (HagerROM, 2003)

Sprache	Bezeichnung
Deutsch	Jesuitentee, Mate-Tee, Missionstee, Paraguaytee, Paranatee
Englisch	Jesuit's tea, Mate tea, Paraguay tea, St. Bartholomew's tea
Französisch	Maté, Thé du Paraguay
Spanisch	Yerba mate
Portugiesisch	Chimarrão, Erva mate, Mate, Chá do Paraguani, Chá do Jesuitas, Mate real (geröstet)

2.4.1 Verarbeitungsprozesse

Die Verarbeitung nach der Ernte wird im südamerikanischen Sprachgebrauch als „industrialização“ bezeichnet. Zu Beginn wird den Blättern durch Trocknung Wasser entzogen und gleichzeitig werden oxidierende Enzyme denaturiert. Somit wird das geerntete Material, welches sonst schnell eine braunschwarze Farbe annehmen würde, zu einer stabilen Droge.

Im ersten Schritt, dem „Sapeco“, werden die Blätter etwa 90 sec. lang bei Temperaturen um 300 °C erhitzt und verlieren dabei bereits 30 bis 40 % Wasser. Die Methodenvielfalt reicht vom „Zapekieren“ über offenen Feuern in Drahtkörben (s. Abb. 2-4) auf dem Feld direkt nach der Ernte bis zu zentral angelegten Verarbeitungsbetrieben mit modernen Produktionsanlagen. Bei der weiteren Trocknung wird der Wassergehalt auf 10 bis 15 % und weiter auf unter 5 % reduziert. Wesentlicher



Abb. 2-4: traditionelle Zapekierweise im Drahtkorb über offenem Feuer

Teil der Prozedur ist die Trocknung der Blätter über längere Zeit in heissem Rauch. Die Hitze wird mit Holzfeuern aus regionalen Baumarten erzeugt, die Bedingungen variieren regional recht stark oder hängen vom Ausmaß der Technisierung in der jeweiligen Region ab.

Je nach der Dauer des letzten Trocknungsschrittes unterscheidet man:

- Trocknungen über 6 bis 12 (bis 24) h, genannt „barbaquá“
- als „rotativos“ bezeichnete, 3 bis 6 h dauernde Trocknungen
- schnelle Trocknungen, welche nur 15 min. bis 1 h andauern

Die Blätter werden anschließend, in einem als „Cancheamento“ bezeichneten Schritt grob zerkleinert und je nach Qualität mehr oder weniger von Stängelanteilen befreit. Das sortierte Material wird als „Mate cancheada“ bezeichnet (s. Abb. 2-5). Ein Teil dieses Zwischenprodukts wird zu grünem Mate-Tee (in Südamerika als „chá Mate“ bezeichnet) verarbeitet oder zur Herstellung des gerösteten Mate-Tees geröstet. Die Hauptmenge des Mate cancheada wird jedoch in weiteren Schritten sortiert, mit verschiedenen Stängelanteilen versetzt, zerkleinert und gemahlen. Je nach (geheimer) Rezeptur des jeweiligen Herstellers werden diese Zwischenstufen miteinander zu „chimarrão“ vermischt. Dieser sowie grüner und gerösteter Mate-Tee bilden die Handelswaren, die direkt aus dem Verarbeitungsprozess entstehen.

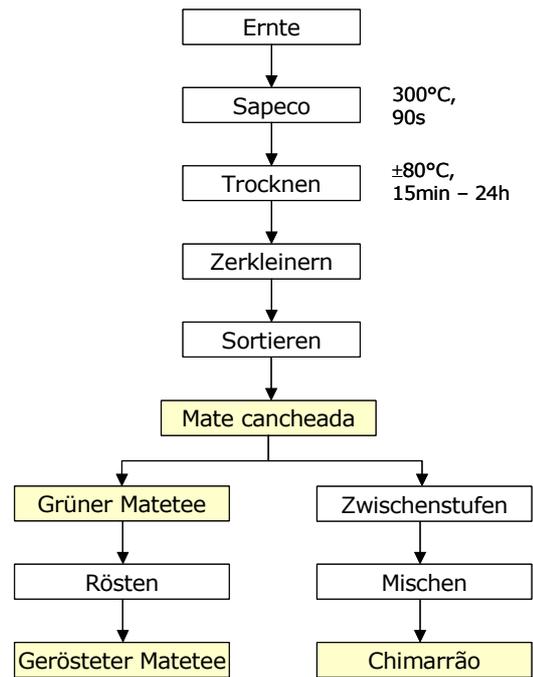


Abb. 2-5: Übersicht über die Verarbeitungsprozesse von geernteten Mate-Zweigen bis zu den Endprodukten grüner bzw. gerösteter Mate-Tee und chimarrão

2.4.2 Warenkunde

Vor allem in Brasilien wird Mate-Tee als chimarrão getrunken. Dazu wird der genauso bezeichnete, pulverisierte Mate-Tee (evtl. zuvor angefeuchtet) mit heissem, aber nicht mehr kochendem Wasser übergossen. Grob zerkleinerter grüner Mate-Tee wird in Südamerika entweder mit kochendem Wasser übergossen oder als erfrischendes Getränk bei Hitze mit kaltem Wasser angesetzt (tereré). Nach Europa wird der grob zerkleinerte grüne Mate-Tee exportiert. Daneben wird grüner Mate-Tee auch nochmals geröstet (ähnlich wie Kaffee) und erhält dann eine braune Färbung. Für europäische Verbraucher erhält der geröstete Mate-Tee dadurch ein Aussehen wie schwarzer Tee. In Südamerika

ist der geröstete Mate-Tee nicht verbreitet, die dunkle Farbe wird als ein Zeichen schlechter Qualität verstanden.

Neben den traditionellen Zubereitungen von Mate als chimarrão, tereré oder chá Mate wurden in den letzten Jahren eine Reihe von Mate-Produkten in den Markt eingeführt, die auch ein modernes Image vermitteln sollen. Die Vielfalt der Mate-Produkte im Lebensmittelbereich wird ergänzt durch zielgruppenorientierte Produkte wie „Mate automatico“ (Verkaufseinheit aus Mate in einem Einwegtrinkgefäß, es muss nur noch Wasser hinzugefügt werden) oder Fertiggetränken in Plastikgefäßen mit Alu-Verschluss, die in Lebensmittelmärkten angeboten werden. Es existieren verschiedene Geschmacksrichtungen (u.a. Kirsche, Apfel). Ferner existiert in Südamerika ein starker Trend, Mate auch als Mischung mit anderen Kräutern (vorwiegend Arzneipflanzen) zu vermarkten.

Der „Código Latinoamericano de Alimentos“ (nachzulesen bei Tenorio Sanz, 1991) klassifiziert in Artikel 582, welche Produkte aus Mate gewonnen werden:

- Mate ohne Zweigstücke
- gerösteter Mate – dieser ist in Südamerika eher unüblich, er wird in dieser Form nur in speziellen Rezepten für Eis-Tee genutzt oder als Grundmaterial für den Export in Länder, in denen Mate-Tee als Konkurrenzprodukt für schwarzen Tee verkauft werden soll
- Infus
- Trockenextrakte
- lösliche Instantprodukte, z.T. mit Zuckern versetzt
- Instantprodukte unter Zusatz von Milchpulver
- Tabletten oder Pastillen

2.4.3 Statistische Daten zum Handel mit Mate

(nach Tormen, 1995; Gortari, 1997)

1996 wurden in Argentinien 260.000 t, in Brasilien 170.000 t und in Paraguay 25.000 t Mate produziert. Quellen aus Paraguay beziffern die dortige Produktion mit 42.000 t. Solche unterschiedlichen bzw. stark schwankenden Zahlenangaben beruhen auf Schätzungen. Sie sind darauf zurückzuführen, dass die Produktion kleiner lokaler Betriebe außerhalb der bekannten Vertriebswege verteilt und somit in offiziellen Statistiken nicht erfasst wird.

Etwa ein Drittel einer Jahresproduktion wird in Brasilien von Betrieben mit einer Dimension von mehr als 3000 t/je Betrieb verarbeitet. Fast die Hälfte wird in Betrieben mit einer Kapazität zwischen 500 und 3000 t, der Rest in einer Vielzahl von Kleinbetrieben mit einem Produktionsvolumen von unter 500 t produziert. Die wichtigste Einnahmequelle der Großbetriebe liegt im Export. Eine positive Ge-

samtentwicklung dieses Segments führte zu einer Vergrößerung der Großbetriebe. Demgegenüber haben die Kleinbetriebe weiterhin eine Bedeutung im Rahmen der lokalen Versorgung.

Insgesamt wurden 1996 zwischen 42.000 und 70.000 t Mate ex- bzw. importiert. Davon wurden 61 % von Argentinien und 38 % von Brasilien exportiert. Im Vergleich dazu wurden von Brasilien Anfang der 80er Jahre durchschnittlich 23.000 t exportiert (Ohem und Hölzl, 1990). Dem stehen folgende Länder mit den genannten Importanteilen gegenüber:

- Uruguay 34%
- Brasilien 27%
- Syrien/Libanon 17%
- Chile 9%
- Paraguay 7%
- Deutschland <1% (entspricht ca. 300 t)

Eine Übersicht über die Produktion der einzelnen brasilianischen Provinzen gegenüber ihrem Verbrauch in Form von chimarrão und Mate-Tee um 1990 gibt Tab. 2-3. Insgesamt ist die Produktion in dem Staat Paraná am höchsten. Der Konsum an chimarrão ist in dem Staat Rio Grande do Sul deutlich höher als der Anteil des Staats an der Produktion. Der Verbrauch an Mate-Tee spielt mit 2 % an der Gesamtproduktion von 139.000 t im Gegensatz zum Verbrauch an chimarrão nur eine untergeordnete Rolle.

Tab. 2-3: Vergleich der Anteile der Produktion (Gesamtproduktion 139.000 t) und der Anteile des Verbrauchs an chimarrão und Mate-Tee verschiedener brasilianischer Staaten

Staaten Brasiliens	Anteil an der Produktion (%)	Verbrauch an chimarrão (t)	Verbrauch an Mate-Tee (t)
Mato Grosso do Sul	3	1.000	50
Paraná	35	20.000	300
Santa Catarina	32	15.000	200
Rio Grande do Sul	30	70.000	300
Sao Paulo	-	1.000	600
Rio de Janeiro	-	500	1500

1992 wurde ein Kilogramm Mate in Südamerika mit 1,0 bis 1,4 US\$ gehandelt, während außerhalb von Südamerika 1,3 bis 1,7 US\$ bezahlt werden mussten. Die Preise für Zwischenprodukte der Mate-Herstellung lagen in Abhängigkeit von dem Herstellungsaufwand etwas darunter: so wurde primäres, getrocknetes und geschnittenes Material mit einem Stängelanteil unter 30 % (folha verde cancheada) mit nur 0,2 bis 0,4 US\$ gehandelt, dagegen musste für pulverisiertes und schon nach Herstellerrezeptur vermischtes Material als Basis für chimarrão (sogenannte Beneficiada-Ware) ein US\$ je Kilogramm bezahlt werden.

2.4.4 Die Kunst des Mate-Trinkens

Die traditionelle Zubereitung des Mate-Tee, vor allem als chimarrão, ist stark ritualisiert. Getrunken wird aus einer Cuia, einem Trinkgefäß, dessen Bezeichnung sich von Kalebassen aus Kürbisgewächsfrüchten ableitet, aus denen die Indio Guaraní Mate-Tee tranken. In den Ländern mit hohem Mate-Konsum gibt es eine große Vielfalt kunstvoll geformter und verzierter Gefäße zum Genuss des Mate. Für alle hat sich allgemein der Begriff Cuia eingebürgert. Die Cuia wird zur Zubereitung des chimarrão zu etwa zwei Dritteln mit pulverisiertem Mate gefüllt. Anschließend wird das Gefäß oben mit einem flachen Gegenstand (sei es ein Holzbrett, eine Zeitung, oder was sonst zur Verfügung steht) verschlossen, zur Seite geneigt und vorsichtig wieder in die horizontale Position gebracht. Dadurch bleibt ein Streifen an der Seite der Cuia frei von Mate-Pulver und es kann vorsichtig Wasser eingefüllt werden (vorausgesetzt, man beherrscht diese Kunst der Zubereitung). Das erste Wasser soll eine Temperatur von 80 °C haben, ein leichter Schaum - vermutlich verursacht durch Saponine - wird als Zeichen von Qualität aufgefasst. Dennoch wird dieser erste Auszug zwar durch ein Trinkrohr mit einem Sieb (bezeichnet als Bombilla) von dem Zubereitenden aufgesogen, dann aber verworfen, da er besonders bitter schmeckt. Anschließend wird mit etwas kälterem Wasser (ca. 60 – 70 °C) aufgegossen und der Zubereitende trinkt als erster. Wenn er die Flüssigkeit aus der Cuia komplett ausgetrunken hat - über den Strohhalm für alle hörbar - wird aus einem Thermosgefäß erneut Wasser nachgeschüttet. Jetzt werden Cuia und Bombilla weitergereicht. Die Reihenfolge ergibt sich nach festen (aber Gästen nicht immer transparenten) Regeln. Dieses Ritual gibt Gelegenheit zur Ruhe und Muße, eröffnet gleichzeitig aber auch oft Besprechungsrunden und dient der Anbahnung oder Pflege von Kontakten.

Obwohl das Trinken von Mate-Zubereitungen weit verbreitet ist und die tägliche Aufnahme von Mate in einer Menge von 100 g – entsprechend 100 bis 200 mg Coffein (Vazquez und Moyna, 1986) – durchaus keine Ausnahme ist, gibt es in der Regel nicht die Möglichkeit, Mate-Tee in einem Cafe, einer Bar oder einem Restaurant zu bestellen. Mate-Trinker sind daher immer mit Mate, Cuia, Bombilla sowie einer Thermoskanne mit heissem Wasser ausgerüstet.

2.5 Inhaltsstoffe

Purinalkaloide

Der erste Bericht über das Vorkommen von Coffein in Mate wurde bereits 1843 von Stenhouse verfasst. Dies wurde von Peckolt 1883 bestätigt. Oehrli (1927) und Hauschild (1935) identifizierten Theobromin neben Coffein (s. Abb. 2-6). Fleischer (1956) und Siesto (1959) beschrieben später, dass zusätzlich Theophyllin enthalten sei. (zitiert nach Alikaridis, 1987)

In Abhängigkeit von dem beschreibenden Autor variierte der in Mate-Blättern bestimmte Coffeingehalt zwischen 0,5 und 2,5 % sowie der Theobromingehalt zwischen 0,3 und 0,7 % (Scherer *et al.*, 2002). So fand Filip *et al.* (1998) mit 1,9 % Coffein- und 0,5 % Theobromin die höchsten Purinalkaloidgehalte in *Ilex paraguariensis* im Vergleich zu weiteren sechs untersuchten Arten. Reginatto *et al.* (1999) bestimmten dagegen nur 0,65 % Coffein und 0,12 % Theobromin. Sie bestätigten, dass *Ilex paraguariensis var. paraguariensis* die höchsten Alkaloidgehalte der untersuchten *Ilex*-Arten bildeten. Die Ursachen für die unterschiedlich hohen Gehalte führte Descartes de Garcia Paula (1962) auf das Alter der geernteten Blätter zurück. Er fand 2,2 % Coffein in jüngsten Blättern und 0,7 % in Blättern, die älter als zwei Jahre sind. Ohem (1992) stellte eine Abhängigkeit der Höhe der Gehalte von der Herkunft der untersuchten Blätter fest. Er beschrieb schwankende Gehalte für brasilianische Proben (0,4 bis 1,3 % Coffein) gegenüber höheren Gehalten in Proben aus Paraguay (2,6 %). Athayde und Schenkel (2000) beobachteten eine Abhängigkeit der Gehalte von dem Erntezeitpunkt.

Während das Vorkommen von Coffein und Theobromin seit langem bewiesen ist, besteht nach wie vor Unklarheit über das Vorhandensein von Theophyllin. Mazzafera (1994) konnte mit 0,01 bis 0,08 % Spuren von Theophyllin nachweisen. Des Weiteren berichteten Saldana *et al.* (1999) über die Extraktion aller drei Methylxanthinderivate mit Kohlendioxid. Pomilio *et al.* (2002) wiesen Theophyllin mittels Kapillarelektrophorese nach. Dagegen konnten andere Wissenschaftler dieses Alkaloid nicht nachweisen (Descartes de Garcia Paula, 1962; Baltassat *et al.*, 1984; Clifford und Ramirez-Martinez, 1990; Filip *et al.*, 1998).

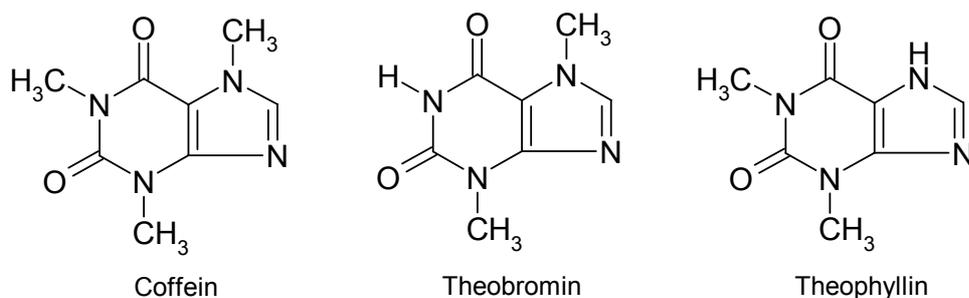


Abb. 2-6: Strukturformeln der Purinalkaloide Coffeine, Theobromin und Theophyllin

Suzuki *et al.* (1992) unterbreiteten als Erste einen Vorschlag über den Ablauf der Biosynthese von Theobromin und Coffein in *Camelia*- und *Coffea*-Arten. Sie leiteten aus der gesichteten Literatur ausserdem die These ab, dass Theophyllin erst in reifen Früchten von *Coffea arabica* durch langsamen Abbau von Coffein akkumuliere, aber nicht an dessen Biosynthese beteiligt sei. Ashihara (1993) bestätigte in Markierungsexperimenten unter Einsatz von [8-¹⁴C]-Adenin, [8-¹⁴C]-Guanosin und [8-¹⁴C]-Hypoxanthin den Biosynthesevorschlag für Mate. In einem letzten Schritt werde in dieser Biosynthese Theobromin von einer N-Methyltransferase zu Coffein methyliert. Ashihara beobachtete darüber hinaus, dass die Coffeinbiosynthese nur in jungen Blättern ablief. In ausgewachsenen Blättern

war dagegen keine Coffeinbildung zu beobachten. Ito *et al.* (1997) beschrieben anhand eines Versuchs mit [8-¹⁴C]-Theophyllin, dass dieses sowohl von jungen als auch von ausgewachsenen Mate-Blättern zu einem großen Teil über 3-Methylxanthin zu Theobromin und Coffein umgebaut wurde.

Caffeoylchinasäuren

Caffeoylchinasäuren sind Depside der Chinasäure mit Kaffeesäure, wobei sowohl Mono- als auch Didepide (in Abhängigkeit von der Anzahl der gebundenen Kaffeesäuremoleküle) beschrieben wurden. Das bekannteste Beispiel eines Monodepsid ist Chlorogensäure. Ihr Vorkommen ist bei zahlreichen Pflanzen, auch aus der Gruppe der Arzneipflanzen wie z.B. bei *Cinchona*-, *Hypericum*- und *Valeriana*-Arten bekannt. Chlorogensäure wurde erstmals aus liberianischem Kaffee isoliert, in dem sie mit 6,5 bis 8 % enthalten war (Fumann *et al.*, 1997). Artischocke (*Cynara scolymus* L.) liefert mit Cynarin (1,5-Dicaffeoylchinasäure) einen bekannten Vertreter der Dicaffeoylchinasäuren.

Das Vorkommen von Caffeoylchinasäuren in *Ilex paraguariensis* wurde schon 1935 allerdings noch unter der irreführenden Zuordnung zu der Gruppe der Tannine beschrieben. Woodard und Cowland stellten 1956 richtig, dass keine genuinen Tannine in Mate enthalten sind. Descartes de Garcia Paula wies 1953 Chlorogen- und Roberts 1956 Neochlorogensäure nach. Die Dicaffeoylchinasäuren wurden 1963 von Scarpati und Guiso sowie 1965 von Corse *et al.* identifiziert. (zitiert nach Alikaridis, 1987) Insgesamt wurden in *Ilex paraguariensis* sechs Caffeoylchinasäuren, bestehend aus den drei Monocaffeoylchinasäuren Chlorogensäure (5-CQA), Neochlorogensäure (3-CQA) und Kryptochlorogensäure (4-CQA) sowie den drei Dicaffeoylchinasäuren 3,5-Dicaffeoylchinasäure, 4,5-Dicaffeoylchinasäure und 3,4-Dicaffeoylchinasäure (s. Abb. 2-7) identifiziert. Ohem (1992) bezifferte deren Gesamtgehalt mit 10 bis 12 %.

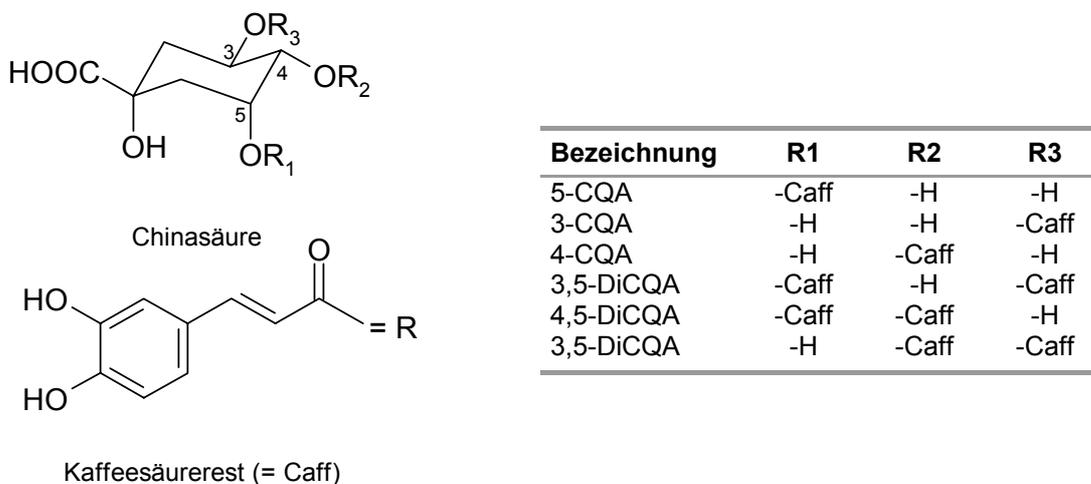


Abb. 2-7: Struktur der Caffeoylchinasäuren aus *Ilex paraguariensis* nach Ohem (1992)

Clifford und Martinez-Ramires (1990) verglichen die Caffeoylchinasäuregehalte von grünen (vermutlich aus grünem Mate-Material) und braunen Mate-Extrakten (vermutlich aus geröstetem Mate-Material; laut Angabe der Autoren hatten die entsprechenden Blätter einen zusätzlichen Trocknungsschritt durchlaufen) miteinander. Sie fanden für braune Extrakte durchschnittlich 1,2 % Mono- und 0,9 % Dicaffeoylchinasäuren. In grünen Extrakten bestimmten sie einen mittleren Gehalt von 4,6 % an Mono- und 4,2 % an Dicaffeoylchinasäuren. Ohem (1992) verglich zapekierte Blatt-drogen aus Brasilien und Paraguay mit in Deutschland angezogenem Pflanzenmaterial. Er wies in dem Gut aus Brasilien 13,2 % und aus Paraguay 14,8 % Gesamtcaffeoylchinasäuren nach. In dem Blattmaterial aus Deutschland bestimmte er einen Gesamtcaffeoylchinasäuregehalt von 11,7 %. Darüber hinaus beobachtete er, dass 3-Caffeoyl- und 3,5-Dicaffeoylchinasäure jeweils den größten Anteil bildeten. Filip *et al.* (2001) analysierten verschiedene *Ilex*-Arten bezüglich ihrer Gehalte an Caffeoylchinasäuren. Sie fanden, dass *Ilex paraguariensis* mit fast 10 % Gesamtgehalt deutlich mehr Caffeoylchinasäuren bildete als die anderen untersuchten Arten (max. 2 %). Auch in diesen Untersuchungen nahm der Gehalt an 3,5-Dicaffeoylchinasäure den größten Anteil des Gesamtgehalts an Dicaffeoylchinasäuren ein.

Saponine

Bisher wurden in *Ilex paraguariensis* sieben Saponine nachgewiesen, die nach Brieger (1995) in frischen Mate-Blättern einen Gesamtgehalt von 5 bis 10 % bilden. Als Desmoside der Ursol- bzw. der Oleanolsäure wurde ihre Struktur als folgende bestimmt:

- Matesaponin 1 = Ursolsäure-3-O-[β -D-glucopyranosyl-(1 \rightarrow 3)- α -L-arabinopyranosyl]-(28 \rightarrow 1)- β -D-glucopyranosylester (Gosmann *et al.*, 1989)
- Matesaponin 2 = Ursolsäure-3-O-[β -D-glucopyranosyl-(1 \rightarrow 3)-{ α -L-rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 2)}- α -L-arabinopyranosyl]-(28 \rightarrow 1)- β -D-glucopyranosylester (Gosmann *et al.*, 1995)
- Matesaponin 3 = Ursolsäure-3-O-[β -D-glucopyranosyl-(1 \rightarrow 3)- α -L-arabinopyranosyl]-(28 \rightarrow 1)-[β -D-glucopyranosylester-(1 \rightarrow 6)- β -D-glucopyranosyl]ester (Gosmann *et al.*, 1995)
- Matesaponin 4 = Ursolsäure-3-O-[β -D-glucopyranosyl-(1 \rightarrow 3)-{ α -L-rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 2)}- α -L-arabinopyranosyl]-(28 \rightarrow 1)-[β -D-glucopyranosylester-(1 \rightarrow 6)- β -D-glucopyranosyl]ester (Gosmann *et al.*, 1995)
- Matesaponin 5 = Ursolsäure-3-O-[β -D-glucopyranosyl-(1 \rightarrow 3)-{ α -L-rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 2)}- α -L-arabinopyranosyl]-(28 \rightarrow 1)-[β -D-glucopyranosylester-(1 \rightarrow 4)- β -D-glucopyranosyl-(1 \rightarrow 6)- β -D-glucopyranosyl]ester (Kraemer *et al.*, 1996)
- Guaiacin B = Isomer zu Matesaponin 1 mit Oleanolsäure statt Ursolsäure als Aglykon (Martinet *et al.*, 2001)
- Nudicaucin C = Isomer zu Matesaponin 2 mit Oleanolsäure statt Ursolsäure als Aglykon (Martinet *et al.*, 2001)

De Andrade *et al.* (2002) analysierten die Zusammensetzung der Saponinfraktion von *Ilex amara*. Von den acht isolierten und identifizierten Saponinen kamen nur zwei (Matesaponin 2 und Nudicaucin) auch in *Ilex paraguariensis* vor.

Flavonoide

Aus der Gruppe der in den höheren Pflanzen ubiquitär verbreiteten Flavonoide wies bereits Roberts (1956) das Vorkommen von Rutin (Quercetin-3-O-rutinosid) in *Ilex paraguariensis* nach. Darüber hinaus wurden weitere Flavonoide identifiziert, welche alle der Gruppe der Flavonole angehören:

- Quercetin
- Quercitrin (Quercetin-3-O-rhamnosid)
- Isoquercitrin (Quercetin-3-O-glucosid) – Ohem, 1992
- Kämpferol-3-O-glucosid – Ohem, 1992
- Nicotiflorin (Kämpferol-3-O-rutinosid) – Ohem, 1992
- Isorhamnetin-3-O-glucosid – Brieger, 1995
- Narcissin (Isorhamnetin-3-O-rutinosid) – Brieger, 1995

Insgesamt ist der Flavonoidgehalt in *Ilex paraguariensis* eher gering: für Rutin wurden durchschnittlich 0,06 %, für Quercetin 0,003 % und für Kämpferol 0,0012 % beschrieben (HagerROM, 2003).

Nicht-cyanogenes Nitrilglykosid 0,02 % Menisdaurin

Vitamine

Sowohl Chaves (1944) als auch Escudero *et al.* (1945) untersuchten die Gehalte einiger Vitamine in *Ilex paraguariensis* und kamen dabei zu gut übereinstimmenden Ergebnissen (s. Tab. 2-4).

Tab. 2-4: Vergleich der Literaturangaben von Chaves (1944) und Escudero *et al.* (1945) zum Gehalt von *Ilex paraguariensis* an den Vitaminen B₁, B₂, C, Carotin und Nicotinsäure

Vitamingehalt	Chaves (1944)	Escudero <i>et al.</i> (1945)
Carotin (mg/100 g)	0,7 – 2,3	0,4 – 2,3
Thiamin (B ₁) (mg/100 g)	0,06 – 0,31	0,06 – 0,30
Riboflavin (B ₂) (mg/100 g)	0,25 – 0,57	0,25 – 0,65
Ascorbinsäure (C) (mg/100 g)	8,2 – 20,7	5,5 – 20,7
Nicotinsäure (mg/100 g)	2,5 – 10,4	2,5 – 10,4

Nach Knöss *et al.* (1998) war der Gehalt an Ascorbinsäure jedoch um das 10 bis 20-fache niedriger. Sie vermuteten, dass die Angaben zu Ascorbinsäuregehalten auf Bestimmungen mittels reduktometrischer Methoden basierten. Mit solchen Methoden werden jedoch überhöhte Konzentrationen bestimmt (Beutler und Beinstingl, 1980).

Martinelli (1959) konnte 0,95 mg Folsäure in 100 g *Ilex paraguariensis* nachweisen.

Mineralstoffe

Diese Gruppe an Inhaltsstoffen in *Ilex paraguariensis* stieß besonders in den letzten Jahren verstärkt auf Interesse. Bei einem Vergleich der Angaben der Literatur muss jedoch darauf geachtet werden, welches Mate-Material den jeweiligen Untersuchungen zugrunde lag. Überwiegend wurden Handelswaren (Escudero *et al.*, 1945; Tenorio Sanz und Torija Isasa, 1991; Vera Garcia *et al.*, 1997; Carducci *et al.*, 2000), in zwei Untersuchungsreihen aber auch Mate-Blätter (Vera Garcia *et al.*, 1997; Wrobel *et al.*, 2000) analysiert. Auch die eingesetzten Analyseverfahren variierten von Gravi- und Colorimetrie (Escudero *et al.*, 1945) über Atomabsorptionsspektroskopie (Tenorio Sanz und Torija Isasa, 1991; Vera Garcia *et al.*, 1997; Wrobel *et al.*, 2000) bis zu Kapillarionenelektrophorese (Carducci *et al.*, 2000).

Insgesamt stimmen die von den Autoren bestimmten Mineralstoffgehalte nur wenig überein. Dies und das bereits für Ascorbinsäure beschriebene Ergebnis, dass Literaturdaten nicht bestätigt werden konnten, führte zu den Untersuchungen der Gehalte an Mineralstoffen in verschiedenen Mate-Handelswaren (s. Kap. 9.2 in Anhang II).

Ätherisches Öl

Die Angaben zum Gesamtgehalt des ätherischen Öls von Mate-Blättern schwanken mit 0,01 bis 0,8 % stark. Bisher wurden ca. 250 flüchtige Verbindungen wie z.B. das Phenylpropanderivat Eugenol und die Monoterpene Geraniol und Linalool nachgewiesen. (HagerROM, 2003)

2.6 Pharmazeutische Bedeutung

2.6.1 Monographien

Mate wird in mehreren Monographien beschrieben. Die Kommission E am Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte hat 1988 die Monographie „Mate folium“ veröffentlicht. Als Anwendungsgebiet wird die Einnahme eines Aufgusses bei geistiger und körperlicher Ermüdung beschrieben. Die mittlere Tagesdosis beträgt 3 g Droge (Bundesanzeiger, 1988). Im Deutschen

Arzneimittel-Codex 1998 sind die beiden Monographien „Geröstete Mateblätter“ (*Mate folium tostum*) und „Grüne Mateblätter“ (*Mate folium viride*) enthalten.

Die British Herbal Pharmacopeia (1979) beschreibt in der Monographie „Ilex“, dass ein Infus aus getrockneten Mate-Blättern gegen psychogenen Kopfschmerz und Müdigkeit, nervöse Depression und rheumatische Schmerzen sowie insbesondere gegen Kopfschmerz in Assoziation mit Müdigkeit anzuwenden sei. Die mittlere Tagesdosis liege bei 2 bis 4 g Droge.

Darüber hinaus ist Mate auch in der Homöopathie gebräuchlich. Deshalb existiert die Monographie „*Ilex paraguariensis* (Mate)“ der Kommission D des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte. Im Homöopathischen Arzneibuch 34 (1958) ist die Monographie „Maté“ veröffentlicht, in welcher eine 60 %-ige ethanolische Tinktur aus getrockneten Mate-Blättern beschrieben wird. Darüber hinaus kann ein nach der Monographie „*Ilex paraguariensis* HPUS 88“ zubereitetes Mazerat oder Perkolat angewendet werden. Die Präparate werden entsprechend dem homöopathischen Arzneimittelbild angewendet, dazu gehört Verdauungsschwäche.

Als Drogenbestandteil finden Mate-Blätter zusammen mit fünf weiteren Drogen im *Species urologicae* (NRF 9.1) Anwendung bei leichten Harnwegsinfektionen.

Darüber hinaus finden Mate-Blätter in Fertigarzneimitteln Anwendung. So enthält z.B. „Klosterfrau Morgen-Tee“ als einzigen wirksamen Bestandteil einen Extrakt aus Mate-Blättern ist und wird bei geistiger Ermüdung angewendet. (AMIS, 2003)

2.6.2 Pharmakologische und weitere Eigenschaften einzelner Inhaltsstoffe

Von den in *Ilex paraguariensis* vorkommenden Inhaltsstoffen sind die Wirkungen des Purinalkaloids Coffein am besten untersucht. Coffein besitzt von den drei im Pflanzenreich vorkommenden Methylxanthinen die stärksten analeptischen Eigenschaften und wirkt vorwiegend auf die Großhirnrinde. Es hemmt das Enzym Phosphodiesterase und übt einen antagonistischen Effekt an zentralen Adenosinrezeptoren aus. Bei Ermüdeten werden durch Blockade dieser Rezeptoren die Ermüdungserscheinungen aufgehoben und die geistige Aktivität gesteigert. Bei ausgeruhten Personen führt die Zufuhr von Coffein dagegen nicht zu einer Leistungssteigerung. Wie Theophyllin weist auch Coffein bronchodilatatorische Eigenschaften auf und stimuliert das respiratorische Zentrum. Dadurch wird die Rate und die Tiefe der Atmung insgesamt jedoch nicht so ausgeprägt gesteigert wie durch Theophyllin. Eine stimulierende Eigenschaft auf das vasomotorische Zentrum äußert sich in einer Kontraktion der Hirngefäße und einer Senkung des Liquordrucks. Diese Wirkung von Coffein wird besonders in analgetisch wirksamen Kombinationsarzneimitteln ausgenutzt. Trotz der positiv chronotropen und der positiv inotropen Wirkung auf den Herzmuskel führt Coffein nicht zu einem Anstieg des Blutdrucks, da diese Wirkung durch eine periphere vasodilatatorische Reaktion der Haut-, Nieren- und Koronararterien kompensiert wird. Coffein vereinfacht das Verrichten von muskulärer

Arbeit und erhöht die Gesamtarbeitsleistung, die von einem Muskel erzielt werden kann. Im Vergleich zu Theophyllin ist die diuretische Wirkung von Coffein deutlich schwächer. Darüber hinaus wirkt Coffein glykogenolytisch und lipolytisch. (Mutschler *et al.*, 2001; Reynolds, 1996)

Coffein wird nach oraler Applikation rasch und vollständig aufgenommen und weitreichend im Körper verteilt. Die Metabolisierung erfolgt nahezu vollständig in der Leber. Dort wird die Substanz oxidiert, demethyliert und acetyliert. Die Ausscheidung der entstehenden Produkte erfolgt über den Harn. Die Eliminationshalbwertszeit beträgt bei Erwachsenen ca. drei bis sechs Stunden. (Reynolds, 1996)

Die Aufnahme hoher Dosen von Coffein über einen langen Zeitraum kann zu einer Toleranzentwicklung bezüglich einiger Wirkungen sowie zu Ruhelosigkeit, Gedankenjagen und Tremor führen. Ein plötzlicher Coffeinentzug kann sich in Reizbarkeit, Lethargie und Kopfschmerz äußern. Dieser Entzugskopfschmerz kann bis zu sechs Tage anhalten. (Reynolds, 1996)

Insgesamt werden die Wirkungen des Coffeins in Mate durch das gleichzeitige Vorhandensein der Caffeoylchinasäurederivate insbesondere der Chlorogensäure (5-Caffeoylchinasäure) retardiert. Coffein bildet besonders mit dieser Substanz, aber auch mit den anderen Caffeoylchinasäuren, im wässrigen Medium einen hydrophob-gebundenen π -Komplex, der die pharmakokinetischen Eigenschaften des Coffeins beeinflusst. Dadurch werde die erregende Wirkung des Coffeins zugunsten einer zeitlich länger andauernden Wirkung abgemildert. (Ohem, 1992)

Innerhalb der Gruppe der Caffeoylchinasäuren zählt Chlorogensäure zu den Substanzen, deren Wirkungen gut untersucht wurden. So beschrieben Czok und Lang (1961, 1), dass die perorale Gabe reiner Chlorogensäure bei Ratten zu einer Steigerung der zentralen Erregbarkeit führte, welche sich in der Senkung der Krampfschwelle (bestimmt in der Elektroschockmethode nach Gerlich) äußerte. Außerdem wurde von den beiden Autoren auch die Wirkung der Chlorogensäure auf den Magen-Darmkanal untersucht (1961, 2). Sie fanden, dass diese Substanz beim Menschen die Salzsäureproduktion des Magens und die Peristaltik des Dünndarms (Maus- und Rattenmodell) anregte. Als dritte Wirkung, die ebenfalls zu einer Förderung der Verdauung führte, beobachteten sie an Ratten eine gesteigerte Galleausscheidung nach Chlorogensäuregabe. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls an die Caffeoylchinasäuren von *Cynara scolymus* zu denken, für welche bereits nachgewiesen wurde, dass sie an der choleretischen Wirkung der Artischockenblätter beteiligt sind (Böhm, 1959).

Ohnishi und Coautoren (1994) untersuchten die antioxidativen Eigenschaften von Chlorogensäure, 3,5-Dicaffeoylchinasäure und Kaffeesäure sowohl im 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)-Radikalfänger-Testsystem als auch im Superoxidanion-vermittelten Linolensäureperoxidations-system. Sie fanden, dass die Radikalfängeraktivität aller drei Substanzen in einer Konzentration von 10 μ M größer war als die von *dl*- α -Tocopherol und Ascorbinsäure. Die drei Substanzen hemmten ausserdem die Bildung eines konjugierten Diens aus Linolensäure. 3,5-Dicaffeoylchinasäure entwickelte in beiden Testsystemen größere Effekte als die beiden anderen Verbindungen. Wie auch *dl*- α -Tocopherol zeigten alle drei Verbindungen eine starke Hemmung der H₂O₂-induzierten Hämolyse und der Lipidperoxidation von Maus-Erythrozyten.

Teuscher (1997) fasste zusammen, dass alle Esterdimere, an deren Aufbau Kaffeesäure beteiligt ist, „Gerbstoffcharakter“ und reduzierende, radikalfangende Eigenschaften aufwiesen. Die antioxidativen Eigenschaften seien auf die *o*-Diphenolstruktur zurückzuführen.

Melzig *et al.* (2000) wiesen in einer Untersuchung zur Aufklärung des Wirkmechanismus der Entzündungshemmung nach, dass 3,5-Dicaffeoylchinasäure (isoliert aus *Solidago virgaurea*), Rutin und Quercetin die leukozytäre Elastase effektiv hemmten. Dabei lagen die IC₅₀-Werte (3,5-Dicaffeoylchinasäure = 100 ng/ml, Rutin = 6 µg/ml, Quercetin 0,8 µg/ml) in therapeutisch relevanten Konzentrationen. Im Zuge einer Entzündung wird die Elastase als Mediator freigesetzt und führt zu einer Verstärkung und Ausbreitung des Entzündungsgeschehens.

Basnet und Coautoren (1996) beschrieben eine starke hepatoprotektive Aktivität eines wässrigen Extrakts aus Propolis bei CCl₄-induzierter Leberschädigung in Ratten, D-Galactosamin/Lipopolysaccharid-induzierter Leberschädigung in Mäusen und CCl₄-induzierter Zellschädigung kultivierter Ratten-Hepatozyten. Die Aktivitäts-orientierte Fraktionierung führte zu der Isolierung von 3,4-Di-*O*-caffeoylchinasäure, 3,5-Di-*O*-caffeoylchinasäure, Methyl-3,4-di-*O*-caffeoylchinasäure und Methyl-4,5-di-*O*-caffeoylchinasäure. Der *in vitro*-hepatoprotektive Effekt dieser Verbindungen in einer Konzentration von 10 µg/ml lag in demselben Bereich wie der von Glycyrrhizin. Chinasäure selbst zeigte keinen hepatoprotektiven Effekt, Kaffeesäure erwies sich als weniger wirksam als die Dicaffeoylchinasäurederivate.

Der Saponinextrakt aus *Ilex paraguariensis* hemmte die passive Diffusion von Cholsäure durch Cellulosemembranen (Ferreira *et al.*, 1997). Mit diesem Modell wurde die passive Absorption von Gallensäuren in Ileum und Jejunum beurteilt. Die Hemmung wurde mit der Bildung von Micellen aus Cholsäure und Saponinen erklärt. Aufgrund der Ergebnisse wurde geschätzt, dass bei einem Mate-Verbrauch von 50 bis 200 g zwischen 26 und 105 mg Cholsäure komplexiert werden könnten. So könne durch die erhöhte Gallensäureexkretion und verringerte Sterolaufnahme ein signifikanter Anstieg der Gesamtsterolexkretion erzielt und eine antihypercholesterinämische Wirkung ausgeübt werden.

Montanha *et al.* (1990) wiesen die antiödematöse Wirkung einer peroral applizierten Saponinfraktion an Ratten mit Carrageen-induziertem Pfoten-Ödem nach. Darüber hinaus wird der bittere Geschmack des Mate je nach Autor seinen Saponinen (Brieger, 1995) oder allgemein den phenolischen Verbindungen (Filip *et al.*, 2001) zugeschrieben. Im Vergleich zu der Bitterkeit anderer Arten wird dieser bittere Geschmack jedoch als angenehm und mild beschrieben (Bartsch, 1998).

2.6.3 Pharmakologische und weitere Eigenschaften von *Ilex paraguariensis*-Zubereitungen

Der Schwerpunkt der Untersuchungen zu den Wirkungen von Mate-Zubereitungen lag in jüngerer Zeit auf der Analyse der antioxidativen Eigenschaften von Mate sowie dem Einsatz zur Gewichtsreduktion.

In älteren Berichten wurde zumeist das cancerogene Potential in Verbindung mit dem Genuss von Mate fokussiert. Neben diesen drei Gruppen an Veröffentlichungen beschäftigten einige Autoren sich mit der Wirkung von Mate auf das Herzkreislaufsystem, die Verdauung und die Muskulatur.

Antioxidative Eigenschaften

Gugliucci und Stahl (1995) untersuchten den antioxidativen Effekt sowohl von wässrigen als auch alkoholischen Extrakten aus getrockneten und zerkleinerten Mate-Blättern auf die *in vitro*-Autoxidation von Low-density-Lipoproteinen (LDL). Die Autoxidation wurde entweder durch Kupferionen oder Wasserstoffperoxid induziert. Es konnte gezeigt werden, dass wässrige Extrakte von Mate sowohl die Bildung als auch die Entwicklung einer bereits begonnenen Autoxidation des LDL hemmten. Als Indikatoren der Lipidperoxidation wurde die Bildung von Dienkonjugaten und von Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen (TBARS) verfolgt. Proteinmodifikationen wurden durch Messung der Fluoreszenz, der elektrophoretischen Mobilität und durch Bestimmung der freien Aminosäuren beobachtet. Die durch wässrige Mate-Extrakte ausgeübte Hemmung erwies sich als konzentrationsabhängig: bereits bei einer niedrigen Extraktkonzentration wie 7,5 µg/ml war sie zu beobachten, eine komplette Hemmung wurde mit einer Konzentration von 37,5 µg/ml erreicht. Bezogen auf die Masse war diese Wirkung potenter als die von Ascorbinsäure und Butylhydroxytoluen (BHT). Alkoholische Extrakte zeigten ähnliche Wirkungen, jedoch erst in höheren Konzentrationsbereichen.

Mit denselben Nachweismethoden untersuchte Gugliucci (1996) die *in vivo*-Wirkung der Einnahme eines wässrigen Mate-Extrakts auf die Oxidierbarkeit von humanem LDL einschließlich Plasma. Dazu wurde die Kupfer-induzierte Autoxidation des LDL im Plasma vor und nach Einnahme des Mate-Extrakts bestimmt. Es wurde beobachtet, dass Mate-Konsum zu einer Verringerung der Oxidierbarkeit des LDL führte. Diese Wirkung konnte nicht bestimmt werden, wenn LDL vor Einnahme des Mate-Extrakts aus dem Plasma isoliert wurde. Daraus folgerte der Autor, dass die antioxidativ wirksamen Substanzen aus *Ilex paraguariensis* absorbiert und in ausreichender Menge im Plasma angereichert wurden, um eine Kupfer-induzierte LDL-Autoxidation zu hemmen. Auf diese Weise führte die Aufnahme eines Mate-Extrakts zu einem Anstieg der antioxidativen Kapazität der wässrigen Phase des Plasmas. Gugliucci forderte deshalb prospektive Studien, um nachzuweisen, ob der Konsum von Mate einen unabhängigen antiatherosklerotischen Effekt ausübe.

Schlesier *et al.* (2000) stellten fest, dass Mate-Tee im Vergleich zu Lapacho, Pu Erh und Stevia-Tee durchschnittlich den höchsten Gesamtphenolgehalt (gemessen an Gallussäure als Standard) und die höchste antioxidative Aktivität im TEAC-Test (Trolox-Äquivalent Antioxidative Capacity) – gemessen an der Bildung des ABTS-Radikals (2,2-Azinobis-(3-ethylbenzthazolin-6-sulfonsäure) – aufwies. Die Analyse ist allerdings statistisch nur wenig aussagekräftig und kann nur einen Trend aufzeigen.

Filip *et al.* (2000) verglichen verschiedene wässrige *Ilex*-Extrakte bezüglich ihrer antioxidativen Kapazität sowie ihres Gehalts an Caffeoylchinasäuren. Dabei zeigte ein Mate-Extrakt das größte Potential, synthetische Membranen (Liposomen), welche durch Inkubation mit einem chemischen Radikalgenerator oxidiert wurden, zu schützen. Lipidoxidationsprodukte wurden als TBARS bestimmt. Eine positive, signifikante Korrelation zwischen der antioxidativen Wirkung und dem jeweiligen Gehalt an Caffeoylchinasäuren (photometrisch bestimmt als Chlorogensäure) wurde beobachtet.

Weitere Untersuchungen zeigten, dass ein wässriger Mate-Extrakt sowohl die enzymatische ($IC_{50} = 18 \mu\text{g/ml}$) als auch die nicht-enzymatische ($IC_{50} = 28 \mu\text{g/ml}$) Lipidperoxidation in Microsomen, isoliert aus Rattenleber, konzentrationsabhängig hemmte. Darüber hinaus schützte der Extrakt ($IC_{50} = 100 \mu\text{g/ml}$) auch die Zellmembran von Erythrozyten vor H_2O_2 -induzierter Peroxidation. Da für den Extrakt auch die Radikalfängereigenschaften gegenüber Superoxidanionen und DPPH, nicht jedoch für Hydroxylradikale nachgewiesen wurden, wurde auf diese Möglichkeit als Mechanismus für den Schutz für Oxidation hingewiesen. (Schinella *et al.*, 2000)

Carini und Coautoren (1998) charakterisierten die phenolischen Antioxidantien eines wässrigen Extrakts aus Mateblättern, indem sie die Radikalfängereigenschaften gegenüber DPPH mittels Flüssigchromatographie und Massenspektrometrie bzw. Tandem-Massenspektrometrie nachvollzogen. Dadurch wurden 10 antioxidativ reagierende Verbindungen (die drei bekannten Monocaffeoylchinasäuren, die drei bekannten Dicaffeoylchinasäuren, Rutin und ein weiteres Flavonoid sowie zwei isomere Caffeoylglucoside) identifiziert. Darüber hinaus wurde die Wirkung des Extrakts auch in einem Modellmembransystem (Phosphatidylcholin-Liposomen) getestet. In den Testsystemen war der Mate-Extrakt vergleichbar bzw. stärker wirksam als reine Chlorogensäure ($IC_{50} = 4,2$ bzw. $8,1 \mu\text{g/ml}$ für Mate und $IC_{50} = 4,34 \mu\text{g/ml}$ bzw. $18,4 \mu\text{g/ml}$ für Chlorogensäure).

Erst kürzlich wurden die Untersuchungsergebnisse von Bracesco *et al.* (2003) zu der antioxidativen Aktivität eines *Ilex paraguariensis*-Infus veröffentlicht. Um die oxidative Schädigung auf der Ebene der Desoxyribonukleinsäure (DNA) zu untersuchen, induzierten die Autoren in *Saccharomyces cerevisiae* DNA-Doppelstrangbrüche mittels Wasserstoffperoxid und analysierten zusätzlich die Letalität der Hefe. Darüber hinaus wurde die Wirkung des Infuses bei einer Peroxynitrit- bzw. Lipoxygenase-induzierten Oxidation von LDL beobachtet. Im ersten Testsystem konnten sowohl der Mate-Infus (Polyphenolgehalt $6,5 \pm 0,8$ mmol Quercetinäquivalente / Liter) als auch α -Tocopherol die Anzahl der DNA-Strangbrüche und die Letalität der Hefe dosisabhängig signifikant senken. Auch im zweiten Assay zeigte der Extrakt eine potente, dosisabhängige Wirkung.

Alle Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die von ihnen untersuchten zumeist wässrigen *Ilex paraguariensis*-Extrakte deutliche antioxidative Wirkungen zeigten. Ihre Analysen belegten eine meist dosisabhängige Wirkung des Extrakts, die gut mit der der jeweils eingesetzten Referenzsubstanz (Ascorbinsäure, α -Tocopherol, BHT) vergleichbar war. Diese Ergebnisse wurden als Hinweise gesehen, dass die Einnahme von Mate-Extrakten dazu beitragen könne, die Wirkungen der

antioxidativen Mechanismen des menschlichen Organismus zu verbessern. Je nach zuvor eingesetztem Testsystem vermuteten die Autoren insbesondere antiatherosklerotische oder antimutagene Wirkungen und forderten entsprechende Studien, um diesen Überlegungen nachzugehen.

Gewichtsreduzierende Wirkung

Andersen und Fogh (2001) beobachteten, ob die Einnahme eines Kombinationspräparates aus den Blättern von *Ilex paraguariensis*, Samen von *Paulliana cupana* (Guaraná) und Blättern von *Turnera diffusa* var. *aphrodisiaca* (Damiana) zu einer Gewichtsreduktion und einer verzögerten Magenentleerung führe. Anhand von Ultraschalluntersuchungen wurde herausgefunden, dass sich die Zeit bis zu einer nahezu vollständigen (weniger als 10 ml Inhalt) Magenentleerung von durchschnittlich $38 \pm 7,6$ min. in der Placebo- auf 58 ± 15 min. in der Probandengruppe verlängerte. Die Verzögerung der Magenentleerung war statistisch signifikant. Die Wirkungen der Zubereitung auf das Körpergewicht wurde in zwei Untersuchungen beobachtet, von denen eine 10 Tage an 44 Probanden und die zweite 45 Tage an 47 Teilnehmern durchgeführt wurde. Nach 10 Tagen war eine Gewichtsreduktion um $0,8 \pm 0,05$ kg (Verum) gegenüber $0,3 \pm 0,03$ kg (Placebo) zu verzeichnen, nach 45 Tagen um $5,1 \pm 0,5$ kg (Verum) verglichen mit $0,3 \pm 0,08$ kg (Placebo). Die (ungeplante und freiwillige) weitere Einnahme des Präparates führte nach einem Jahr Dauer weder zu einem weiteren Gewichtsverlust noch zu einer erneuten Zunahme.

Eine kommerziell verfügbare Mate-Zubereitung wurde neben 11 weiteren pflanzlichen Produkten daraufhin analysiert, ob deren Einnahme zu einer Reduktion des Körperfetts, messbar als thermogener Effekt, führte (Martinet *et al.*, 1999). Dazu wurde eine einmalige Dosis der Zubereitung verabreicht. Anschließend wurden alle 45 min. calorimetrische (Ruhe-Energieverbrauch und Respirationsquotient) sowie kardiovaskuläre (Puls, systolischer und diastolischer Blutdruck) Parameter bestimmt. Nur die Mate-haltige Zubereitung führte zu einer signifikanten Abnahme des Respirationsquotienten, wodurch ein Hinweis auf eine vermehrte Fett-Oxidation geliefert wurde. Neben diesem bei einer Gewichtsreduktion wünschenswerten Effekt zeigte die Zubereitung keine weiteren Einflüsse.

De Pasquale (1991) verfolgte in seiner kontrollierten Doppelblindstudie das Ziel, die gewichtsreduzierenden Eigenschaften von Mate nachzuweisen. Neben Mate-Pastillen bzw. Mate-Instanttee erhielten die Probanden (Body Mass Index > 20) 45 Tage lang eine hypocalorische Diät und absolvierten täglich ein vierzigminütiges Bewegungsprogramm. Der mittlere Gewichtsverlust zwischen den beiden Gruppen war nicht signifikant. Das Hungergefühl war in der Mate-Gruppe geringer. Diurese, Psycho- und Muskeltonus waren in dieser Gruppe ebenfalls besser. Als Laborparameter fiel der Cholesterolverwert der Mate-Gruppe um 10,4 %, der Triacylglyceridwert um 13,7 %. In der Kontrollgruppe sanken die Werte um 3,5 bzw. 5,7 %. Auch die Herzfrequenz und der arterielle Blutdruck zeigten in der Mate-Gruppe eine größere Tendenz zu Normalwerten. Nebenwirkungen wurden nicht beobachtet, beide Präparate wurden gut vertragen.

Matzkies (1989) führte eine Studie zur Minimierung von Nebenwirkungen während einer Gewichtsreduktion mit Mate-haltigem Tee durch. 79 Probanden erhielten für die Dauer von vier Wochen Reduktionskost (1200 Kalorien) sowie sieben Tassen Mate-haltigen Instanttee pro Tag (Verumgruppe) gegenüber eine entsprechende Menge eines anderen Getränks in der Kontrollgruppe. Hinsichtlich der Gewichtsabnahme wurden keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen beobachtet. Unter der Einnahme des Tees war eine Reduktion der quantitativ erfassten Nebenwirkungen zu beobachten. Darüber hinaus wurden deutliche Unterschiede in Art und Häufigkeit der Nebenwirkungen bei Frauen im Vergleich zu Männern beobachtet. Als Hauptnebenwirkungen wurden bei den Männern Müdigkeit, Konzentrationsschwäche, Durst, Antriebsminderung und Hungergefühl genannt. Frauen bezeichneten ebenfalls Müdigkeit und Durst, sowie Schlafstörungen, Kopfschmerzen und allgemeine Schmerzen.

Cancerogenes Potential

Obwohl der genaue Mechanismus nach wie vor unklar sei, finden sich in der Literatur einige Hinweise, dass Mate-Konsum eine signifikante und unabhängige Rolle in der Entwicklung von Tumoren im Mund-Rachenraum spiele (Goldenberg, 2002). Darüber hinaus existieren klinische und epidemiologische Studien, in welchen ein hohes Risiko eines malignen Neoplasmas im oberen Verdauungstrakt aufgezeigt wurde. Unter Berücksichtigung der bekannten stärksten Risikofaktoren wie Rauchen und Alkoholkonsum beobachteten Vasallo *et al.* (1985) einen unabhängigen Effekt des Mate-Konsums auf die Ätiologie des Ösophagus-Krebs. Gemäss Vitoria *et al.* (1990) existierten bis 1990 sieben Studien, in welchen über ein Verbindung zwischen dem Konsum von Mate und dem Auftreten von Krebs oder cancerogenen Läsionen im oberen Verdauungstrakt berichtet wurde. Auch Pintos *et al.* (1994) zogen den Schluss, dass Mate-Konsum einen genuinen und von anderen Faktoren unabhängigen Effekt ausübe, der zu einem erhöhten Krebsrisiko führe. Sollte ein Kausalzusammenhang bestehen, schätzten sie, dass ca. 20 % aller Krebsfälle der oberen Atem- und Verdauungswege dem Konsum von Mate zuzuschreiben seien. Die Autoren betonten auch, dass die größte Schwierigkeit bei der Bewertung eines Effekts durch Mate-Konsum in einer angemessenen Kontrolle weitere Risikofaktoren wie Rauchen, Alkoholkonsum und Nahrungseinflüsse liege. Castellsagué und Coautoren (2000) analysierten fünf Studien, an welchen mehr als 2500 Teilnehmer beteiligt waren, mit dem Ziel, bestätigende Hinweise für die Hypothese einer chronischen thermalen Schädigung in der Ösophaguscarcinogenese zu erhalten. Sie fanden ein stark erhöhtes Risiko, wenn Mate sehr heiss und in großen Mengen getrunken wurde. Pütz *et al.* (2002) diskutierten darüber hinaus, dass der Konsum heissen Mate-Tees neben der thermalen Schädigung zu einer Entzündung des Ösophagus führe. Als Folge dessen wurden endogene Radikale oder carcinogene Faktoren gebildet, welche zu einem gegenüber dem Durchschnitt veränderten *TP53*-Mutationsmuster führten.

De Stefani *et al.* (1991) führten ein signifikant erhöhtes Risiko, an Harnblasenkrebs zu erkranken, auf einen hohen Konsum von Mate zurück. Gemeinsamer Konsum von Tabak und Mate stelle einen

multiplikativen Effekt dar. Harnblasenkrebs wurde als gutes Testmodell zum Nachweis eines chemischen-bedingten carcinogenen Effekts durch das Trinken von Mate eingeschätzt. Deshalb unterstützen die Autoren die Hypothese, dass bei dem Auftreten von Krebs bei Mate-Konsumenten chemische und keine thermische Ursachen zugrunde lägen. 1998 postulierten De Stefani und Coautoren einen Zusammenhang zwischen starken Mate-Konsum und einem ansteigenden Risiko eines Nierenzellcarcinoms.

Weitere Eigenschaften

In einer weiteren Studie (Mosimann *et al.*, 2002) wurde untersucht, ob Mate *in vivo* die Progression von Atherosklerose in Cholesterolfütterten Kaninchen reduzieren könne. Als Ergebnis wurde formuliert, dass diese definitiv durch das Zufüttern eines Mate-Extrakts zu einer cholesterolreichen Nahrung abgeschwächt werde, da der Grad der atherosklerotischen Zellwandschädigungen der Aorta in der Gruppe der hypercholesterämischen Kaninchen mit Mate-Zufütterung deutlich niedriger war als in der Gruppe ohne Mate-Zufütterung. Da sich die beiden Gruppen jedoch nicht in Bezug auf den Grad der Lipidoxidation der Aorta unterschieden, wurde der Schluss gezogen, dass der Einfluss auf die Atherosklerose nicht auf eine Hemmung der Lipidoxidation zurückzuführen sei. Vielmehr seien andere Effekte des Mate-Extrakt (Plättchenaggregation, immunologische Faktoren, Monozytenadhäsion) nicht auszuschließen.

Die Effekte eines alkoholischen Extrakts der Blätter von *Ilex paraguayensis* bei Streptozotocin-induziertem Diabetes (Ratten) wurden von Wada und Coautoren (1996) untersucht. Sie fanden, dass das kontinuierliche Zufüttern des Extrakts vor dem Auslösen des Diabetes durch Streptozotocin zu einer Milderung der diabetischen Manifestation führe. Dieser Schluss sei zu ziehen, da eine geringere Exkretion von Glucose im Harn, ein niedrigerer Nüchternblutzucker und eine geringere Konzentration von Serumlipiden im Vergleich zu den Ergebnissen der Kontrollgruppe beobachtet wurden. Die Autoren nahmen an, dass antioxidative Komponenten des Extrakts Streptozotocin-induzierte Radikale, welche an der Entstehung von Komplikationen bei Diabetes beteiligt sind, abfangen. Sie regten deshalb an, dass solche Nahrungsbestandteile wie Mate möglicherweise angewendet werden könnten, um Diabetes zu verhindern oder dessen klinische Parameter zu verbessern.

Aufbauend auf dem Wissen, dass endogen produzierte Dicarbonylverbindungen wie Methylglyoxal an Glykations-Folgereaktionen beteiligt sind und daraus entstehende Endprodukte mit der Pathophysiologie chronischer Komplikationen des Diabetes verbunden sind, untersuchten Gugliucci und Menini (2002) Antiglykationseffekte eines Mate-Extrakts (Konzentration 5 % m/V). Dazu wurde die Hemmung des Methylglyoxal-induzierten Aktivitätsverlustes der Proteine Antithrombin III und Plasminogen analysiert. Es wurde ein dosisabhängiger Effekt des Mate-Extrakts beobachtet, der bereits bei einer Konzentration signifikant war, die einer 1:100-Verdünnung eines üblichen Mate-Getränks entsprach.

Anghileri und Thouvenot (2000) beobachteten, dass die Polyphenolfraction eines Extrakts aus Mate-Blättern die Eisen-induzierte Calciumhomöostase von Leberzellen der Maus hemmte. Sie vermuteten die Bildung eines Eisen-Polyphenol-Komplexes. Dadurch würde eine solche Menge Eisen gebunden, dass der notwendige Schwellenwert zur Modifikation der Calciumhomöostase nicht erreicht werde.

Der Einfluss eines Dekokts der getrockneten Blätter von *Ilex paraguariensis* bzw. dreier weiterer *Ilex*-Arten auf den Gallefluss und die intestinale Propulsion wurde von Gorzalczany *et al.* (2001) analysiert. Sie beobachteten, dass der Mate-Dekokt, sowohl intravenös als auch intraduodenal bei Ratten appliziert (250 mg/kg), die Gallesekretion anregte. Ein Einfluss auf die Propulsion wurde dagegen nicht nachgewiesen. Die Autoren unterstützen deshalb die volkstümliche Anwendung von Mate als Digestivum.

Muccillo Baisch *et al.* (1998) untersuchten die vasorelaxierenden Eigenschaften eines wässrigen Extrakts aus Mate-Blättern auf das isolierte und mit Methoxamin zuvor kontrahierte mesenterische arterielle Gefäßbett der Ratte. Dabei zeigte der Extrakt eine signifikante, dosisabhängige gefäßerweiternde Wirkung, die in Anwesenheit von Indometacin bestehen blieb. Die Anwesenheit von Prostaglandinen wurde deshalb ausgeschlossen. Das Entfernen des Endotheliums aus dem Gefäßbett führte zu einer deutlich schwächeren vasorelaxierenden Wirkung des Mate-Extrakts. Diese Ergebnisse deuteten auf eine Beteiligung von Stickstoffmonoxid, das aus dem Endothelium freigesetzt wurde, an der gefäßerweiternden Wirkung des Extrakts hin. Diese Vermutung wurde durch die Beobachtung bestätigt, dass die Extrakt-induzierte Relaxation des Gefäßes durch N^G -Nitro-L-Argininmethylester, einen Hemmstoff der Stickstoffmonoxid-Synthase, gehemmt wurde.

2.6.4 Toxische und erbgutverändernde Eigenschaften

Bisher taucht Mate in Zusammenhang mit toxischen Eigenschaften nur in zwei Berichten (Hsu *et al.*, 1995; HagerROM, 2003) auf. Beide kommen zu dem Ergebnis, dass die beobachteten toxischen Wirkungen nicht auf Mate sondern auf Verfälschungen in den zugrunde liegenden Produkten zurückzuführen waren.

Mutagene und genotoxische Effekte von wässrigen Mate-Lösungen auf Bakterienzellen wurden von Leitão und Braga (1994) untersucht. Sie fanden mutagene Aktivität im Ames-Test (Bakterien-Mutationstest) bei Konzentrationen von 20 bis 50 mg pro Platte. Genotoxische Aktivität wurde im Induc-Test (Prophagen-Induktionstest) nachgewiesen. Die maximale Phageninduktion wurde erst bei Konzentrationen von 10 bis 20 mg wässrigen Mate-Extrakts pro Platte erreicht. Oberhalb dieser Konzentrationen wirkten die eingesetzten Mate-Lösungen zytotoxisch. Weitere Versuche zeigten, dass reaktive Sauerstoffspezies vermutlich eine essentielle Rolle bei dieser Genotoxizität spielten. Mate-Zubereitungen wurden aufgrund dieser Ergebnisse als potentiell carcinogen eingestuft und es wurde darauf hingewiesen, dass derzeit zusätzlich mit menschlichen Zelllinien experimentiert werde.

Vergleichbare Ergebnisse bezüglich der mutagenen und genotoxischen Wirkung fanden Fonseca *et al.* (2000) für ihre Untersuchungen mit weiteren wässrigen Mate-Extrakten (chimarrão). *In vitro* zeigten die Extrakte genotoxische Eigenschaften, nachgewiesen durch lysogene Induktion in *Escherichia coli*. Mutagenität wurde bei *Salmonella typhimurium* induziert. Humane periphere Lymphozyten, die mit den Extrakten (100 bis 750 µg pro ml Kultur) inkubiert wurden, zeigten eine erhöhte Chromosomenaberrationsrate (zumeist Chromatidbrüche). Dagegen wurde *in vivo* kein clastogener Effekt an Knochenmarkszellen von Ratten beobachtet, obwohl sehr hohe Dosen (bis zu 2 g pro kg Körpergewicht) getestet wurden. Diese Dosen würden einer Einmaldosis eines Mate-Infuses entsprechen, der aus 1,2 kg Mate hergestellt werden müsste.

Darüber hinaus existieren bis heute keine Ergebnisse einer carcinogenen Wirkung im Tierversuch (Goldenberg, 2002).

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsmaterial

Probenmaterial von *Ilex paraguariensis* stammte aus drei unterschiedlichen Quellen und beinhaltete Proben von 1997 bis 2002:

- von dem brasilianische Mate-Produzent Baldo SA aus Sao Mateus do Sul, Staat Paraná , Brasilien (Blätter, Zweige, Produktionszwischenstufen, Handelswaren)
- von der Firma Bad Heilbrunner Naturheilmittel GmbH & Co., Bad Heilbrunn, Deutschland (Handelswaren)
- aus eigener Anzucht von *Ilex paraguariensis* St.-Hil. (s. Abb. 3-1), durchgeführt im instituts-eigenen Gewächshaus



Abb. 3-1: *I. paraguariensis* aus eigener Anzucht

Zur Organisation wurde jeder Probe eine Nummer zugeordnet. Die Probennummer setzt sich aus zwei Ziffern und einer weiteren Bezeichnung zusammen (z.B. 20/A1). Die ersten beiden Ziffern bezeichnen die Messreihe, innerhalb der die Probe untersucht worden ist. Zu einer Messreihe wurden dabei die Proben zusammengefasst, die unter derselben Fragestellung zeitgleich analysiert wurden.

Außerdem wurde jede Probe umfassend charakterisiert. Dazu gehörten z.B. das Datum der Probenahme, die Bestimmung der Masse und das Fotografieren einer Probe. Einige der dabei erfassten Informationen stammten von den Kooperationspartnern. Tab. 3-1 gibt abhängig von der Probenart einen Überblick über die verfügbaren Informationen.

Tab. 3-1: Überblick über die zu einer Probenart verfügbaren Informationen, sortiert nach Probenart; in Klammern gesetzte Informationen sind nicht zu jeder Probe verfügbar.

Getrocknete Blätter	Blätter markierter Bäume	Frische Blätter
Datum der Probennahme	s. Getrocknete Blätter	Datum der Probennahme
Plantagenbesitzer (Kulturform (Alter))	zusätzlich: Foto	Plantagenbesitzer (Größe)
Letzter Schnitt der Plantage	Baumhöhe	Lichtverhältnisse
Ort der Plantage (Lichtverhältnisse)	Lage des Zweiges	Masse
Masse	Exposition des Zweiges	Foto
Optische Beschreibung		Trocknungsverlust
Mate cancheada	Zwischenstufen	Handelswaren
Datum der Probennahme	Art der Zwischenstufe	Produktbezeichnung
Produzent	Datum der Probennahme	Produktart
Ort der Plantage	Produktionsort	Produzent
Datum des Cancheamento		(Erntedatum)
		(Chargenbezeichnung)
Kalluskulturen		
Datum der Probennahme		
Ausgangskultur		
Anzahl erfolgter Überimpfzyklen		
Standzeit		
Lichtverhältnisse		
Masse		
(Foto)		

Eine vollständige Tab. mit allen untersuchten Proben sowie den entsprechenden Probeninformationen findet sich im Anhang I (s. Tab. 8-1 bis Tab. 8-4).

3.2 Chemikalien und Lösungsmittel

Lösungsmittel

Aceton, Ethylacetat, Methanol stammten aus Hochschullieferungen und waren technisch rein. Sie wurden vor dem Verwenden destilliert. Methanol zu HPLC-Zwecken hatte den Reinheitsgrad „zur Analyse“ und wurde von der Firma SDS (Peypin, Frankreich) bezogen. Es wurde undestilliert eingesetzt.

Chemikalien

Im Rahmen dieser Arbeit wurden, sofern nicht gesondert erwähnt, nur Chemikalien mit dem Reinheitsgrad „zur Analyse“ eingesetzt.

In den chromatographischen Analysen wurden folgende Referenzsubstanzen (Reinheitsgrad „zur Analyse“) der genannten Firmen eingesetzt:

- Chlorogensäure Rotichrom[®] – Roth, Karlsruhe (Gehalt > 93 %)
- Coffein – Merck KGaA, Darmstadt (Gehalt > 96,1 %)
- Rutin – Roth, Karlsruhe (Gehalt 97,5 %)

Soweit nicht anders erwähnt, wurde bei den Versuchen demineralisiertes Wasser eingesetzt. Zu HPLC-Zwecken wurde Wasser verwendet, das mit der Aufbereitungsanlage „Milli-Q Reagent Water“ (Millipore, Eschborn) gewonnen wurde.

3.3 Kalluskultur von *Ilex paraguariensis*

3.3.1 Anlage von Kalluskulturen

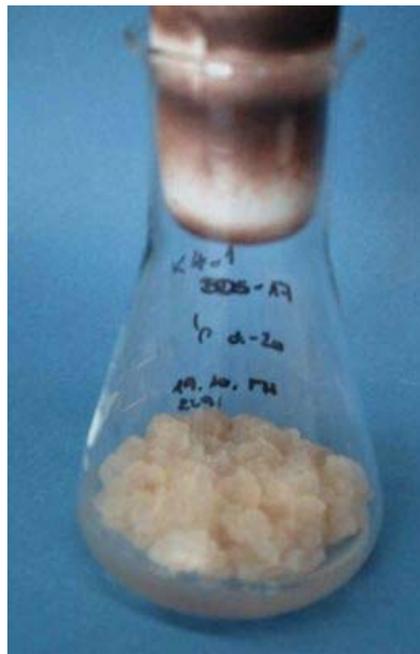


Abb. 3-2: Kalluskultur von *I. paraguariensis* auf BDS-Medium

Zur Anlage von Kalluskulturen (s. Abb. 3-2) wurden ca. 1 cm² Blatt- und ca. 2 cm große Zweigstücke von *I. paraguariensis* zunächst in 0,1%-iger wässriger HgCl₂-Lösung 5 bis 10 min. desinfiziert und anschließend in sterilem Wasser 10 min. gespült. Nachdem alle Pflanzenstücke mit einem Skalpell angeritzt worden waren, wurden sie auf BDS-Medium (Zusammensetzung s. Tab. 3-2) ausgelegt. Die Kulturen wurden ausschließlich dunkel bei einer Raumtemperatur von 25 °C angezogen. Nach durchschnittlich fünf Wochen wurde der Kallus überimpft.

Tab. 3-2: Übersicht über die Zusammensetzung des BDS-Mediums

Zusammensetzung des BDS-Mediums		
Makroelemente	NaH ₂ PO ₄ x 2 H ₂ O	172,0 mg/l
	CaCl ₂ x 2 H ₂ O	150,0 mg/l
	(NH ₄) ₂ SO ₄	134,0 mg/l
	MgSO ₄ x 7 H ₂ O	247,0 mg/l
	KNO ₃	2530 mg/l
	NH ₄ NO ₃	320,0 mg/l
	(NH ₄) ₂ HPO ₄	230,0 mg/l
	Titriplex III	37,25 mg/l
	FeSO ₄ x 7 H ₂ O	27,85 mg/l
	KJ	27,85 mg/l
Spurenelemente	ZnSO ₄ x 7 H ₂ O	2,0 mg/l
	Na ₂ MoO ₄ x 2 H ₂ O	0,25 mg/l
	CuSO ₄ x 5 H ₂ O	0,039 mg/l
	CoCl ₂ x 6 H ₂ O	0,025 mg/l
Organische Bestandteile	Nicotinsäure	1,0 mg/l
	Thiaminiumdichlorid	10,0 mg/l
	Pyridoxolhydrochlorid	1,0 mg/l
	myo-Inosit	100,0 mg/l
	Saccharose	30 g/l
Hormone	Kinetin (0,1%-ige Lösung in Wasser)	1,0 ml/l
	Dicamba (0,075 %-ige Lösung in Ethanol)	1,0 ml/l
Gelbildner	Phytigel	4,0 g/l
Bedingungen	pH-Wert	5,5

3.3.2 Charakterisierung des Wachstums

Aus drei Vorkulturen (Kulturreihen Nummer 3, 8 und 16) von *Ilex paraguariensis*-Kalluskulturen wurde ausreichend Zellmaterial zum Überimpfen angezogen. Dann wurde je eine Vorkultur gleichzeitig in 12 tarierte Kolben mit BDS-Medium überimpft. Nach dem Überimpfen wurde jeder Kolben erneut gewogen, um das überimpfte Kallusgewicht zu bestimmen. Alle vier Tage wurde je eine Kultur der drei Reihen geerntet und ausgewogen. Insgesamt wurde das Wachstum jeder Kultur über 48 Tage beobachtet.

3.4 Analytische Methoden

3.4.1 Trocknung

Zur Trocknung wurde eine Probe zwei Stunden in einem auf 110 °C geheizten Trockenschrank (kelvitron® Heraeus, Kendro Laboratory Products GmbH, Hanau) getrocknet. Dann kühlte sie 10 min.

im Exsiccator aus und wurde anschließend gewogen (Analysenwaage BP221S, Sartorius AG, Göttingen).

Alternativ wurde im Fall der Messreihe 34 ein elektronischer Feuchtebestimmer (Moisture Analyzer MA100, Sartorius AG, Göttingen) eingesetzt. Trocknungen wurden bei vier unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt, indem entweder das Heizprogramm oder die Dauer der Trocknung variiert wurden (s. Tab. 3-3). Als Trockentemperatur wurde 110 °C gewählt. Aus dem Verhältnis der Massen der frischen und anschließend getrockneten Probe wird der Trocknungsverlust in Prozent berechnet.

Tab. 3-3: Übersicht über die Trocknungsbedingungen (variieren in Heizprogramm und Dauer der Trocknung), mit denen die Trocknung mittels eines elektronischen Feuchtebestimmers durchgeführt wurde

Bedingung Nr.	Heizprogramm	Dauer der Trocknung
1	Standard-Heizprogramm	ca. 21 min (=vollautomatisches Ende)
2	Standard-Heizprogramm	11,5 min. (=halbe Dauer von 1)
3	Standard-Heizprogramm	42 min. (= doppelte Dauer von 1)
4	Schnell-Heizprogramm	max. 25 min. (=vollautomatisches Ende)

3.4.2 Zerkleinerung

Kleine Probenmengen, wie z.B. einzelne Blätter wurden in einem Porzellanmörser pulverisiert. Größere Probenmengen, wie z.B. Mate cancheada oder Handelswaren wurden mit einer Kreuzschlagmühle (A 10, Janke & Kunkel KG) zerkleinert. Da die Analysen der Proben nach jeder Methode als Doppelbestimmungen geplant wurden, wurde ausreichend Material (mindestens ein Blatt bzw. ca. 1g) pulverisiert.

3.4.3 Gehaltsbestimmung von Gesamtchlorophyll und Carotinoiden

Extraktion

50 mg pulverisiertes Probenmaterial wurde in 5 ml 80 % (V/V) Aceton suspendiert und anschließend mittels eines Stab-Ultra-Turrax zweimal für je 10 s extrahiert. Nachdem 30 Minuten bei Raumtemperatur im Dunkeln extrahiert worden war, wurde abfiltriert. Der Filter wurde mit 5 ml Lösungsmittel nachgewaschen.

Photometrische Analyse

Je 1 ml Extrakt wurde in eine Einmalküvette aus Polypropylen (1,5 ml) pipettiert und bei 663,2 nm, 646,8 nm, 470,0 nm und 520,0 nm in einem Photometer (Uvikon 810, Kontron, München) gegen Lösungsmittel als Blindwert vermessen.

Gehaltsberechnung

Die Gehaltsberechnung erfolgte nach Lichtenthaler (1987). Dieser hat folgende mathematische Zusammenhänge für die gemessenen Absorptionen bei 663,2 nm ($A_{663,2}$), 646,8 nm ($A_{646,8}$), 470,0 nm (A_{470}) und bei 520,0 nm (A_{520}) und den Gehalt an Pigmenten beschrieben:

$$\begin{aligned} \text{Konzentration an Chlorophyll a (C}_a\text{) in \%:} & \quad C_a = (12,25 \cdot A_{663,2} - 2,79 \cdot A_{646,8}) \cdot 0,02 \\ \text{Konzentration an Chlorophyll b (C}_b\text{) in \%:} & \quad C_b = (21,50 \cdot A_{646,8} - 5,10 \cdot A_{663,2}) \cdot 0,02 \\ \text{Konzentration an Gesamtchlorophyll (C}_{a+b}\text{) in \%:} & \quad C_{a+b} = (7,15 \cdot A_{663,2} + 18,71 \cdot A_{646,8}) \cdot 0,02 \\ \text{Konzentration an Carotinoiden (C}_c\text{) in \%:} & \quad C_c = ((1000 \cdot A_{470} - 1,82 \cdot C_a - 85,02 \cdot C_b) / 198) \cdot 0,02 \end{aligned}$$

3.4.4 Qualitative und quantitative Bestimmung der Naturstoffe (Caffeoylchinasäuren, Coffein und Rutin)

Extraktion pflanzlicher Proben

100 mg pulverisiertes Probenmaterial wurde in 5 ml 60 % (V/V) Methanol suspendiert und anschließend mittels eines Stab-Ultra-Turrax zweimal für je 10 s extrahiert. Nachdem 30 Minuten bei Raumtemperatur im Dunkeln extrahiert worden war, wurde abfiltriert.

Liegt die Masse eines zu bestimmenden Blattes vor dem Pulverisieren unter 350 mg, so wurden nur 25 mg der Probe in 2,5 ml extrahiert.

Extraktion des Kallusmaterials

Frisch geerntetes und ausgewogenes Kallusmaterial wurde mit 60 % (V/V) Methanol extrahiert. Pro Gramm Kultur wurde je 1 ml Lösungsmittel zugesetzt. Nachdem fünf Minuten bei Raumtemperatur im Porzellanmörser extrahiert worden war, wurde abfiltriert.

Referenzstammlösung

Zur Herstellung einer Referenzstammlösung wurden jeweils 10 mg Coffein, Chlorogensäure und Rutin eingewogen und gemeinsam in einem 10 ml Messkolben mit Methanol aufgelöst. Eine

1:10-Verdünnung dieser Lösung wurde aliquotiert und bei $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis zum chromatographischen Einsatz aufbewahrt.

3.4.4.1 Dünnschichtchromatographie

System: stationäre Phase – Fertigplatten Kieselgel 60 F₂₅₄ (Merck KgaA, Darmstadt)
 Mobile Phase – Oberphase aus Ethylacetat / Wasser / Ameisensäure / konzentrierte Salzsäure (75 : 8 : 6 : 1 Volumenteile)
 Start 2 cm
 Laufstrecke 6 cm

Proben: 10 µl Extrakt der zu untersuchenden Probe bzw.
 20 µl Extrakt, wenn die Probe ein Blatt war, dessen Masse weniger als 350 mg betrug
 10 µl und 20 µl einer 1:10-Verdünnung der Referenzstammlösung (s. Kap. 3.4.4) mit Methanol, entspricht einer Konzentration der Referenzsubstanzen von 0,1 mg/ml

Detektion: Trocknen der Platte bei Raumtemperatur
 Dokumentation (Programm DocIt, Desaga GmbH Sarstedt, Nümbrecht) bei Ultraviolett (UV)-Licht mit 254 nm
 Trocknen im Trockenschrank bei 120 °C für 5 min.
 Besprühen mit 1%-iger methanolischer Naturstoff-A-Lösung
 Besprühen mit 5%-iger methanolischer Polyethylenglykol-400-Lösung
 Dokumentation bei UV-Licht mit 366 nm Wellenlänge und Tageslicht

Retentionsfaktoren (Rf-Werte):	Kaffeesäure	0,89
	3,5-Dicaffeoylchinasäure	0,84
	3,4-Dicaffeoylchinasäure	0,64
	4,5-Dicaffeoylchinasäure	0,58
	Theobromin	0,50
	Coffein	0,46
	3-Caffeoylchinasäure	0,31
	4-Caffeoylchinasäure	0,31
	5-Caffeoylchinasäure	0,26
	Rutin	0,11

Anmerkung: Das Chromatogramm, welches bei UV-Licht mit 254 nm Wellenlänge aufgenommen wurde, wird als Graustufenbild abgespeichert. Dadurch können die UV-löschenden Banden auf dem reflektierenden Plattengrund drucktechnisch auf dem Papier wiedergegeben werden.

3.4.4.2 Hochdruckflüssigkeitschromatographie

System: HPLC-Pumpe 64 (Knauer, Berlin)
 Diodenarray-Detektor SPD-M6A (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan)
 Vorsäule (30 mm x 4 mm, Edelstahl), Stationäre Phase – Perisorb RP-8 (Merck KGaA, Darmstadt)
 Trennsäule (250 mm x 4 mm, Edelstahl), Stationäre Phase – Nucleosil 120-5 C₁₈ (Macherey-Nagel, Düren)
 Mobile Phase – Wasser / Methanol / konzentrierte Essigsäure (59 : 39 : 2 Volumenteile)
 isokratische Elution
 0,6 ml /min Flussgeschwindigkeit
 17,6 MPa Druck

Proben: 50 µl eines 1:10 in mobiler Phase verdünnten Extrakts der zu untersuchenden Probe bzw. 50 µl einer 1:5-Verdünnung, wenn die Probe ein Blatt war, dessen Masse weniger als 350 mg betrug.
 20 bis 80 µl einer 1:20-Verdünnung der Referenzstammlösung (s. Kap. 3.4.4) mit Methanol, entspricht einer Konzentration der Referenzsubstanzen von 0,05 mg/ml; anfangs auch 10 bis 100 µl einer 1:10-Verdünnung der Stammlösung, entspricht einer Konzentration von 0,1 mg/ml Chlorogensäure, Coffein und Rutin

Detektion: Aufnahme der Chromatogramme bei den Wellenlängen 245, 270 und 320 nm

Retentionszeiten (min.) und Wellenlängen im Bereich des jeweiligen Substanzmaximums, bei denen die Peakflächen berechnet wurden:

Substanz	Retentionszeit (min.)	Wellenlänge (nm)
3-Caffeoylchinasäure	4,4	320
Theobromin	4,8	270
4-Caffeoylchinasäure	5,3	320
5-Caffeoylchinasäure	5,3	320

Substanz	Retentionszeit (min.)	Wellenlänge (nm)
Coffein	7,2	270
Kaffeensäure	7,3	320
3,4-Dicaffeoylchinasäure	10,7	320
3,5-Dicaffeoylchinasäure	12,4	320
Rutin	19,0	320
4,5-Dicaffeoylchinasäure	20,4	320

Software zur Berechnung der Peakflächen: Class-LC10, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan

Parameter zur Berechnung der Peakflächen:

Peakbreite	20 s
Steigung	10000 Absorptionseinheiten/min.
Drift	0 Absorptionseinheiten/min.
T.DBL	500 min.
Stopzeit	30 min.
Anzahl Peaks	12

Diese Einstellungen gelten sowohl für die Wellenlänge 270 nm wie auch die Wellenlänge 320 nm.

3.4.4.3 Validierung

Die verwendeten Methoden zur Gehaltsbestimmung wurden bereits im Rahmen der Vorarbeiten (s. Kap. 1.1) festgelegt und grundlegend validiert. Die Spezifität der HPLC-Gehaltsbestimmungen für die geplanten Analysen wurde durch den Einsatz eines UV-Diodenarraydetektor-Systems gewährleistet. Bei der Auswertung wurde berücksichtigt, dass sowohl die Monocaffeoylchinasäuren als auch 3,4- von 3,5-Dicaffeoylchinasäure nicht getrennt erfasst wurden (s. Kap. 4.2). Die Bestimmungen sind für alle drei Referenzsubstanzen (Chlorogensäure, Coffein und Rutin) in dem Konzentrationsbereich 1,0 bis 10,0 µg/µl linear. Durch das relativ große Verhältnis von Auszugsmittel zu Drogenmaterial wurde eine praktisch vollständige Extraktion erreicht. Die Wiederfindungsrate lag in Aufstockungsversuchen für alle Analyten (bzw. -gruppen) über 93 %. Der Variationskoeffizient bei der Ermittlung der Präzision lag etwa bei 3 bis 4 % (Wiederholpräzision) bzw. bei Auswertung über das gesamte Projekt bei ca. 8 % (bestimmt am gleichen Gerät, bei unterschiedlichen Bedingungen über einen Zeitraum von fünf Jahren).

Durch die Verwendung einer Mischung von Referenzsubstanzen als externer Standard und den Einsatz verschiedener Mengen dieser Referenzsubstanzen während der Analysen wurden die Eignung und die Linearität des Systems (s. Kap. 4.2) immer wieder überprüft, so dass Fehlfunktionen oder andere Analysefehler zuverlässig erkannt werden konnten.

3.4.5 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden in Zusammenarbeit mit Dr. R. Fimmers, Institut für Medizinische Biometrie, Informatik und Epidemiologie der Universität Bonn statistisch ausgewertet. Bei geeigneten Datenmengen wurden diese mit univariaten Varianzanalysen mit Hilfe mit Hilfe des Programms SPSS, Version 12 für Windows (Release 12.0.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) analysiert.

3.4.6 Bestimmung der Mineralstoffe

Probenvorbereitung

Etwa 4 g pulverisiertes Probenmaterial werden in einen getrockneten, tarierten Porzellantiegel genau eingewogen und über Nacht in einem auf 103 °C vorgeheizten Trockenschrank getrocknet. Danach wird der Tiegel ca. 45 min. lang in einem Exsiccator abgekühlt und erneut gewogen. Anschließend wird der Tiegel ca. 20 min. lang in einem Vorverascher und zur vollständigen Veraschung der Probe über Nacht in einen auf 550 °C geheizten Muffelofen gestellt. Nach dem Abkühlen im Exsiccator wird der Tiegel zurückgewogen. Die Asche wird mit 5 ml einer Mischung aus konzentrierter Salzsäure und destilliertem Wasser (1:1 Volumenteile) versetzt und die Flüssigkeit auf dem Sandbad eingedampft. Der Vorgang wird einmal wiederholt. Dann werden 5 ml konzentrierte Salpetersäure und destilliertes Wasser (1:2 Volumenteile) in den Tiegel gegeben und die bis kurz vor dem Sieden erhitzte Lösung mit heissem bidestilliertem Wasser durch einen aschefreien Weißband-filter in einen 250 ml Messkolben filtriert. Nach dem Abkühlen wird die Lösung mit bidestilliertem Wasser aufgefüllt (Stammlösung).

Gehaltsbestimmung mit Angaben zu den Messbedingungen

Zur Gehaltsbestimmung wird von jeder Stammlösung in Abhängigkeit von ihrer Konzentration 0,15 bis 2 ml in einen 100 ml Messkolben pipettiert. Zur Calcium- und Manganbestimmung werden alle Verdünnungen (Standard, Blindwert und Proben) mit 5 ml 5 % Strontiumchloridlösung versetzt, um Ionisationsstörungen zu vermeiden. Anschließend werden die Messkolben mit bidestilliertem Wasser aufgefüllt, geschüttelt und im Flammen-Atom-Absorptionsspektrometer (Typ 1100B, Perkin-Elmer, Wellesley, USA) vermessen. Von jeder Probe wird eine Doppelbestimmung durchgeführt.

Da das Gerät den gemittelten Gehalt einer Dreifachbestimmung anzeigt, muss vor jeder Elementmessreihe eine Eichgerade aufgenommen werden. Die Konzentrationen der zu vermessenden drei bis fünf Standardlösungen liegen dabei im linearen Messbereich des jeweiligen Elements. Diese und weitere elementspezifische Angaben zur Messdurchführung sind Tab. 3-4 zu entnehmen.

Tab. 3-4: Messbedingungen zur Analyse von neun Elementen mit Angaben zur Wellenlänge, zum Spalt, zum Lampenstrom, zur Brennungsrate des Ethylen und zum linearen Bereich der Messung

Element	Wellenlänge (nm)	Spalt (nm)	Lampenstrom (mA)	Brennungsrate Ethylen (l/min)	Linearer Bereich (mg/l)
Calcium	422,7	0,7	15	1,9	5,0
Kalium	766,5	0,7	8	2,4	2,0
Magnesium	285,2	0,7	6	1,9	0,5
Natrium	589,0	0,2	12	2,4	0,8
Eisen	248,3	0,2	30	3,0	5,0
Kupfer	324,8	0,7	30	2,4	5,0
Mangan	279,5	0,2	20	3,0	2,0
Zink	213,9	0,7	30	2,4	0,5

3.4.7 Bestimmung der antioxidativen Eigenschaften

Extraktionen

1. in 60 % (V/V) Methanol

100 mg pulverisiertes Probenmaterial wird in 5 ml 60 % (V/V) Methanol suspendiert und anschließend mittels eines Ultra-Turrax zweimal für je 10 s extrahiert. Nach 30 minütiger Extraktion bei Raumtemperatur im Dunkeln wird abfiltriert. Der Extrakt wird am Rotationsverdampfer bis zur Trockne eingengt. Der Rückstand wird in 60 % (V/V) Methanol gelöst und auf eine Konzentration von 1 mg/ml eingestellt.

2. in Wasser

120 mg pulverisiertes Probenmaterial wird in 10 ml kochendes Leitungswasser suspendiert und 10 min. bei Raumtemperatur stehen gelassen. Anschließend wird abfiltriert.

TBARS-Assay

Die eingesetzte Methode stammt von Wallin *et al.* (1993) und wurde von K. Fisch (Dissertation in Vorbereitung) wie folgt modifiziert: der Assay wird in einer 96-well-Mikrotiterplatte aus Polystyren durchgeführt. Das Gesamtvolumen des Reaktionsansatzes zur Oxidation des Linolensäuremethylesters beträgt 70 µl/well. Der Ansatz setzt sich aus 40 µl 50 mM Phosphatpuffer (pH 7,2), 10 µl 10 % (m/V) Natriumdodecylsulfatlösung, 5 µl Probe, 5 µl 70 mM Linolensäuremethylester-Lösung (in Ethanol) und 10 µl 0,08 % (m/V) Eisensulfatheptahydrat-Lösung (in 0,025 M Salzsäure) zusammen. Die Mikrotiterplatten werden im Thermomixer bei 50 °C inkubiert und mit 500 Umdrehungen/min. für 30 min. geschüttelt. Nach Ablauf der Zeit werden sofort 5 µl BHT-Lösung (15 mM in Ethanol) zugesetzt, um weitere Oxidationen zu vermeiden. Dann werden jedem well 20 µl 50 % (m/V)

Trichloressigsäure und 40 µl 0,88 % (m/V) Thiobarbitursäure (gelöst in 0,3 % (m/V) Natronlauge) zugesetzt. Die Platte wird mit einer Mikromatte abgedeckt und bei 60 °C und 500 Umdrehungen/min. für weitere 30 min. im Thermomixer inkubiert. Anschließend kühlt die Platte 5 min. bei Raumtemperatur ab. Die Absorptionen werden bei 532 nm nach Abzug der Hintergrundabsorptionen bei 600 nm mittels eines SLT Rainbow-Mikrotiterplattenlesers gemessen.

Berechnung der prozentualen Hemmung der Linolensäuremethylester-Oxidation

Die prozentuale Hemmung einer Probe mit vorgegebener Konzentration kann aus den ermittelten Absorptionen berechnet werden. Dabei drückt sie die Hemmung der Lipidoxidation durch die Probe im Verhältnis zu einer nicht gehemmten Reaktion einer Kontroll-Lösung aus. Falls die untersuchten Proben Substanzen enthalten, die Licht derselben Wellenlänge wie der Thiobarbitursäure-Malondialdehyd-Chromophor (532 nm) absorbieren, wird eine Blindprobe vermessen. Im Ansatz der Blindprobe ist nur Probenlösung, jedoch keine Linolensäuremethylester-Lösung enthalten. Die prozentuale Hemmung wird nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$\text{Hemmung (\%)} = 100 - \frac{(A_{\text{Probe}} - A_{\text{Blindprobe}}) * 100}{A_{\text{Kontrolle}} - A_{\text{Leerwert}}}$$

mit	A_{Probe}	–	Absorption der Probe $A_{532 \text{ nm}} - A_{600 \text{ nm}}$
	$A_{\text{Blindprobe}}$	–	Absorption der Blindprobe $A_{532 \text{ nm}} - A_{600 \text{ nm}}$
	$A_{\text{Kontrolle}}$	–	Absorption der Kontrolle $A_{532 \text{ nm}} - A_{600 \text{ nm}}$
	A_{Leerwert}	–	Absorption des Leerwerts $A_{532 \text{ nm}} - A_{600 \text{ nm}}$

DPPH-Assay

Zur Bestimmung der DPPH-Radikalfänger-Eigenschaften wurden von K. Fisch bereits früher bekannte Methoden von Blois (1958) und Amarowicz *et al.* (2000) modifiziert. Der Assay wird in einer 96-well-Mikrotiterplatte aus Polystyren durchgeführt. Zu 100 µl einer Probe (gelöst in Methanol) bekannter Konzentration werden 25 µl 1 mM DPPH-Lösung in Ethanol und 75 µl Ethanol zugesetzt. Die Mischung wird kurz geschüttelt und verbleibt 30 min. bei Raumtemperatur im Dunkel. Nach Ablauf der Zeit wird die Absorption bei 517 nm mittels eines SLT Rainbow-Mikrotiterplattenlesers gemessen.

Berechnung des prozentualen Radikalfangs

Die antioxidative Eigenschaft wird als prozentuales Abfangen des DPPH-Radikals bestimmt. Sie berechnet sich für eine Probe bekannter Konzentration nach folgender Gleichung:

$$\text{Scavenging (\%)} = 100 - \frac{(A_{\text{Probe}} - A_{\text{Blindprobe}}) * 100}{A_{\text{Kontrolle}} - A_{\text{Leerwert}}}$$

mit	A_{Probe}	–	Absorption der Probe $A_{517 \text{ nm}}$
	$A_{\text{Blindprobe}}$	–	Absorption der Blindprobe $A_{517 \text{ nm}}$
	$A_{\text{Kontrolle}}$	–	Absorption der Kontrolle $A_{517 \text{ nm}}$
	A_{Leerwert}	–	Absorption des Leerwerts $A_{517 \text{ nm}}$

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Erläuterungen zur Erfassung und Auswertung der Daten

Auf der Grundlage der Voruntersuchungen (s. Kap. 1.1), in welchen die Eignung und Stabilität zapekierten Probenmaterials gezeigt worden war, wurden in dieser Arbeit mehr als 700 Pflanzenproben von *Ilex paraguariensis* bzw. Proben aus dem Produktionsprozess des Mate aufbereitet und analysiert. Diese Analysen wurden entsprechend der Herkunft des Probenmaterials in drei Bereiche unterteilt:

- einen biologischen Bereich, in welchem ausschließlich einzelne Blätter untersucht wurden
- einen Produktionsbereich mit Proben aus verschiedenen Produktionsabschnitten
- einen Bereich der Untersuchung undifferenzierten Gewebes in Form von Zellkultur-Material

Im Mittelpunkt der Analysen des ersten Bereichs (s. Abb. 4-1) standen einzelne Mate-Blätter. Als erstes wurden zufällig gesammelte Blätter untersucht. Weitere Analysen konzentrierten sich gezielt auf Blätter verschiedener Zweige. Begonnen wurde mit zufällig gesammelten Zweigen. Anschließend wurden Zweige von 30 markierten Bäumen untersucht. Ein besonderer Schwerpunkt wurde auf die Untersuchungen zum Einfluss der Belichtung gelegt.

Die Untersuchungen des zweiten Bereichs orientierten sich ausschließlich am Produktionsprozess des Mate-Tees. Hier wurden das Zwischenprodukt Mate cancheada, Proben aus den Produktionsstufen und verschiedene, im Handel erhältliche Produkte analysiert. Ein weiterer Schwerpunkt in diesem Bereich lag auf Untersuchungen zu alternativen Trocknungsmethoden.

Als dritter Bereich wurde die Analyse von Kalluskulturen von *Ilex paraguariensis* hinzugenommen. Hier wurde zuerst überprüft, ob in Kalluskulturen die für Mate typischen Purinalkaloide und Caffeoyle-chinasäuren gebildet werden. Daran schlossen sich die Bestimmung der Gehalte der Kalluskulturen im Rahmen einer Wachstumscharakteristik an. Schließlich wurde auch hier der Frage nach dem Einfluss der Belichtung nachgegangen.

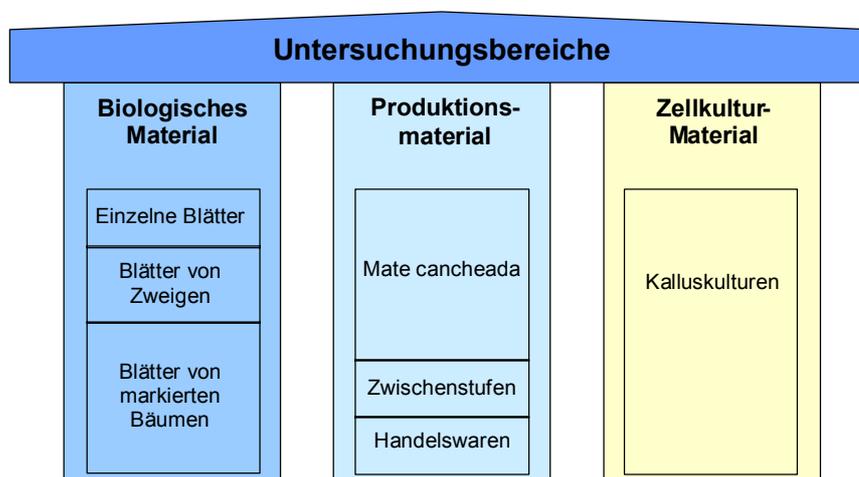


Abb. 4-1: Aufbau der Variabilitätsuntersuchungen, bestehend aus drei Bereichen, die nach der Art des analysierten Probenmaterials abgegrenzt wurden. Die Anzahl der untersuchten Proben innerhalb einer Untergruppe wird durch die Kastengröße gezeigt.

4.2 Methodik der Durchführung und Auswertung der Untersuchungen

Um zu gewährleisten, dass alle Proben gleich behandelt werden, wurde eine Vorgehensweise zur Durchführung der Untersuchungen festgelegt. Dieses Schema bestand aus vier Schritten:

1. Zusammenstellung aller charakteristischen Informationen einschließlich der Fotodokumentation der Probe
2. Quantitative Bestimmung der Farbpigmente in Form einer photometrischen Analyse des Gesamtchlorophylls und der Carotinoide
3. Darstellung des qualitativen Spektrums der Naturstoffe (Caffeoylchinasäuren, Coffein und Rutin) mittels dünnschichtchromatographischer Untersuchung
4. Quantitative Bestimmung der Naturstoffe mittels HPLC

An einem Beispiel mit fünf Proben der Messreihe 10 sollen diese Vorgehensweise, die Dokumentation und die Auswertung der Ergebnisse ausführlich dargestellt werden.

Vollständige Informationen und Gehaltsergebnisse aller untersuchten Proben (auch solche, auf die in den folgenden Kap. nicht im Einzelnen eingegangen wird) sind im Anhang in den Tab. 8-1 bis Tab. 8-5) zusammengestellt.

Beschreibung und Fotodokumentation

Die Zusammenstellung der charakteristischen Informationen einer Probe umfasste wesentliche Aussagen zur Identifikation der Proben: das Datum der Probennahme, Name des Anbauers bzw. des Produzenten der Probe, Kulturform, Alter und Herkunft der Probe. Zusätzlich wurde mit den Lieferanten der Proben vereinbart, dass weitere Informationen wie z.B. die Beurteilung der Lichtverhältnisse angegeben wurden. Gerade bei diesen letzten Informationen muss beachtet werden, dass sie subjektiver Art sind und damit stark von der beurteilenden Person abhängig sind. Blätter (und Kalluskulturen) wurden zusätzlich durch Fotografieren dokumentiert.

In Messreihe 10 wurden aus der Ernte im Januar/Februar 1999 in der Region Paraná (Brasilien) zufällig gesammelte, zapekierte einzelne Blätter untersucht. Zu den fünf Blättern 10/11 bis 10/15 standen folgende Informationen zur Verfügung: das Datum der Probennahme, Produzent und die Kulturform der Pflanzen sowie deren Ort und die Masse der untersuchten Blätter (s. Tab. 4-1). Als „nativ“ wurden Pflanzen bezeichnet, die aus Wildbeständen und nicht aus Plantagen stammten. Abschließend wurden die zu untersuchenden Proben mittels einer Digitalkamera (s. Abb. 4-2) fotografiert.

Tab. 4-1: Übersicht über die verfügbaren Informationen zu den Proben 10/11 bis 10/15

Probe Nr.	Probennahme	Produzent	Kulturform	Ort	Masse (g)
10/11	11.02.1999	Baldo	nativ	Sao Mateus do Sul	0,773
10/12	11.02.1999	Baldo	nativ	Sao Mateus do Sul	0,646
10/13	11.02.1999	Baldo	nativ	Sao Mateus do Sul	0,466
10/14	11.02.1999	Baldo	nativ	Sao Mateus do Sul	0,364
10/15	11.02.1999	Baldo	nativ	Sao Mateus do Sul	0,286

**Abb. 4-2:** Fotodokumentation der Blätter 10/11 bis 10/15

Analyse der Farbpigmente

Die photometrische Analyse zur Bestimmung der Gehalte an Farbpigmenten war ein wichtiges Instrument, um das Alter der untersuchten Probe zu beurteilen. Zur quantitativen Bestimmung des Gesamtchlorophylls und der Carotinoide (zur Methode s. Kap. 3.4.3) wurden die Absorptionen der Acetonextrakte der Proben bei den vier Wellenlängen 663,2 nm, 646,8 nm, 470 nm und 520 nm bestimmt (s. Tab. 4-2).

Tab. 4-2: Gemessene Absorptionen der fünf Proben 10/11 bis 10/15

Probe Nr.	663,2 nm	646,8 nm	470,0 nm	520,0 nm
10/11	0,540	0,268	0,592	0,059
10/12	0,663	0,297	0,679	0,074
10/13	0,389	0,185	0,452	0,040
10/14	0,871	0,413	0,855	0,097
10/15	0,548	0,258	0,509	0,054

Auf Grundlage dieser Absorptionen wurden nach den in Kap. 3.4.3 angegebenen Formeln die Gehalte für Chlorophyll a, b und Gesamtchlorophyll sowie der Gehalt an Carotinoiden (s. Tab. 4-3) berechnet. Am Schluss der Auswertung (s. Abb. 4-8) wurden die Gehalte an Gesamtchlorophyll und Carotinoiden zur Beurteilung der Gehalte der Proben an Farbpigmenten gemeinsam mit den weiteren Ergebnissen graphisch dargestellt.

Tab. 4-3: Ergebnisse der Berechnung der Pigmentgehalte (%) der Proben Nr. 10/11 bis 10/15

Probe Nr.	Gehalt an Farbpigmenten (%)			
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Gesamtchlorophyll	Carotinoide
10/11	0,12	0,06	0,18	0,03
10/12	0,15	0,06	0,21	0,04
10/13	0,08	0,04	0,12	0,03
10/14	0,19	0,09	0,28	0,05
10/15	0,12	0,06	0,17	0,03

Dünnschichtchromatographische Analyse der Naturstoffe

Die dünnschichtchromatographische Analyse (zur Methode s. Kap. 3.4.4) der methanolischen Extrakte der Proben gab einen qualitativen Überblick über das Spektrum der enthaltenen Naturstoffe (Caffeoyl-chinasäuren, Coffein und Rutin). Da mehrere Proben parallel analysiert wurden, war ein direkter Vergleich der resultierenden Inhaltsstoffspektren schnell möglich. Zusätzlich zu den bereits erwähnten Inhaltsstoffen lieferten die Chromatogramme auch Aussagen, ob neben Coffein auch Theobromin in den Proben enthalten war. In einem solchen Fall erzeugt Theobromin bei UV 254 nm eine weitere Fluoreszenzlöschung oberhalb der des Coffeins. Außerdem konnte anhand der halbquantitativen Aussagen der Chromatogramme die Plausibilität der HPLC-Ergebnisse abgeschätzt werden.

Die Fluoreszenzlöschung der chromatographierten Substanzen wurde bei UV-Licht der Wellenlänge 254 nm (s. Abb. 4-3) beobachtet. Nach dem Besprühen mit Naturstoff-Reagenz und Polyethylenglykol 4000-Lösung wurden die Eigenfluoreszenzen bei UV-Licht der Wellenlänge 366 nm (s. Abb. 4-4) und bei Tageslicht (s. Abb. 4-5) mit dem Programm DocIt der Firma Desaga dokumentiert.

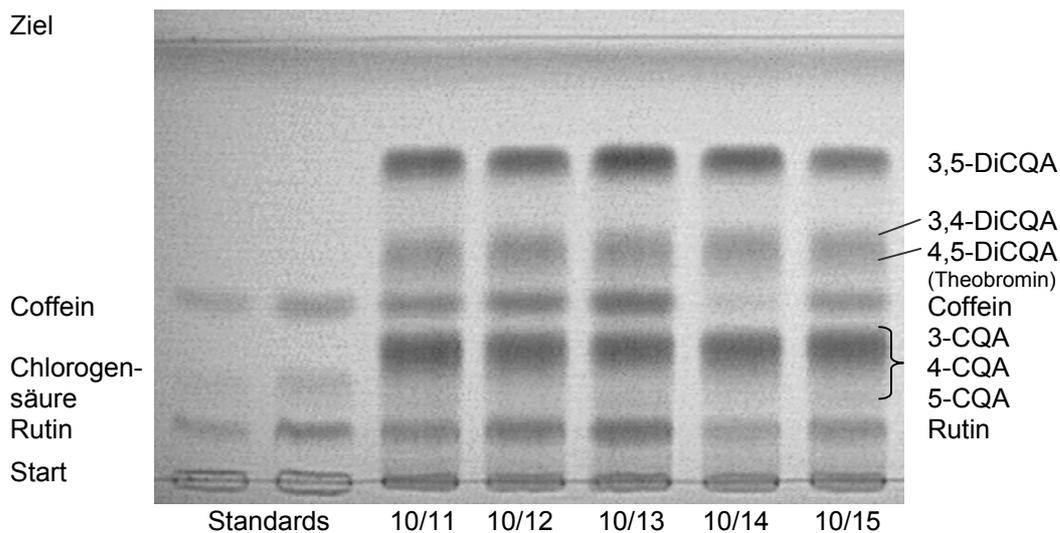


Abb. 4-3: Darstellung der Chromatogramme der Proben 10/11 bis 10/15 (je 10 μ l) und des Standards (10 und 20 μ l), aufgenommen bei UV-Licht mit 254 nm Wellenlänge (dargestellt als Graustufenbild)

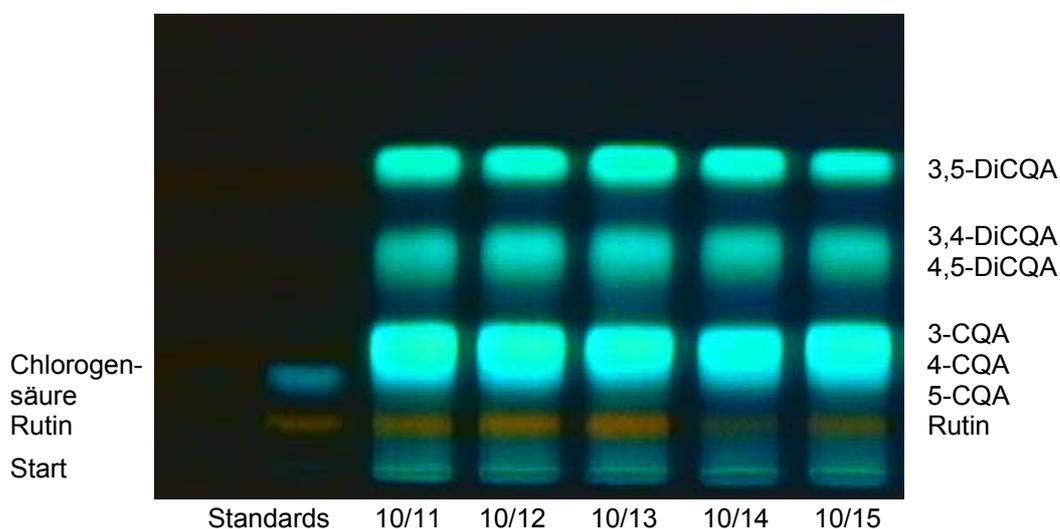


Abb. 4-4: Darstellung der Chromatogramme der Proben 10/11 bis 10/15 (je 10 μ l) und des Standards (10 und 20 μ l), aufgenommen bei UV-Licht mit 366 nm Wellenlänge

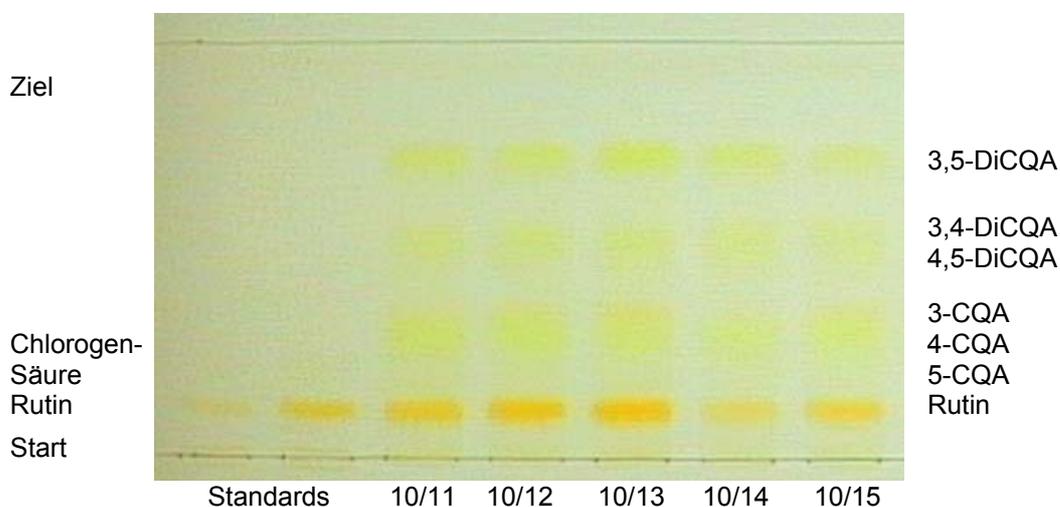


Abb. 4-5: Darstellung der Chromatogramme der Proben 10/11 bis 10/15 (je 10 μ l) und des Standards (10 und 20 μ l), aufgenommen bei Tageslicht

HPLC-Analyse der Naturstoffe

Abschließend wurden die Caffeoylchinasäuren und Coffein (und soweit möglich Rutin) quantitativ durch eine HPLC-Analyse der methanolischen Extrakte der Proben bestimmt. Zur Detektion dieser Naturstoffe wurde ein Diodenarraydetektor eingesetzt. Da ein Absorptionsmaximum der Caffeoylchinasäuren im Bereich von 320 nm und das Absorptionsmaximum der Purinalkaloide Coffein und Theobromin im Bereich von 270 nm liegt, wurden die Chromatogramme der untersuchten Extrakte bei diesen beiden Wellenlängen dokumentiert. Zusätzlich wurden die Chromatogramme bei einer Wellenlänge von 245 nm aufgenommen. In diesem Bereich liegt ein zweites Absorptionsmaximum der Caffeoylchinasäure. Auf diese Weise konnten die Chromatogramme, die bei 320 nm aufgenommen wurden, überprüft sowie Verunreinigungen ggf. erfasst werden.

In einer 30 min. dauernden Analyse wurden sieben Verbindungen erfasst: 3-Caffeoylchinasäure (s. Abb. 4-6) war fast vollständig von 4- und 5-Caffeoylchinasäure getrennt. Letztere beiden coeluierten. Als weitere Caffeoylchinasäurederivate wurde 3,4-Dicaffeoylchinasäure ausreichend von 3,5-Dicaffeoylchinasäure sowie Rutin gut von 4,5-Dicaffeoylchinasäure getrennt. Damit wurde Rutin als einziges Flavonoid in diesem System dargestellt. Das Purinalkaloid Coffein erschien gut getrennt von den genannten Verbindungen. Enthielt ein Extrakt neben Coffein auch Theobromin, so konnte dieses Purinalkaloid mit dem gewählten System gut getrennt von Coffein detektiert werden. Theobromin eluierte gemeinsam mit den Monocaffeoylchinasäuren bei ca. 5 min..

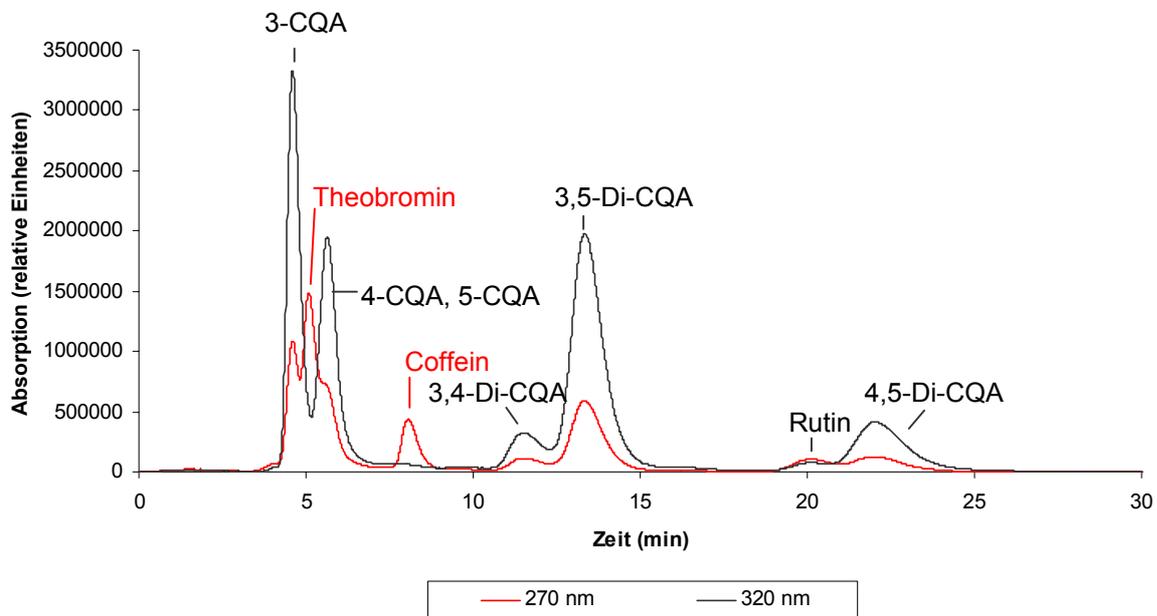


Abb. 4-6: HPLC-Chromatogramme einer Mate-Probe, UV-Absorption bei 320 nm (schwarz) und 270 nm (rot)

Zur Berechnung der Gehalte wurden mittels der Class LC10-Software die Peakflächen der Naturstoffe der Extrakte (s. Tab. 4-4) berechnet.

Tab. 4-4: Peakflächen der phytochemischen Parameter als Ergebnis der HPLC-Analyse der Proben 10/11 bis 10/15

Probe Nr.	3-CQA	4-CQA + 5-CQA	Coffein	3,4-Di-CQA	3,5-Di-CQA	Rutin	4,5-Di-CQA
10/11	19362541	12241751	7399015	1419295	16304284	1233931	6020695
10/12	19085603	14396308	9441375	2445904	19538259	1501930	8173800
10/13	19574398	7535629	10806864	2014628	22609297	1973287	6618037
10/14	14893092	11910352	2279759	2829574	19840390	540402	6471026
10/15	16914430	12617822	5535259	1988613	12732939	853551	6238275

Die Gehalte wurden aus den ermittelten Peakflächen nach der Methode der externen Standardisierung berechnet. Die Anwendung eines internen Standards war dagegen nicht praktikabel, da praktisch zu jedem Zeitpunkt der Analyse eine Substanz eluierte. Die Chromatographie mit einem internen Standard hätte eine Änderung der Analysebedingungen zur Folge gehabt, um die Retentionszeiten der Substanzen weiter voneinander zu trennen. Damit hätte sich jedoch z.B. bei einer Gradientenelution die Analysenzeit deutlich verlängert und die Robustheit des Systems verschlechtert. Dem Aspekt der Dauer der Analysen kommt jedoch bei der Dauer des Projekts sowie einer möglichen Anwendung dieser Methode zur Qualitätskontrolle in Brasilien durch den Kooperationspartner Baldo eine wichtige Bedeutung zu. Aus diesen Gründen wurde eine Analysenzeit von 30 min. einer exakten Basislinientrennung aller Substanzen vorgezogen.

Zur Bestimmung der Variabilität des untersuchten Materials war die Betrachtung der Gesamtgehalte der Mono- bzw. DicaFFEoylchinasäuren ausreichend. Die genaue Gehaltsbestimmung aller sechs Substanzen wäre dagegen zeitaufwendig und in der Darstellung eher unübersichtlich. Auch aus diesem Grund entsprach eine Basislinientrennung aller Substanzen nicht dem Ziel dieser Arbeit.

Ein weiterer Vorteil lag darin, dass mit dem gewählten System mehrere externe Standardsubstanzen gleichzeitig bestimmt werden konnten. Mit dem gewählten HPLC-System konnten aus Mate-Extrakten Caffeoylchinasäuren, Coffein und Rutin detektiert werden. Deshalb wurden die beiden letztgenannten Substanzen sowie Chlorogensäure als Referenzsubstanzen ausgewählt. Mit dieser Vorgehensweise konnten die Gehalte der Proben direkt, das heißt, ohne die bei einem internen Standard nötigen zusätzlichen Umrechnungsschritte berechnet werden. Gleichzeitig stellte die Chromatographie der Referenzsubstanzen eine wichtige Kontrolle der Systemeignung dar: als Mischung von drei Substanzen, die bei zwei verschiedenen Wellenlängen detektiert wurden, hätten sich Änderungen direkt in den resultierenden Chromatogrammen niedergeschlagen. Stabilitätsveränderungen hätten zu anderen als den erwarteten Peaksummen oder -höhen geführt. Systemänderungen hätten die Retentionszeiten oder die Peakauflösung verändert.

In Laufe der HPLC-Analyse der Proben jeder Messreihe wurden deshalb mindestens 5 verschiedene Standardvolumina (s. Kap. 3.4.4) mehrfach injiziert und die entsprechenden Chromatogramme aufgenommen. Aus der graphischen Darstellung der bestimmten Peakflächen für die Referenzsubstanzen gegen deren eingesetzte Menge wurden Regressionsgeraden berechnet. Abb. 4-7

verdeutlicht dieses Vorgehen am Beispiel der Standardlösungen, die im Laufe der Messreihe 10 vermessen wurden.

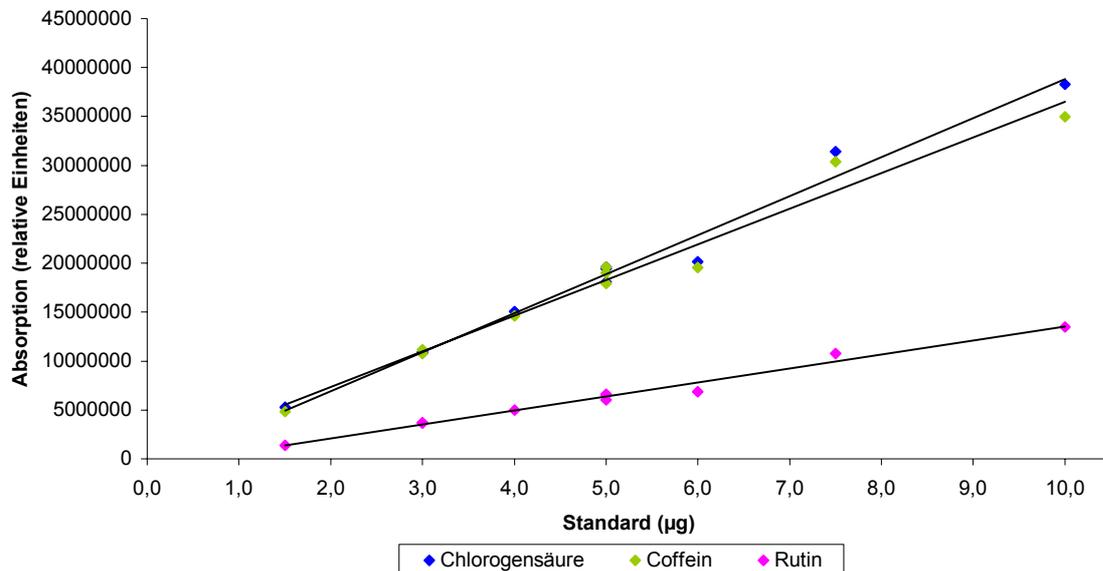


Abb. 4-7: Regressionsgeraden der drei externen Standards Chlorogensäure, Coffein und Rutin

Die in Abb. 4-7 dargestellten Regressionsgeraden werden durch folgende Gleichungen und Regressionskoeffizienten beschrieben:

- Chlorogensäure: $y = 3986877,82x - 1027364,01$ Regressionskoeffizient : 0,98
- Coffein: $y = 3640228,60x + 94241,21$ Regressionskoeffizient : 0,97
- Rutin: $y = 1430546,50x - 748596,08$ Regressionskoeffizient : 0,98

Die Berechnung der Gehalte erfolgte durch Umformung der einzelnen Gleichungen, um aus den gemessenen Absorptionen (y) die Gehalte (x) zu berechnen. Die Gehalte der sechs Caffeoyl-chinasäurederivate wurden als Chlorogensäure berechnet, da nur diese als Referenzsubstanz zu Verfügung stand. Die für das Anwendungsbeispiel resultierenden Gehalte der einzelnen Verbindungen sind in Tab. 4-5 wiedergegeben.

Tab. 4-5: Gehalte (%) der phytochemischen Parameter als Ergebnis der HPLC-Analyse der Proben 10/11 bis 10/15

Probe Nr.	3-CQA (%)	4-CQA + 5-CQA (%)	Coffein (%)	3,4-Di-CQA (%)	3,5-Di-CQA (%)	Rutin (%)	4,5-Di-CQA (%)
10/11	5,1	3,3	2,0	0,6	4,3	1,4	1,8
10/12	5,0	3,9	2,6	0,9	5,2	1,6	2,3
10/13	5,2	2,1	2,9	0,8	5,9	1,9	1,9
10/14	4,0	3,2	0,6	1,0	5,2	0,9	1,9
10/15	4,5	3,4	1,5	0,8	3,5	1,1	1,8

Als Endergebnis werden die Gehaltssummen der Mono- und Dicafeoylchinasäuren angegeben. Dazu wurden die jeweiligen Einzelgehalte in einem abschließenden Schritt addiert (s. Tab. 4-6). Das Ergebnis wird der Gehalt an „Monocaffeoylchinasäuren“ bzw. „Dicafeoylchinasäuren“ genannt. In Abbildungen wird es verkürzt als „Mono-CQA gesamt“ bzw. „Di-CQA gesamt“ bezeichnet.

Den Summenparametern „Mono-“ bzw. „Dicafeoylchinasäure“ steht der Gehalt an Rutin gegenüber. Für Rutin muss beachtet werden, dass es nur in geringer Menge (s. Tab. 4-6) in den Proben enthalten war. Seine Peakflächen waren dementsprechend klein. Dies bewirkt, dass der Fehler der Bestimmung der Peakfläche umso größer wird. Da es das einzige Flavonoid ist, das nach dieser HPLC-Methode erfasst wird, wird dieser Fehler nicht wie z.B. bei einer Bestimmung als Summenparameter relativiert. Das bedeutet, dass Aussagen zur Variabilität von Rutin nur in eingeschränktem Maße mit dem Bewusstsein eines relativ großen Fehlers in der Gehaltsbestimmung getroffen werden können.

Tab. 4-6: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicafeoylchinasäuren von fünf zufällig gesammelten, zapekierten Blättern (Proben 10/11 bis 10/15)

Probe Nr.	Monocaffeoylchinasäuren	Gehalte (%)		
		Coffein	Rutin	Dicafeoylchinasäuren
10/11	8,4	2,0	1,4	6,7
10/12	8,9	2,6	1,6	8,3
10/13	7,3	2,9	1,9	8,6
10/14	7,2	0,6	0,9	8,1
10/15	7,9	1,5	1,1	6,0

In einem letzten Schritt erfolgte die graphische Darstellung der Gehalte einer Probe an den Farbpigmenten Gesamtchlorophyll und Carotinoiden sowie an den Naturstoffen Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicafeoylchinasäuren. Die Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicafeoylchinasäuren wurden als Säulen dargestellt und beziehen sich auf die linke y-Achse. Zur besseren Unterscheidung wurden die Pigmentgehalte (%) als Quadrate mit Bezug zur rechten y-Achse wiedergegeben (s. Abb. 4-8).

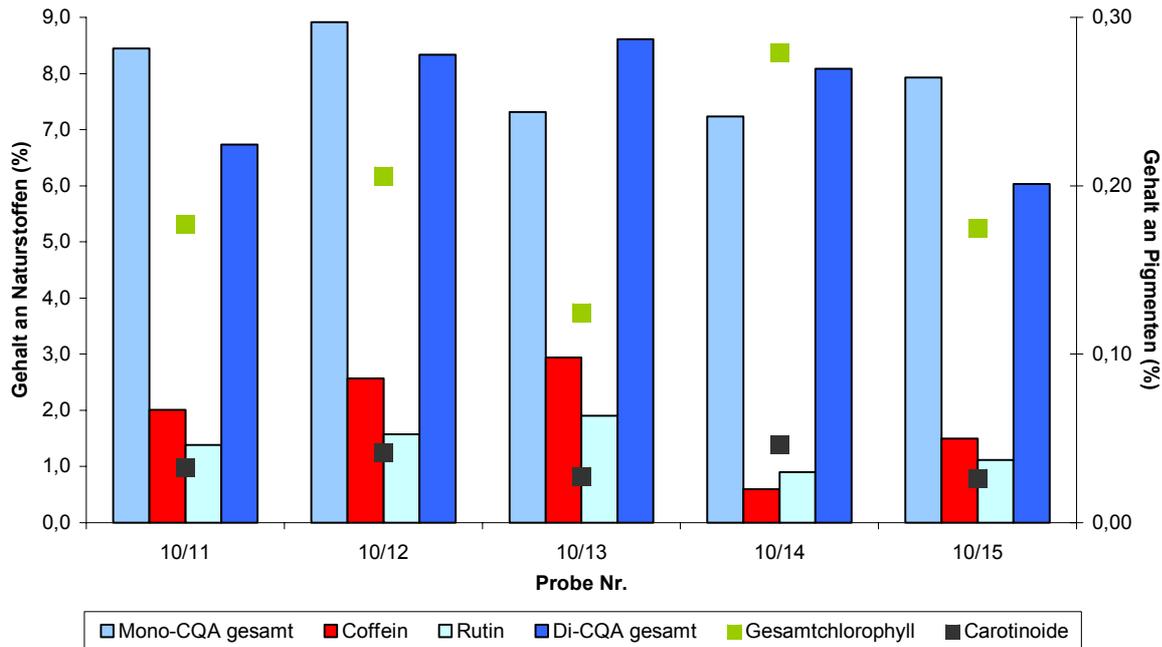


Abb. 4-8: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicafeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von fünf zufällig gesammelten zapekierten Blättern (Proben 10/11 bis 10/15)

Die in Abb. 4-8 gewählte Form einer Kombination aus Säulen und Punkten war aber nur dann übersichtlich, wenn die Ergebnisse nur weniger Proben dargestellt wurden. In einigen Fällen war es jedoch nötig, von dieser Grundform abzuweichen, um die entsprechenden Aussagen zu verdeutlichen.

4.3 Bewertung der analytischen Methoden

Die im vorherigen Kap. veranschaulichte Art der Erfassung und Auswertung der gesammelten Informationen und Analysenergebnisse zu jeder Probe sollte folgende Möglichkeiten bieten:

- Jede Probe sollte nach demselben Schema qualitativ und quantitativ charakterisiert werden.
- Durch einen Vergleich der Ergebnisse sollten Aussagen zur Variabilität der Gehalte ermöglicht werden.
- Die durch die Analytik bestimmten Gehalte an phytochemischen Merkmalen sollten mit Probeninformationen verknüpft werden.
- Der Vergleich dieser Auswertungen sollte zu Aussagen bzw. Hypothesen führen, in welchem Maß die jeweiligen betrachteten Faktoren einen Einfluss auf die bestimmten Gehalte ausübten.

Um diese Analysen und anschließenden Vergleiche durchführen zu können, mussten die gewählten analytischen Methoden eine Grundvoraussetzung erfüllen. Es musste sichergestellt sein, dass sie für die gewünschten Zwecke geeignet waren. Die Eignung der angewendeten photometrischen Methode

zur Bestimmung der Gehalte an Gesamtchlorophyll und Carotinoiden wurde von Lichtenthaler (1987) beschrieben. Der prinzipielle Einsatz der chromatographischen Methoden zur Bestimmung von Mate-Extrakten wurde von Ohem (1992) nachgewiesen. Hier wurde eine modifizierte Form dieser Methoden eingesetzt, indem 60 %-ige (V/V) methanolische Extrakte in einer anderen Konzentration untersucht wurden, um eine vollständige Extraktion der Probe sicherzustellen und auch mit kleinen Probenmengen (d.h. einzelnen Blättern) arbeiten zu können.

In der Dünnschichtchromatographie wurden die Naturstoffe durch Vergleich ihrer Retentionsfaktoren mit denen der Referenzsubstanzen identifiziert. Zusätzlich lieferten die Eigenfluoreszenzen der Caffeoylchinasäuren und Flavonoide nach Besprühen mit Naturstoffreagenz und Polyethylenglykol-lösung bei UV-Licht mit 366 nm Wellenlänge eindeutige Hinweise.

Eine grundlegende Validierung, welche die Eignung der eingesetzten HPLC-Methode belegte, wurde bereits in Voruntersuchungen (s. Kap. 1.1) vorgenommen.

4.4 Untersuchungen zur biologischen Variabilität

4.4.1 Analyse von Einzelblättern

Während der Ernte im Januar/Februar 1999 wurden 50 zapekierte einzelne Blätter (Probennummer 10/01 bis 10/50) zufällig gesammelt und analysiert. Die Proben stammten aus der Region Paraná (Brasilien) und waren in den Produktionsanlagen der Firma Baldo in Sao Mateus do Sul getrocknet worden (weitere Informationen s. Anhang I, Tab. 8-1). Abb. 4-9 gibt die ermittelten Gehalte wieder. Rutin konnte nicht in jeder Probe detektiert werden.

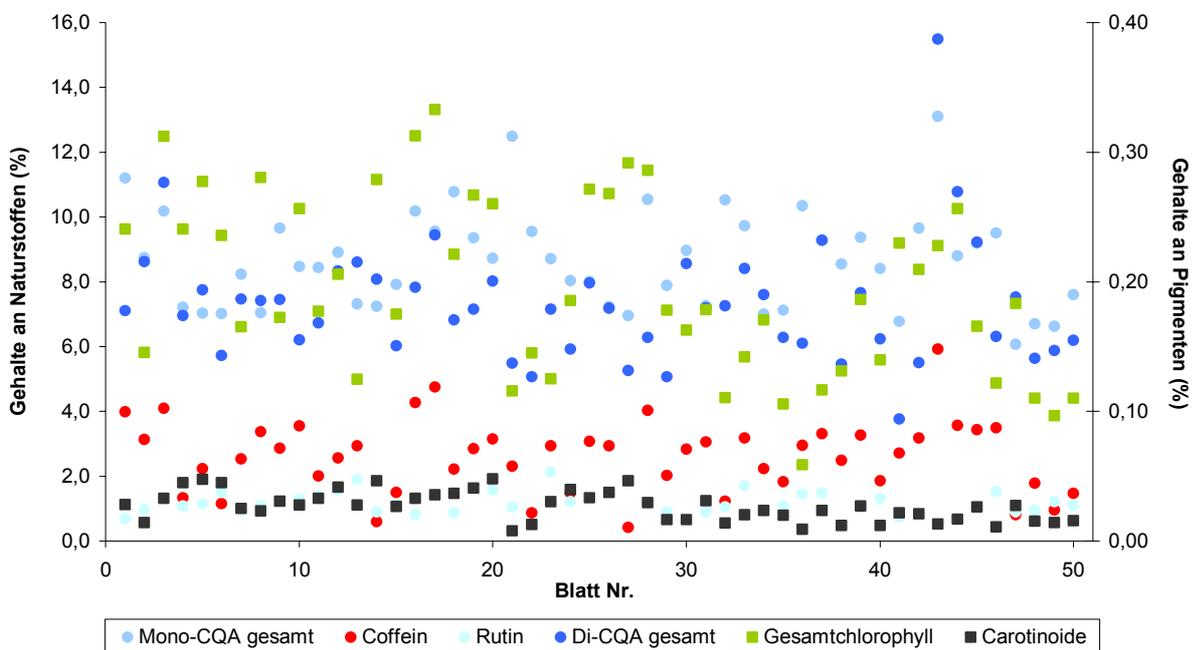


Abb. 4-9: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von 50 zufällig gesammelten, zapekierten Blättern (Proben 10/01 bis 10/50)

Aus den dargestellten Einzelergebnissen der 50 untersuchten Blätter wurden Gehaltsbereiche der sechs bestimmten Inhaltsstoffgruppen zusammengefasst. Diese Gehaltsbereiche (s. Abb. 4-10) wurden durch den jeweilig bestimmten Minimal- und Maximalgehalt (%) an einer Substanz definiert.

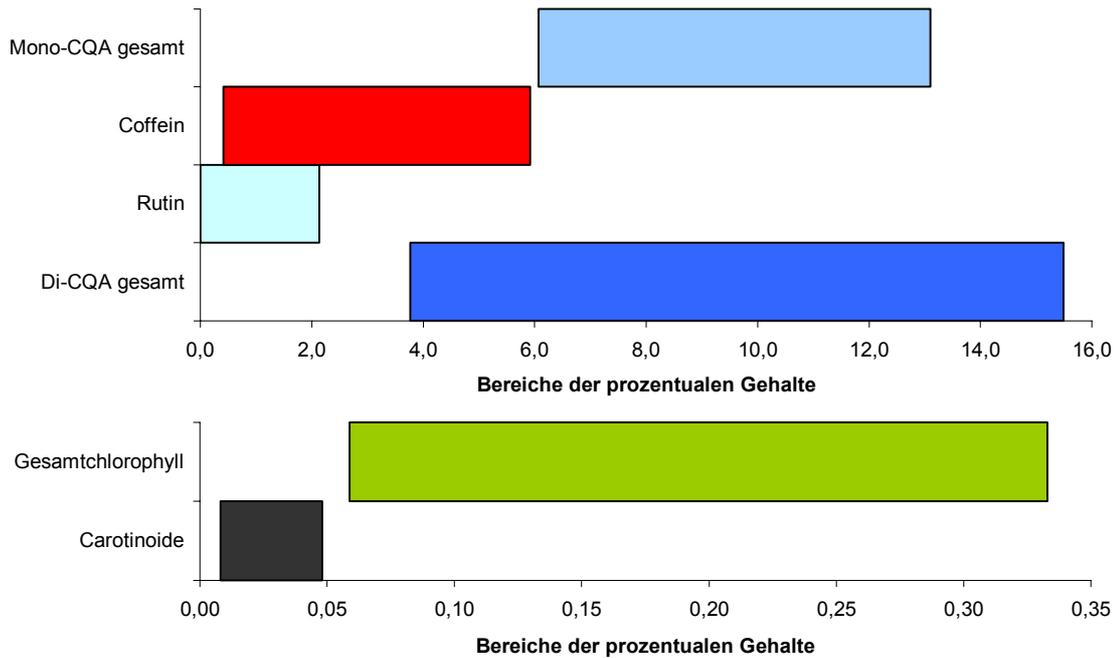


Abb. 4-10: Bereiche der prozentualen Gehalte an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von 50 zufällig gesammelten, zapekierten Blättern (Proben 10/01 bis 10/50)

Da die gefundenen Gehalte sehr variabel waren, resultierten für alle Stoffe sehr breite Gehaltsbereiche. So fiel z.B. Blatt 10/43 durch sehr hohe Caffeoylchinasäuregehalte auf. Im Gegensatz dazu lagen die entsprechenden Gehalte von Blatt 10/41 am unteren Rand des Gehaltsbereichs. Analog konnte in Blatt 10/27 kaum Coffein bestimmt werden, während der Wert von Probe 10/43 deutlich über dem Durchschnitt lag. Da es sich bei den untersuchten 50 Proben um eine zufällige Stichprobe handelte, war davon auszugehen, dass diese Gehaltsbereiche weitgehend den Kernbereich der generell möglichen Höhe der Gehalte abdeckten. Dies wurde durch die im weiteren Verlauf dieser Arbeit analysierten Proben unterschiedlicher Versuchsreihen bestätigt.

4.4.2 Untersuchung von Blättern einzelner Zweige

Ausgehend von dem in Abb. 4-10 gezeigten Ergebnis stellte sich anschließend die Frage, ob die gefundene hohe Variabilität der phytochemischen Parameter auch innerhalb der Blätter von verschiedenen Zweigen brasilianischer Mate-Pflanzen zu beobachten sei. Der Faktor der Zufälligkeit, welcher für die Probennahme der zufällig gesammelten Einzelblätter eine Rolle gespielt hatte, war mit dieser Überlegung ausgeschlossen, da jedes Blatt durch seine Zugehörigkeit zu einem Zweig definiert war.

Die Untersuchungen der Blätter von definierten Zweigen wurden in drei Abschnitten durchgeführt:

1. Von vier Zweigen wurden jeweils alle Blätter untersucht.
2. Dreimal wurden je vier oder fünf Blätter von zwei Zweigen analysiert.
3. Dreimal wurden je fünf Blätter von zwei Zweigen bearbeitet.

1. Abschnitt: Untersuchung aller Blätter von vier Zweigen (Messreihen 11 bis 14)

Zuerst wurden die Variabilitätsbereiche der phytochemischen Merkmale an allen Blättern eines Zweiges untersucht. Um zufällige Ergebnisse möglichst auszuschließen, wurden insgesamt vier Messreihen durchgeführt:

- Messreihe 11: ein Zweig mit 10 Blättern (Probennummern 11/01 bis 11/10)
- Messreihe 12: ein Zweig mit 9 Blättern (Probennummern 12/01 bis 12/09)
- Messreihe 13: ein Zweig mit 13 Blättern (Probennummern 13/01 bis 13/13)
- Messreihe 14: ein Hauptzweig, an welchem sich 11 Blätter (Probennummern 14/01 bis 14/11) befanden, zusätzlich wies der Zweig drei weitere Zweige I bis III mit weiteren 19 Blättern (Probennummern 14/IA bis 14/IIID) auf

Alle Zweige wurden während der Ernte im Januar/Februar 1999 gesammelt und anschließend zapekiert. Die Zweige 11 bis 13 stammten von dem Plantagenbesitzer J.C. Ignazewski, Zweig 14 von J. Gaensly (weitere Informationen s. Anhang I, Tab. 8-1).

Tab. 4-7 fasst die Daten (einzelne Gehalte s. Tab. 8-5) aller vier Messreihen zusammen und zeigt die Gehaltsbereiche der phytochemischen Parameter.

Tab. 4-7: Gehaltsbereiche (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Blätter von vier verschiedenen Zweigen (für den vierten Zweig differenziert nach Haupt- und Nebenzweigen)

Messreihe Nr.	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
11	7,7 – 14,9	0,8 – 1,8	0,6 – 1,5	4,2 – 9,6	0,10 – 0,22	0,02 – 0,04
12	7,0 – 10,7	1,8 – 2,9	0,8 – 1,3	4,6 – 6,9	0,12 – 0,24	0,01 – 0,04
13	6,3 – 11,1	2,0 – 2,9	-	5,1 – 7,9	0,08 – 0,21	0,01 – 0,04
14 Hauptzweig	4,0 – 10,6	1,5 – 3,7	0,1 – 0,9	3,9 – 6,9	0,11 – 0,17	0,02 – 0,04
Nebenzweig I	10,4 – 14,2	3,6 – 4,4	0,1 – 0,5	7,9 – 10,5	0,13 – 0,18	0,03 – 0,04
Nebenzweig II	7,8 – 15,2	2,4 – 4,9	0,0 – 0,7	5,4 – 10,7	0,13 – 0,20	0,03 – 0,04
Nebenzweig III	9,8 – 11,7	2,9 – 3,7	0,0 – 0,3	6,0 – 7,7	0,16 – 0,20	0,04 – 0,05

Die Gehaltsbereiche der phytochemischen Parameter sind bei einigen Inhaltsstoffen für die Blätter eines Zweiges im Vergleich zu den entsprechenden Bereichen der 50 Blätter aus Messreihe 10 deutlich enger gefasst. Am auffälligsten war hierbei der Gehaltsbereich des Coffeins. Bei den zufällig gesammelten Blättern lag dieser bei 0,4 bis 5,9 %. Dagegen wurden für die Blätter eines Zweiges

(Messreihe 11) 0,8 bis 1,8 % Coffein, für die eines anderen Zweiges (Messreihe 13) 2,0 bis 2,9 % Coffein bestimmt.

Darüber hinaus können den Blättern eines Zweiges gerade für Coffein bestimmte Gehaltsklassen zugeordnet werden. So gibt es z.B. keine Überschneidung der Gehaltsbereiche der Messreihen 11 und 12. Ähnliche Zuordnungen sind auch für die Pigmente möglich, während die Gehalte der anderen Parameter in größeren, sich überschneidenden Intervallen verteilt sind.

Bei der Bewertung dieser Gehaltsbereiche ist zu berücksichtigen, dass die Blätter durch das notwendige Zapekieren z.T. mechanisch zerstört werden. Der Transport nach Deutschland kann zu weiteren Zerstörungen führen. Dadurch sind gewisse Inhomogenitäten unvermeidbar, zumal wenn alle Blätter eines Zweiges in die Untersuchung einbezogen werden.

Die angesprochenen Zerstörungen waren besonders bei den Blättern der Messreihen 11 bis 13 auffällig. Beispielhaft zeigt Abb. 4-11 den Zustand der untersuchten Blätter.



Abb. 4-11: Dokumentation des Zustands der Blätter eines Zweiges (Messreihe 13)

Abb. 4-12 gibt die Gehalte der Blätter der Messreihe 13 an phytochemischen Merkmalen wieder.

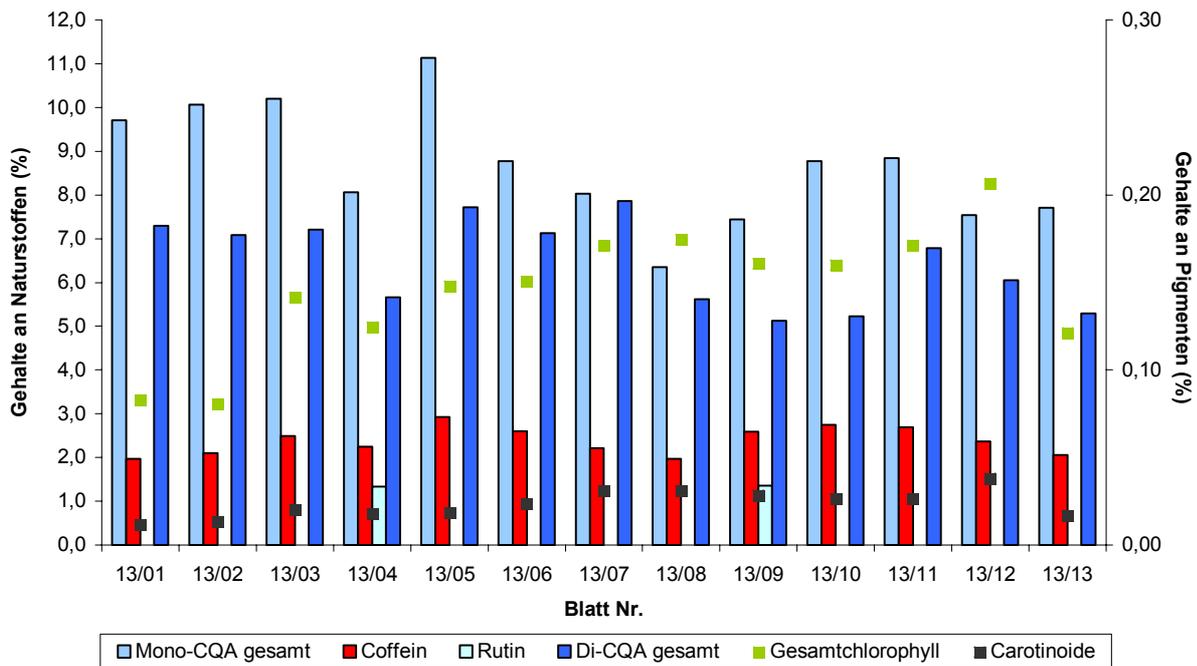


Abb. 4-12: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von 13 zapekierten Blättern eines Zweiges (Probe 13/01 bis 13/13)

2. Abschnitt: Untersuchungen einer reduzierten Anzahl Blätter zweier Zweige (Messreihen 15 bis 17)

Das erste Ergebnis, dass die Variabilität der Gehalte der Blätter innerhalb eines Zweiges geringer ist als die von zufällig gesammelten einzelnen Blättern, wurde in weiteren Untersuchungen überprüft. In diesen wurden nur noch vier bis fünf Blätter eines Zweiges untersucht. Diese Zahl war aufgrund der soeben dargestellten Ergebnisse ausreichend, um Schlüsse über die Variabilität zu ziehen. Ausserdem wurden aufgrund der Wahlmöglichkeit nur vollständige Blätter für die Untersuchung ausgesucht.

Jede Messreihe wurde auf die Untersuchung von Blättern von zwei Zweigen (A und B) ausgeweitet, um die Ergebnisse vergleichen zu können. Zusätzlich wurde in jeder Messreihe ein Stück eines Zweiges mitanalysiert, um einen direkten Vergleich zwischen den Zweigen und den dazu gehörigen Blättern zu ermöglichen:

- Messreihe 15: 4 Blätter von Zweig A, 5 Blätter und ein Stück von Zweig B (Probennummern 15/A1 bis 15/ZweigB)
- Messreihe 16: 5 Blätter von Zweig A, 4 Blätter und ein Stück von Zweig B (Probennummern 16/A1 bis 16/ZweigB)
- Messreihe 17: 4 Blätter und ein Stück von Zweig A, 5 Blätter von Zweig B (Probennummern 17/A1 bis 17/B5)

Die Zweige stammten ebenfalls aus der Ernte im Januar/Februar 1999. Der Anbauer war J. Gaensly (weitere Informationen s. Anhang I, Tab. 8-1). Die Blätter der beiden Zweige jeder Messreihe stammten nicht von demselben Baum, sondern von derselben Plantage.

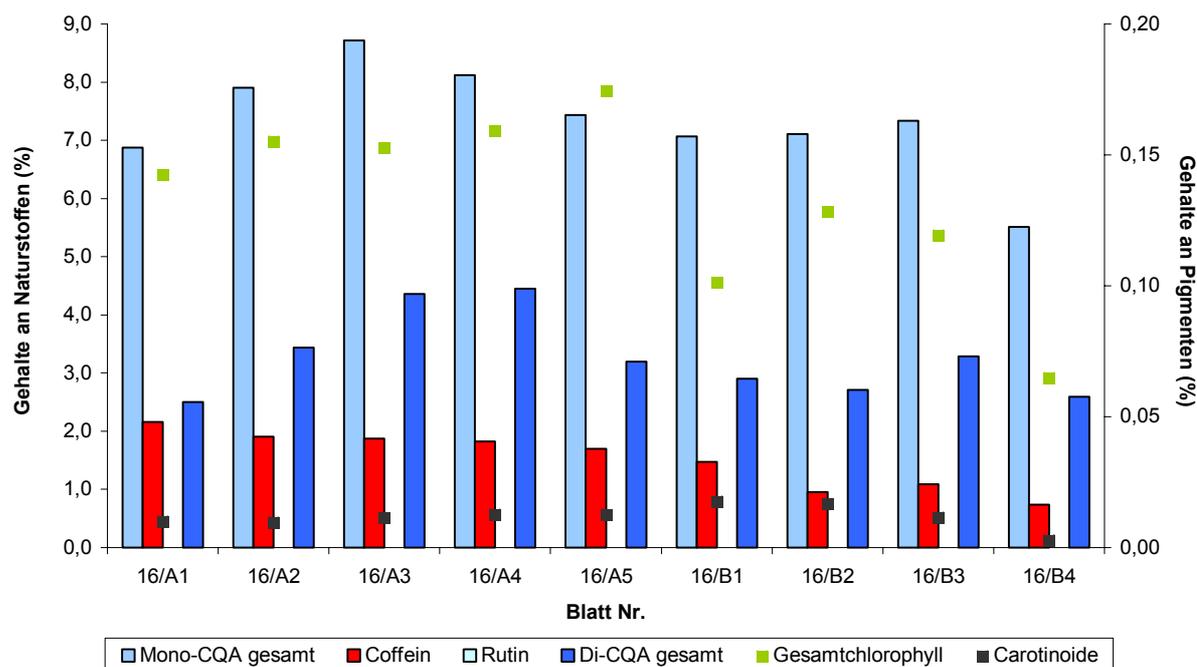


Abb. 4-13: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von fünf zapfenartigen Blättern des Zweiges A sowie von vier zapfenartigen Blättern des Zweiges B (Probe 16/A1 bis 16/B4)

Mit den Ergebnissen der Messreihen 15 bis 17 (einzelne Gehalte s. Tab. 8-5) kann bestätigt werden, dass die Variabilitätsbereiche der Gehalte der Blätter eines Zweiges kleiner sind als die in Messreihe 10 bestimmten. Beispielhaft sind die Ergebnisse für Messreihe 16 in Abb. 4-13 wiedergegeben.

Der Vergleich der Gehaltsbereiche für Coffein (s. Tab. 4-8) zeigt, dass diese sich deutlich voneinander unterscheiden. So lieferten z.B. die Blätter des Zweiges B der Messreihe 17 praktisch kein Coffein, während die Blätter des Zweiges A der Messreihe 15 zwischen 1,5 und 2,7 % an Coffein enthielten. Unterschiedliche Gehaltsklassen (d.h. in verschiedenen Gehaltsklassen sind die Gehalte unterschiedlich hoch) sind nur für Coffein zu beobachten.

Tab. 4-8: Gehaltsbereiche (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Blätter von drei Messreihen (15 – 17), in denen jeweils zwei Zweige (A und B) mit vier bis fünf Blättern analysiert wurden

Messreihe Nr.		Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicafeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
15	Zweig A	3,8 – 8,9	1,5 – 2,7	0,6 – 1,5	1,7 – 3,4	0,17 – 0,20	0,01 – 0,02
	Zweig B	7,7 – 9,4	1,7 – 2,3	0,0 – 0,3	2,7 – 3,6	0,17 – 0,23	0,01 – 0,02
16	Zweig A	6,9 – 8,7	1,7 – 2,2	-	2,5 – 4,5	0,14 – 0,17	0,01 – 0,02
	Zweig B	5,5 – 7,3	0,7 – 1,5	-	2,6 – 3,3	0,06 – 0,13	0,01 – 0,02
17	Zweig A	6,5 – 9,0	0,0 – 0,7	0,8 – 1,6	3,6 – 6,5	0,06 – 0,07	0,01 – 0,01
	Zweig B	4,5 – 9,2	0,0 – 0,1	0,6 – 0,8	2,3 – 7,0	0,04 – 0,05	0,01 – 0,01

Fiel der Gehaltsbereich einer Substanz für einen Zweig breiter aus, konnte dies zumeist auf die Werte eines einzelnen Blattes zurückgeführt werden. So wurde für Blatt A4 der Messreihe 15 ein Gehalt an Monocaffeoylchinasäuren von 3,8 % gemessen. Für die anderen drei Blätter wurde dagegen ein Gehalt ca. 8 % bestimmt. Diese Beobachtung wiederholte sich für die Gehalte an Dicaffeoylchinasäuren. Ein ähnliches Muster zeigte Blatt A4 der Messreihe 17. Auch dieses Blatt enthielt deutlich niedrigere Gehalte an Mono- und Dicaffeoylchinasäuren als die anderen drei Blätter.

Zusammenfassend lieferte die vergleichende Analyse einer reduzierten Anzahl Blätter eines Zweiges folgende Ergebnisse:

1. Die Variabilität der Gehalte der Blätter eines Zweiges an phytochemischen Parametern ist geringer als in 50 zufällig gesammelten, einzelnen Blättern.
2. Einzelne Stoffe bzw. Stoffgruppen können sich von dieser geringen Variabilität abheben und breitere Gehaltsbereiche aufweisen. Als Ursache dieser Beobachtung ist zumeist ein Blatt bestimmbar, dessen Gehalt sich von den anderen deutlich unterscheidet.
3. Für Blätter verschiedener Zweige wurden unterschiedliche Gehaltsbereiche bestimmt. Besonders für Coffein kann auf das Auftreten von verschiedenen Gehaltsklassen geschlossen werden.

Neben den Blättern wurde in den Messreihen 15 bis 17 jeweils auch ein Stück eines Zweiges untersucht. Die für die drei analysierten Proben bestimmten Gehalte lagen deutlich unter denen der Mittelwerte der entsprechenden Blätter (s. Abb. 4-14).

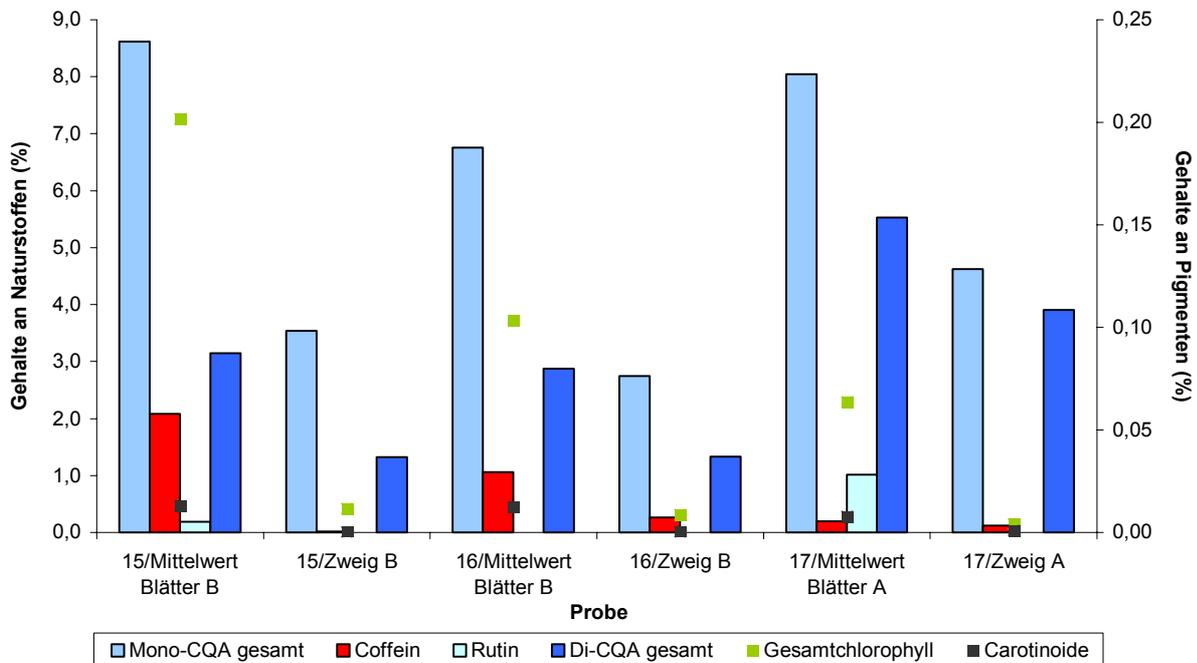


Abb. 4-14: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von drei Zweigstücken sowie mittlere Gehalte der zugehörigen Blätter der Zweige (Messreihen 15 – 17)

Während die Gehalte der Naturstoffe der drei Zweigstücke schon niedriger als der mittlere Gehalt der entsprechenden Blätter waren, zeigte sich für die Farbpigmente ein noch deutlicheres Bild. Deren Gehalte waren in allen drei Zweigstücken kaum messbar und lagen unter 0,02 %.

3. Abschnitt: Analyse von Zweigen unter Beachtung der Herkunft

In einem dritten Schritt zur Untersuchung der Variabilität der Gehalte der Blätter eines Zweiges wurde die Herkunft der Zweige in die Fragestellung einbezogen, indem untersucht wurde, ob Blätter derselben Anbauregion ähnliche Gehaltsbereiche aufweisen. Um diesen Vergleich zu ermöglichen, wurde von den Anbauern, von welchen die Proben der Messreihe 11 bis 13 stammten, drei weitere Proben derselben Plantagen analysiert. In den durchgeführten drei Messreihen wurden wieder je fünf Blätter von zwei verschiedenen Zweigen untersucht:

- Messreihe 20: 5 Blätter von Zweig A, 5 Blätter von Zweig B (Probennummern 20/A1 bis 20/B5)
- Messreihe 21: 5 Blätter von Zweig A, 5 Blätter von Zweig B (Probennummern 21/A1 bis 21/B5)
- Messreihe 22: 5 Blätter von Zweig A, 5 Blätter von Zweig B (Probennummern 22/A1 bis 22/B5)

Alle untersuchten Zweige stammten von dem Anbauer J.P. Busmann aus Estiva. Aufgrund der Fragestellung der Analysen waren alle Probeninformationen dieser Messreihen mit denen der Messreihe 11 bis 13 identisch (s. Kap.8, Tab. 8-1). Der einzige Unterschied bestand darin, dass diese Proben erst im September 1999 geerntet wurden. Im Einzelnen entsprach die Herkunft der Proben der Messreihe 20 denen der Messreihe 11, die der Proben der Messreihe 21 denen der Messreihe 12 und die der Proben der Messreihe 22 der Herkunft der Blätter der Messreihe 13.

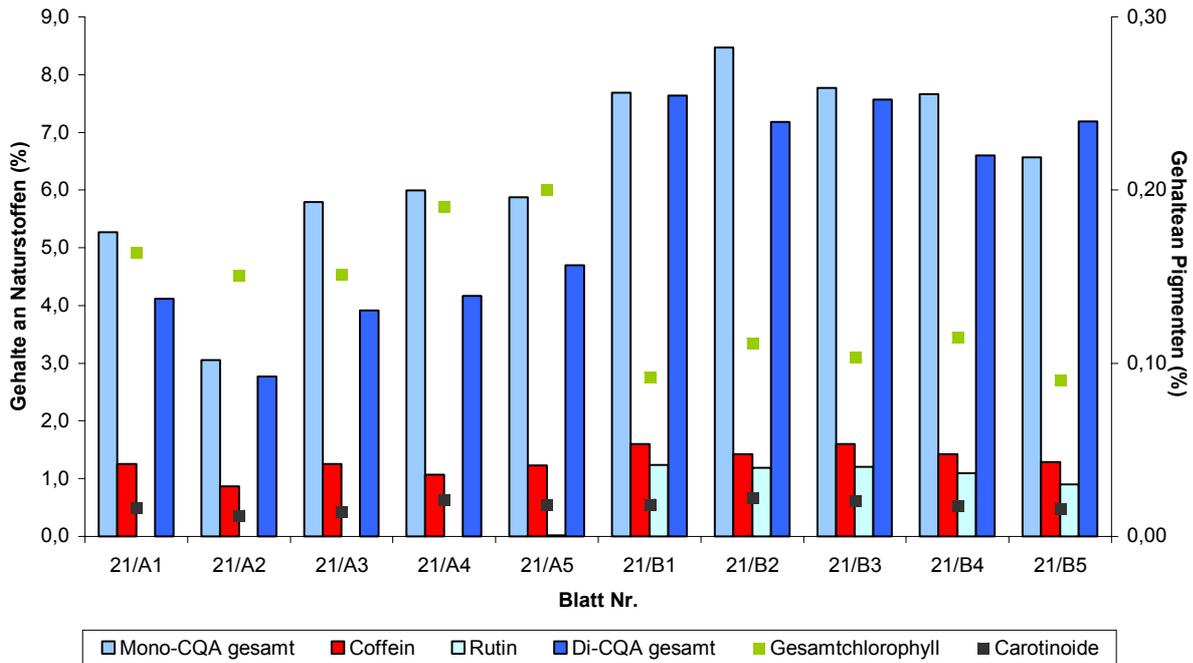


Abb. 4-15: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von fünf zapfenartigen Blättern der zwei Zweige A und B (Probe 21/A1 bis 22/B5)

Die Ergebnisse der Messreihe 21 (s. Abb. 4-15) zeigen erneut deutlich, dass die Variabilität der phytochemischen Parameter bei den Blättern eines Zweiges gering ist. Da auch die anderen beiden Messreihen ähnliche Darstellungen (einzelne Gehalte s. Tab. 8-5) lieferten, wird dieses Ergebnis nunmehr als gesichert betrachtet.

Die Blätter von Zweig A (s. Abb. 4-15) akkumulierten deutlich niedrigere mittlere Mengen an Mono- und Dicafeoylchinasäuren als die Blätter von Zweig B. Rutin konnte nur in Blättern von Zweig B, nicht jedoch in denen von Zweig A bestimmt werden. Im Gegensatz dazu lagen die Coffeingehalte in einem ähnlichen Bereich.

Aufgrund der bisherigen Ergebnisse können mittlere Gehalte an phytochemischen Merkmalen für Blätter eines Zweiges angegeben werden. Dadurch können Gehalte von Blättern verschiedener Zweige schnell miteinander verglichen werden (s. Tab. 4-9).

Tab. 4-9: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Zweige der Messreihen 11 bis 13 sowie 20 bis 22 (letzte differenziert in Zweig A und B)

Messreihe Nr.	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carinoide (%)
Messreihe 11	9,9	1,3	1,0	6,1	0,14	0,03
Messreihe 20 A	5,7	1,0	0,7	3,2	0,21	0,05
Messreihe 20 B	5,1	1,5	1,1	4,6	0,20	0,05
Messreihe 12	9,2	2,2	1	6,4	0,17	0,03
Messreihe 21 A	5,2	1,1	-	3,9	0,17	0,02
Messreihe 21 B	7,6	1,5	1,1	7,2	0,10	0,02
Messreihe 13	8,7	2,4	1,3	6,5	0,15	0,02
Messreihe 22 A	7,7	1,3	1,6	6,1	0,09	0,01
Messreihe 22 B	5,5	1,1	-	4,3	0,19	0,03

Auch zwischen Blättern der Zweige, die von derselben Plantage stammten, können große Unterschiede in den mittleren Gehalten bestehen. Sowohl Messreihe 11 als auch 12 hatten einen mittleren Gehalt an Monocaffeoylchinasäuren von fast zehn Prozent. Für die beiden Zweige der später untersuchten Messreihe 20 bzw. 21 wurden dagegen Gehalte von fünf bis sieben Prozent bestimmt. Auch für Coffein wurde in den Messreihen 21 und 22 im Durchschnitt niedrigere Gehalte gefunden. Bei den Dicaffeoylchinasäuren zeichnete sich dagegen ein uneinheitliches Bild ab.

In der Summe sind die Gehalte von Blättern einzelner Zweige an phytochemischen Parametern nicht so variabel, wie aufgrund der Ergebnisse von 50 einzelnen Blättern vermutet werden konnte. Jedoch ist offensichtlich, dass bestimmte Faktoren einen Einfluss auf die Gehalte ausüben und so z.B. zu der Beobachtung unterschiedlicher Gehaltsklassen führen. Diesen Faktoren bzw. deren Einflüssen wird in dem folgenden Kap. nachgegangen.

4.4.3 Analyse von Blättern markierter Bäume

Die bisherigen Beobachtungen, dass die Blätter eines Zweiges zum Teil wenig in ihren Gehalten an phytochemischen Parametern variierten und diese Gehalte in verschiedenen Bereichen und Klassen lagen, führte zu der Fragestellung, ob und wie ein solches Auftreten erklärbar sei.

Ausgehend von den zum Abschluss des vorherigen Kap. getroffenen Überlegungen wurden deshalb mehrere Zweige von markierten Bäumen bezüglich der Gehalte ihrer Blätter untersucht. Die Auswahl der Pflanzen erfolgte durch die Anbauer in der Form, dass Bäume sich z.B. im Alter oder in der Kulturform unterschieden. Die einbezogenen Untersuchungsobjekte stammten aus dem gesamten Staat Paraná. Die resultierenden Ergebnisse wurden auf zwei Ebenen ausgewertet. Zuerst sollten wieder

einzelne Zweige betrachtet werden. In einem zweiten Schritt wurden die Resultate auf der Ebene der Bäume verglichen.

Insgesamt wurden 30 Bäume (00 bis 31) in Messreihe 23 analysiert. Von jedem Baum wurden insgesamt drei Zweige (a bis c) und von jedem Zweig jeweils drei Blätter (1 bis 3) untersucht. Um die untersuchten Zweige genau zu charakterisieren, wurden die Lage der Zweige am Baum und deren Exposition festgehalten. Unter Lage der Zweige wurde verstanden, ob sie sich am Baum oben, in der Mitte oder unten befanden. Die Exposition beschrieb, in welche Himmelsrichtung die Zweige ausgerichtet waren. Die Bäume wurden zusätzlich zu den bisher erfassten Informationen durch ihre Höhe charakterisiert. Die für einen Baum herrschenden Lichtverhältnisse wurden von den Anbauern mit gut, gering bzw. moderat oder schlecht beschrieben. Alle verfügbaren Informationen der 270 Proben sind im Anhang I Tab. 8-2 sowie alle bestimmten Gehalte Tab. 8-5 zu entnehmen.

Alle Proben wurden, wie in Kap. 4.2 beschrieben, erfasst, dokumentiert und analysiert. Beispielhaft werden im Folgenden die Informationen und Ergebnisse, die zu Baum 13 erfasst wurden, wiedergegeben:

- Die Probennahme erfolgte am 20.01.2000.
- Der Anbauer war S. Romano.
- Der Keimling wurde 1992 gezogen.
- Der Baum stammte von einer Plantage in Faxinal dos Elias.
- Zum Datum der Probennahme war der Baum 2,5 m hoch.
- Der Baum wurde zuletzt bei der Ernte 1998 geschnitten.
- Die Lichtverhältnisse wurden mit gut bewertet.
- Die Lage von Zweig a war oben, von b in der Mitte und von c unten.
- Zweig a orientierte sich nach Ost, die Zweige b nach Nord und c nach Süden.

Die Messungen wurden, wie Kap. 4.2 beschrieben, ausgewertet.

Die Blätter der Zweige a und c lieferten höhere Gehalte an Dicafeoylchinasäuren als an Monocaffeoylchinasäuren (s. Abb. 4-16). Der Coffeingehalt war in allen Blättern vergleichsweise hoch. Für die Blätter des Zweiges b waren die Gehalte geringer als für die der anderen Zweige. Sowohl die Rutin- als auch die Carotinoidgehalte aller Blätter lagen in demselben Bereich.

Die Beobachtung, dass auch die Analysen von drei Blättern zu dem Ergebnis führten, dass deren Gehalte nur in geringen Bereichen variierten, bestätigte noch einmal das Vorgehen.

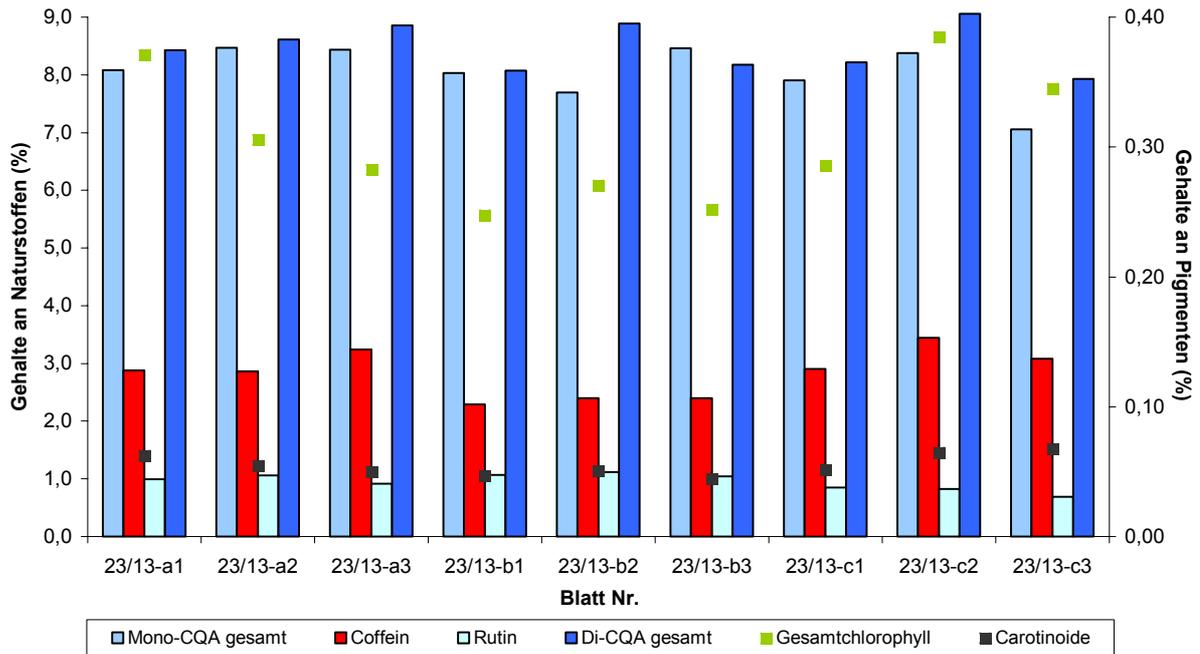


Abb. 4-16: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von je drei zapfenmarkierten Blättern (1-3) von drei Zweigen (a-c) eines Baumes (13) (Probe 23/13-a1 bis 23/13-c3)

4.4.3.1 Auswertungen auf der Ebene der Zweige

Wie eingangs des vorherigen Kap. bereits erwähnt, sollten die Ergebnisse der 270 untersuchten Blätter von 30 markierten Bäumen auf zwei Ebenen ausgewertet werden. Als erste Ebene wurden dabei mögliche Zusammenhänge der bestimmten Gehalte mit den für die drei Zweige eines Baumes spezifischen Informationen untersucht. Zu diesen spezifischen Informationen zählten:

- die Lage der Zweige
- deren Exposition
- die an jedem Zweig herrschenden Lichtverhältnisse

Es wurde überprüft, ob Auswirkungen des betrachteten Faktors auf den jeweils gemessenen Gehaltsbereich zu beobachten waren.

Wie bereits festgestellt wurde, ist es aufgrund der geringen Variabilität in Blättern eines Zweiges möglich, mittlere Gehalte von Markerverbindungen zu berechnen und verschiedene Zweige anhand dieser Mittelwerte miteinander zu vergleichen. In diesem Abschnitt wurden deshalb die Gehalte der jeweiligen drei Blättern der 90 Zweige gemittelt und mit den genannten Zweig-spezifischen Informationen verknüpft. Durch die Darstellung der mittleren Gehalte der Zweige konnten die auf diese Weise erzielten Aussagen übersichtlich wiedergeben werden.

In diese Betrachtung konnten nur solche Zweige einbezogen werden, bei denen die Variabilität der Gehalte der einzelnen Blätter gering war. Ein Vergleich der Gehaltsbereiche der untersuchten 90 Zweige hatte gezeigt, dass es wenige Ausnahmen gab, für welche die Variabilität der Gehalte der phytochemischen Parameter nicht mehr gering war. Die Variabilität wurde durch die Berechnung des absoluten Fehlers des kleinsten und des größten gemessenen Gehalts eines Blattes an einer Substanz bewertet. Als zu variabel wurden die Gehalte eines Zweiges eingestuft, wenn der absolute Fehler eine der folgenden Grenzen überschritt:

- Für Caffeoylechinasäuren mit einem mittleren Gehalt unter 5 %: > 1
- Für Caffeoylechinasäuren mit einem mittleren Gehalt über 5 %: > 2
- Für Coffein mit einem mittleren Gehalt unter 4 %: > 1
- Für Rutin mit einem mittleren Gehalt bis 2 %: > 0,5

Wurde auf diese Weise festgestellt, dass die Gehalte bei mehr als einer Substanz bzw. Substanzgruppe eines Zweiges zu sehr variierten, wurde der Zweig von der anschließenden Auswertung ausgeschlossen. Dadurch wurden insgesamt neun Zweige (10 % der untersuchten Zweige) nicht in die weitere Auswertung einbezogen. Als Ursachen für diese stärker variierenden Gehalte sind z.B. Schädlingsbefall oder Wachstumsstörungen denkbar, in deren Folge die Produktion der untersuchten Naturstoffe verändert worden war.

Vergleich der Lage

Als erstes sollte der Frage nachgegangen werden, ob ein Zusammenhang zwischen der Lage der Zweige und den Gehalte an phytochemischen Parametern bestehe. Abb. 4-17 gibt die Ergebnisse der mittleren Gehalte an Monocaffeoylechinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylechinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden aller Zweige der oberen Lage wieder (zu den Gehalten der Blätter der anderen beiden Lagen s. im Anhang in Tab. 8-5). Die jeweiligen mittleren Gehalte aller Marker liegen in relativ breiten Bereichen.

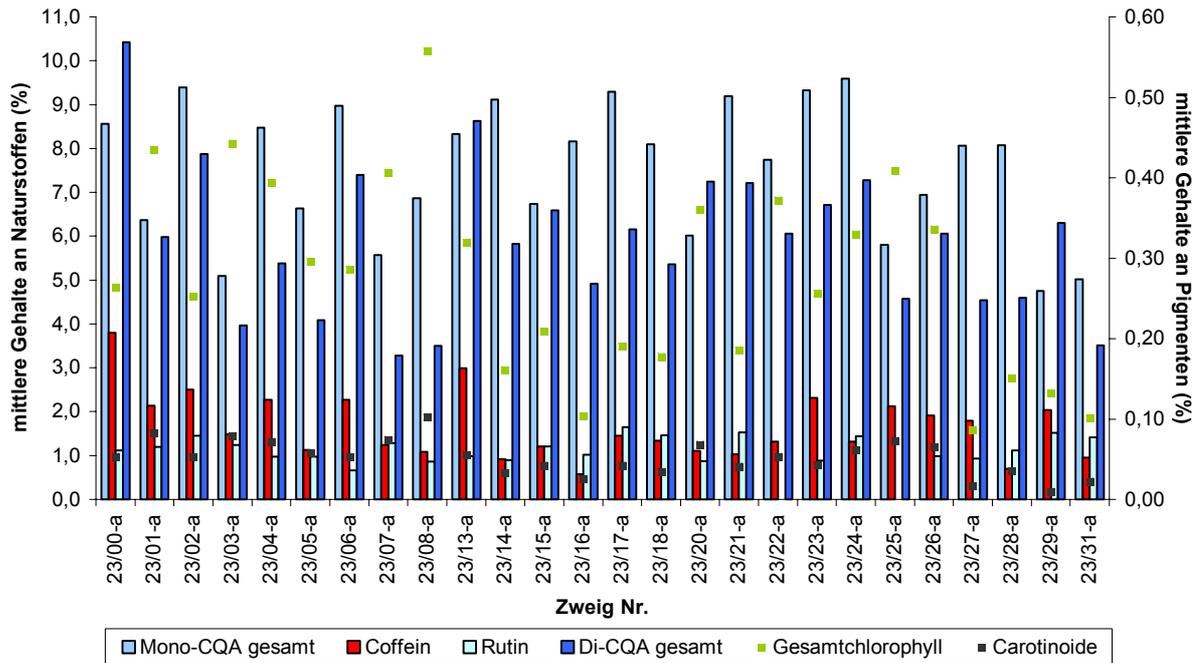


Abb. 4-17: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Blätter von Zweigen mit oberer Lage (Messreihe 23)

Für die Gehalte von Zweigen aus mittleren bzw. unteren Lagen konnte ähnliche Variabilität beobachtet werden. Tab. 4-10 verschafft einen Überblick über die Variabilitätsbereiche der Mittelwerte, die für die drei Lagen gemessen wurden. Die Häufigkeit, mit welcher Blätter derselben Lage vorhanden sind, ist sehr gleichmäßig verteilt: von allen vergleichbaren Blättern stammten je ca. 33 % von derselben Lage.

Tab. 4-10: Variabilitätsbereiche der mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Zweige mit oberen, mittleren und unteren Lagen (Messreihe 23)

Lage	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicafeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
Oben	4,8 – 9,6	0,6 – 3,8	0,7 – 1,7	3,3 – 10,4	0,09 – 0,56	0,01 – 0,10
Mitte	5,1 – 9,5	0,5 – 3,9	0,7 – 1,8	3,9 – 11,0	0,08 – 0,50	0,02 – 0,09
Unten	4,2 – 9,7	0,5 – 3,1	0,7 – 2,3	2,5 – 9,8	0,10 – 0,45	0,02 – 0,08

Im Vergleich stimmen die Gehaltsbereiche der drei Lagen weitestgehend überein. In der unteren Lage ist ein geringfügig größerer mittlerer Gehaltsbereich an Monocaffeoylchinasäuren und Rutin zu beobachten, während für Coffein und Gesamtchlorophyll ein etwas kleinerer Bereich bestimmt wurde. Diese Darstellung einer Auswertung ist jedoch ausschließlich auf die gemittelten Daten der Blätter eines Zweiges bezogen. Die Häufigkeit, mit welcher ein Gehalt gemessen wurde, wurde bisher noch nicht berücksichtigt. Um deshalb herauszufinden, ob die drei Lagen zu unterschiedlichen Gehalten

fürten, wurden die Mittelwerte der Gehalte aller analysierten Blätter sowie deren Standardabweichungen miteinander verglichen (s. Abb. 4-18). Die Standardabweichung ist dabei als Indikator für die Streuung der Gehalte um den Mittelwert zu betrachten. Sie beschreibt ausgehend vom Mittelwert den Bereich, in dem 68,3 % aller gemessenen Gehalte liegen.

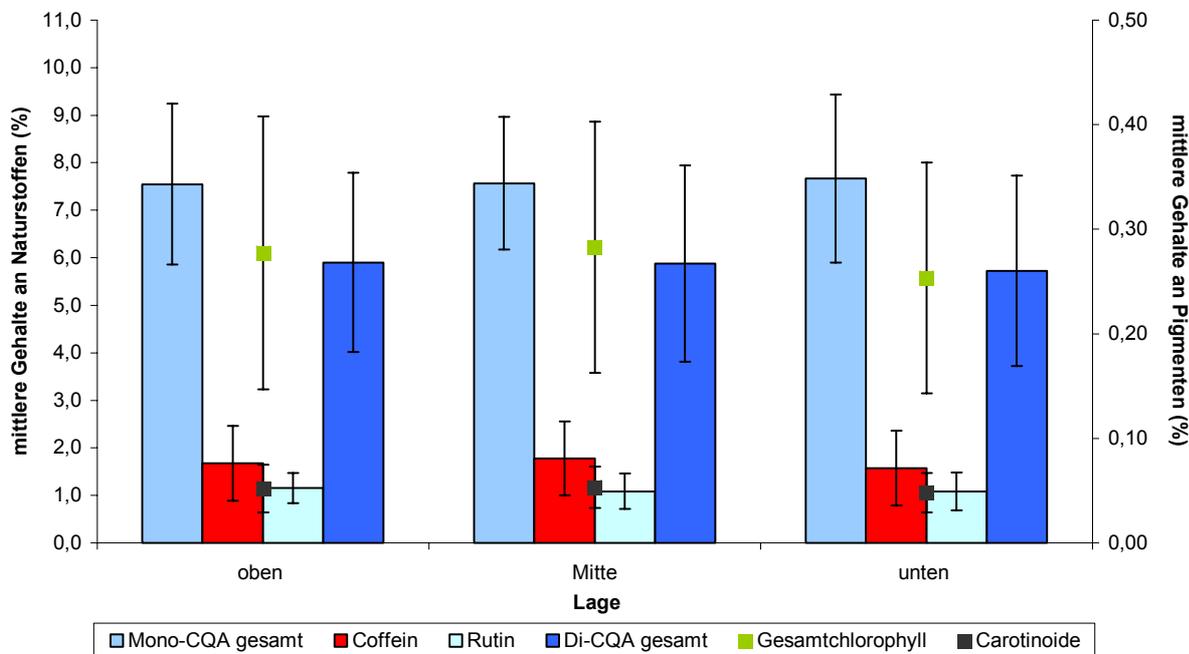


Abb. 4-18: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen Blättern der oberen, mittleren bzw. unteren Lage sowie deren Standardabweichungen (n = 78, 83 bzw. 81) als Häufigkeitsindikator (Messreihe 23)

Wie Abb. 4-18 belegt, übt die Lage eines Zweiges keinen Einfluss auf die messbaren Gehalte seiner Blätter an phytochemischen Parametern aus, da sich deren mittlere Gehalte nicht deutlich voneinander unterscheiden. Die gut übereinstimmenden Standardabweichungen sind als ein weiterer Beleg dafür anzusehen, dass die Variabilität der Gehalte in Bezug auf die einzelnen Lagen nahezu gleich ist.

Vergleich der Exposition

Ein weiterer Parameter, der die Akkumulation der Inhaltsstoffe beeinflussen könnte, ist die Exposition eines Zweiges. Auch hier war die Verteilung der in den Vergleich einbezieharen Blätter innerhalb der vier möglichen Himmelsrichtungen sehr gleichmäßig. So war die Ausrichtung bei 23 bis 27 % der Blätter identisch.

Abb. 4-19 verdeutlicht beispielhaft die Ergebnisse der mittleren Gehalte an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden aller nach Norden exponierten Zweige. Die im einzelnen bestimmten Gehalte der Zweige mit anderen Expositionen sind im Anhang in Tab. 8-5 wiedergegeben.

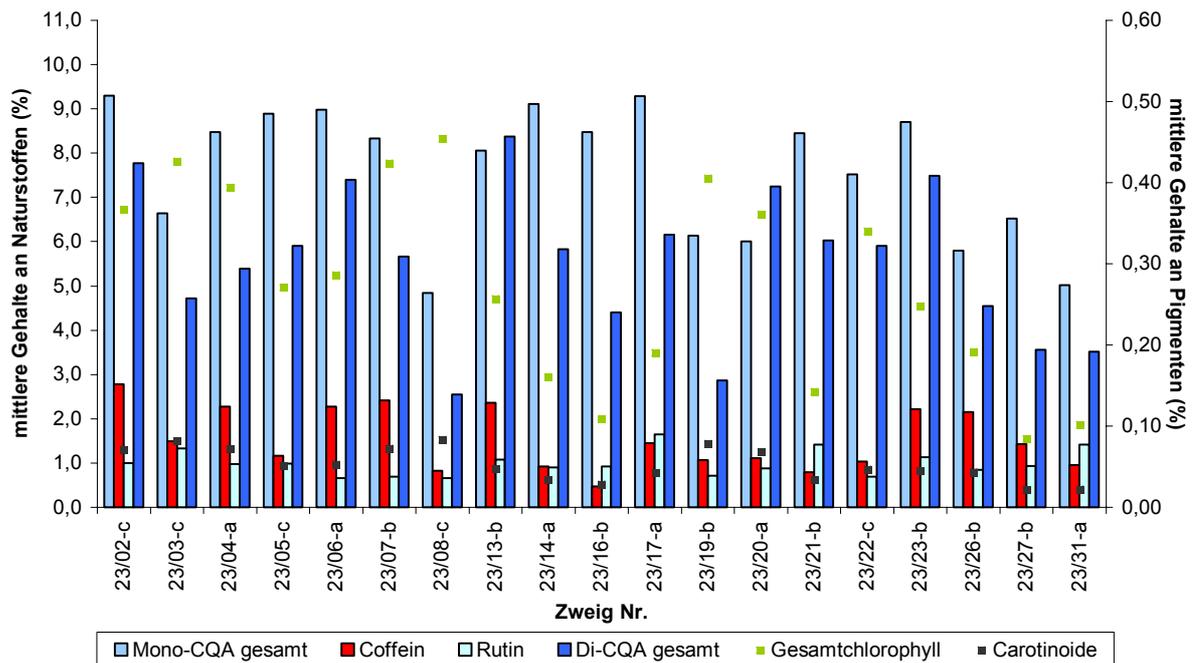


Abb. 4-19: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Blätter von Zweigen mit Nordexposition (Messreihe 23)

Die Ergebnisse der mittleren Gehalte an untersuchten Substanzen für Zweige mit Ost-, Süd- und Westexposition liefern ähnliche Darstellungen. Die Gehaltsbereiche der Mittelwerte der einzelnen phytochemischen Parameter sind einander wieder sehr ähnlich (s. Tab. 4-11).

Tab. 4-11: Variabilitätsbereiche der mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Zweige mit Nord-, Ost-, Süd- bzw. West-Exposition (Messreihe 23)

Exposition	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicafeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
Nord	4,8 – 9,3	0,5 – 2,8	0,7 – 1,7	2,5 – 8,4	0,08 – 0,45	0,02 – 0,08
Ost	4,8 – 9,4	0,5 – 3,0	0,7 – 1,7	3,7 – 9,8	0,10 – 0,43	0,01 – 0,07
Süd	5,1 – 9,7	0,6 – 3,9	0,7 – 2,3	3,1 – 11,0	0,10 – 0,50	0,02 – 0,09
West	4,2 – 9,3	0,6 – 3,8	0,8 – 1,8	3,3 – 10,4	0,09 – 0,56	0,02 – 0,10

Die Variabilitätsbereiche für die Zweige mit Nord- und mit Ostexposition sind fast identisch. Nur für die Dicafeoylchinasäuren wurden bei den ostwärts orientierten Zweigen Gehalte in einem etwas größeren Bereich gemessen. Im Vergleich dazu sind die Gehalte, die für Zweige mit Südexposition ermittelt wurden, ein wenig erhöht. Die Variabilitätsbereiche der Gehalte von Zweigen mit westlicher Orientierung liegen in der Schnittmenge der anderen drei Bereiche. Auch hier kann der Einfluss der

Exposition nur durch Vergleich der Mittelwerte aller zu einer Exposition analysierten Blätter überprüft werden (s. Abb. 4-20).

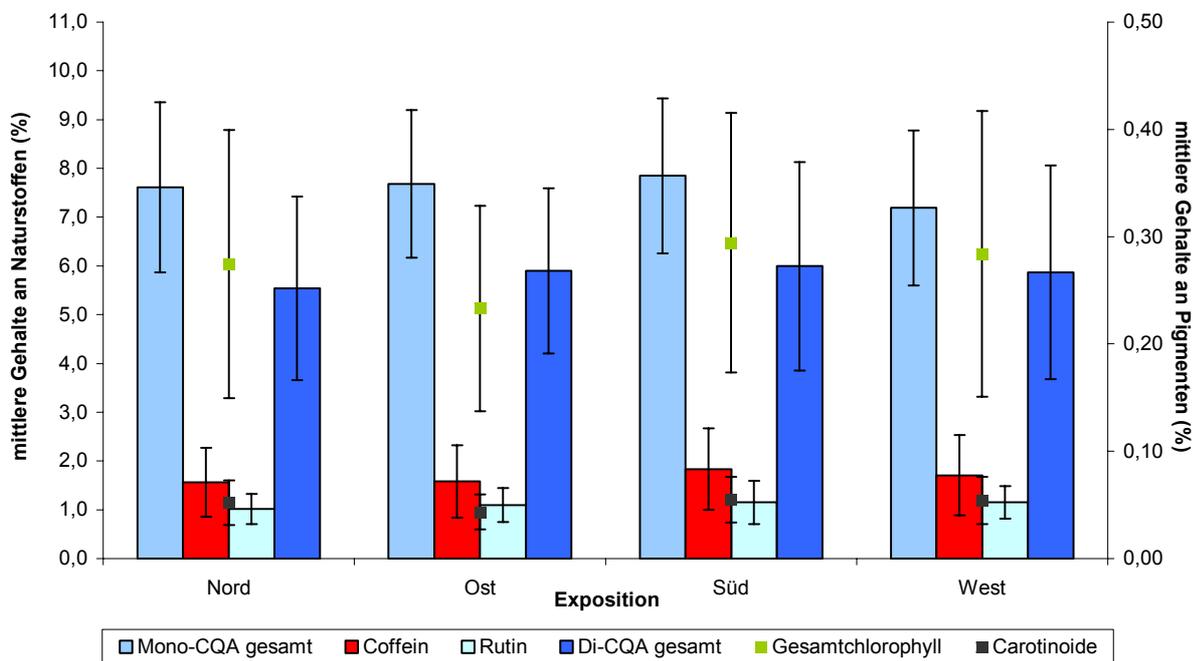


Abb. 4-20: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen Blättern mit Nord-, Ost-, Süd- bzw. West- Exposition sowie deren Standardabweichungen (n = 57, 63, 66 bzw. 57) als Häufigkeitsindikator (Messreihe 23)

Die Mittelwerte der vier Gruppen mit gleicher Exposition sowie deren Standardabweichungen unterscheiden sich so gut wie nicht. Am auffälligsten unterscheiden sich im Vergleich zu den Mittelwerten der anderen Gruppen der Gesamtchlorophyllgehalt Ost-exponierter sowie der Monocaffeoylchinasäuregehalt West-orientierter Blätter.

Deshalb kann zusammengefasst werden, dass auch durch die Exposition kein Einfluss auf die gemessenen Gehalte an phytochemischen Markern beobachtet werden konnte.

Vergleich der Lichtverhältnisse

Drittens sollte der Einfluss der für jeden Zweig herrschenden Lichtverhältnisse auf die messbaren Gehalte an phytochemischen Merkmalen untersucht werden. Die Lichtverhältnisse wurden von den verschiedenen Anbauern mit gut – z.B. bei offenen, unbeschatteten Plantagen –, moderat bzw. gering – z.B. bei Kulturen oder Wildbeständen mit teilweiser Beschattung – oder schlecht – z.B. bei Kulturen oder Wildbeständen unter dichtem Waldbestand – beschrieben.

Tab. 4-12 gibt die Variabilitätsbereiche wieder, die für die mittleren Gehalte an untersuchten Substanzen bzw. Substanzgruppen der Blätter mit guten, geringen bzw. moderaten sowie schlechten Lichtverhältnissen gemessen wurden. Bei einem Vergleich ist besonders zu beachten, dass die

Probengruppen sehr unterschiedlich groß waren. Von den in den Vergleich einbezogenen 243 Blättern wurden für 77,8 % gute Lichtverhältnisse beschrieben, während für je 7,4 % eine der anderen drei Beurteilungen erfolgte.

Tab. 4-12: Variabilitätsbereiche der mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Zweige mit guten, geringen bzw. moderaten oder schlechten Lichtverhältnissen (Messreihe 23)

Licht-Verhältnisse	Monocaffeoyl-chinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoyl-chinasäuren (%)	Gesamt-chlorophyll (%)	Carotinoide (%)
gut	4,7 – 9,7	0,5 – 3,9	0,7 – 2,3	3,3 – 11,0	0,08 – 0,43	0,01 – 0,08
gering	7,7 – 9,5	1,2 – 2,3	0,7 – 1,5	4,0 – 5,4	0,18 – 0,39	0,03 – 0,07
moderat	6,1 – 8,1	1,0 – 1,5	0,7 – 1,2	2,9 – 7,4	0,29 – 0,43	0,05 – 0,08
schlecht	4,8 – 6,9	0,8 – 1,6	0,7 – 1,6	2,5 – 4,7	0,42 – 0,56	0,08 – 0,10

In Zweigen mit guten Lichtverhältnissen schwanken die mittleren Gehalte der Inhaltsstoffe über einen größeren Bereich als bei den anderen, eingeschränkten Lichtverhältnissen. Neben einem Einfluss durch die Belichtung kann eine weitere Ursache dieser Beobachtung in der deutlich größeren Anzahl an untersuchten Blättern liegen.

Schon die Variabilitätsbereiche der Mittelwerte der Zweige (s. Tab. 4-12) liefern einen deutlichen Hinweis, dass Gesamtchlorophyll- und Carotinoidgehalte bei schlechterer Belichtung abnehmen. Zur Bestätigung dieser Beobachtung, dass die Lichtverhältnisse tatsächlich einen Einfluss auf die Höhe der Gehalte ausüben, wurden aus allen zu Messreihe 23 auswertbaren Blättern die Mittelwerte der gemessenen Gehalte berechnet. Als Maß für die Streuung wurden zusätzlich aus diesen Daten die Standardabweichungen ermittelt. Dabei wurden die nicht klar differenzierten Kategorien „gering“ und „moderat“ zusammengefasst (s. Abb. 4-21).

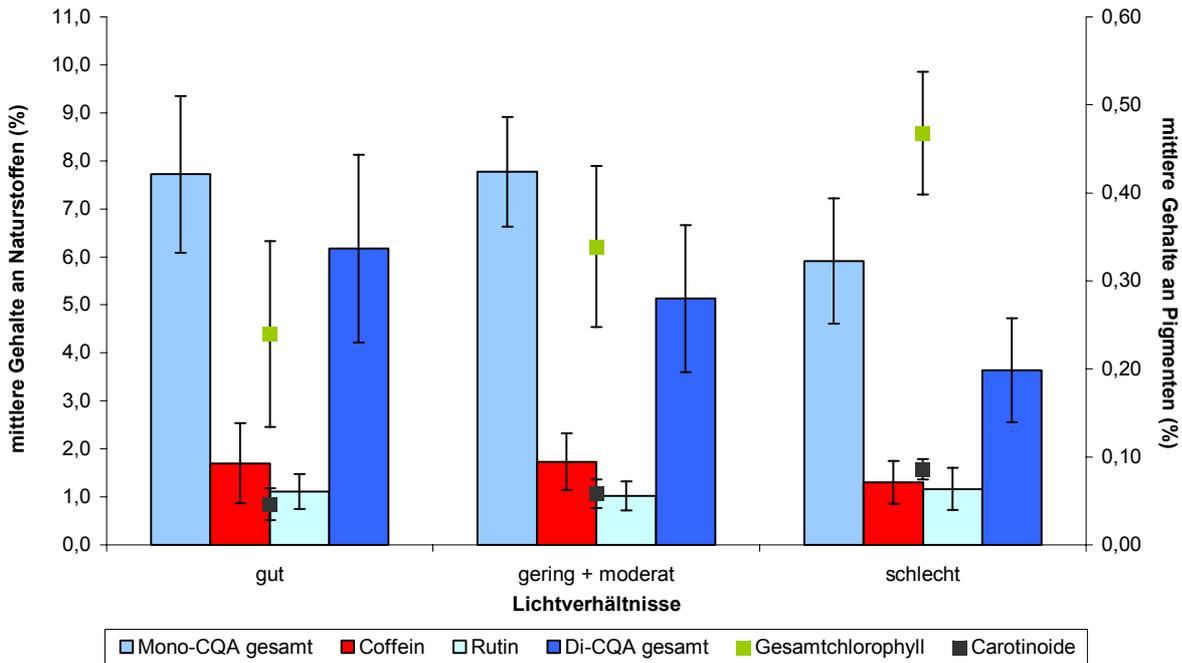


Abb. 4-21: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen Blättern mit guten, gering-moderaten bzw. schlechten Lichtverhältnissen sowie deren Standardabweichungen (n = 189, 36 bzw. 18) als Häufigkeitsindikatoren (Messreihe 23)

Der Einfluss der Belichtung auf die Gehalte an phytochemischen Parametern (s. Abb. 4-21) äußerte sich in vier Beobachtungen:

- Die Gehalte an Gesamtchlorophyll und Carotinoiden stiegen mit abnehmender Belichtung deutlich an.
- Sowohl die Gehalte der Mono- als auch die der Dicaffeoylchinasäuren nahmen mit abnehmender Belichtung ab.
- Für Coffein wurde zwar bei schlechter Belichtung ein etwas niedrigerer Gehalt festgestellt, dieser war nach den vorliegenden Daten jedoch nicht von Bedeutung.
- Für die Gehalte an Rutin konnte keine Lichtabhängigkeit beobachtet werden.

Diese Ergebnisse entsprechen der Erwartung, dass Schattenblätter in der Regel mehr Chlorophyll bilden als Sonnenblätter (Sitte *et al.*, 1998). Da die Abhängigkeit des Pigmentgehalts von der Belichtung allgemein mit den in der Pflanzenphysiologie bekannten Zusammenhängen übereinstimmt, ist davon auszugehen, dass der gefundene Einfluss der Belichtung auf die Akkumulation von Naturstoffen auch nicht nur zufällig ist. Vielmehr könnten die bei guter Belichtung höheren Gehalte an Caffeoylchinasäuren durch eine vermehrte Bildung des Enzyms Phenylalanin-Ammonium-Lyase (PAL) erklärt werden. Dieses Enzym, welches bei Lichteinstrahlung vermehrt gebildet wird, katalysiert die Umsetzung von Phenylalanin zu Zimtsäure, die eine Vorstufe der Kaffeesäure ist.

Statistische Analyse der zweigspezifischen Auswertung

Bisher wurden die Gehalte von Blättern verschiedener Zweige in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren (Lage, Exposition, Licht) beobachtet. Es war festgestellt worden, dass weder Lage noch Exposition einen Einfluss auf die Gehalte der phytochemischen Merkmale ausübten. Dagegen war ein lichtabhängige Veränderung einiger Parameter zu sehen.

Mit univariaten Varianzanalysen wurde berechnet, ob diese Ergebnisse auch statistisch signifikant (Vertrauensbereich 95 %) sind. Dazu wurden die mittleren Gehalte der drei Blätter eines Zweiges in Abhängigkeit von den sechs bestimmten Gehaltsparametern (Mono- und DicaFFEoylchinasäure, Coffein, Rutin, Gesamtchlorophyll und Rutin) mit den Informationen zu Lage, Exposition und Licht korreliert (zu den einzelnen Ergebnissen s. Anhang I, Tab. 8-6).

Alle Berechnungen zeigten, dass von den drei gemeinsam statistisch untersuchten zweigspezifischen Faktoren Lage, Exposition und Lichtverhältnisse nur der Zusammenhang zwischen den Lichtverhältnissen und den Gehalte an Mono- und DicaFFEoylchinasäuren sowie an Gesamtchlorophyll und Carotinoide statistisch signifikant war. Dagegen sind die in Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen bestimmten unterschiedlichen Gehalte an Coffein und Rutin nur zufällige Beobachtungen. Auch alle im Bereich der Abhängigkeit von der Lage und der Exposition gefundenen unterschiedlichen Gehalte sind als zufällig zu bewerten.

Eine weitere univariaten Varianzanalyse, in welcher die mittleren Gehalte der Zweige an phytochemischen Merkmale allein in Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen untersucht wurden, bestätigte die erste statistische Analyse (Einzelergebnisse s. Tab. 8-7).

Damit führt die Verknüpfung der Gehalte der Inhaltsstoffe mit zweigspezifischen Informationen zu folgenden Ergebnissen:

- Die Faktoren „Lage“ (oben, Mitte, unten) und „Exposition“ (Nord, Ost, Süd, West) eines Zweiges üben keinen erkennbaren Einfluss auf die mittleren Gehalte an phytochemischen Parametern aus. Auch die ermittelten Variabilitätsbereiche sind für beide Faktoren gleich. Diese Beobachtungen werden durch statistische Auswertungen bestätigt.
- Im Gegensatz dazu hat die Belichtung einen deutlichen Einfluss auf die messbaren Gehalte an Caffeoylchinasäuren und Farbpigmenten. Gut belichtete Blätter liefern signifikant höhere Gehalte an Caffeoylchinasäuren als schlecht Belichtete. Dagegen steigen die Gehalte an Gesamtchlorophyll und Carotinoiden mit abnehmender Belichtung signifikant an.

4.4.3.2 Vergleiche auf der Ebene der Bäume

Nachdem im vorherigen Kap. zweigspezifische Charakteristika daraufhin überprüft wurden, ob sie die Höhe der gemessenen Gehalte an phytochemischen Parametern beeinflussen, sollen diese Gehalte nun mit baumspezifischen Informationen verknüpft werden. Als solche baumspezifischen Informationen standen zur Verfügung:

- die Kulturform sowie das Alter des Baumes
- der Ort, an welchem sich ein Baum befand
- der Besitzer der Plantage bzw. des Wildbestands

Bei der Gegenüberstellung der Informationen wurde festgestellt, dass sich die Bestände der verschiedenen Plantagenbesitzer bis auf eine Ausnahme an unterschiedlichen Orten befinden. Deshalb wurden diese Informationen gemeinsam ausgewertet.

Als erstes wurde aus den für die neun analysierten Blätter eines markierten Baumes bestimmten Gehalte näherungsweise ein Gesamtmittelwert für jeden phytochemischen Parameter gebildet. Damit wurde jeder Baum durch sechs mittlere Gehalte an Substanzen bzw. Substanzgruppen charakterisiert. Diese Daten wurden schließlich mit den baumspezifischen Informationen in Verbindung gebracht.

Die in Kap. 4.4.3.1 dargestellten Ergebnisse bildeten die Grundlage für die Verknüpfung von Informationen und Daten. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, mussten für alle Bäume die gleichen Voraussetzungen bestehen. Ansonsten wäre die Schlussfolgerung, dass der jeweilige Informationsparameter für einen beobachteten Einfluss verantwortlich ist, nicht möglich. Aus diesem Grund wurden in den folgenden Vergleichen nur 23 Bäume, für die gute Lichtverhältnisse angegeben worden waren, einbezogen.

Sieben Bäume, die keinen guten Lichtverhältnissen ausgesetzt waren, akkumulierten niedrigere Mengen an Naturstoffen. Würden die Daten dieser sieben Bäumen einbezogen, würde sich die Breite der auszuwertenden Daten erhöhen. Da die baumspezifischen Informationen mit den Gesamtmittelwerten jedes Baumes verknüpft werden, bestünde die Möglichkeit, dass Unterschiede, die nur für gut belichtete Bäume resultieren, überdeckt werden würden. Die nicht gut belichteten Bäume separat zu betrachten, ist auch nicht angebracht, da sie nicht alle über die gleichen Voraussetzungen verfügen und auch nicht in genügender Anzahl vertreten waren.

Auswertung in Abhängigkeit vom Alter der Bäume

Abb. 4-22 stellt die mittleren Gehalte der phytochemischen Merkmale für 23 Bäume unterschiedlichen Alters dar. Die Bäume 02, 06, 20, 23, 25 bis 28 stammten im Gegensatz zu den anderen Pflanzen aus Wildbeständen und wurden deshalb von den Plantagenbesitzern als „nativ“ bezeichnet. Für die Bäume 02, 06 und 25 von den Anbauern ein geschätztes Alter hinzugefügt.

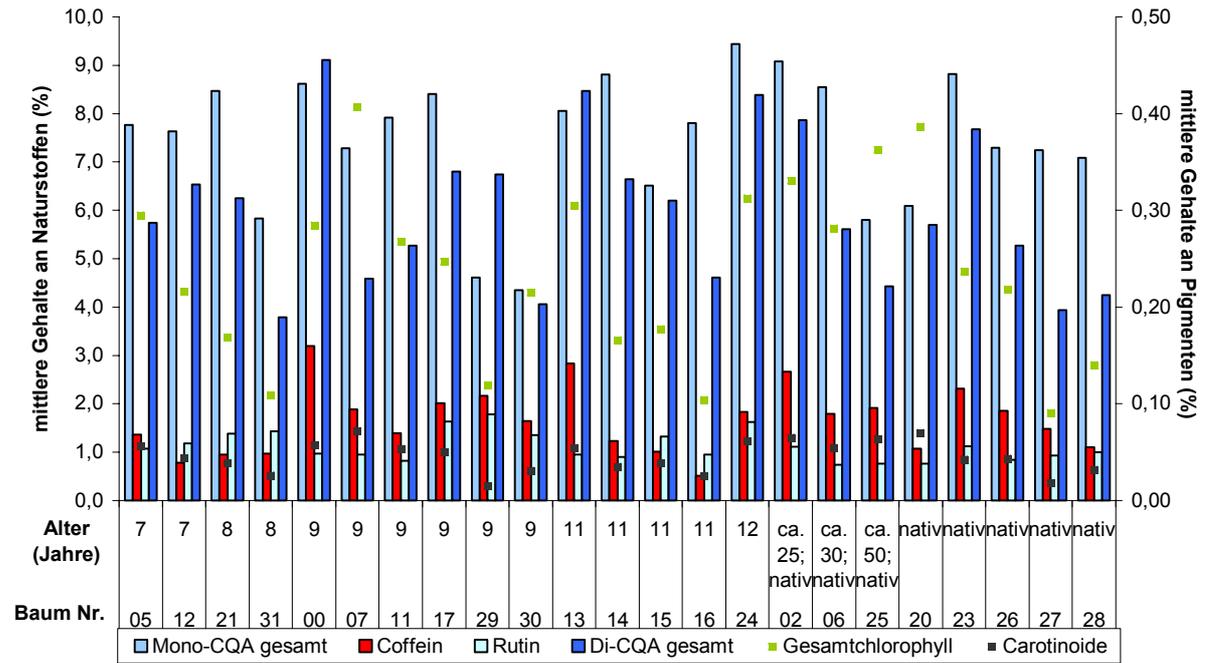


Abb. 4-22: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Blätter von 23 Bäumen verschiedenen Alters (Jahre) (Messreihe 23)

Die Gesamtmittelwerte der 23 Bäume liegen in relativ breiten Gehaltsbereichen (s. Abb. 4-22). Um eventuelle altersabhängige Tendenzen besser zu erkennen, wurden die Bäume in drei Altersgruppen eingeteilt:

- Junge Bäume mit einem Alter bis zu 10 Jahren
- Bäume mittleren Alters von 10 bis 30 Jahren
- Alte Bäume mit einem Alter ab 30 Jahren

Aufgrund der durchschnittlichen Schätzung einiger Plantagenbesitzer, dass native Pflanzen älter als 30 Jahre seien, wurden alle als „nativ“ bezeichneten Bäume in die letzte Altersgruppe einbezogen.

Für die drei Altersgruppen wurden Variabilitätsbereiche der mittleren Gehalte an Inhaltsstoffen bestimmt (s. Tab. 4-13). Dabei zeichnet sich die Tendenz ab, dass Bäume der Altersgruppe ab 30 Jahre geringere Gehalte an Naturstoffen aufweisen als jüngere Bäume. Ein Vergleich der beiden jüngeren Altersgruppen lässt anhand der Variabilitätsbereiche der Mittelwerte keine Aussage zu. Um deshalb konkrete Hinweise zu bekommen, ob die drei Altersgruppen zu unterschiedlich hohen Gehalten führten, wurden die Einzelergebnisse aller Blätter der jeweiligen Altersgruppe gemittelt. Als Maß für die Streuung der Ergebnisse um den Mittelwert wurden zusätzlich die Standardabweichungen bestimmt (s. Abb. 4-23).

Tab. 4-13: Variabilitätsbereiche der mittleren Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von Bäumen dreier Altersgruppen (Messreihe 23)

Altersgruppe	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
bis 10 J.	4,3 – 8,6	0,8 – 3,2	0,8 – 1,8	3,8 – 9,1	0,11 – 0,41	0,02 – 0,07
10 bis 30 J.	6,5 – 9,4	0,5 – 2,8	0,9 – 1,6	4,6 – 8,5	0,10 – 0,33	0,03 – 0,07
ab 30 J.	5,8 – 8,8	1,1 – 2,3	0,7 – 1,1	3,9 – 7,7	0,09 – 0,39	0,02 – 0,07

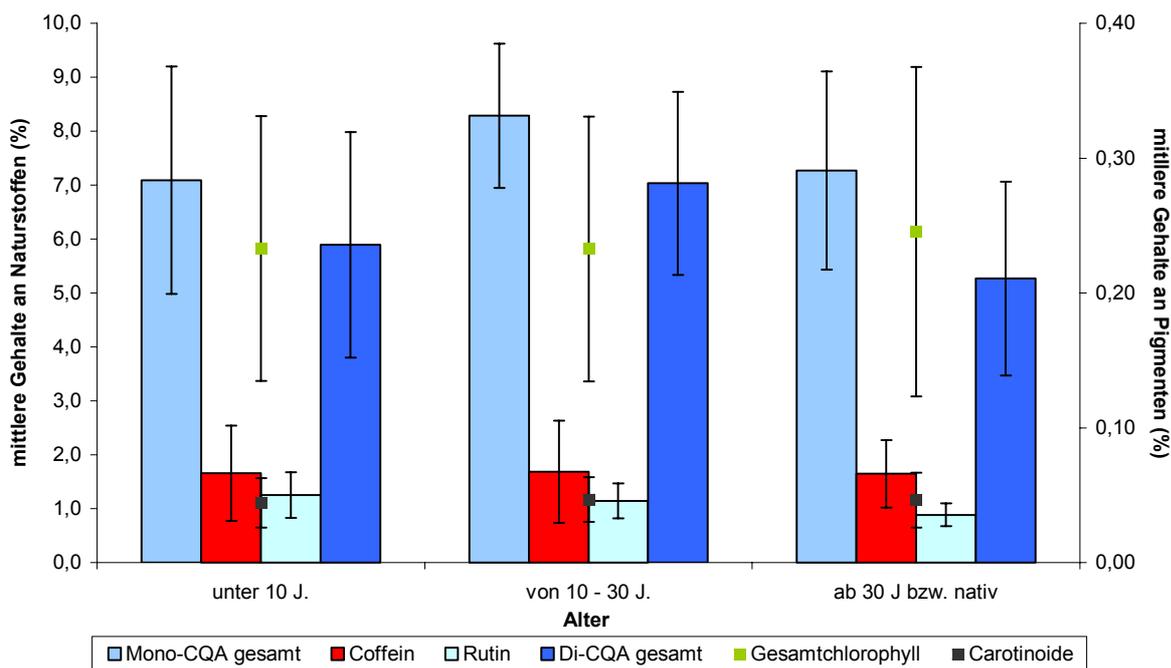


Abb. 4-23: Mittlere Gehalte (%) und deren Standardabweichungen (n = 90, 54 bzw. 63) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Blätter von Bäumen dreier unterschiedlicher Altersgruppen (Messreihe 23)

Dadurch konnte die bereits formulierte Vermutung, dass Bäume ab einem Alter von 30 Jahren tendenziell niedrigere Gehalte als jüngere Pflanzen bilden, nicht bestätigt werden. Vielmehr weist diese Betrachtung darauf hin, dass Bäume in einem Alter von 10 bis 30 Jahren im Durchschnitt mehr Caffeoylchinasäuren akkumulieren als Bäumen der anderen beiden Altersgruppen. Für die Gehalte der anderen Marker konnte dagegen kein Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse für die jüngste und die älteste Altersgruppe stimmen in allen Parametern gut überein.

Insgesamt sind diese Ergebnisse nur als Hinweise zu werten, dass es geringfügige Unterschiede in der Naturstoffakkumulation in Abhängigkeit vom Alter der Mate-Pflanzen geben kann. Andererseits sind die Unterschiede nicht so gravierend, dass die Qualität der Endprodukte dadurch entscheidend beeinflusst wird.

Auswertung in Abhängigkeit von der Herkunft bzw. dem Plantagenbesitzer

In einem zweiten Vergleich werden die mittleren Gehalte der 23 Bäume mit dem Ort, an dem sie sich befinden, in Verbindung gebracht. Insgesamt verteilten sich die Plantagen, auf welchen Bäume markiert und Proben genommen wurden, über den ganzen Staat Paraná. Ziel war es, zu prüfen, ob die Herkunft eines Baumes, das heisst regionale Gegebenheiten wie Kleinklima, Boden und Bewirtschaftung, die quantitative Zusammensetzung an phytochemischen Markern beeinflusst.

Bis auf eine Ausnahme stammten Bäume mit unterschiedlicher Herkunft auch von verschiedenen Anbauern. Deshalb wurden die Parameter Herkunft und Plantagenbesitzer in dieser Auswertung zusammengefasst.

In Abb. 4-24 sind die mittleren Gehalte der 23 Bäume in Bezug auf ihre Herkunft dargestellt. Daneben sind zusätzlich die Initialen der entsprechenden Anbauer angegeben. Die angesprochene Ausnahme zeigt sich in Bäumen, die aus Faxinal dos Elias stammten. Dort befinden sich die Plantagen von S. Romano (SR), J. Stanizewski (JS) und L. Opalinski (LO).

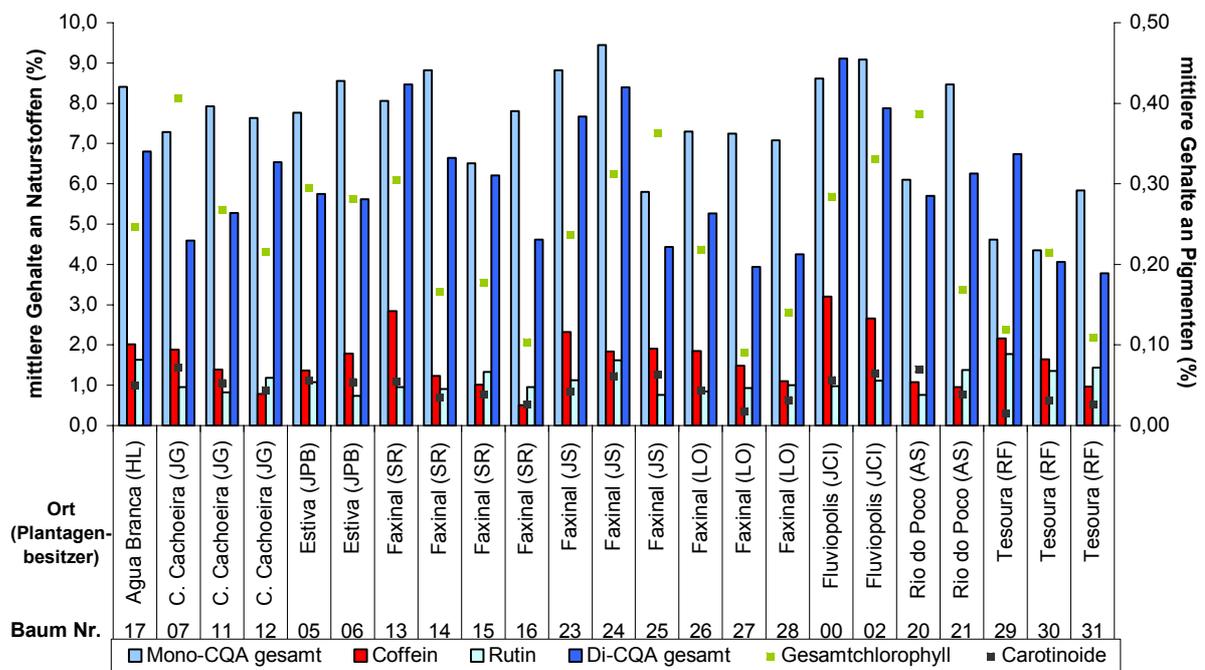


Abb. 4-24: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Blätter von 23 Bäumen verschiedener Herkunft und von unterschiedlichen Plantagenbesitzern (Initialen) (Messreihe 23)

Bäume, deren Herkunft und Plantagenbesitzer identisch sind, können (wie z.B. für Nummer 07 und 11, 05 und 06, 23 und 24, 27 und 28 sowie 00 und 02) gut übereinstimmende mittlere Gehalte an phytochemischen Parametern bilden. Von dieser Beobachtung sind einige Farbpigmentgehalte jedoch auszunehmen. Daraus wird die Hypothese abgeleitet, dass die quantitative Zusammensetzung der Inhaltsstoffe in der Regel nicht spezifisch mit der Herkunft zusammenhängt. Um diese Aussagen zu prüfen, werden aus der Gesamtheit aller auswertbaren Blätter unter Beachtung ihrer Herkunft, sowie

im Fall einer Herkunft aus Faxinal dos Elias auch ihrer Anbauer, Gesamtmittelwerte gebildet. Als Maß der Schwankung der Einzelgehalte um die so definierten Mittelwerte werden Standardabweichungen berechnet (s. Abb. 4-25).

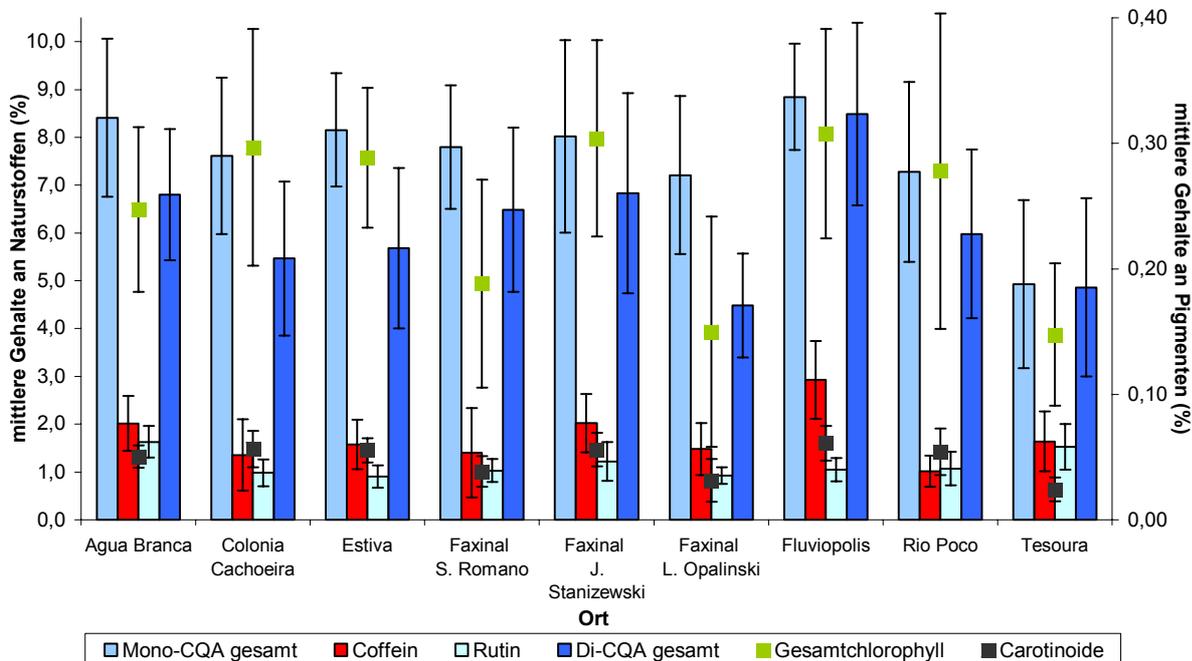


Abb. 4-25: Mittlere Gehalte (%) sowie deren Standardabweichungen ($n = 9, 27, 18, 36, 27, 27, 18, 18$ bzw. 27) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden aller Blätter von Bäumen in Abhängigkeit von ihrer Herkunft und falls zur Abgrenzung notwendig differenziert nach den Plantagenbesitzern (Messreihe 23)

Mit diesem ersten Ansatz der Prüfung eines Einflusses der Herkunft (sowie in drei Fällen auch der Anbauer) auf die quantitative Zusammensetzung der phytochemischen Merkmale in verschiedenen Bäumen konnten zumeist keine auffälligen Unterschiede beobachtet werden. Anhand dieser Auswertung kann die oben formulierte Hypothese bestätigt werden. Auch wenn sich die dargestellten Mittelwerte der Herkunftsorte voneinander unterscheiden, überschneiden sich die Variabilitätsbereiche, markiert durch die Standardabweichungen, für alle Herkunftsorte. Das Pflanzenmaterial wird deshalb in seiner Gesamtheit als weitgehend gleichwertig und ohne systematische Unterschiede beurteilt.

Bäume aus Fluviopolis und Tesoura fielen darüber hinaus allerdings auf, da jeder der beiden im Gegensatz zu den anderen Bäumen (fast) gleiche Mengen an Mono- und an Dicafeoylchinasäuren akkumulierte. In Bezug auf die Mittelwerte dieser beiden Substanzgruppen stellten diese Orte Extreme dar. Bäume aus Fluviopolis enthielten ausserdem mit Abstand die höchsten Gehalte an Coffein. Auch aufgrund dieser Ergebnisse bieten sich weitere Untersuchungen an, um der Frage nach herkunftsbedingten Unterschieden nachzugehen.

Die Verknüpfung der Ergebnisse der Messreihe 23 mit baumspezifischen Informationen mit der Zielsetzung, Faktoren, die die Höhe der Gehalte beeinflussen, zu identifizieren, führt zusammenfassend zu den folgenden Hinweisen:

- Die Verknüpfung mit Informationen über das Alter liefert den Hinweis, dass Bäume in einem Alter von 10 bis 30 Jahren im Durchschnitt höhere Gehalte an Caffeoylchinasäuren produzierten als jüngere und ältere Bäume.
- Die gut übereinstimmenden Variabilitätsbereiche der Gehalte der untersuchten Bäume zeigen in Bezug auf deren Herkunft, dass die quantitative Zusammensetzung der Inhaltsstoffe aller Bäume im Durchschnitt als gleichwertig einzustufen ist. Damit spielt die Herkunft eines Produkts in diesem Zusammenhang keine besondere Rolle.

Die beobachteten Tendenzen (höhere Gehalte in Bäumen mit einem Alter zwischen 10 und 30 Jahren sowie auffällige Gehalte für Material aus Fluviopolis und Tesoura) sollten in weiteren, differenzierteren Untersuchungen überprüft werden. Dabei sollten nur gesicherte Angaben (Alter) verwendet und bezüglich der Herkunft genauere Informationen z.B. zu Mikroklima, Bodenzusammensetzung und -bearbeitung einbezogen werden.

4.4.4 Versuche zur Bestimmung des Einflusses von Licht

Das interessanteste Ergebnis der vorherigen Untersuchung – die Abhängigkeit der Höhe der durchschnittlichen Gehalte an phytochemischen Markern von der Belichtung – wurde in zwei weiteren Messreihen genauer untersucht. Bei dem brasilianischen Produzenten Baldo war ein Feldversuch durchgeführt worden, in dem das Wachstum von Mate-Pflanzen in Abhängigkeit von der Intensität der Belichtung beobachtet worden war. Für einige Pflanzen aus diesem Versuch wurde die Zusammensetzung der phytochemischen Merkmale bestimmt. In einem zweiten, im institutseigenen Gewächshaus in Deutschland durchgeführten Versuch wurde die Abhängigkeit von der Dauer der Beschattung analysiert.

Beschattungsversuch in Brasilien

In Sao Mateus do Sul, einem Produktionsstandort des Kooperationspartners Baldo, wurden Jungpflanzen in vier Gruppen eingeteilt und bei unterschiedlicher Belichtung aufgezogen. Unterschieden wurden zu 30 % beschattete junge Pflanzen, zu 70 % Beschattete und „Bracatinga“-Pflanzen sowie eine Kontrollgruppe ohne Beschattung.

„Bracatinga“ ist ein Baum, dessen Vorkommen neben Araucarien im südamerikanischen Ökosystem mit Mate vergesellschaftet ist. Da sowohl Bracatinga als auch Araucarien deutlich größer sind als Mate-Bäume, dienen diese dem lichtempfindlicheren Mate als natürliche Schattenspendler.

„Bracatinga“ bedeutet für diesen Beschattungsversuch die stärkste Form der Abschirmung vor Licht. Zur Erzeugung 30 % -igen bzw. 70 % -igen Schattens wurden Netze aufgestellt. Nach ca. 1,5 Jahren wurden alle jungen Pflanzen geerntet und vollständig zapekiert.

Zur phytochemischen Analyse standen insgesamt 15 Pflanzen (drei bis fünf aus jeder Gruppe) zur Verfügung. Weitere Informationen sind in Tab. 8-1 des Anhangs I unter den Probennummern 30/01 bis 30/15 zu entnehmen.

Von jeder Jungpflanze wurden drei bis fünf Blätter gemeinsam untersucht. Jede Probe wurde durch gemittelte Gehalt (zu einzelnen Gehalten s. Tab. 8-5) an Mono- und Dicafeoylchinasäuren, Coffein, Rutin sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden beschrieben. Da die mittleren Gehalte der Jungpflanzen einer Belichtungsgruppe nur wenig variierten, werden in Abb. 4-26 die gemittelten Gehalte der jeweiligen Pflanzengruppe wiedergegeben. Die Angabe einer Standardabweichung als Maß der Streuung ist aufgrund der geringen Anzahl (3 bis 5) an Proben mathematisch nicht sinnvoll. Statt dessen werden die Streuungsbereiche der Einzelergebnisse durch die gemessenen maximalen bzw. minimalen Gehalte markiert.

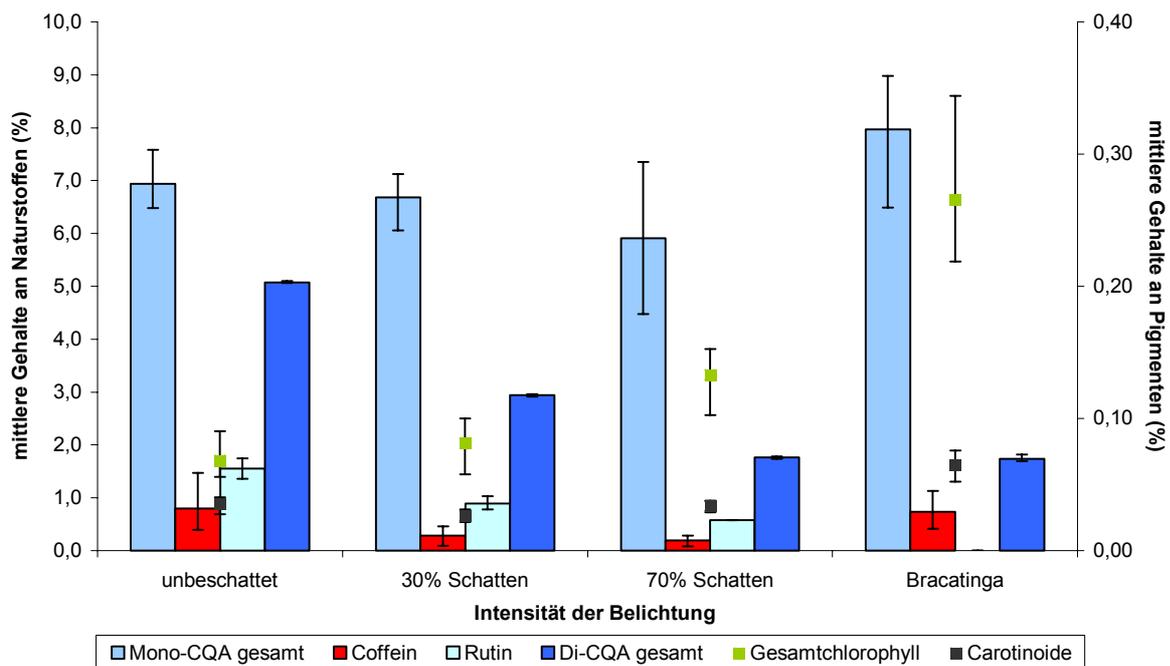


Abb. 4-26: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Blätter von 15 Jungpflanzen, welche vier unterschiedlichen Belichtungsintensitäten ausgesetzt waren. Streuung der Einzelwerte wird durch Fehlerbalken, welche aus Minimal- und Maximalgehalten resultieren, markiert.

Die Gehalte an Dicafeoylchinasäuren und Rutin sanken mit abnehmender Lichtintensität deutlich. Für die Monocaffeoylchinasäuren und Coffein wurde ein ungleichmäßiges Bild beobachtet.

Die Gehalte an Gesamtchlorophyll und Carotinoiden stiegen, den Gesetzmäßigkeiten der Pflanzenphysiologie entsprechend, mit abnehmender Lichtintensität signifikant (Konfidenzintervall 95%) an (zu den Einzelergebnissen, s. Anhang I, Tab. 8-8).

Die Tendenz, dass der Gehalt an Dicaffeoylchinasäuren mit zunehmender Beschattung abnahm, war statistisch signifikant ($p = 0,05$). Für Monocaffeoylchinasäuren war jedoch unter Bracatinga-Beschattung ein Gehaltsanstieg zu beobachten (allerdings nahm insgesamt der Gehalt an Monocaffeoylchinasäuren bezogen auf ein Signifikanzniveau von $p = 0,1$ mit zunehmender Beschattung ab).

Im Gegensatz zu dem hier gefundenen Ergebnis konnte im Rahmen der Überprüfung des Einflusses von Licht auf die Gehalte markierter Zweige (s. Kap. 4.4.3.1) auch für die Monocaffeoylchinasäuren eine durchgängige Gehaltsabnahme mit zunehmender Beschattung festgestellt werden.

Insgesamt konnte auch für diesen Versuch ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Lichtverhältnissen und den messbaren Gehalten an Caffeoylchinasäuren sowie Farbpigmenten nachgewiesen werden. Im Vergleich zu der statistischen Analyse der Ergebnisse der mittleren Gehalte von Zweigen markierter Bäume (s. Kap. 4.4.3.1) ist das hier resultierende Ergebnis jedoch weniger deutlich.

Beschattungsversuch im eigenen Gewächshaus

Mit drei *Ilex paraguariensis*-Pflanzen, die im institutseigenen Gewächshaus aus südamerikanischen Samen angezogen worden waren, wurde ein zweiter Versuch zum Einfluss der Belichtung durchgeführt. Die Abhängigkeit der Höhe der Gehalte von der Dauer der Beschattung sollte analysiert werden. Anhand der bisherigen Ergebnisse wurde die Vermutung formuliert, dass mit zunehmender Dauer der Beschattung abnehmende Gehalte an Caffeoylchinasäuren zu messen seien. Dagegen sollten die Gehalte an Pigmenten ansteigen.

Eine wichtige Voraussetzung für die Planung und Anlage des Versuchs war ein zuvor dargestelltes Ergebnis: die Gehalte der untersuchten phytochemischen Parameter einzelner Blätter desselben Zweiges sind wenig variabel; vielmehr akkumulieren diese Blätter sehr ähnliche Gehalte.

In diesem Versuch wurden die Gehalte von Blättern verschiedener Zweige über einen Zeitraum von acht Wochen untersucht. Ein Teil der Blätter jeden Zweiges wurde dauerhaft beschattet, während der andere Teil normal belichtet (Tageslicht) weiterwuchs. Insgesamt wurden von drei Mate-Pflanzen je zwei Zweige und von diesen jeweils sechs Blätter zeitgleich analysiert (Probennummer 35/111 bis 35/326L, weitere Probeninformationen s. im Anhang I, Tab. 8-1). Der Grundgehalt der einzelnen Blätter wurden am ersten Versuchstag (Tag 0) anhand von je zwei Blättern der sechs Zweige bestimmt. Nach vier (Tag 28) und nach acht Wochen (Tag 48) wurden ein beschattetes und ein nicht-beschattetes Blatt geerntet, getrocknet (s. Kap. 3.4.1) und analysiert.

Die zur Beschattung der einzelnen Blätter entwickelten Beschattungstaschen wurden aus Maschendraht passgenau gefertigt und mit schwarzer Folie überzogen, so dass das Blatt kaum belichtet wurde. Es wurde zusätzlich darauf geachtet, dass die Tasche das Blatt nicht berührte und die Luftzirkulation um das Blatt nicht unterbunden wurde. Abb. 4-27 zeigt einen Zweig vor und nach dem

Aufbau der Beschattungstaschen. Die sechs Blätter, welche in den Versuch einbezogen wurden, sind nummeriert.

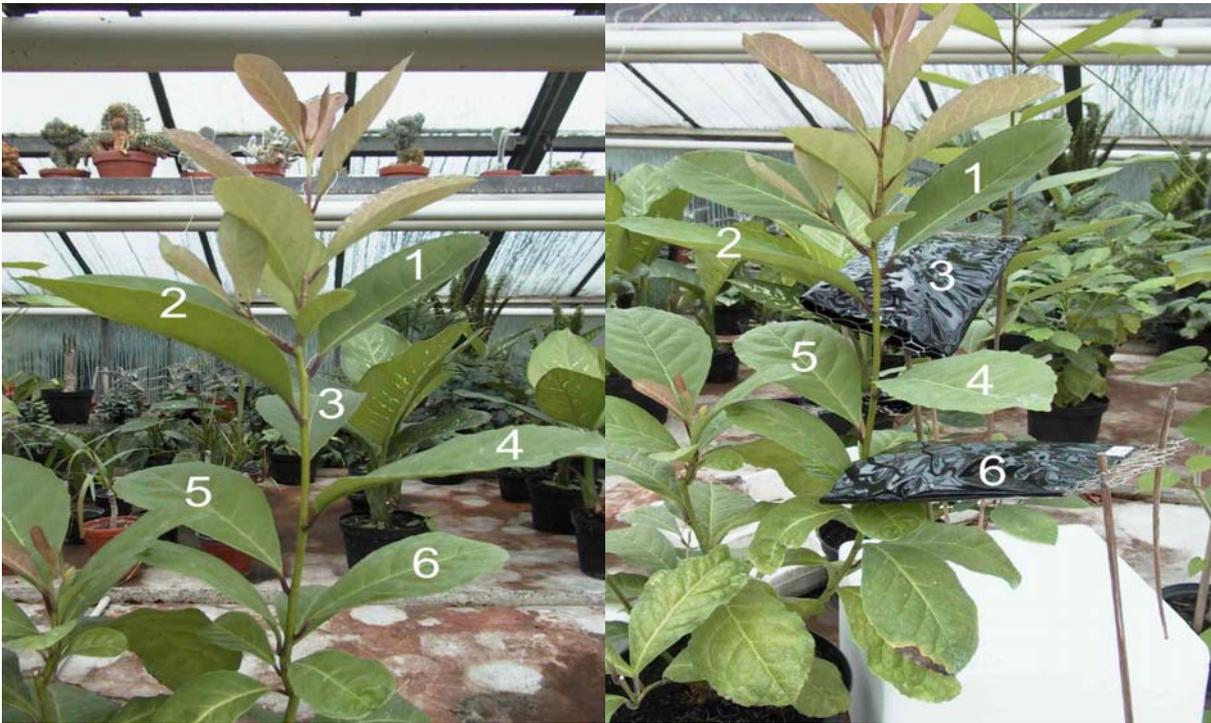


Abb. 4-27: Zu untersuchende Blätter (sechs, nummeriert) eines *Ilex paraguariensis*-Zweiges vor (links) und nach (rechts) Aufbau von Beschattungstaschen für zwei bestimmte Blätter

Um den Einfluss der Beschattung auf die Entwicklung der Gehalte direkt und schnell auszuwerten, wurden die Ergebnisse für die einzelnen Substanz bzw. Substanzgruppen jeweils in einem eigenen Diagramm (s. z.B. Abb. 4-28) wiedergegeben. Da der Aufbau des Versuchs voraussetzte, dass in allen Blättern eines Zweiges vergleichbare Gehalte an phytochemischen Parametern gebildet wurden, wurden die am Tag 0 bestimmten Grundgehalte für die Auswertung gemittelt.

In dem zugrundeliegenden Zeitraum von acht Wochen wurden keine auffälligen Änderungen der Gehalte aller untersuchten phytochemischen Parameter beobachtet. Auf eine detaillierte Darstellung aller Ergebnisse wird deshalb verzichtet. Beispielhaft werden nur die Auswertungen für die Gesamtchlorophyll- und die DicaFFEoylchinasäuregehalte der untersuchten Blätter wiedergegeben. Die Einzelergebnisse aller Blätter sind im Anhang I in Tab. 8-5 angegeben.

Auch mit den Ergebnissen dieses Versuches kann erneut bestätigt werden, dass Blätter desselben Zweiges in ihren Gehalte an phytochemischer Parameter wenig variieren (für Gesamtchlorophyll s. Abb. 4-28) und dass innerhalb derselben Pflanze an verschiedenen Zweigen unterschiedliche Gehaltsbereiche zu beobachten sind.

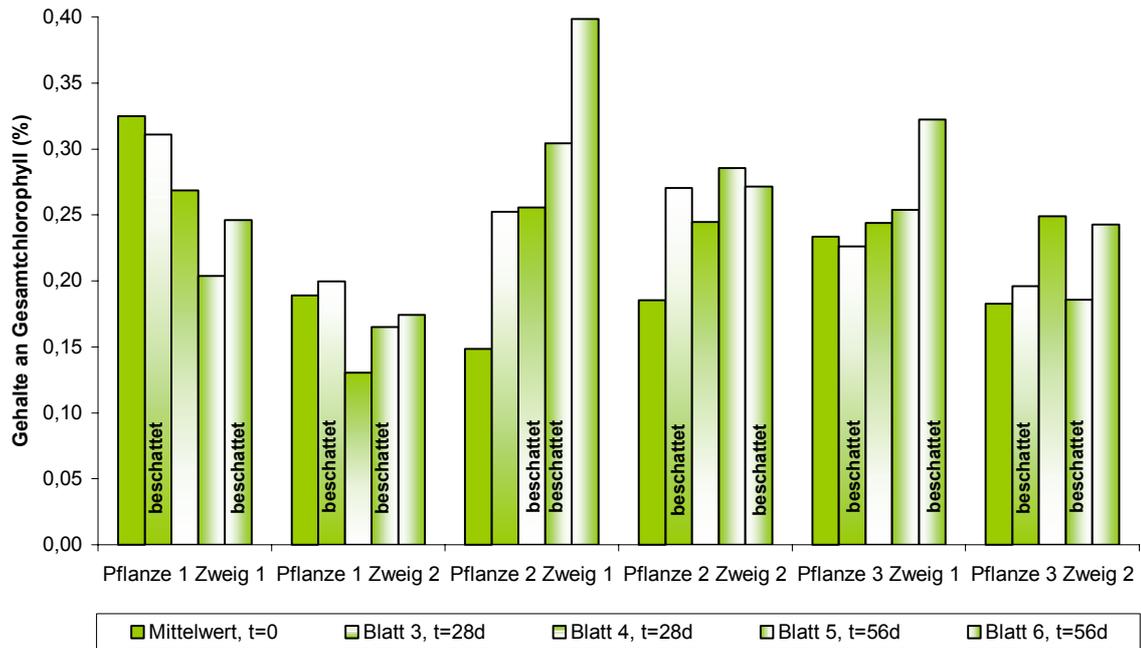


Abb. 4-28: Gehalte (%) an Gesamtchlorophyll von je sechs getrockneten Blättern zweier Zweige von drei *Ilex paraguariensis*-Pflanzen, die zu drei verschiedenen Zeitpunkten (Tag 0, 28 und 56) geerntet wurden und von denen je zwei Blätter vollständig vom Licht abgeschirmt waren (Probennummern 35/111 bis 35/326L)

Im Durchschnitt enthielten die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten, aus Brasilien stammenden Mate-Blätter 5,8 % Dicafeoylchinasäuren (mit 2,1 % Standardabweichung). Die Blätter, welche in diesem Versuch analysiert wurden, enthielten dagegen auffällig niedrigere Gehalte an Dicafeoylchinasäuren (s. Abb. 4-29), obwohl die Samen, aus denen die Pflanzen gezogen wurden, ebenfalls aus Südamerika stammten.

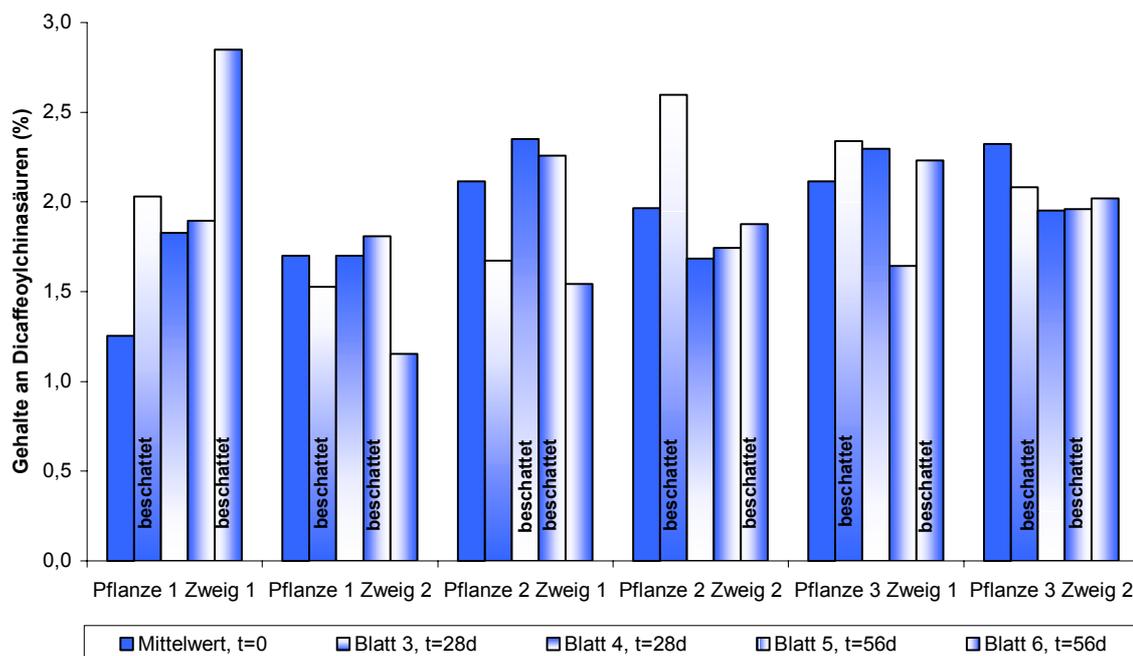


Abb. 4-29: Gehalte (%) an Dicafeoylchinasäuren von je sechs getrockneten Blättern zweier Zweige von drei *Ilex paraguariensis*-Pflanzen, die zu drei verschiedenen Zeitpunkten (Tag 0, 28 und 56) geerntet wurden und von denen je zwei Blätter vollständig vom Licht abgeschirmt waren (Probennummern 35/111 bis 35/326L)

Insgesamt zeigte der Versuch, dass der Untersuchungszeitraum von acht Wochen nicht ausreichend war. Da für alle drei untersuchten Pflanzen kongruente Ergebnisse beobachtet wurden, wird ein zufälliger Fehler in den Messungen ausgeschlossen. Ein negativer Einfluss durch die Beschattungs-taschen kann ebenfalls ausgeschlossen werden. Erstens unterschieden sich die beschatteten Blätter am Ende der Beschattungszeit äußerlich nicht von den Unbeschatteten. Zweitens wäre in diesem Fall mit deutlich niedrigeren Gehalten an Markerverbindungen aufgrund eines enzymatischen Abbaus infolge des einsetzenden Absterbens der Blätter zu rechnen gewesen.

Die Beobachtung bezüglich der Dicafeoylchinasäuren unterstreicht die Bedeutung der engen Zusammenarbeit mit einem südamerikanischen Kooperationspartner. Deshalb sollten Ergebnisse, die z.B. in Deutschland erzielt wurden, nur als Hinweise betrachtet werden, die in Südamerika im Einzelnen überprüft werden sollten.

4.5 Untersuchungen zur produktionsbedingten Variabilität

Im zweiten Bereich dieser Arbeit wurden Untersuchungen mit Handelswaren und mit Proben, die aus den verschiedenen Produktionsstufen stammten, geplant. Wie bereits in Kap. 2.4.1 näher ausgeführt, beginnt die Produktion mit den drei aufeinanderfolgenden Trocknungsschritten Zapiekieren (in Südamerika „Sapeco“ bezeichnet), Vortrocknen („pre-drying“) und Trocknen („Barbaquá“). Daran schließt sich ein, „Cancheamento“ genannter Sortier- und Zerkleinerungsschritt an, aus dem Mate cancheada hervorgeht. Mate cancheada ist das Zwischenprodukt, aus dem in weiteren Verarbeitungsschritten verschiedene Handelswaren entstehen. Der größte Teil des Mate cancheada wird weiter in unterschiedlichem Maß zerkleinert bzw. mit zusätzlichen Zweigstücken vermahlen. Dadurch entstehen Zwischenstufen, die als „folha“ (vor allem fein geschnittene Blattware), „goma“ (Blattmaterial mit kleineren Zweigstücken; fein pulverisiert) und „po“ (Blatt- und Stängelmaterial; sehr fein pulverisiert) bezeichnet werden. Diese drei Zwischenstufen werden zu dem Endprodukt chimarrão gemischt. Ein kleiner Teil des Mate cancheada wird zu dem Endprodukt grüner Mate-Tee bzw. nach einem Röstschritt zu geröstetem Mate-Tee weiterverarbeitet.

Untersuchungen der ersten drei Trocknungsschritte wurden bereits vor Beginn dieser Arbeit durchgeführt. Ihre Ergebnisse bildeten die Basis dieser Arbeit und wurden deshalb bereits im Kap. „Grundlagen und Vorarbeiten“ (s. Kap. 1.1) vorgestellt. Im Zentrum dieses Abschnitts stehen Analysen der weiteren Produktionsstufen:

- Mate cancheada
- den Zwischenstufen folha, goma und po
- den Handelswaren chimarrão, gerösteter und grüner Mate-Tee

Zusätzlich wurde in einem Versuch ein alternatives Trocknungsverfahren untersucht.

4.5.1 Mate cancheada

Das Zwischenprodukt Mate cancheada entsteht durch das Cancheamento im Anschluss an die drei Trocknungen der geernteten Zweige. Hierbei wird das getrocknete Gut grob zerkleinert, Stängelanteile werden aussortiert. Erst nach diesem Vorgang differenziert sich der weitere Produktionsweg je nach dem Endprodukt. Darüber hinaus ist Mate cancheada die Lagerform des geernteten Materials. So vorbereitet, lagert eine Ernte bis zur Weiterverarbeitung in großen Säcken in den Lagerhallen eines Produzenten. Das Datum des Cancheamento signalisiert deshalb den Beginn der Lagerung.

Als erstes wurde die Veränderung der in verschiedenen Messreihen untersuchten Proben in Abhängigkeit von dem Zeitpunkt des Cancheamento analysiert. Zweitens sollte die Frage beantwortet werden, in wie weit die Lagerung einen Einfluss auf das Zwischenprodukt ausübt.

In drei Messreihen (18, 25 und 32) wurden insgesamt 95 Mate cancheada-Proben untersucht:

- Für 31 Proben (Messreihe 18) erfolgte das Cancheamento von Februar 1998 bis August 1999, die Proben wurden am 24.08.1999 genommen.
- Messreihe 25 bestand aus 46 Proben, die am 26.07.2000 genommen wurden und deren Cancheamento im Zeitraum von Februar 1998 bis Januar 2000 lag. Die meisten dieser Proben stammten aus denselben Lagerungssäcken wie die 31 Proben der Messreihe 18. Sie unterscheiden sich von diesen nur im Datum der Probennahme und damit in ihrem Alter bzw. in der Dauer der Lagerung. Das Cancheamento der weiteren 15 Proben (25/13 - 25/27) wurde erst im Winter 1999/2000 durchgeführt.
- Die 18 Proben der Messreihe 32 wurden im Dezember 2002 entnommen. Ihr Cancheamento fand von August 2001 bis September 2002 statt.

Die Probeninformationen zu den Proben der Messreihen 18, 25 und 32 sind im Anhang in Tab. 8-3 die im einzelnen bestimmten Gehalte in Tab. 8-5 entsprechend der Probennummern gelistet.

Variabilität in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Cancheamento

Bezogen auf den Produktionsprozess ist die Frage nach der Variabilität der untersuchten Proben von Interesse, da mit diesen Ergebnissen die Qualität der Zwischenprodukte bzw. die Gleichmäßigkeit der Verarbeitung beurteilt werden kann. Die erste Beurteilung wurde auf der Basis des Zeitpunkts des Cancheamento durchgeführt. Insgesamt erstreckte sich dieser Zeitpunkt bei allen untersuchten Proben von Februar 1998 bis September 2002. Um Aussagen über die Variabilität der Gehalte der phytochemischen Parameter zu machen, wurden 64 der untersuchten 95 Mate cancheada-Proben in den Vergleich einbezogen. Nicht einbezogen wurden die Proben 01 bis 12 und A bis T der Messreihe 25. Diese Proben wurden aus denselben Lagerungssäcken wie die bereits im Rahmen der Messreihe 18 untersuchten Proben entnommen. Das bedeutet, dass die Proben, die im Rahmen der Messreihe 25 untersucht wurden, aus der gleichen Grundgesamtheit stammten wie die Proben, die in Messreihe 18 analysiert wurden. Bei Messreihe 25 fand die Probenentnahme zu einem späteren Zeitpunkt statt, um die lagerungsbedingte Veränderungen der Gehalte untersuchen zu können. Ein Nicht-Ausschließen der Proben würde im Rahmen der Betrachtung des Zeitpunkts des Cancheamento nur zu einer Verbreiterung der Gehaltsbereiche führen, da für die gelagerten Proben zumindest mit niedrigeren Pigmentgehalten zu rechnen ist. Die Aussagen zur Variabilität würden dadurch verfälscht.

Da sich die Zeitpunkte des Cancheamento der untersuchten Proben über fünf Jahre erstreckten, wurden die Gehalte der Proben in Abhängigkeit vom Jahr des Cancheamento gemittelt (s. Abb. 4-30).

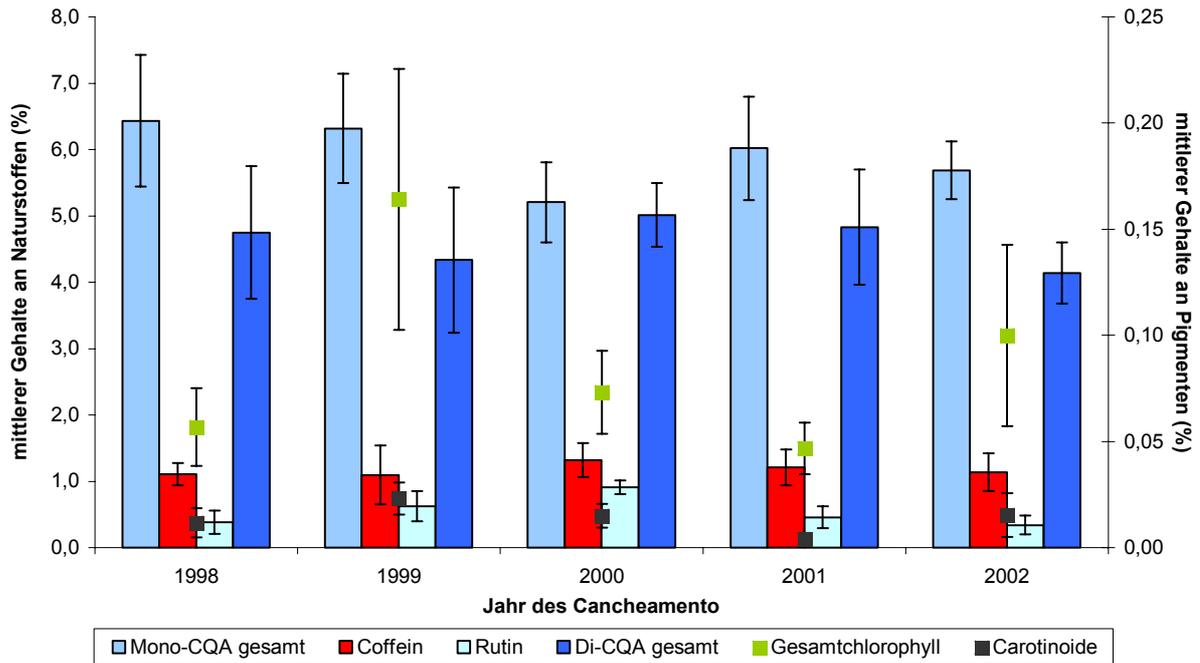


Abb. 4-30: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden sowie deren Standardabweichungen ($n = 3, 30, 13, 7$ bzw. 11) von Mate cancheada-Proben in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Cancheamento (Messreihen 18, 25 und 32)

Die mittleren Gehalte der Naturstoffe belegen, dass sich die Qualität von Mate cancheada in den untersuchten fünf Jahren, in denen das Cancheamento durchgeführt wurde, nur wenig voneinander unterscheidet. Wird die Standardabweichung eingesetzt, um das Maß der Variabilität zu beurteilen, so weichen auch diesbezüglich die Proben nur wenig voneinander ab. Proben, deren Cancheamento im Jahr 2000 statt fand, fallen allerdings dadurch auf, dass sie vergleichbare Mengen an Mono- und Dicafeoylchinasäuren akkumulierten.

Im Einzelnen variieren die mittleren Gehalte z.B. der Caffeoylchinasäuren absolut um höchstens 1,2 %, für Coffein sogar nur um 0,2 %. Diese geringe Variabilität zeigt sich auch für die gemessenen Einzelergebnisse der Naturstoffe, welches die in Abb. 4-30 dargestellten Standardabweichungen belegen. Ein weiterer Vergleich zeigt zudem, dass die Variabilitätsbereiche der im Rahmen der Messreihe 23 untersuchten Blätter von 90 Zweigen in Abhängigkeit von ihrer Lage am Baum bestimmten mittleren Gehalte deutlich breiter als die Bereiche dieser Untersuchung sind (s. Tab. 4-14).

Tab. 4-14: Variabilitätsbereiche der mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Zweige mit oberen, mittleren und unteren Lagen (Messreihe 23) im Vergleich zu den Variabilitätsbereichen – definiert durch die niedrigsten und höchsten gemessenen Werte - der Gehalte von Mate cancheada, deren Cancheamento in den Jahren 1998 bis 2002 lag (Messreihen 18, 25 und 32)

Lage bzw. Jahr des Cancheamento	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
Oben	4,8 – 9,6	0,6 – 3,8	0,7 – 1,7	3,3 – 10,4	0,09 – 0,56	0,01 – 0,10
Mitte	5,1 – 9,5	0,5 – 3,9	0,7 – 1,8	3,9 – 11,0	0,08 – 0,50	0,02 – 0,09
Unten	4,2 – 9,7	0,5 – 3,1	0,7 – 2,3	2,5 – 9,8	0,10 – 0,45	0,02 – 0,08
1998	5,8 – 7,6	0,9 – 1,3	0,3 – 0,5	3,7 – 5,6	0,05 – 0,08	0,01 – 0,02
1999	4,8 – 8,3	0,3 – 2,2	0,3 – 1,0	1,6 – 7,1	0,04 – 0,31	0,01 – 0,04
2000	4,2 – 6,4	0,8 – 1,8	0,7 – 1,0	4,4 – 6,0	0,04 – 0,11	0,01 – 0,03
2001	4,8 – 6,7	0,8 – 1,6	0,2 – 0,8	3,6 – 6,1	0,03 – 0,06	0,00 – 0,01
2002	5,2 – 6,6	0,7 – 1,5	0,1 – 0,7	3,6 – 4,8	0,04 – 0,15	0,00 – 0,03

Die maximalen Coffeingehalte betragen für die drei Lagen durchschnittlich 3,6 %. Im Gegensatz dazu wurde für die Mate cancheada-Proben nur ein durchschnittliches Maximum von 1,7 % erzielt. Solche Beobachtungen treffen für die anderen Substanzen bzw. Substanzgruppen ebenfalls zu.

Im Gegensatz zu den Naturstoffen unterscheiden sich die mittleren Pigmentgehalte zum Teil deutlich voneinander. Diese beobachteten Schwankungen sind durch den alters- bzw. lagerungsbedingten Abbau begründet. Das Cancheamento eines Teils der Proben der Messreihe 18 fand bereits im Jahr 1998 statt, sie wurden jedoch wie alle weiteren Proben auch erst im August 1999 den Lagerungssäcken entnommen. Im Unterschied dazu wurden die meisten der Proben aus dem Jahr 1999 bald nach deren Cancheamento genommen. Damit ist die Bandbreite der zu erwartenden Pigmentgehalte sehr groß – sie reicht von lange gelagerten Proben, in denen viel abgebaut werden konnte bis zu kaum gelagerter Ware mit vergleichsweise geringerem Abbau. Ähnliche Unterschiede bestehen für die Proben der Messreihe 32. Da alle Proben der drei Messreihen relativ genau zwei Monate nach der Probennahme aufgearbeitet und analysiert wurden, ist der Abbau, der in dieser Zeit stattfand, für alle Proben verhältnismäßig gleich. Deshalb können beobachtete unterschiedliche Pigmentgehalte tatsächlich auf die Dauer der Lagerung zurückgeführt werden.

Die in Abhängigkeit von dem Zeitpunkt des Cancheamento bestimmten mittleren Gehalte an phytochemischen Merkmalen wurden ebenfalls in einer univariaten Varianzanalyse untersucht (zu den Einzelergebnissen, s. Anhang I, Tab. 8-9).

Die statistische Betrachtung unterstützt die Beobachtung, dass die bestimmten Coffeingehalte in den untersuchten Mate cancheada-Proben nicht von den Jahren des Cancheamento abhängig sind, da kein signifikanter Einfluss nachweisbar ist.

Weiterhin unterschieden sich die mittleren Pigmentgehalte in Abhängigkeit von den Jahren des Cancheamento zum Teil deutlich voneinander. Diese beobachteten Schwankungen wurden durch

alters- bzw. lagerungsbedingten Abbau begründet. In der statistischen Auswertung bestätigen sich diese Beobachtungen durch eine signifikante Abhängigkeit (Konfidenzintervall 95 %) der Pigmentgehalte von den Jahren des Cancheamento. Dies bestätigt die Feststellung, dass die Pigmentgehalte für einen Vergleich der Qualität des Mate cancheada nicht in dieser Form erfolgen kann sondern die Dauer der Lagerung in die Beurteilung einbezogen werden muss.

Einfluss der Lagerung

Der Einfluss der Lagerung, dessen Bedeutung bereits im vorherigen Abschnitt angesprochen wurde, wurde in weiteren Analysen genauer untersucht. Aufgrund der bisherigen Ergebnisse war offensichtlich, dass sich die Gehalte der Naturstoffe im Vergleich zu den Gehalten der Pigmente nur geringfügig änderten. Deshalb sollte der Einfluss der Lagerung auf die Gehalte an Gesamtchlorophyll und Carotinoiden genauer untersucht werden. Als Untersuchungsobjekte wurden die Proben der Messreihe 18 sowie Proben der Messreihe 25 ausgesucht und bezüglich der Pigmentgehalte ausgewertet. Um aus Veränderungen in den Gehalten sicher auf einen bestehenden Einfluss der Lagerung schließen zu können, mussten die Proben zwei Voraussetzungen erfüllen:

- Die untersuchten Stichproben mussten aus derselben Grundgesamtheit an Lagerware stammen.
- Die Proben mussten in einem ähnlichen Zeitfenster nach ihrer Ankunft im Labor untersucht werden.

Diese beiden Voraussetzungen trafen für die Proben 1 bis 12 und A, B, D bis L und N der Messreihe 18 und 25 zu. Bei diesen Proben erfolgte das Cancheamento im Mai, Juli oder August 1999. Die Probennahme zur Messreihe 18 fand am 24.08.1999, die zur Messreihe 25 am 26.07.2000 statt. Als diese Proben im Rahmen der Messreihe 18 untersucht wurden, waren sie also seit höchstens drei Monaten gelagert worden. Die Proben der Messreihe 25 repräsentieren die Ergebnisse der Pigmentgehalte, welche nach ca. einem Jahr Lagerung noch nachweisbar waren (s. Abb. 4-31)

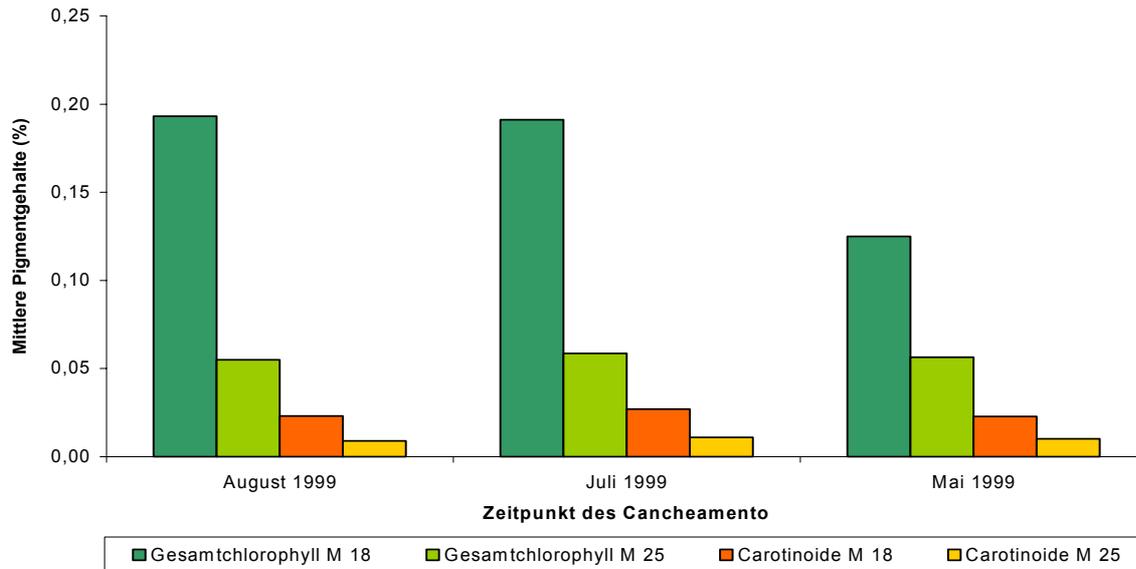


Abb. 4-31: Mittlere Gehalte (%) an Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von Mate cancheada-Proben, die zu Beginn (M 18) und nach einem Jahr Lagerung (M 25) analysiert wurden

Die mittleren Pigmentgehalte, welche für Juli und August 1999 zu Beginn der Lagerung der Proben (entspricht Messreihe 18) bestimmt wurden, stellen den nahezu maximal messbaren Gehalt an Gesamtchlorophyll und Carotinoiden in diesem Mate cancheada dar. Die Ergebnisse, die zu demselben Zeitpunkt für die Proben des Cancheamento im Mai bestimmt wurden, vermitteln die mittleren Pigmentgehalte, welche durch lagerungsbedingten Abbau nach ca. 3 Monaten zu erwarten sind. Sowohl der Chlorophyllgehalt als auch der Carotinoidgehalt nahmen in diesem Zeitpunkt um durchschnittlich 30 % ab. Nach ca. einem Jahr der Lagerung hatten die Gehalte der Pigmente für die Proben des August und Juli 1999 um ca. 70 % abgenommen. Im Vergleich dazu zeigten die entsprechenden Proben des Mai 1999 keine stärkere Gehaltsabnahme. Das bedeutet, dass der lagerungs- bzw. altersbedingte erste schnelle Abbauprozess vermutlich nun in einen langsameren Prozess übergegangen ist, in dem sich Lagerungsunterschiede von drei Monaten bezüglich der Pigmentgehalte relativieren.

Zusammenfassend konnte mit diesen Versuchsreihen folgende Ergebnisse erzielt werden:

- Mate cancheada, in denen das Cancheamento in unterschiedlichen Jahren stattfand, lieferten nahezu gleichbleibende Qualität bezüglich der quantitativen Zusammensetzung der Naturstoffe mit Ausnahme der Pigmente.
- Die Variabilität der Gehalte der untersuchten Stichproben an Naturstoffen ist geringer als im Vergleich zu der biologischen Variabilität der Blätter verschiedener Zweige.
- Die Pigmentgehalte von Mate cancheada werden im Laufe des ersten Lagerungsjahres um ca. 70 % ihres Ausgangswerts reduziert.

4.5.2 Zwischenstufen

Nach der Herstellung des Mate cancheada wird ein Teil dieses Zwischenprodukts zu dem chimarrão weiterverarbeitet. Dieser ebenfalls firmenspezifische Teil der Produktion besteht aus mehreren Zerkleinerungs-, Sortier- und Mahlschritten, aus denen die drei Produktzwischenstufen „folha“, „goma“ und „po“ (s. Kap. 4.5) hervorgehen. „Folha“ entsteht durch einen Feinschnitt von Mate cancheada. In der Größe ist das resultierende Gut weitestgehend mit dem Blattmaterial in hiesigen Teebeuteln vergleichbar. „Goma“ und „po“ sind zwei Pulver, die durch Vermahlen unterschiedlicher Stängelanteile zusammen mit Mate cancheada entstehen. Der Kooperationspartner Baldo nutzt zur Produktion dieser Zwischenstufen drei Anlagen, die an den Orten Sao Mateus, Canoinhas und Matriz lokalisiert sind.

Ziel der Untersuchung der Zwischenstufen war es, folgende Fragen zu beantworten:

1. Inwieweit unterscheiden sich die verschiedenen Zwischenstufen bezüglich der Gehalte der untersuchten Parameter?
2. Besteht eine Abhängigkeit der bestimmten Gehalte von dem Zeitpunkt der Probennahme bzw. dem Erntezeitpunkt?
3. Besteht eine Abhängigkeit zwischen den bestimmten Gehalten und den Produktionsstätten, an denen die Proben genommen wurden?
4. In welchen Variabilitätsbereichen bewegen sich die gemessenen Gehalte im Vergleich zu den für Mate cancheada bestimmten Variabilitätsbereichen?

Die Untersuchungen wurden so angelegt, dass im November 1999 (Messreihe 19), im Februar 2000 (Messreihe 24) und im Juni 2001 (Messreihe 31) jeweils Proben der verschiedenen Zwischenstufen an den drei genannten Produktionsstätten gezogen wurden. Weitere Informationen und Gehalte finden sich entsprechend den Probennummern im Anhang I in Tab. 8-3 bzw. in Tab. 8-5.

Die Ergebnisse der bestimmten Gehalte werden in Abhängigkeit von den drei verschiedenen Zwischenstufen und den drei Zeitpunkten der Probennahme für den Produktionsort Canoinhas (s. Abb. 4-32) dargestellt. Für die beiden weiteren Produktionsstätten führten solche Auswertungen zu vergleichbaren Ergebnissen.

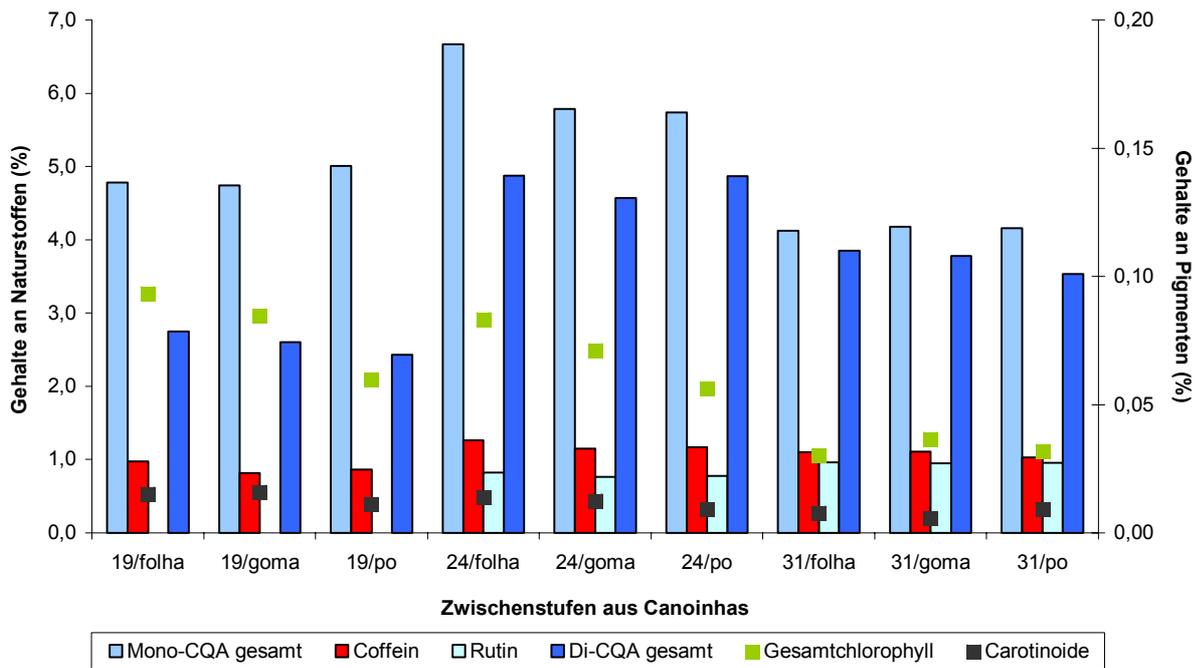


Abb. 4-32: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Zwischenstufen folha, goma und po der Produktionsstätte Canoinhas mit den Daten der Probennahme November 1999 (19), Februar 2000 (24) und im Juni 2001 (31)

Die Verknüpfung der ermittelten Naturstoffgehalte mit der Art der drei Zwischenstufen zeigt, dass sich diese kaum voneinander unterscheiden. Im Gegensatz dazu nehmen die Pigmentgehalte von folha nach po und damit mit zunehmendem Stängelanteil ab. Die deutlich geringeren Pigmentgehalte der Proben 31/ von Juni 2001 resultieren daher, dass die Proben im Unterschied zu den anderen nicht direkt im Monat der Probennahme analysiert wurden sondern erst einige Zeit später. Während dieser Verzögerung wurden die Pigmente der Messreihe 31 abgebaut.

Der Vergleich der Ergebnisse bezüglich der Zeitpunkte der Probennahme macht saisonbedingte Unterschiede zwischen den Proben deutlich. Die Proben der drei Messreihen stammten aus verschiedenen Ernten, weshalb zu erwarten war, dass sich die Naturstoffgehalte unterscheiden. In diesem Vergleich lieferten die Proben des Februar 2000 deutlich höhere Gehalte an Caffeoylchinasäuren als die anderen Proben. Die Proben, die im Juni 2001 genommen wurden, akkumulierten vergleichbare Mengen an beiden Caffeoylchinasäurederivaten. In den Coffeingehalten zeichneten sich dagegen keine deutlichen Unterschiede ab.

Aufgrund der Gleichwertigkeit der Zwischenstufen ist es möglich, den Vergleich der Produktionsorte auf der Basis der Mittelwerte der Zwischenstufen, die am selben Ort und zur gleichen Zeit genommen wurden, durchzuführen. Da keine deutlichen Unterschiede zwischen den Produktionsstätten zu beobachten waren, werden in Abb. 4-33 beispielhaft die mittleren Gehalte der phytochemischen Parameter für alle Proben, die im November 1999 genommen wurden, nach Produktionsorten getrennt dargestellt.

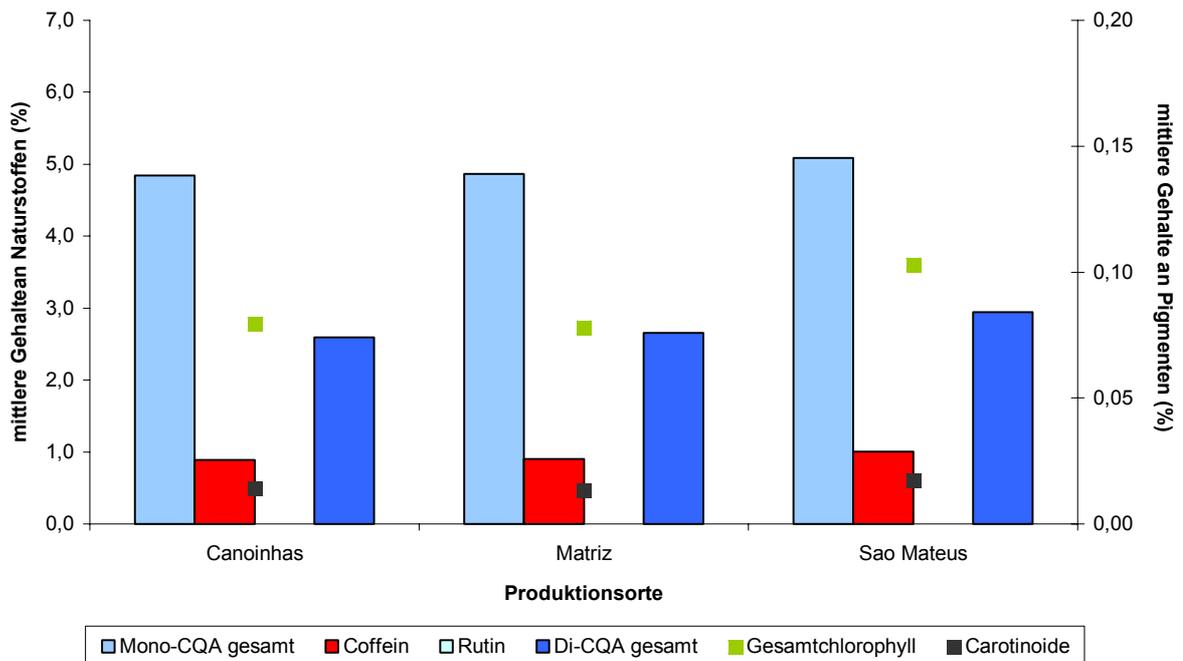


Abb. 4-33: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden aller Proben, die in den Produktionsstätten Canoinhas, Matriz und Sao Mateus im November 1999 genommen wurden (Messreihe 19)

Aufgrund des Ergebnisses, dass sich die Zwischenstufen, welche zu demselben Erntezeitpunkt an verschiedenen Produktionsorten hergestellt wurden, nicht unterscheiden, wurden die Variabilitätsbereiche auf der Basis des Datums der Probennahme bestimmt. Denn nur in diesem Punkt waren Unterschiede zwischen den Proben beobachtet worden. Abb. 4-34 gibt die Mittelwerte der Gehalte aller Proben sowie deren Standardabweichungen als Maß der Streuung in Abhängigkeit vom Datum der Probennahme wieder.

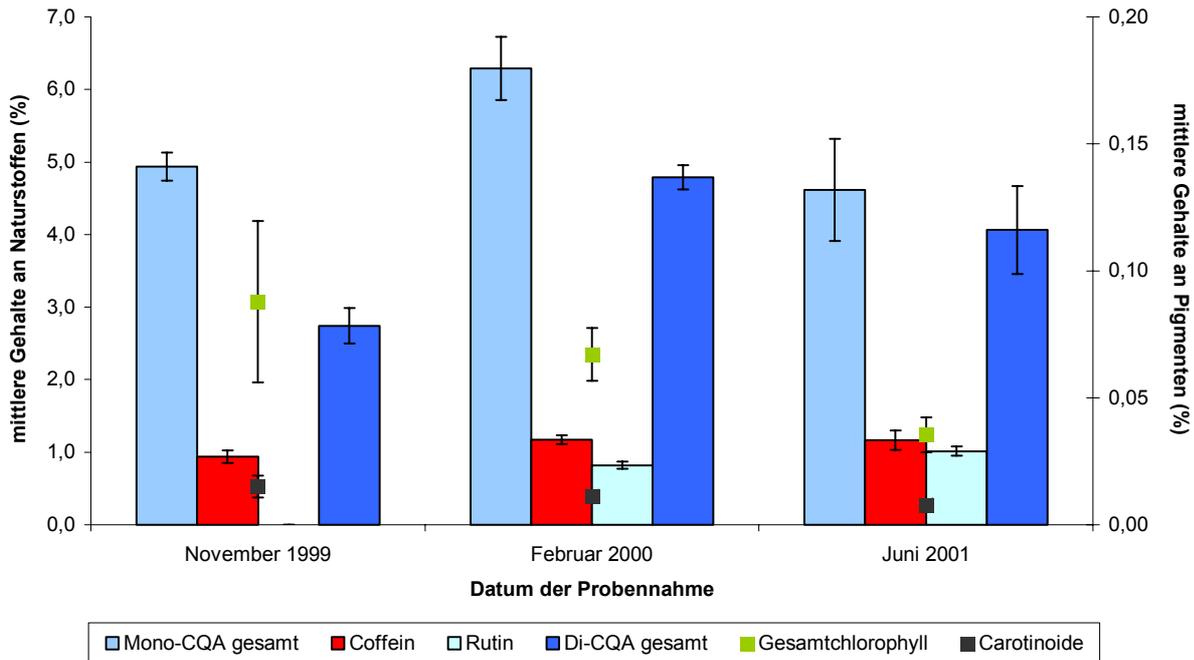


Abb. 4-34: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden aller Proben in Abhängigkeit vom Datum der Probennahme sowie deren Standardabweichungen ($n = 8$) als Maß der Streuung

Die Standardabweichungen, welche als Maß der Streuung eingesetzt wurden, um die Schwankung der Gehalte um den Mittelwert zu beurteilen, zeigen, dass die Variabilität der gemessenen Gehalte bis auf drei Ausnahmen relativ gering ist. Diese drei Ausnahmen sind in einzelnen Werten begründet: die breite Variabilität des Gesamtchlorophyll im November 1999 ist auf den Gehalt der folha-Probe aus Sao Mateus zurückzuführen. Dieser Gehalt lag mit 0,16 % deutlich über dem Mittelwert. Die etwas breiteren Bereiche der Caffeoylchinasäuren der Proben im Juni 2001 sind auf die Gehalte der beiden Proben aus Matriz zurückzuführen. Auch sie lagen mit jeweils über 5 % deutlich über dem Mittelwert. Verglichen mit den Variabilitätsbereichen, die für Mate cancheada ermittelt wurden, sind die hier bestimmten Bereiche wiederum kleiner. So lag der durchschnittliche Coffeingehalt bei Mate cancheada im Bereich von 0,7 bis 1,7 %, während bei den Zwischenstufen ohne Beachtung des Erntezeitpunkts ein Bereich von 1,0 bis 1,3 % Coffein bestimmt wurde.

Damit kann zusammengefasst werden, dass die Produktionsprozesse des Mischens und Mahlens, welche zu Mate cancheada und den Zwischenstufen folha, goma und po führen, sehr einheitlich verlaufen. In beiden Schritten wird eine große Menge an Material in offensichtlich sehr gleichmäßigen Verfahren so verarbeitet, dass die entstehenden Produkte sich in den Gehalten z.B. von Coffein kaum unterscheiden. Für die weiteren Parameter trifft diese Beobachtung ebenfalls zu. Für die Gehalte an Caffeoylchinasäuren kann zwar eine größere Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt beobachtet werden, die sich in breiteren Variabilitätsbereichen äußert. Dennoch sind auch diese Bereiche kleiner als z.B. die von Mate cancheada (z.B. im Durchschnitt 4,8 bis 6,0 % Monocaffeoylchinasäuren in den Zwischenstufen gegenüber 4,9 bis 7,1 % in Mate cancheada).

4.5.3 Vergleich verschiedener Handelswaren

Bis zu diesem Punkt wurden verschiedene, im Verarbeitungsprozess auftretende Produktstufen untersucht – bis auf die fertige Handelsware. Hier sind drei verschiedene Produktarten zu unterscheiden. Zum einen wird aus den im vorigen Kap. beschriebenen Zwischenstufen chimarrão gemischt. Die genaue Mischung ist das Geheimnis eines jeden Herstellers. Das führte zu der Frage, in wie weit sich die Produkte verschiedener Hersteller voneinander unterscheiden, zumal auch die Trocknung des geernteten Pflanzenmaterials variiert.

Bei den beiden anderen Produktarten handelt es sich um grünen und gerösteten Mate-Tee. Diese entstehen ebenfalls aus Mate cancheada und werden hauptsächlich produziert, um sie nach Übersee zu exportieren. Grüner Mate-Tee entsteht nach einem Zerkleinerungsschritt direkt aus Mate cancheada. Für gerösteten Mate-Tee schließt sich noch der Produktionsschritt des Röstens an. Die in diesem Rahmen untersuchten Proben stammten von dem zweiten Kooperationspartner, der Firma Bad Heilbrunner. Diese Kooperation bot die Möglichkeit, Proben in die Analytik einzubinden, die eine völlig andere Herkunft aufwiesen und auch anders verarbeitet wurden, als das bisher untersuchte Material. Damit sollte ein Überblick darüber geliefert werden, ob sich solche Unterschiede auch in den Produkten widerspiegeln. Im Einzelnen interessierte auch die Frage, in wie weit sich die zur Verfügung gestellten Proben der beiden Produktarten, welche aus verschiedenen Erntejahren stammten, voneinander unterscheiden.

Vergleich von chimarrão-Produkten

Um Unterschiede zwischen verschiedenen chimarrão-Handelswaren festzustellen, wurden sechs verschiedene Produkte analysiert. Zwei („Baldo“ und „Canarias“) dieser sechs stammten von dem Kooperationspartner Baldo, wobei die als „Canarias“ bezeichnete Ware in Uruguay verkauft wird. Das Produkt „Arminio“ stammte ebenfalls von einem brasilianischen Hersteller. Die anderen drei chimarrão-Produkte „Sara rot“, „Sara blau“ (benannt nach dem Aussehen der Verpackung) und „La Mulata“ stammten von Herstellern aus Uruguay. Diese sechs Handelswaren wurden um zwei Produkte des zweiten Kooperationspartners Bad Heilbrunner ergänzt. Da diese keinen chimarrão produzieren, wurde hier grüner Mate-Tee, lose sowie als Teebeutel konfektioniert, untersucht (Ergebnisse s. Abb. 4-35). Weitere Probeninformationen sind im Anhang I in Tab. 8-4, die bestimmten Gehalte in Tab. 8-5 unter den Probennummern 26/ nachzulesen.

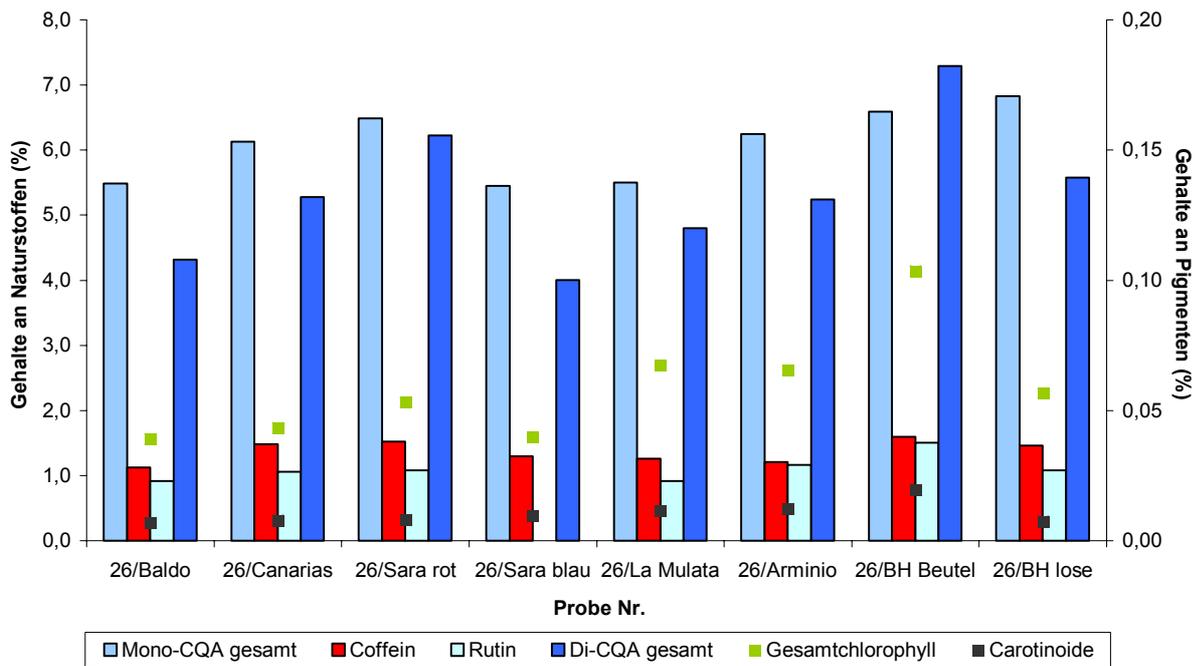


Abb. 4-35: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von sechs chimarrão-Handelswaren verschiedener Hersteller sowie von zwei Sorten grünen Mate-Tees von Bad Heilbrunner (BH) (Messreihe 26)

Der Vergleich der Einzelergebnisse zeigt, dass das Produkt der Firma Baldo nicht von der Zusammensetzung der anderen Handelswaren abweicht, die ebenfalls in Südamerika produziert wurden. Zufälligerweise entsprechen die bestimmten Gehalte des Baldo-Produkts denen des Produkts „Sara blau“ bis auf den Rutingehalt fast genau. Insgesamt markierten diese beiden Produkte die untere Grenze der für alle Produkte gefundenen Gehalte. Die obere Grenze wurde von den Produkten der Firma Bad Heilbrunner bestimmt.

Die verschiedenen chimarrão-Handelswaren wurden von Baldo zusätzlich qualitativ bewertet. Tab. 4-15 nennt neben den Probenamen die genauen Produktbezeichnungen sowie die Bewertungen von Baldo.

Tab. 4-15: Vollständige Bezeichnung der untersuchten chimarrão-Handelswaren unter Nennung der Probennummern und der Bewertung durch Baldo

Proben Nr.	Bezeichnung der Handelsware	Bewertung durch Baldo
26/Baldo	Yerba Mate tipo exportacion	der Beste
26/Canarias	Yerba Mate tipo P.U. 1, super extra	-
26/Sara rot	Yerba Mate Sara P.U. 1	durchschnittlich
26/Sara blau	Yerba Mate Sara Suave, super extra	schlecht
26/La Mulata	Yerba Mate La Mulata, super extra	ganz trinkbar, durchschnittliche Qualität
26/Arminio	Yerba Mate Arminio	sehr schlecht

Die Verknüpfung der Analyseergebnisse mit diesen Bewertungen zeigt, dass kein direkter Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern gefunden werden konnte. Es war festgestellt worden, dass das Produkt von Baldo quantitativ gut mit dem Produkt „Sara blau“ vergleichbar war. Das Baldo-Produkt wurde als „das Beste“, „Sara blau“ dagegen als „schlecht“ bewertet. Geschmacks- und Qualitätsbewertungen sind sehr subjektiv. Sie stimmen – zumindest in diesem Fall – nicht mit den Ergebnissen der Analytik überein.

Grüner Mate-Tee von Bad Heilbrunner

Im Bereich der Analyse der zweiten Gruppe an Handelswaren wurden insgesamt 19 verschiedene Chargen (Messreihe 29) untersucht, die von der Firma Bad Heilbrunner zur Verfügung gestellt worden waren. Als erste Produktart wurden neun Proben grünen Mate-Tees analysiert. Das zugrunde liegende Material stammte ebenfalls aus Brasilien und wurde in den Jahren 1996 bis 2000 geerntet. Für die Erntejahre 1997 und 1998 wurden von Bad Heilbrunner Stichproben von zwei bzw. vier verschiedenen Chargen der Handelsware entnommen. Ein Überblick über die Probeninformationen gibt Tab. 8-4 des Anhangs I unter den Probennummern 29/01 bis 29/19. Die Gehalte der untersuchten Proben sind im Anhang I in Tab. 8-5 angegeben.

Da die Gehalte der Chargen derselben Erntejahre für die Caffeoylchinasäuren um höchstens 1 % und für Coffein um höchstens 0,5 % differierten, wurden diese Einzelergebnisse zum Vergleich mit den Ergebnissen der anderen Erntejahre gemittelt (s. Abb. 4-36). Zusätzlich wurden der Abb. die Gehalte des chimarrão von Baldo (s. vorheriger Abschnitt) hinzugefügt.

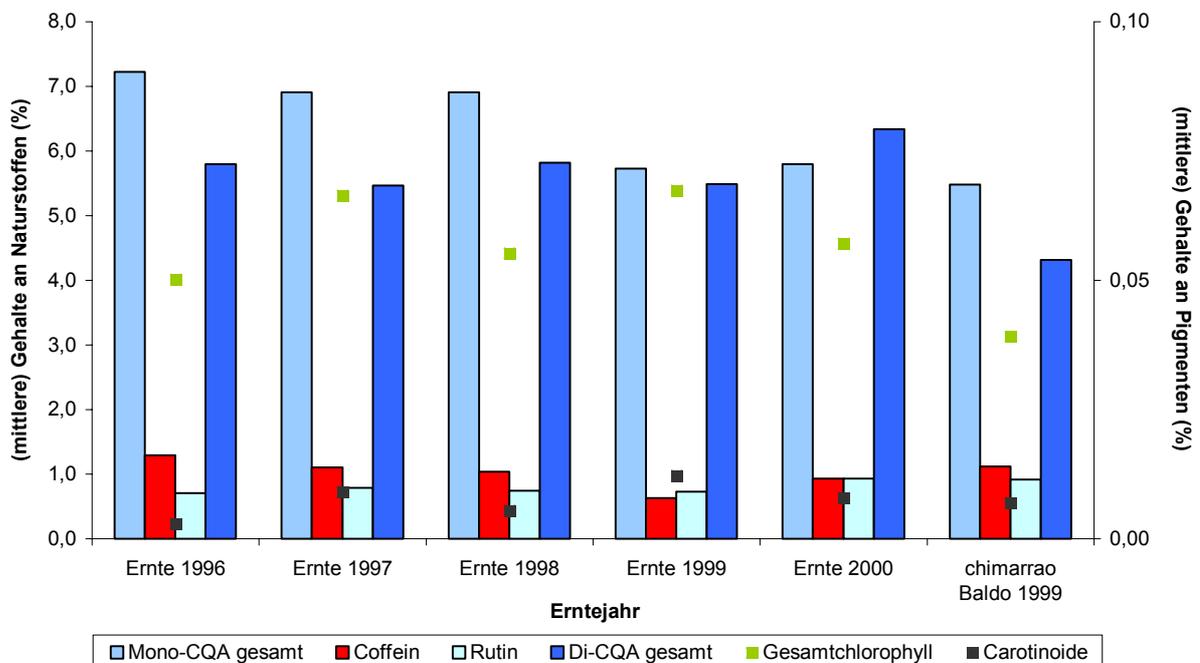


Abb. 4-36: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von neun Proben grünen Mate-Tees, die aus Ernten der Jahre 1996 bis 2000 in Brasilien stammten – für die Jahre 1997 und 1998 sind Mittelwerte aus zwei bzw. vier Proben dargestellt (Messreihe 29) – im Vergleich zu den entsprechenden Gehalten einer chimarrão-Handelsware (Ernte 1999) von Baldo

Die zum Teil gemittelten Gehalte der Stichproben der Erntejahre 1996 bis 1998 stimmen mit Ausnahme der Pigmente gut überein. In den beiden darauf folgenden Erntejahren wurden niedrigere Gehalte an Monocaffeoylchinasäuren gemessen, während die Gehalte an Dicaffeoylchinasäuren für alle untersuchten Erntejahre gut vergleichbar waren. Der Coffeingehalt lag für die meisten analysierten Erntejahre bei ca. 1 %. Nur für das Jahr 1999 wurde weniger Coffein bestimmt. Dieses Ergebnis könnte jedoch zufällig sein, da für dieses Erntejahr nur eine Stichprobe zu Verfügung stand. Für die Pigmentgehalte wurden kaum Übereinstimmungen festgestellt. Dies ist vermutlich in den klimatischen Bedingungen der Erntejahre sowie dem altersbedingten Abbau begründet. Diesbezüglich wäre zu erwarten gewesen, dass Proben der früheren Jahre niedrigere Gehalte an Pigmenten aufweisen. Dies ist anhand der hier gemessenen – zum Teil Einzel- – Ergebnisse höchstens als Tendenz zu beobachten.

Da der von Baldo produzierte chimarrão im November 2000 geliefert wurde, wird angenommen, dass das zugrundeliegende Pflanzenmaterial im Jahr 1999 geerntet wurde. Grüner Mate-Tee, dessen Pflanzenmaterial im selben Jahr geerntet wurde, unterscheidet sich in den Gehalte an Coffein, Dicaffeoylchinasäuren und an Gesamtchlorophyll von dem brasilianischen Produkt. Der niedrigere Gehalt an Gesamtchlorophyll des chimarrão kann auf den, gegenüber der reinen Blattware des grünen Mate-Tees erhöhten Stängelanteil zurückzuführen sein. Die weiteren Unterschiede könnten mit den unterschiedlichen Wachstumsbedingungen der Erntejahre in Zusammenhang stehen.

Gerösteter Mate-Tee von Bad Heilbrunner

Für die zehn Proben gerösteten Mate-Tees (Messreihe 29) des Kooperationspartners Bad Heilbrunner wurden die in Abb. 4-37 wiedergegebenen Gehalte bestimmt. Auch diese Stichproben stammten aus Brasilien und wurden in den Jahren 1996 bis 2000 geerntet.

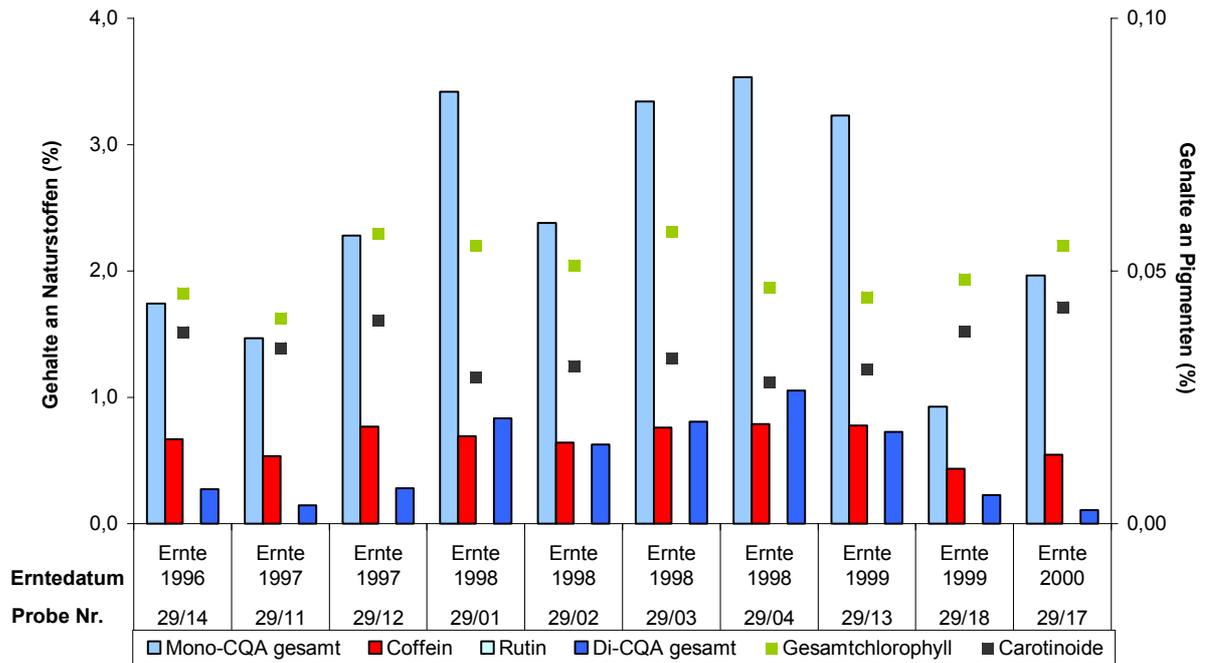


Abb. 4-37: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von zehn Proben gerösteten Mate-Tees, die aus Ernten der Jahre 1996 bis 2000 in Brasilien stammten (Messreihe 29)

Die verschiedenen Proben gerösteten Mate-Tees zeigten sowohl innerhalb desselben Erntejahres als auch in den untersuchten unterschiedlichen Erntejahren große Unterschiede in den Gehalten der analysierten Parameter. So wurden für drei von vier Stichproben des Jahres 1998 und für die Probe aus 1999 vergleichsweise hohe Monocaffeoylchinasäuregehalte bestimmt. Für Probe 18, welche ebenfalls aus dem Jahr 1999 stammte, wurden dagegen auffällig niedrige Gehalte beobachtet. Dadurch liegen die gemessenen Gehalte an phytochemischen Parametern in sehr breiten Bereichen: z.B. wurden für Monocaffeoylchinasäuren Gehalte zwischen 0,9 und 3,4 % gemessen. Die aus den Ergebnissen der Lagerungsversuche abgeleitete Erwartung, dass in älteren Chargen niedrigere Pigmentgehalte nachzuweisen wären als in jüngeren Chargen, kann nicht bestätigt werden. Aufgrund dieser Ergebnisse in Verbindung mit der Bestimmung der nicht-gerösteten, grünen Handelsware kann nur der Schluss gezogen werden, dass der Prozess des Röstens nicht sehr gleichmäßig und reproduzierbar erfolgt.

Vergleich von grünem und geröstetem Mate-Tee

Abschließend sollen die Unterschiede zwischen grünem und geröstetem Mate-Tee einander gegenüber gestellt werden. Für beide Handelswaren wurde fast dieselbe Anzahl Proben untersucht, die aus denselben Erntejahren stammten und auch die Verteilung der Anzahl der Proben innerhalb derselben Erntejahre ist fast identisch. Deshalb kann der Vergleich der beiden Sorten auf der Ebene der Mittelwerte aller Proben erfolgen (s. Abb. 4-38).

Der Vergleich der beiden Handelssorten zeigt, dass es sich um zwei sehr unterschiedliche Produkte handelt, da sich die quantitativen Spektren der phytochemischen Parameter stark voneinander unterscheiden. Caffeoylchinasäuren waren in geröstetem Mate-Tee in deutlich geringeren Mengen enthalten. Das geröstete Material enthielt lediglich etwa 2,4 % Mono- und nur 0,8 % Dicaffeoylchinasäuren. Dagegen wurden in grünem Mate durchschnittlich 6,8 % Mono- und 6,3 % Dicaffeoylchinasäuren bestimmt. Beide Sorten sind nur bezüglich ihres Coffeingehalts (0,7 % in geröstetem, 1 % in grünem Material) vergleichbar. Ähnliche Beobachtungen wurden auch von Ohem (1992) beschrieben.

Der Chlorophyllgehalt der grünen Mate-Proben war gegenüber dem der gerösteten Mate-Proben leicht erhöht. Im Gegensatz dazu war der durchschnittliche Carotinoidgehalt der grünen Proben deutlich niedriger als in gerösteten Teeproben. Der Röstprozess scheint damit spezifischen nur den Abbau der Carotinoide zu verzögert.

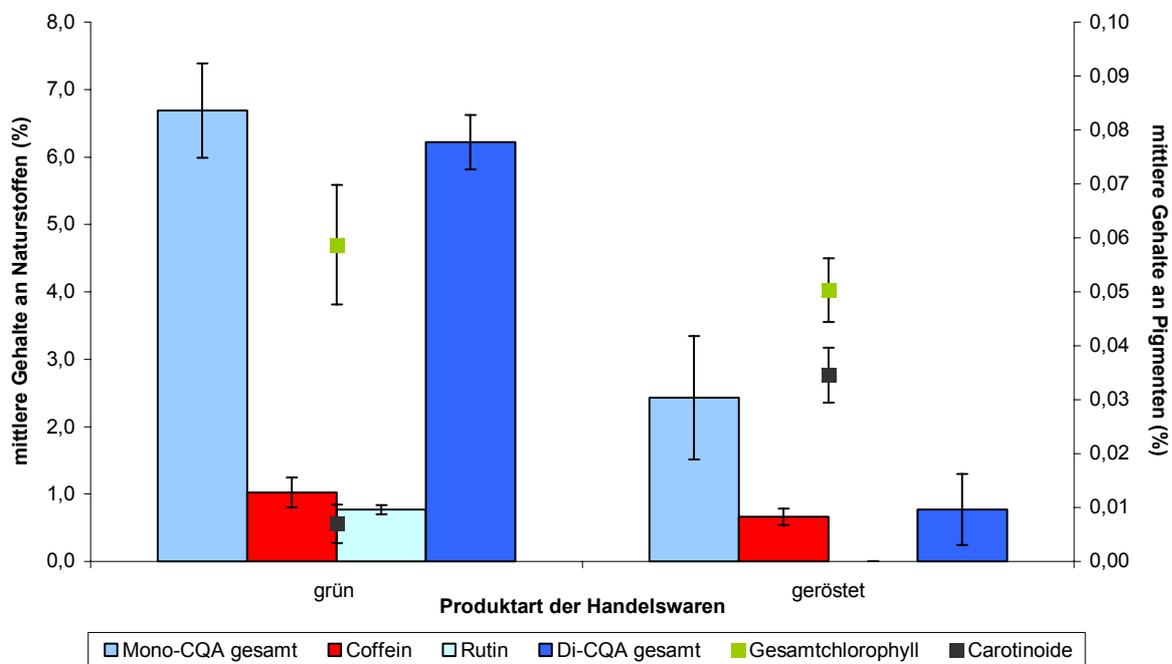


Abb. 4-38: Mittlere Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von neun grünen und zehn gerösteten Proben Mate-Tees der Erntejahre 1996 bis 2000, sowie deren Standardabweichungen als Maß der Streuung (Messreihe 29)

4.5.4 Alternative Trocknungsmethoden

Die Trocknung ist der wichtigste Schritt in der Gewinnung des Mate-Tees. Traditionell wurden die geernteten Zweige über Holzfeuern getrocknet. Damit wird auf vielfältige Weise Einfluss auf das Endprodukt genommen. Ein Einfluss liegt in der Dauer der einzelnen Trocknungsschritte. Ein weiterer Faktor stellt die Wahl der Holzarten für das Feuer dar, da auf diese Weise der Geschmack des Tees beeinflusst wird. Dieser rauchige Geschmack wird in Europa als „ungewohnt“ bewertet (Knöss, 1997). Er wird deshalb auch als eine Ursache benannt, warum sich Mate-Tee nicht so stark auf dem europäischen Markt etablieren konnte (Frohne, 1999). Eine andere Problematik der zur Zeit verwendeten Trocknungsmethode liegt darin, dass mit den Trocknungsfeuern große Mengen heimischen Holzes verbraucht werden. Schließlich werden jeden Monat mehrere tausend Tonnen Mate-Tee allein in Brasilien produziert. Unter dem Aspekt der Erhaltung natürlicher Ressourcen ist diese Art der Trocknung ökologisch nicht zu verantworten.

Diese Überlegungen führten dazu, der Frage nach einer alternativen Form der Trocknung nachzugehen und einen entsprechenden Versuch (Messreihe 34) mit Blattmaterial von *Ilex paraguariensis*-Pflanzen, die im institutseigenen Gewächshaus angezogen wurden, zu planen. Es sollte gezeigt werden, dass mit einer anderen Form der Trocknung vergleichbare Ergebnisse bezüglich der Gehalte an phytochemischen Parametern erzielt werden könnten. Die wichtigste Voraussetzung für die Planung und Anlage des Versuchs war dabei wiederum das in Kap. 4.4.2 dargestellte Ergebnis: die Gehalte der untersuchten phytochemischen Parameter einzelner Blätter desselben Zweiges sind wenig variabel; vielmehr produzieren solche Blätter sehr ähnliche Gehalte. Deshalb wurde der Versuch so geplant, dass fünf Blätter (A bis E) von je einem Zweig (I bis III) von drei verschiedenen *Ilex paraguariensis*-Pflanzen getrocknet und phytochemisch untersucht wurden (s. Abb. 4-39).

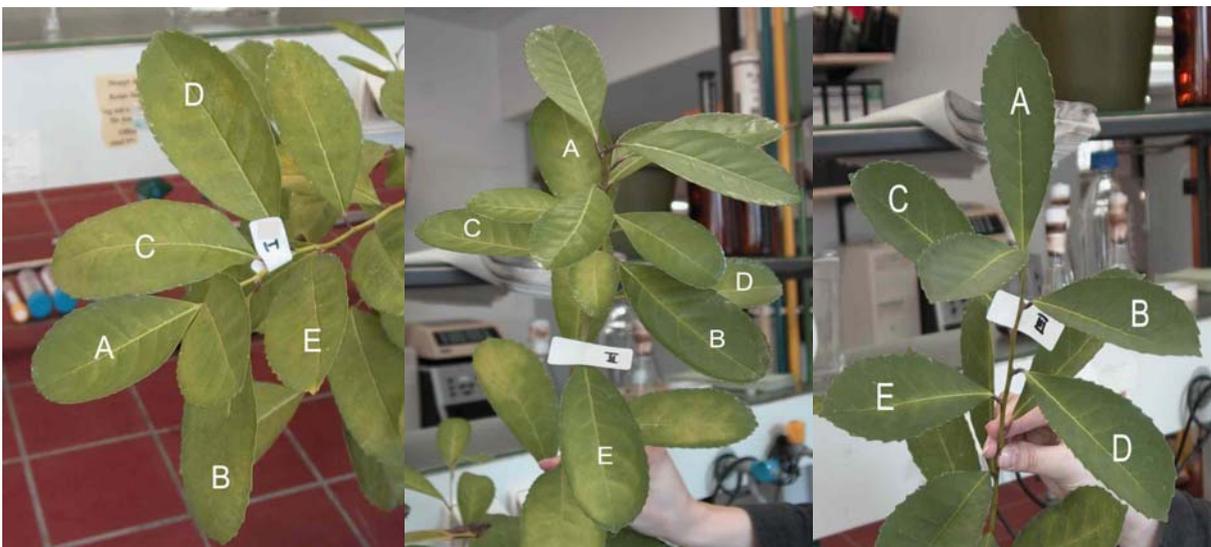


Abb. 4-39: Drei *Ilex paraguariensis*-Zweige (I- links, II- Mitte, III- rechts), von denen jeweils fünf Blätter (A-E, beschriftet) unter verschiedenen Bedingungen getrocknet wurden

Die einzelnen Blätter wurden zuerst verschiedenen Trocknungen unterzogen. Bei der Auswahl der Blätter wurde darauf geachtet, das bzw. die jüngsten Blätter nicht in den Versuch einzubeziehen. Als Referenz wurde entsprechend den Arbeiten von Brieger (1995) ein Blatt (A) im Trockenschrank getrocknet. Als alternative Formen wurden Infrarot (IR)-Trocknungen unter verschiedenen Bedingungen mittels einer Feuchtebestimmungswaage durchgeführt (s. Kap. 3.4.1). Diese Waage verfügt über eine vollautomatische Endpunktbestimmung der Trocknung bzw. Wägung sowie über ein Standard- und ein Schnelltrocknungsprogramm. Die genauen Trocknungsbedingungen werden in Tab. 4-16 beschrieben.

Tab. 4-16: Übersicht über die Trocknungsmethoden und -bedingungen, die für fünf *Ilex paraguariensis*-Blätter (A-E) angewendet wurden

Blatt Nr.	Trocknungsmethode	Trocknungsbedingungen
A	Trockenschrank	110 °C, 120 min.
B	Standard-IR-Trocknung	110 °C, ca. 21 min (=vollautomatisches Ende)
C	Standard-IR-Trocknung	110 °C, 11,5 min. (=halbe Dauer von B)
D	Standard-IR-Trocknung	110 °C, 42 min. (= doppelte Dauer von B)
E	Schnell-IR-Trocknung	110 °C, max. 25 min. (=vollautomatisches Ende)

Als beispielhafte Ergebnisse der Analysen der Naturstoffgehalte sind in Abb. 4-40 die Gehalte der Mono- und Dicafeoylchinasäuren sowie in Abb. 4-41 die Coffeingehalte (weitere Gehalte s. Tab. 8-5) wiedergegeben:

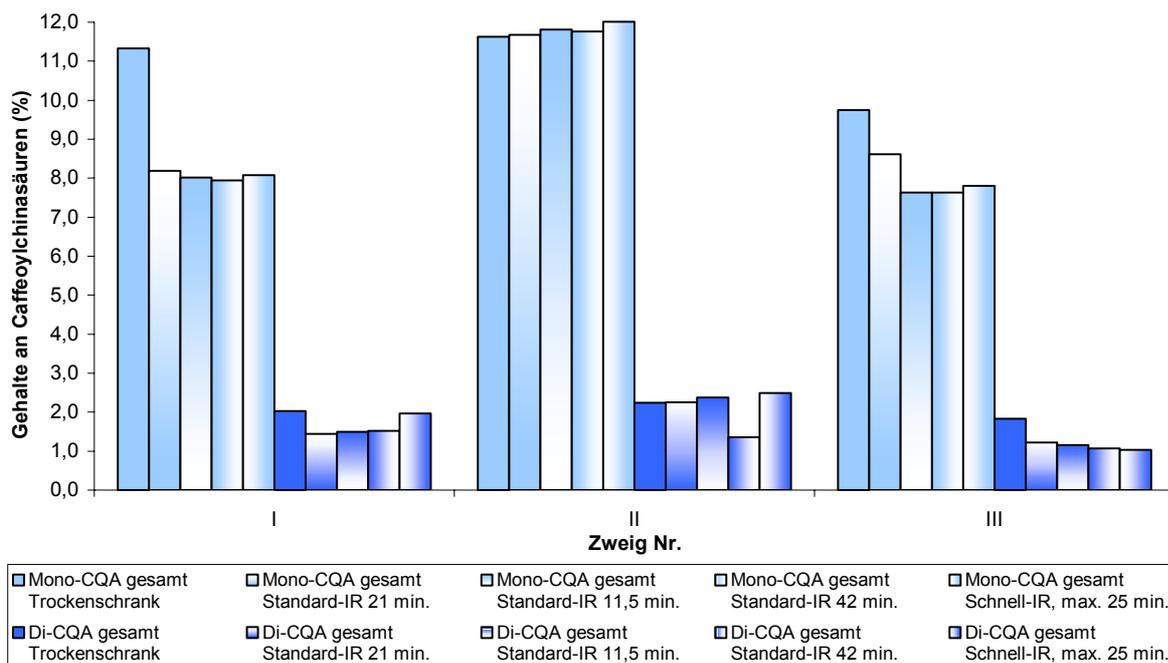


Abb. 4-40: Gehalte (%) an Mono- und Dicafeoylchinasäuren von fünf Blättern dreier verschiedener Zweige (I bis III), die nach unterschiedlichen Methoden und Bedingungen getrocknet wurden (Messreihe 34)

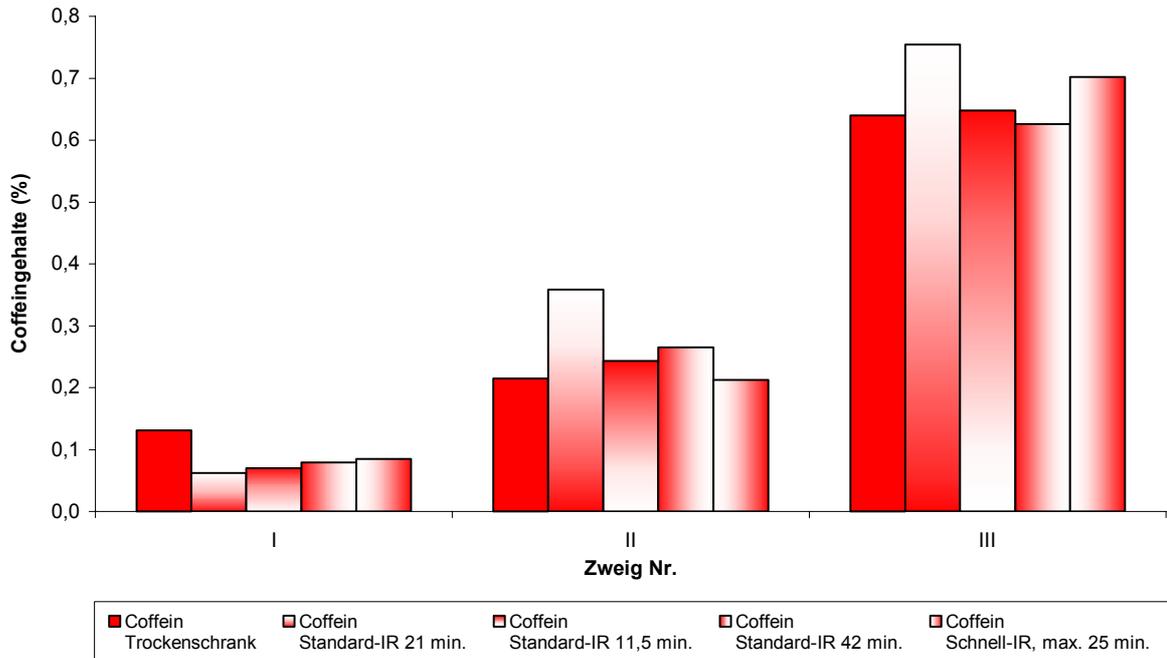


Abb. 4-41: Coffeingehalte (%) von fünf Blättern dreier verschiedener Zweige (I bis III), die nach unterschiedlichen Methoden und Bedingungen getrocknet wurden (Messreihe 34)

Der Vergleich der Ergebnisse in Bezug auf die Trocknungsmethoden und -bedingungen zeigt, dass diese sich nicht deutlich voneinander unterscheiden. Durch die Referenzmethode, nach der jedes Blatt A im Trockenschrank getrocknet wurde, wurde der durchschnittliche Gehalt der Blätter des untersuchten Zweiges bestimmt. So akkumulierten z.B. in Zweig II ca. 11 % Monocaffeoyl- und gut 2 % Prozent Dicafeoylchinasäuren. Die Analysen der anderen vier Blätter des Zweiges II, welche nach unterschiedlichen IR-Bedingungen getrocknet wurden, führten ebenfalls alle zu diesem Ergebnis. Da in Zweig I nur für das erste Blatt 12 % Monocaffeoylchinasäuren gemessen wurden, während für alle anderen Blätter 8 % bestimmt wurden, wird hier von einem Ausreisser ausgegangen. Die Gehalte an Dicafeoylchinasäuren dieser fünf Blätter sind gut vergleichbar.

Darüber hinaus bestätigen die hier gemessenen Gehalte an Dicafeoylchinasäuren die Beobachtung, dass Pflanzen, die unter in Deutschland geltenden Bedingungen angezogen wurden, geringe Mengen an dieser Substanzgruppe akkumulieren. Während für südamerikanische Blätter durchschnittlich 6 % zu erwarten sind, konnten in Blättern aus eigener Anzucht maximal 2,8 % nachgewiesen werden. Die Monocaffeoylchinasäuregehalte stimmen mit den Ergebnissen für südamerikanische Blätter gut überein.

Auch die Pigmentgehalte verändern sich in Abhängigkeit von der Art der Trocknungsmethode nicht (s. Abb. 4-42).

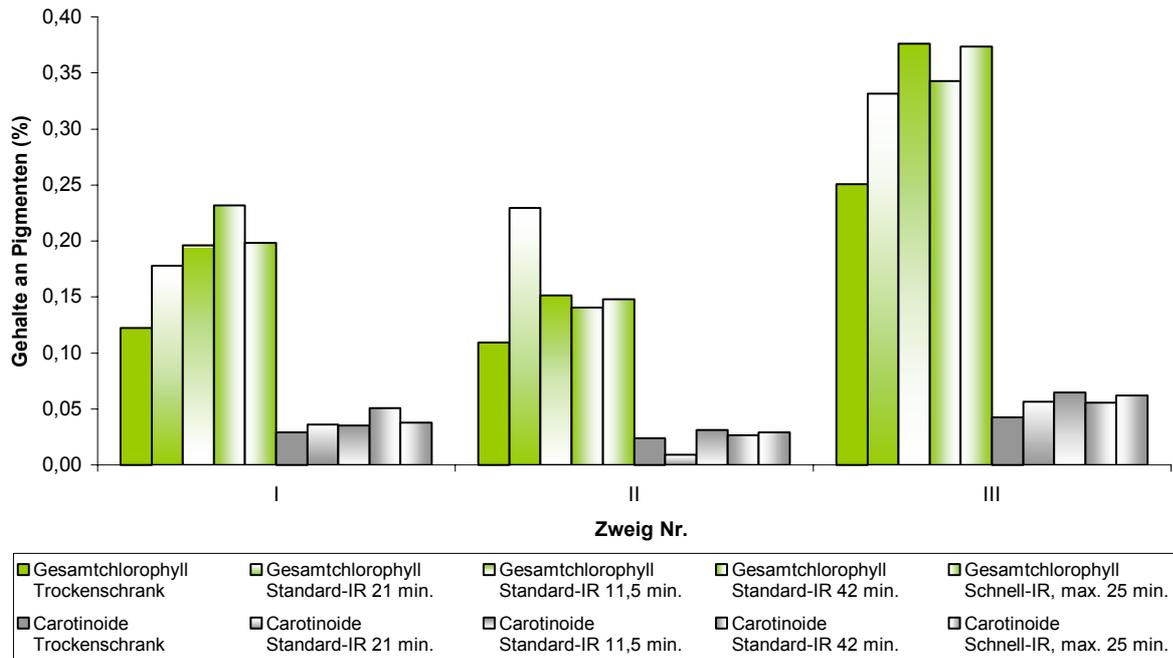


Abb. 4-42: Gehalte (%) an Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von fünf Blättern dreier verschiedener Zweige, die nach unterschiedlichen Methoden und Bedingungen getrocknet wurden (Messreihe 34)

Alle Blätter eines Zweiges bildeten ungefähr den gleichen Gehalt an Gesamtchlorophyll bzw. Carotinoiden. Darüber hinaus bildeten die Blätter des dritten Zweiges deutlich höhere Pigmentgehalte als die Blätter der anderen beiden Zweige. Im Durchschnitt wurden 0,3 % Gesamtchlorophyll und 0,06 % Carotinoide in jedem Blatt des Zweiges III gebildet. Der mittlere Gehalt der Blätter der anderen beiden Zweige betrug 0,18 % Gesamtchlorophyll und 0,03 % Carotinoide. Diese Gehalte fielen damit um ein Drittel niedriger aus als die Gehalte des dritten Zweiges. Zumindest bezogen auf die Gehalte an Gesamtchlorophyll konnten diese Ergebnisse für den dritten Zweig erwartet werden. Schon im optischen Vergleich waren die Blätter dieses Zweiges durch eine deutlich dunkel-grünere Farbe als die anderen untersuchten Blätter aufgefallen (s. Abb. 4-39).

Anhand dieser Versuchsreihe konnte gezeigt werden, dass weder eine Änderung der Trocknungsmethode noch eine Änderung der Trocknungsbedingungen zu einer Änderung der Gehalte der untersuchten phytochemischen Parameter führten.

4.6 Einsatz der Analytik als Qualitätskontrolle

Die Kooperation mit dem brasilianischen Produzenten Baldo erstreckte sich nicht nur auf die Belieferung mit Material zur Erforschung der Variabilität der Gehalte verschiedener phytochemischer Parameter. Zu Beginn der Zusammenarbeit bestand ein erster Schwerpunkt in der Entwicklung einer Methode zur Analyse einer Matrix von Parametern, die auch in der Qualitätskontrolle eingesetzt werden könnte. Diese Versuchsroutine bestand im wesentlichen aus den in Kap. 3.4.4 beschriebenen chromatographischen Methoden sowie der photometrischen Bestimmung der Farbpigmente (s. Kap. 3.4.3)

In diesem Zusammenhang soll anhand von zwei Beispielen verdeutlicht werden, welchen Stellenwert die hier eingesetzte Analytik im Rahmen der Qualitätskontrolle aufweist. Zum einen konnte auch anhand der Analyseergebnisse schnell festgestellt werden, dass eine Probe durch Pilzbefall kontaminiert war. Darüber hinaus soll an dieser Stelle ein im Januar 2003 aufgetretenes Fallbeispiel vorgestellt werden, in dem ein Handelsmuster des Kooperationspartners Baldo untersucht wurde, welches von Seiten der Verbraucher zu Beschwerden geführt hatte.

4.6.1 Analyse von pilzbefallenen Proben

Innerhalb der großen Zahl von Pflanzenproben, die aus Brasilien geschickt wurden, musste im Rahmen der Beschreibung und Fotodokumentation bei einer geringen Anzahl an Proben festgestellt werden, dass diese deutliches Pilzwachstum an den Blättern und Zweigen aufwiesen (s. Abb. 4-43). Innerhalb der chromatographischen Routineanalytik wurde für solche Proben, für die eine Verpilzung zu beobachten war, neben den bisher beschriebenen Naturstoffen Kaffeesäure detektiert. Dabei stieg mit zunehmendem Grad an Verpilzung der Gehalt an Kaffeesäure deutlich an. Kaffeesäure wurde dünnschichtchromatographisch als zusätzliche, auf den ersten Blick erkennbare Bande mit einem Retentionsfaktor 0,89 detektiert (s. Abb. 4-44). Mit der verwendeten HPLC-Methode konnte Kaffeesäure ebenfalls qualitativ und quantitativ (s. Kap. 3.4.4.2) bestimmt werden.



Abb. 4-43: Schimmelpilzspuren an einem zapekierten *Ilex paraguariensis*-Zweig

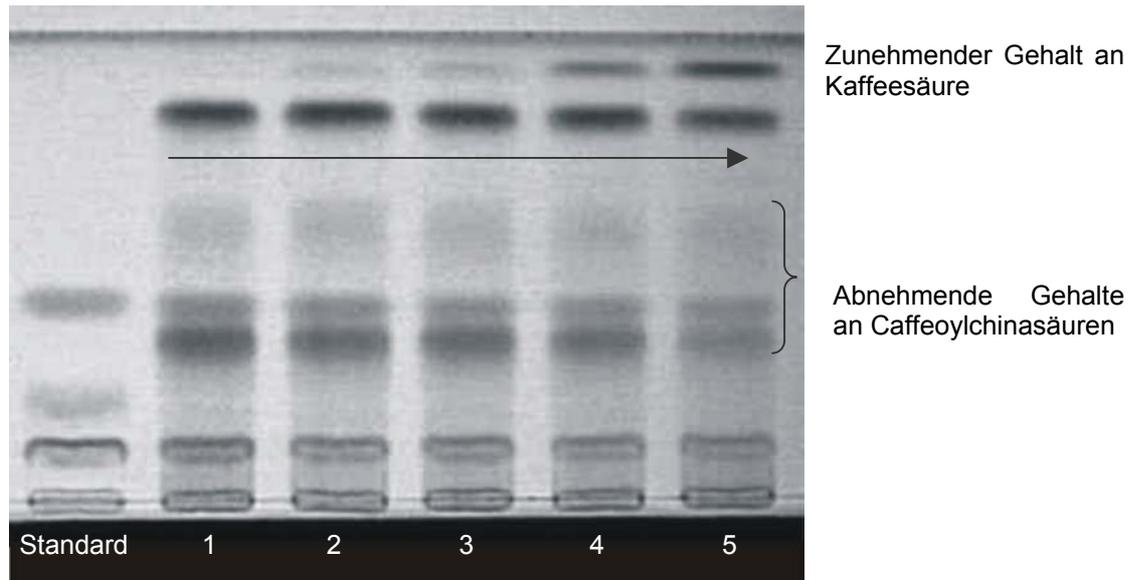


Abb. 4-44: Dünnschichtchromatogramme von fünf Blättern eines Zweiges, in denen aufgrund von Verpilzung des Pflanzenmaterials zunehmende Gehalte an Kaffeesäure und abnehmende Gehalte an Caffeoylchinasäuren nachgewiesen wurden

Solche Kontaminationen waren auch bei der Untersuchungen von Blättern eines Zweiges aufgetreten (s. Abb. 4-44). Das erste analysierte Blatt (1) wies noch keine Kaffeesäure auf. Für die weiteren vier Blätter (2 – 5) konnte neben einer Zunahme an Kaffeesäure eine Abnahme aller Gehalte an Caffeoylchinasäuren beobachtet werden. Die Beobachtung wurde mittels HPLC bestätigt. Aufgrund dieser Ergebnisse wird vermutet, dass die Kontamination des Pflanzenmaterials durch Pilze wie z.B. Schimmelpilze zu einem Abbau der Caffeoylchinasäuren oder zu einer Unterdrückung von deren Biosynthese führen kann. Als Nachweisprodukt würde in beiden Fällen Kaffeesäure akkumulieren. Diese ist im Rahmen der eingesetzten Methoden zur Qualitätskontrolle nachweisbar. Bei Routineuntersuchungen von Produktstichproben im Rahmen der Qualitätskontrolle sollten zur Sicherheit bei einem Nachweis von Kaffeesäure zusätzliche Untersuchungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass das untersuchte Produkt nicht mit Pilzen kontaminiert ist.

4.6.2 Fallbeispiel

Im Januar 2003 wurde die qualitative und quantitative Zusammensetzung von drei chimarrão-Handelswaren der Firma Baldo kontrolliert. Die drei Produkte unterschieden sich nur darin, dass sie in verschiedene Vertriebswege geleitet worden waren. Ein Produkt war nach Australien exportiert worden. Dort führte es jedoch zu einigen Beschwerden, den Geschmack und Geruch betreffend. Deshalb sollte in vergleichenden Analysen überprüft werden, ob die negative Bewertung (in der Abb. als „Beschwerdeprodukt“ bezeichnet) mit einem veränderten Substanzspektrum in Verbindung

gebracht werden könne. Die zum Vergleich mitgelieferten Produkte wurden als „normale“ und „beste“ Qualität bezeichnet.

Die Auswertung der Messergebnisse für die drei Handelswaren zeigt, dass diese sich in den Gehalten ihrer phytochemischen Parameter nicht deutlich voneinander unterscheiden (s. Abb. 4-45).

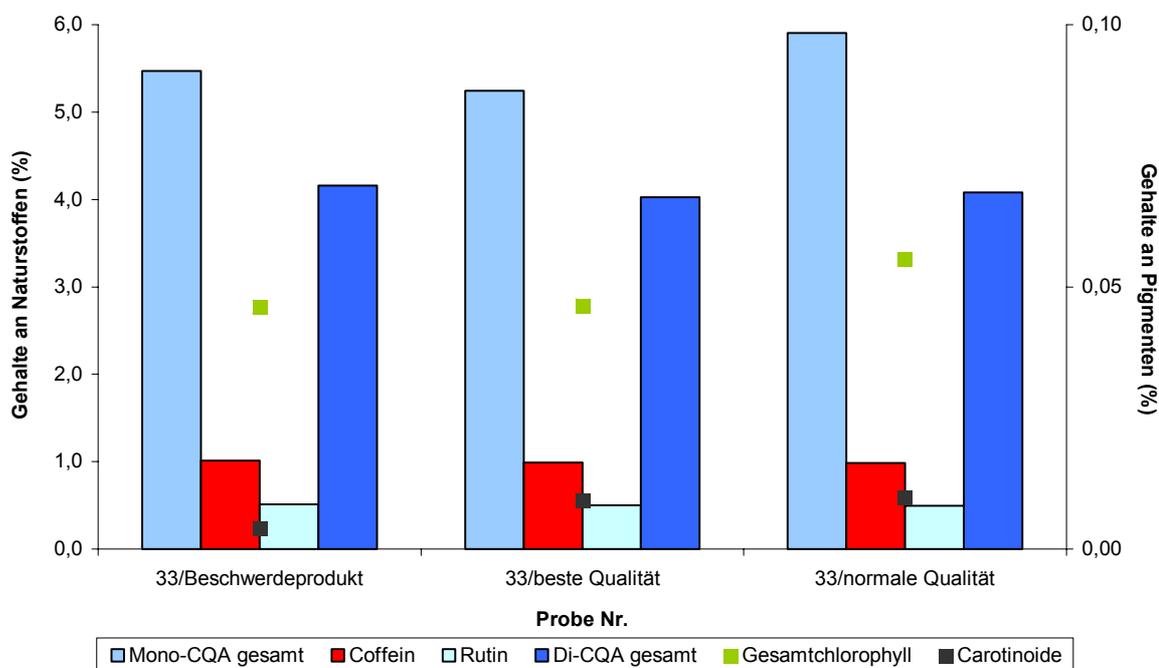


Abb. 4-45: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicafeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von drei chimarrão-Handelswaren, wobei für ein Produkt geschmackliche Beschwerden auftraten und die anderen beiden als Vergleiche dienten, da die Produkte vergleichbar und nur für verschiedene Märkte bestimmt waren (Messreihe 33)

Mittels der Standardanalytik konnten keine Unterschiede zwischen den untersuchten Produkten festgestellt werden. Die bestimmten Monocaffeoylchinasäuregehalte der drei Produkte differierten nur um 0,5 %, die der Dicafeoylchinasäuren in noch geringerem Maß. Für Coffein und Rutin wurden identische Gehalte gemessen. Für die Pigmentgehalte wurden ebenfalls nur kleinste Unterschiede bestimmt.

Eine bei dem Hersteller Baldo in Brasilien durchgeführte mikrobielle Bewertung kam zu dem Ergebnis, dass der schlechte Geschmack durch vorherige Kontamination ausgeschlossen werden könne. Da weder dünnschichtchromatographisch noch mittels HPLC Kaffeesäure nachgewiesen werden konnte (s. Kap. 4.6.1), wird eine Kontamination durch Pilze ebenfalls weitestgehend ausgeschlossen.

Deshalb bestand die Vermutung, dass die Reklamationen, welche der exportierte chimarrão hervorgerufen hatte, auf Umstände des Transports zurückzuführen seien. Das Produkt war in Schiffscontainern nach Australien transportiert worden. Diese Container wurden vom Hersteller mit schwarzer Folie ausgekleidet, um das Produkt besonders zu schützen. Die Container wurden während

des Transports teils auf Deck gelagert und waren so intensiver Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Es besteht daher der Verdacht, dass die schwarze Folie in dieser Zeit Ausdünstungen verursacht hätte. Diese könnten eine Geschmacksveränderung des Produkts bewirkt haben. Aufgrund dessen wurde ein entsprechender Versuch in Brasilien durchgeführt, bei dem schwarze Folie und chimarrão gemeinsam erhitzt worden waren. Dabei konnten keine Geruchsveränderungen bemerkt werden. Ausgehend von diesem Ergebnis wurde vermutet, dass die Geruchsbeeinträchtigung durch ein Entwesungsgas (Methylbromid) hervorgerufen wurde, welches von den australischen Behörden als Schutzmaßnahme eingesetzt wird. Das untersuchte „Beschwerdeprodukt“ fiel jedoch nicht (mehr) durch besonderen Geruch auf. Eine zusätzliche gaschromatographische Untersuchung eines lipophilen Extrakts lieferte auch keine weiteren Hinweise.

Insgesamt ist die hier eingesetzte Qualitätskontrolle deshalb als bedarfsgerecht zu bewerten, welche auch Hinweise auf qualitativ unerwünschte Zustände wie eine mögliche Verpilzung des Produkts liefert. Darüber hinaus ist sie nur begrenzt einsatzfähig, um weitere unerwünschte Ereignisse zu analysieren und zu bewerten. Ein entsprechender Ausbau erscheint hier wünschenswert, wenn nicht gar notwendig.

4.7 Untersuchungen mit Kalluskulturen aus *Ilex paraguariensis*

Die analytischen Untersuchungen haben sich bisher mit differenziertem Gewebe, zumeist in Form von Blättern von *Ilex paraguariensis* beschäftigt. Davon abgesetzt sollten im folgenden Bereich Kalluskulturen dieser Pflanze analysiert werden. Ziel dieser Versuchsreihen war, mittels undifferenzierten Gewebes wie dem Kallus einer Pflanze die Entwicklung der Gehalte an phytochemischen Parametern zu analysieren. Dazu wurden die Wachstumscharakteristika von drei Kulturenreihen aufgenommen und im Anschluss daran die Gehalte des jeweiligen geernteten Kallus bestimmt. In einem zweiten Versuch wurde der Frage nach dem Einfluss der Belichtung auf die Höhe der zu messenden Gehalte in Kalluskulturen nachgegangen. Die erhaltenen Ergebnisse sollten erste Hinweise auf die Möglichkeit der Selektion und Regeneration von Pflanzenmaterial aus Kalluskulturen liefern.

4.7.1 Kalluscharakterisierung

Charakterisierung des Wachstums

Zur Charakterisierung wurde das Wachstum von drei Kulturreihen (Nummer 3, 8 und 16) über insgesamt 48 Tage beobachtet (zur Methode s. Kap. 3.3.2). Weitere Informationen zu den untersuchten Kulturen sind im Anhang I Tab. 8-4 unter der Messreihenbezeichnung K1 zu entnehmen. Abb. 4-46 zeigt die Zunahme des Kallusgewichts jeder Kultur der drei Reihen in Prozent, ausgehend vom Gewicht des jeweiligen Inoculums.

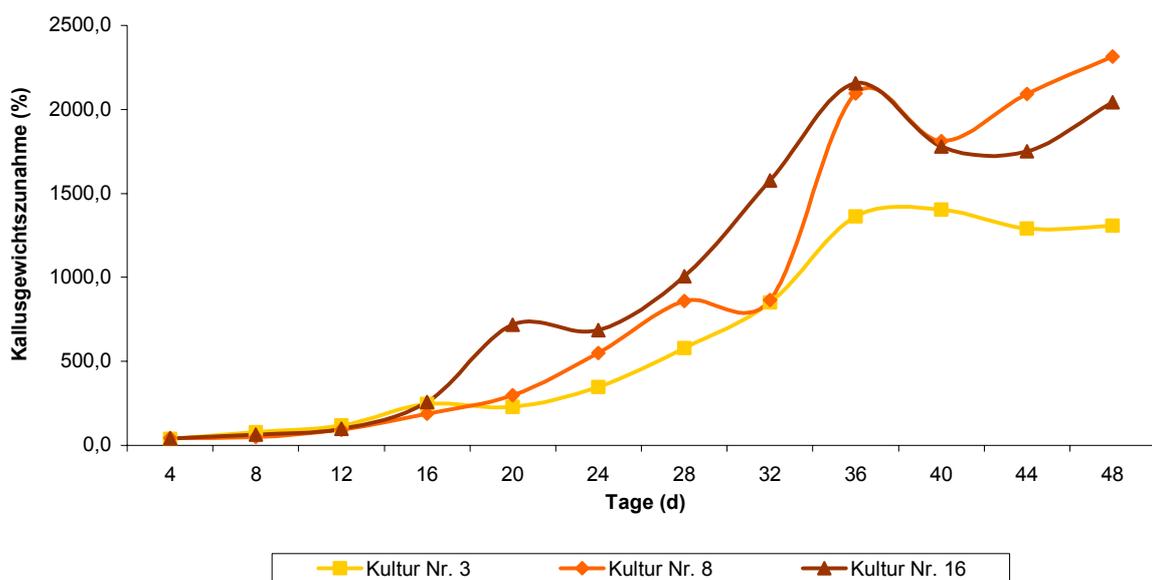


Abb. 4-46: Wachstumscharakteristiken für drei Kalluskulturreihen von *Ilex paraguariensis*, dargestellt als prozentueller Gewichtszunahme ausgehend von Gewicht des jeweiligen Inoculums

Die drei untersuchten Kalluskulturreihen verhielten sich in ihrem Wachstum sehr ähnlich. Jede Kultur zeigte nach etwa fünf Wochen eine maximale Gewichtszunahme, wobei das Wachstum zuvor schon ein erstes Maximum durchlaufen hatte. Danach ging für alle drei Reihen das relative Wachstum wieder zurück. Zum Zeitpunkt des ersten Maximums war die Gewichtszunahme jeder Kultur noch nicht sehr ausgeprägt. Ausserdem variierten die Zeitpunkte des ersten Maximums.

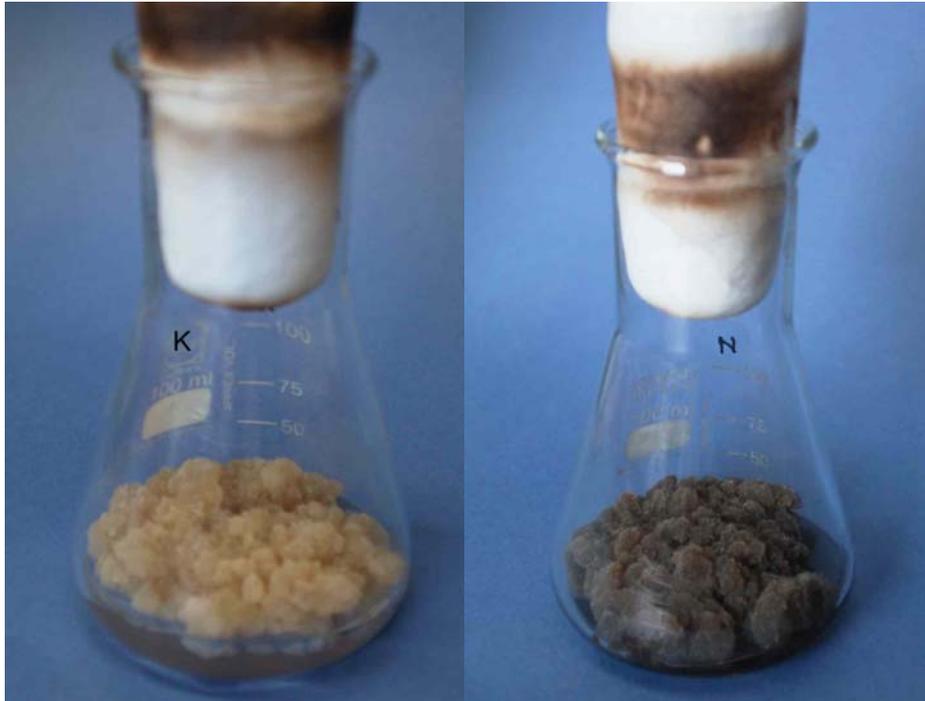


Abb. 4-47: Kalluskultur von *Ilex paraguariensis* zum Zeitpunkt des Wachstumsmaximums (links, ca. fünf Wochen nach dem Überimpfen) und im absterbenden Zustand (rechts, ca. sieben Wochen nach dem Überimpfen)

Die optischen Veränderungen einer Kultur standen in Zusammenhang mit ihrer Wachstumscharakteristik. Zum Zeitpunkt des Überimpfens war eine Kalluskultur gelblich und die Konsistenz des Kallusgewebes weich bis leicht gefestigt. Diese Beschreibung traf bis zu dem Zeitpunkt der maximalen Wachstumszunahme zu. Danach änderte sich die Farbe einer Kultur zum Teil schnell über dunkelbraun bis fast schwarz (s. Abb. 4-47). Die Konsistenz des Kallusgewebes konnte erhalten bleiben oder es konnte sehr fest werden. Zuweilen wurde zu diesem Zeitpunkt auch eine Verflüssigung des Mediums beobachtet. Wurde eine Kultur zu diesem Zeitpunkt überimpft, so wurde in der Folgekultur kein neues Kallusgewebe mehr gebildet. Die Kultur war zu diesem Zeitpunkt weitestgehend abgestorben.

Analyse der phytochemischen Parameter

In Voruntersuchungen wurde gezeigt, dass mit den in Kap. 3.4.4 beschriebenen Methoden auch Caffeylchinasäuren, Purinderivate und Flavonoide aus Kalluskulturen nachgewiesen werden konnten. Entsprechend wurden die Gehalte dieser Inhaltsstoffe zu allen Zeitpunkten der Wachstumskurve in den drei Kulturreihen bestimmt.

Da die Kalluskulturen heterotroph unter Lichtausschluss kultiviert wurden, wurde der Chlorophyll- und Carotinoidgehalt nicht weiter untersucht.

Die Kalluskulturen produzierten deutliche Mengen an Theobromin und an Coffein. Die beiden Purinalkaloide wurden jedoch zu unterschiedlichen Zeitpunkten gebildet. Während maximale Gehalte an Theobromin nach ca. drei Wochen zu beobachten waren, wurden sie von Coffein erst nach fast sieben Wochen erreicht. Der Theobromingehalt nahm in diesem Zeitraum deutlich ab. Wie bereits beschrieben, wurde für die Anzucht der Kalluskulturen Pflanzenmaterial aus eigener Anzucht verwendet. Dieses Pflanzenmaterial war bereits mehrfach bezüglich seiner Inhaltsstoffe analysiert worden (vgl. Kap. 4.4.4 („Beschattung“) und 4.5.4 („Alternative Trocknung“)). In keinem der untersuchten Blätter konnte Theobromin nachgewiesen werden.

Die Akkumulation aller untersuchten Inhaltsstoffe während des Wachstums einer Kultur ist beispielhaft in Abb. 4-48 zusammen mit der prozentualen Wachstumszunahme der analysierten Kultur wiedergegeben (einzelne Ergebnisse s. Tab. 8-5).

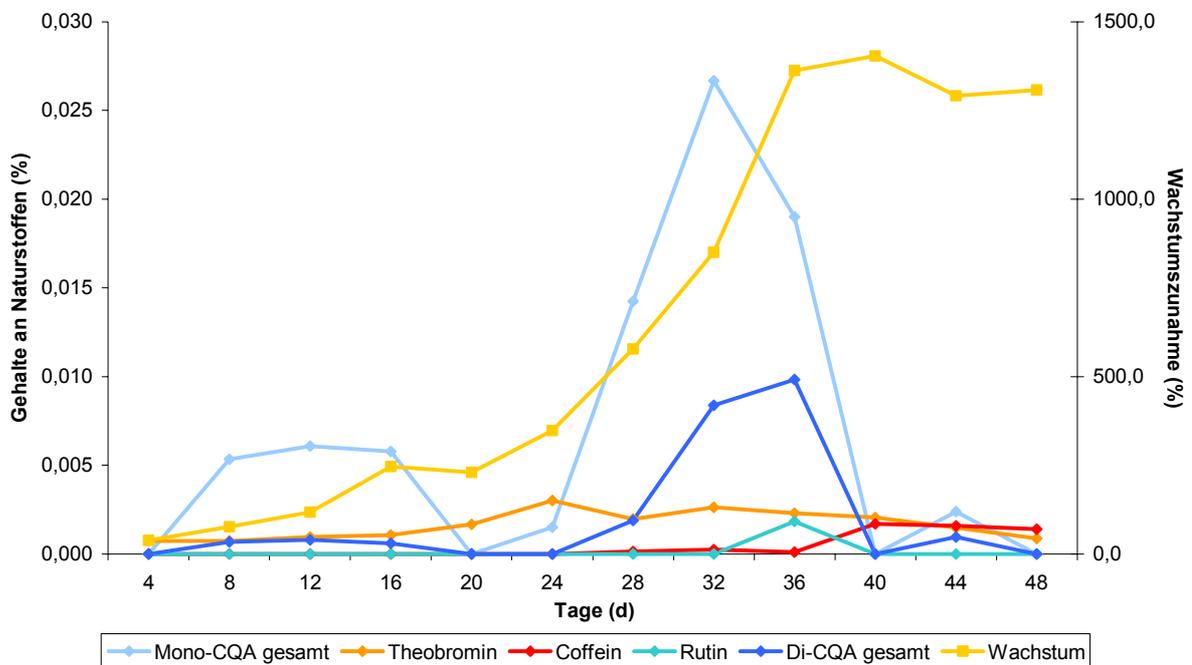


Abb. 4-48: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Theobromin, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren einer Kalluskultur von *Ilex paraguariensis* im Verlauf ihres Wachstums über 48 Tage sowie deren Wachstumszunahme (%)

Der Verlauf der Gehaltsentwicklungen der Markerverbindungen war in allen drei Kulturen vergleichbar, allerdings gab es bezüglich des Zeitpunkts der Gehaltsmaxima leichte Verschiebungen. Daher sind diese Maxima in Tab. 4-17 zusammengestellt.

Tab. 4-17: Maximale Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Theobromin, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren, die von drei verschiedenen Kulturreihen (3, 8 und 16) innerhalb eines Wachstums von 48 Tagen gebildet wurden

Kulturreihe Nr.	Monocaffeoyl- chinasäuren (%)	Theobromin (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoyl- chinasäuren (%)
3	0,027	0,003	0,002	0,002	0,010
8	0,039	0,004	0,003	0,002	0,019
16	0,026	0,004	0,002	0,001	0,013

Insgesamt wurden für die untersuchten Kulturen folgende Charakteristika beobachtet:

- Kalluskulturen von *Ilex paraguariensis* akkumulierten dieselben Inhaltsstoffe wie das zur Anzucht verwendete Pflanzenmaterial, wenn sie auf BDS-Medium kultiviert wurden. Zusätzlich wurde in den Kulturen Theobromin nachgewiesen.
- Nach ca. drei Wochen wurden deutliche Theobromingehalte beobachtet, danach stagnierten sie bzw. nahmen langsam wieder ab.
- Maximale Coffeingehalte konnten erst ab dem Übergang der Kulturen in eine stationäre Phase gemessen werden.
- Die absoluten Gehalte der bestimmten Naturstoffe lagen deutlich unter den Gehalten, welche z.B. für Blätter bestimmt wurden. Zu beachten ist dabei, dass sich die Angaben zu den Gehalten der Kalluskulturen auf das Frischgewicht einer Kultur, die Gehalte für Blätter sich dagegen auf deren Trockengewicht beziehen.
- Im Durchschnitt akkumulierten die Kulturen einen 1,6-fach höheren Gehalt an Theobromin als an Coffein. Dabei wurden die maximalen Gehalte zu deutlich unterschiedlichen Zeitpunkten (s.o.) erreicht.
- Die gemessenen maximalen Gehalte an Monocaffeoylchinasäuren waren durchschnittlich um das 2,3-fache höher als die Gehalte an Dicaffeoylchinasäuren. Nach ca. drei Wochen wurde für alle Kulturen ein deutlicher Rückgang der Gehalte an Caffeoylchinasäuren beobachtet. Maximale Gehalte wurden nach vier bis fünf Wochen gebildet.
- Maximale Gehalte aller Naturstoffe mit Ausnahme des Coffeins wurden in den untersuchten Kulturen dann gemessen, wenn deren Wachstum am stärksten zunahm.

4.7.2 Der Einfluss von Licht auf die Gehalte an phytochemischen Parametern

Da bisher nur Kalluskulturen untersucht wurden, die unter Lichtausschluss kultiviert worden waren, stellte sich die Frage, welchen Einfluss Licht auf die Höhe der Gehalte der phytochemischen Parameter ausüben würde. Dazu wurde eine Vorkultur, die im Dunkeln angezogen worden war, jeweils in zwei Folgekolben überimpft. Eine der beiden überimpften Kulturen wurde anschließend einer Dauerbelichtung ausgesetzt, während die anderen unter Lichtausschluss wuchs. Auf diese Weise wurde mit einer Kultur A dreimal und mit Kultur B einmal verfahren. Weitere Probeninformationen sind im Anhang I Tab. 8-4 unter der Probennummer K2 zu entnehmen. Die prozentualen Gehalte der phytochemischen Parameter, die für die untersuchten Kulturextrakte bestimmt wurden, sind in Abb. 4-49 wiedergegeben. Auch bei diesen Kulturuntersuchungen wurden deutlich höhere Gehalte an Theobromin als an Coffein bestimmt.

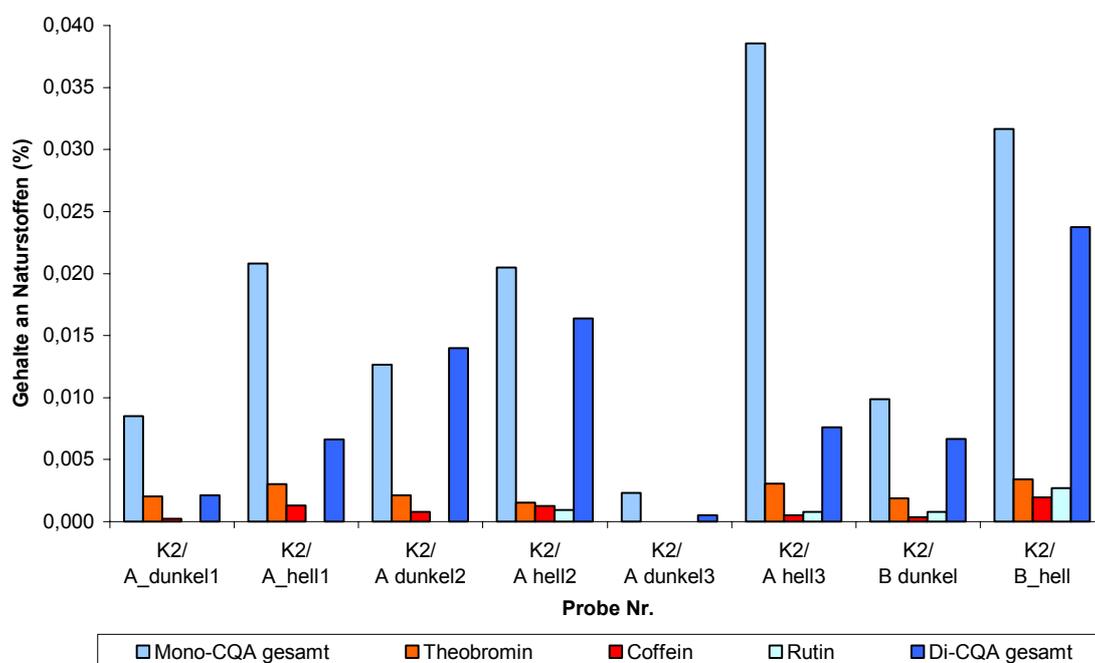


Abb. 4-49: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Theobromin, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren zweier Kalluskulturen (A und B) von *Ilex paraguariensis*, die dunkel oder belichtet angezogen worden waren

Alle fünf untersuchten Kalluspaare zeigten deutliche höhere Gehalte an allen untersuchten phytochemischen Parametern, wenn die Kalluskulturen bei Licht kultiviert wurden. So stiegen die gemessenen Gehalte an Monocaffeoylchinasäuren mindestens um den Faktor 1,6 und die der Dicaffeoylchinasäuren um das 1,2-fache. Die Theobromingehalte wurden durch Licht (mit Ausnahme bei Kultur K2/A2, hier war eine Reduktion zu beobachten) mindestens um das 1,5-fache, die Coffeingehalte um das 1,6-fache erhöht.

Die zum Teil sehr unterschiedlichen Höhen der gemessenen Gehalte begründen sich in den Zeitpunkten, an denen die Kulturen geerntet wurden. A1 und A2 wurden für einen Zeitraum von gut

drei Wochen bzw. gut vier Wochen kultiviert. In Verbindung mit den Ergebnissen des vorherigen Kap. hatten sie zu diesem Zeitpunkt das Wachstumsmaximum noch nicht erreicht. Die Kulturen A3 und B wurden für einen Zeitraum von ca. sechs bzw. fünf Wochen kultiviert. Damit lagen beide Kulturen im dem Bereich des maximalen Wachstums. Außerdem war zu beobachten (s. Kap. 4.7.1), dass maximales Wachstum und maximaler Gehalt gut übereinstimmten. Das erklärt, warum für die Kulturen A3 und B höhere Gehalte bestimmt wurden als für die andere beiden untersuchten Kulturen. Insgesamt zeigte dieser Versuch zum Einfluss der Belichtung, dass schon eine kurze Kultivierungsperiode bei Licht im Vergleich zu Lichtausschluss zu einem sofortigen, messbaren Anstieg der Gehalte der Naturstoffe der untersuchten Kalluskulturen führte.

Unter der Annahme eines durchschnittlichen Trocknungsrückstandes der Blätter, aus denen die Kalluskulturen gewonnen wurden, von ca. 34 % kann geschlossen werden, dass die Kalluskulturen ca. 1 bis 2 % der Gehalte an phytochemischen Parametern bildeten, die in den entsprechenden Blättern akkumuliert würden.

5 Zusammenfassende Diskussion

Variabilität von Inhaltsstoffen in Mate

Hinweise auf Variabilität in der Art *Ilex paraguariensis* können der Literatur schon seit einiger Zeit entnommen werden. Ein erster Hinweis ist z.B., dass Blätter dieser Pflanze mannigfaltige Formen annehmen können. Diese Blattformen werden von südamerikanischen Pflanzern deshalb zur Unterscheidung (z.B. „folhas grandes“ – großblättrig) herangezogen. Ohem (1992) forderte schließlich ausdrücklich Untersuchungen zur Beurteilung der Variabilität von *Ilex paraguariensis*.

Inzwischen wurde eine ausführliche Untersuchung zur morphologischen Variabilität von Mate durchgeführt (Gauer *et al.*, 2000). Die Blattmorphologie wurde in drei verschiedenen Populationen von *Ilex paraguariensis* verglichen und eine hohe Diversität innerhalb der Populationen beobachtet. Erst kürzlich wurden Ergebnisse zur genetischen Diversität anhand von zufällig amplifizierten polymorphen DNA-Markern, die in vier Mate-Populationen bestimmt wurden, veröffentlicht (Coelho *et al.*, 2002). Die Autoren stellten fest, dass die genetische Variabilität innerhalb jeder Population hoch sei, zwischen den Populationen aber nur eine geringe Divergenz bestehe.

Eines der Ziele der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung der Variabilität der Gehalte einer Matrix an ausgewählten phytochemischen Merkmalen von Mate. Da Mate nur in Südamerika heimisch ist, mussten einige Grundvoraussetzungen erfüllt werden, um dieses Ziel zu erreichen. Als wichtigster Parameter musste gesichert sein, dass einheimisches authentisches Pflanzenmaterial untersucht wurde. Diese Bedingung wurde durch die Kooperation mit dem südamerikanischen Mate-Produzenten Baldo SA sowie durch dessen Zusammenarbeit mit zahlreichen Plantagenbesitzern bestens erfüllt. Die Notwendigkeit, mit südamerikanischem Pflanzenmaterial zu arbeiten, wurde im Lauf der Arbeit auch durch die Beobachtung unterstrichen, dass in Deutschland angezogenes Material keine vergleichbaren Gehalte bildet. Aufgrund des Wissens und der Erfahrung, die durch die Firma Baldo zu Verfügung standen, konnten einige notwendige Grundlagen als gesichert betrachtet werden:

- Bei den untersuchten Pflanzen handelte es sich um *Ilex paraguariensis*.
- Sowohl Pflanze als auch resultierende Produkte wurden aufgrund langjähriger Erfahrung und auch aufgrund eines wirtschaftlichen Interesses gut und sachgerecht behandelt.
- Bedingt durch die Zusammenarbeit des Produzenten mit zahlreichen Plantagenbesitzern konnte ein ausreichend großes *Ilex paraguariensis*-Vorkommen im brasilianischen Bundesstaat Paraná in die Untersuchungen einbezogen werden.

Gerade der letzte Punkt ist im Hinblick auf die bisher in der Literatur veröffentlichten Angaben bedeutsam. Die hier vorgestellten Ergebnisse beruhen auf Analysen von mehr als 700 Proben. In diesen Untersuchungen wurden alle Bereiche (biologische und produktionsbedingte Variabilität, Untersuchungen mit Kalluskulturen) durch eine genügend große Probenzahl repräsentiert. Auch wurde nicht nur ein Parameter bestimmt, sondern eine Matrix, bestehend aus sechs phytochemischen Merkmalen. Im Gegensatz dazu zeigte eine detaillierte Auswertung der Angaben in der Literatur, dass im

Allgemeinen Aussagen zu Gehaltsbestimmungen bisher aus den Analysenergebnissen von weniger als 10 einzelnen Proben abgeleitet wurden. Auch wurden oft nur Blätter oder Handelswaren oder nur einzelne Substanzen oder Substanzgruppen analysiert (Chaves, 1944; Martelli, 1959; Baltassat *et al.*, 1984; Clifford und Ramirez-Martinez, 1990; Tenorio Sanz und Torija Isasa, 1991; Ohem, 1992; Vera Garcia *et al.*, 1997; Filip *et al.*, 1998 und 2001; Reginatto *et al.*, 1999; Carducci *et al.*, 2000; Wrobel *et al.*, 2000).

Zusammenfassend ist die Variabilität der Gehalte der untersuchten phytochemischen Merkmale in der Art *Ilex paraguariensis* als hoch zu beurteilen. Während die Gehalte in biologischem Material noch in sehr weiten Bereichen (s. Tab. 5-1) lagen, konnte gezeigt werden, dass diese Bereiche im Laufe der Produktion über Mate cancheada und die Zwischenstufen bis hin zur chimarrão-Handelsware immer kleiner wurden. Der direkte Vergleich mit den Ergebnissen für grünen Mate-Tee ist nicht zweckmäßig, da diese Handelswaren nicht aus derselben Grundgesamtheit an Pflanzenmaterial stammen und auch die Produktionsanlagen der Firma Baldo nicht durchlaufen haben.

Um die biologische Variabilität einschätzen zu können, wurden die Gehalte von 50 zufällig gesammelten, einzelnen Blätter bestimmt. Die daraus resultierenden Minimal- und Maximalgehalte sollten weitgehend die Kernbereiche der im betroffenen Erntegebiet möglichen Gehalte abdecken. Die die Variabilitätsbereiche markierenden Minimal- und Maximalgehalte, die für Mate cancheada der untersuchten fünf Erntejahre bestimmt wurden (s. Tab. 4-14), wurden für diesen Vergleich gemittelt. In gleicher Weise wurde mit den Variabilitätsbereichen der Zwischenstufen verfahren.

Auf diese Weise konnte für Coffein z.B. in einzelnen Blättern ein Variabilitätsbereich von 0,4 bis 5,9 % bestimmt werden. In Mate cancheada war der Bereich mit 0,7 bis 1,7 % schon deutlich kleiner. Innerhalb der Zwischenstufen (folha, goma und po) wurde der Bereich noch weiter eingegrenzt. Die Differenz zwischen Minimal- und Maximalgehalt betrug hier nur noch 0,3 %.

Tab. 5-1: Variabilitätsbereiche der Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von einzelnen Blättern, Mate cancheada und Zwischenstufen

Probenmaterial	Monocaffeoyl- chinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoyl- chinasäuren (%)	Gesamt- chlorophyll (%)	Carotinoide (%)
Einzelne Blätter	6,1 – 13,1	0,4 – 5,9	0,0 – 2,1	3,8 – 15,5	0,06 – 0,33	0,01 – 0,05
Mate cancheada	4,9 – 7,1	0,7 – 1,7	0,3 – 0,8	3,4 – 5,9	0,04 – 0,14	0,00 – 0,03
Zwischenstufen	4,8 – 6,0	1,0 – 1,3	0,9 – 1,0	3,5 – 4,5	0,05 – 0,10	0,01 – 0,02
z.B. für chimarrão von Baldo	5,5 – 6,1	1,1 – 1,5	0,9 – 1,1	4,3 – 5,3	0,04	0,01

Im Gegensatz zu der hohen Variabilität der Gehalte an phytochemischen Parametern in der Art *Ilex paraguariensis* können für einzelne Pflanzen deutlich kleinere Gehaltsbereiche beobachtet werden. So konnte im Rahmen dieser Arbeit mehrfach gezeigt werden, dass die Gehalte von Blättern desselben Zweiges nur in engen Bereichen variierten. Für die Blätter, die durch ihre Zugehörigkeit zu einem

Zweig definiert waren, wurden deutlich kleinere Bereiche für Coffein (z.B. in Zweig 21A 0,9 bis 1,3 %, in Zweig 16A 1,7 bis 2,2 % und in Zweig 13 2,0 bis 2,9 %) bestimmt, als bei der Analyse zufällig ausgewählter Blätter. Daraus ließ sich auf das Auftreten von verschiedenen Gehaltsbereichen und insbesondere für Coffein von Gehaltsklassen schließen. Fiel eine Substanz bzw. eine Substanzgruppe durch breitere Gehaltsbereiche auf, konnte zumeist ein Blatt bestimmt werden, dessen Gehalte deutlich von denen der anderen abwichen. Für Caffeoylchinasäuren wurden breitere Gehaltsbereiche als für Coffein beobachtet (z.B. 6,9 bis 8,7 % Mono- und 2,5 bis 4,5 % DicaFFEoylchinasäuren in Zweig 16A).

Ursache der Gehaltsbereiche und Gehaltsklassen

Ausgehend von der Frage nach Einflüssen auf die Variabilität der Gehalte hatte eine erste Auswertung der Ergebnisse der Gehaltsbestimmung von 270 Blättern von 30 definierten Bäumen in Bezug auf deren unterschiedliche Belichtung (s. Kap. 4.4.3.1) einen Hinweis auf eine Lichtabhängigkeit geliefert. Die Beobachtung, dass die Gehalte von Caffeoylchinasäuren mit zunehmender Belichtung anstiegen, konnte durch einen Feldversuch in Brasilien (s. Kap. 4.4.4) bestätigt werden. Statistische Auswertungen der Ergebnisse der beiden genannten Untersuchungen bestätigten eine signifikante Abhängigkeit der Caffeoylchinasäuregehalte von der Belichtung. Dieses Ergebnis kann damit zum einen die größeren Gehaltsbereiche, die für diese Substanzen bestimmt wurden, erklären. Zum anderen kann es auch die Ursache der in der Auswertung der Daten der produktionsbedingten Analysen beobachteten, vom Zeitpunkt der Ernte abhängigen Schwankungen sein.

Der Einfluss der Belichtung legt nahe, dass das Enzym PAL an der Steuerung der Biosynthese und Akkumulation der Caffeoylchinasäuren entscheidend beteiligt ist. Dieses Enzym katalysiert die Deaminierung von Phenylalanin zu Zimtsäure und ist damit ein Schlüsselenzym zwischen Primär- und Sekundärstoffwechsel (Sitte *et al.*, 1998). Zimtsäure kann in einem weiteren Schritt enzymatisch zu *p*-Cumarsäure umgesetzt werden, aus welcher durch eine Hydroxlierung Kaffeesäure entsteht (Teuscher, 1997).

Es ist allgemein bekannt, dass die Aktivität der PAL durch Licht reguliert wird. Mösli Waldhauser und Baumann (1996) haben in Zellsuspensionskulturen von *Coffea*-Samen die Licht-induzierte PAL-Aktivität sowie die Gehalte an Coffein und Chlorogensäure gemessen. Sie bestimmten in Kulturen, die unter Lichtausschluss kultiviert wurden, nur sehr geringe PAL-Aktivität sowie sehr niedrige Gehalte an den beiden Substanzen. Nach einer anschließenden Photoperiode konnte innerhalb von 5 Stunden eine Induktion der PAL-Aktivität beobachtet werden, nach 24 Stunden erreichte diese mit mehr als 200 pkat/g (Frischgewicht) ihr Maximum. Die Bildung der Chlorogensäure begann zeitgleich und stieg innerhalb von sechs Tagen auf das 50-fache ihrer Ausgangskonzentration. Erst drei Tage später wurde auch ein Anstieg der Coffeinakkumulation auf das 3 bis 5-fache im Vergleich zur Dunkelkontrolle beobachtet. Vergleichbare Ergebnisse resultierten aus dem Zusatz von Methyljasmonat –

einem weiteren Induktor der Sekundärstoffbildung – zu Dunkelkulturen. Des Weiteren führte der Zusatz von 2-Aminoindan-2-phosphonsäure – einem kompetitiven PAL-Inhibitor – zu einer Reduktion der Synthese von Chlorogensäure um 85 % und von Coffein um 48 %. Damit stellt sich nun die Frage, ob diese Beobachtungen, die für Zellsuspensionskulturen von *Coffea* Species gemacht wurden, auch auf die Pflanze *Ilex paraguariensis* übertragbar sind. Für Kalluskulturen von *Ilex paraguariensis* konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass schon eine kurze Kultivierungsperiode bei Licht zu einem sofortigen Anstieg der Gehalte an Caffeoylchinasäuren und Coffein führte. Das Ausmaß der Stimulation könnte dabei von der Produktivität der Zelllinie oder auch von der Dauer der Kultivierung abhängen. Somit kann von vergleichbaren Regulationsmechanismen in beiden Kultursystemen ausgegangen werden.

Die Auswertung der Coffeinbestimmungen in Blättern verschiedener Zweige ließ auf das Auftreten von unterschiedlichen Gehaltsklassen schließen. Die Auswertung von 270 Blättern verschiedener Bäume zeigte, dass innerhalb eines Individuums überwiegend vergleichbare Gehalte an Coffein in den untersuchten Zweigen gebildet wurden. Damit setzt sich auch für diesen Parameter die innerhalb der Art beobachtete hohe Variabilität nicht in den einzelnen Individuen fort.

Indem unterschiedliche Gehaltsklassen beobachtet wurden, konnten Hinweise, die in der Literatur bereits zu finden waren (Brieger, 1995; Athayde *et al.*, 2000), bestätigt werden. Da Brieger mehrfach beobachtete, dass in brasilianischem Pflanzenmaterial keine oder nur sehr geringe Coffeingehalte gegenüber durchschnittlich 1,7 % zu messen waren, regte sie an, der Frage nachzugehen, ob diese Beobachtung auf die Ausbildung von chemischen Rassen innerhalb von *Ilex paraguariensis* zurückzuführen sei.

Die hier dargelegte Existenz von Gehaltsklassen für Coffein kann durchaus das Vorhandensein chemischer Rassen anzeigen. Allerdings ist eine quantitative Merkmalsausprägung nur für Coffein deutlich. Zum Nachweis einer chemischen Rasse müsste natürlich auch gezeigt werden, dass das betreffende Merkmal genetisch fixiert ist. Dass aber innerhalb eines Individuums weitere Faktoren den Coffeingehalt zumindest modifizieren, wird daraus deutlich, dass an Blättern verschiedener Zweige derselben Bäume deutliche Unterschiede in der Höhe der Coffeingehalte (z.B. für Zweig Nr. 00, 05, 11 und 19) beobachtet wurden.

Zur weiteren Klärung bieten sich Untersuchungen zur Expression und Aktivität der an der Purinalkaloidbiosynthese beteiligten N-Methyltransferasen an. N-Methyltransferasen übertragen Methylgruppen von S-Adenosylmethionin auf Vorstufen von Coffein wie z.B. auf Theobromin, wodurch Coffein gebildet wird (Suzuki *et al.*, 1992). Die beobachteten Gehaltsklassen könnten eine Folge der unterschiedlichen Bildung und Aktivität der N-Methyltransferasen sein.

Akkumulation von Purinalkaloiden und Caffeoylchinasäuren

Das Ergebnis dieser Arbeit, dass die wenig variierenden Gehalte von Blättern eines Zweiges unterschiedliche Gehaltsklassen bildeten, deckt sich nur bedingt mit einer Vermutung von Mösli Waldhauser und Baumann (1996) zur Akkumulation von Purinalkaloiden und Chlorogensäure. Die Analyse einer Vielzahl von Blättern bezüglich ihrer Coffein- und Caffeoylchinasäuregehalte zeigte, dass z.B. solche existieren, die neben 1 % Coffein sowohl viel (z.B. 9,5 % in Blatt 11/09) als auch wenig (z.B. 3,0 % in Probe 23/25-c1) Monocaffeoylchinasäuren akkumulierten. Ebenfalls wurden Blätter mit 2,5 % Coffein bestimmt, die mit einem Monocaffeoylchinasäuregehalt von 7,3 % (z.B. für Blatt 23/19-c3) eher wenig gegenüber einem entsprechenden Gehalt von 10,2 % (z.B. für Probe 13/03) bildeten.

Mösli Waldhauser und Baumann (1996) beschrieben, dass *Coffea*-Samen Purinalkaloide und Chlorogensäuren in einer aufeinander abgestimmten Art akkumulierten. Hohe Konzentrationen von Purinalkaloiden wurden von beachtlichen Mengen an Chlorogensäuren begleitet und umgekehrt. Als Begründung hierfür wurde die Bildung des Purinalkaloid-Chlorogensäuren-Komplexes angesehen. In Induktions- und Hemmexperimenten (s.o.) mit Suspensionszellkulturen wurde beobachtet, dass die Hemmung oder Induktion der Biosynthese des einen Komplexpartners jeweils zu einer entsprechenden Reaktion der Biosynthese des anderen Partners führte. Aufgrund weiterer Versuche wurde vermutet, dass alle Coffein-führenden Pflanzen eine solche gemeinsame Basisstrategie zur Ablagerung in der Vakuole entwickelt hätten.

Der Theorie, dass der Gehalt eines Komplexpartners den Gehalt des anderen impliziert, kann hier aufgrund der erwähnten Ergebnisse nur bedingt entsprochen werden. Allerdings muss auch beachtet werden, dass die Autoren von Purinalkaloiden sprechen. Ein exakter Vergleich der Aussagen kann deshalb erst nach Kenntnis der Theobromingehalte (die Substanz konnte nach der hier verwendeten Methode nur qualitativ erfasst werden) durchgeführt werden. Auch ist zu überlegen, ob der Vergleich besser auf molekulargewichtsspezifischer Ebene durchgeführt werden sollte. Diese Überlegung resultiert daher, dass die Theorie des Komplexes auch besagt, dass dieser im Verhältnis 1:1 zwischen Purinalkaloiden und Caffeoylchinasäuren gebildet würde. Darüber hinaus ist es sicher auch interessant, die Bildung des Komplexes von Purinalkaloiden mit Dicaffeoylchinasäuren zu analysieren. Im Hinblick auf die Versuche von Mösli Waldhauser und Baumann bleibt die Frage, ob Induktion und/oder Hemmung der beiden unterschiedlichen Biosynthesewege wirklich unabhängig voneinander sind oder ob gemeinsame Regulationsmechanismen existieren.

Nutzen einer alternativen Trocknungsmethode

Die Veränderungen der Gehalte von Chlorophyll und Coffein während der Produktion von Mate wurden von Schmalcko und Alzamora (2001) analysiert. Sie beobachteten in dem von ihnen untersuchten Prozess, dass der Chlorophyllverlust mit 70 bis 80 % während des ersten

Trocknungsschrittes am ausgeprägtesten war. Trotz der nur kurzen Zeitspanne dieser Trocknung (2 bis 4 min.) könnten die hohe Wasseraktivität sowie die hohe Trocknungstemperatur für diesen starken Abbau verantwortlich sein. Die größte Veränderung im Coffeingehalt vollzog sich im zweiten Trocknungsabschnitt (zweimal ca. 2 h bei 110 °C). Dabei wurden zweimal je ca. 10 % Coffein abgebaut. Zuvor war vermutlich aufgrund der Anwesenheit des Wassers der Coffeindampfdruck bedingt durch die Löslichkeit verringert worden, wodurch eine Retention des Coffeins bewirkt wurde. Die mit dieser Arbeit vorgelegten Daten zu Veränderungen in der untersuchten Matrix von Merkmalen während des Verarbeitungsprozess zeigen, dass eine Betrachtung jeder firmenspezifischen Prozessanlage im Detail notwendig ist. Die Gleichmäßigkeit der Verarbeitung ist eine Voraussetzung für ein in der Qualität reproduzierbares Produkt. Die technisch schwer zu vereinheitlichende Verwendung von Holzfeuern steht dabei einer möglichen hohen Reproduzierbarkeit entgegen. Daher wurde eine Trocknung erprobt, um möglicherweise Alternativen zu traditionellen Trocknungsmethoden aufzuzeigen. Ein erfolgversprechender Ansatz lag in der IR-Trocknung. In ersten Versuchen konnte gezeigt werden, dass die IR-Trocknung bei verschiedenen Bedingungen nicht zu deutlichen Unterschieden in den Gehalten der phytochemischen Merkmale im Vergleich zu einer Referenz-trocknung im Trockenschrank führte.

Dieses Ergebnis ist aus zwei Gründen sehr bedeutsam: zum einen eröffnet es Perspektiven, einen geschmacklich „milderen“ Mate-Tee herzustellen. Die traditionelle Trocknung über offenem Feuer führt zu einem rauchigen Geschmack des Trockenguts und damit des Mate-Tees, der in Südamerika bevorzugt wird. Es wird allerdings vermutet, dass sich der Tee gerade deshalb in Europa nicht durchsetzen konnte (Frohne, 1999). Die Trocknung durch IR-Strahlung erzeugt keine zusätzlichen Geschmacksstoffe, die an das Trockengut adsorbieren. Der Eigengeschmack wird dementsprechend nicht entscheidend verändert. Der zweite Grund ist ökologischer Natur. Durch die jährlich produzierten Tonnen an Mate-Tee werden zur Trocknung ebenfalls Tonnen von Holz benötigt. Ein Teil dieses Holzes könnte dadurch erhalten werden, dass alternative Trocknungsformen wie die IR-Trocknung neben der traditionellen Art eingesetzt werden. Weiter erwies sich die IR-Trocknung als sehr zeitsparend, da ein frisches Blatt auf diesem Weg innerhalb von ca. 20 min. bis zu einem Trocknungsrückstand getrocknet wurde, der im Trockenschrank erst nach 2 Stunden erreicht wurde.

Eignung der eingesetzten Methoden vor dem Hintergrund einer Qualitätskontrolle

Bislang basiert die Qualitätskontrolle in Südamerika vor allem auf der Beurteilung von Geschmack und Aussehen der einzelnen Produktionsstufen durch die firmeninternen Experten. Der Coffeingehalt des Endprodukts wird nur im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen ($> 0,5\%$) überprüft. Das hier verwendete, möglichst einfach angelegte HPLC-Verfahren bietet sowohl die Möglichkeit, verschiedene Inhaltsstoffe quantitativ zu bestimmen als auch, das Ergebnis als fingerprint zur

Bewertung der Identität und Reinheit zu verwenden und eine relativ große Zahl von Proben zu analysieren.

Die Frage nach den Grenzen der hier eingesetzten Methoden als Qualitätskontrolle ist aufgrund von zwei Aspekten zu beantworten: eine Grenze stellte die Bestimmung von Rutin dar. Dieses Flavonoid war das einzige, welches mit den eingesetzten Methoden qualitativ erfasst wurde. Die quantitative Bestimmung war, obwohl die Substanz auch mittels HPLC detektiert wurde, nur in Grenzen möglich. Rutin wurde nach der beschriebenen Aufarbeitung nur in solch geringen Mengen erfasst, dass die anschließende Quantifizierung durch die Software einem größeren Fehler unterlag. Entsprechend wurde die Verbindung zwar quantifiziert, eine weitergehende Auswertung war in der Regel aber nicht möglich.

Als zweiter Aspekt wurde hinterfragt, ob die Ergebnisse der Analysen zu einer Bewertung der Qualität des Untersuchungsobjekts ausreichend sind. Im Falle einer Pilzkontamination des Ausgangsmaterials konnte eine Veränderung im fingerprint festgestellt werden, da zusätzlich Kaffeesäure detektiert wurde. Weder für verschiedene, subjektiv bewertete Handelswaren noch für ein Produkt, dessen Qualität von Verbrauchern kritisiert worden war, konnten dagegen vom Durchschnitt abweichende Unterschiede in den Analysenergebnissen beobachtet werden. Alle untersuchten Muster, ob als gute oder schlechte Qualität bewertet, zeigten vergleichbare Gehalte an phytochemischen Parametern.

Diese impliziert zwei Ergebnisse:

- Es sollten zusätzliche Methoden etabliert werden, um eine weitere Charakterisierung der Proben zu ermöglichen. So ist z.B. eine gaschromatographische Analyse sinnvoll, um flüchtige Verbindungen, wie auch (adsorbierte) Geschmacks- und Geruchsstoffe zu untersuchen. Mit anderen HPLC-Systemen könnte der Gehalt an Saponinen, die mit dem bitteren Geschmack in Verbindung gebracht werden, bestimmt werden.
- Sollen subjektive Kriterien mit analytischen Ergebnissen verknüpft werden können, reicht eine Bewertung in Form von „gut“ und „schlecht“ nicht aus. Statt dessen sollten ausführliche, möglichst nachvollziehbare Kriterien zur Bewertung und Bewertungsschemata ausgearbeitet werden wie z.B. in einer von Santa Cruz *et al.* (2002) vorgeschlagen Form (Festlegung von Deskriptoren für Aussehen, Geruch – rauchig, heuartig, chemisch – und Geschmack – sauer, bitter, adstringierend –, Bewertung anhand einer Skala sowie Schulung der Tester mittels Referenzen).

Untersuchung von Kalluskulturen

Dunkel kultivierte Kalluskulturen von *Ilex paraguariensis* zeigten charakteristische Entwicklungen der unterschiedlichen phytochemischen Parameter im Verlauf des Wachstums: Die Akkumulation von Coffein folgte einem sigmoiden Verlauf, in welchem der größte Anteil an Coffein erst in der letzten Wachstumsphase gebildet wurde. Im Gegensatz dazu wurde bereits in der Mitte der Wachstumskurve

ein maximaler Theobromingehalt bestimmt. Sowohl Mono- als auch DicaFFEoylchinasäuren akkumulierten biphasisch. Die entsprechenden Gehalte wiesen ein erstes Maximum zu Beginn und ein Zweites am Ende der Wachstumsphase der Kalluskulturen auf.

Diese Ergebnisse decken sich sehr genau mit den Beobachtungen von Baumann und Röhrig (1989). Die Autoren beschrieben den Verlauf der Akkumulation von Chlorogensäure und Coffein in Zellsuspensionskulturen von *Coffea arabica*. Sie beobachteten für ebenfalls im Dunkeln kultivierte Zelllinien einen vergleichbaren Verlauf für den Coffeingehalt. Chlorogensäure akkumulierte ebenfalls biphasisch. In der Absterbephase konnte schließlich keine Chlorogensäure mehr bestimmt werden.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, warum bei Kalluskulturen von *Ilex paraguariensis* jedoch nicht bei Pflanzen eine ausgeprägte Theobrominakkumulation beobachtet werden konnte. Einen Hinweis kann die Beobachtung von Ashihara (1993) liefern, dass die Coffeinbiosynthese nur in jungen Blättern ablief.

Prinzipiell konnte anhand dieser ersten Untersuchungen von Kalluskulturen von *Ilex paraguariensis* gezeigt werden, dass dieses System sich ebenfalls für Untersuchungen zu phytochemischen Parametern dieser Pflanze eignet.

Damit resultieren aus der vorliegenden Arbeit einige Schwerpunkte für weitergehende Untersuchungen:

- Zur Beantwortung der Frage nach dem Einfluss von Licht auf die Bildung oder Akkumulation von Naturstoffen, insbesondere Caffeoylechinasäuren, in *Ilex paraguariensis* sollte die Übertragbarkeit der Ergebnisse von Mösli Waldhauser und Baumann (1996) überprüft werden. Dazu bieten sich Untersuchungen von Zellkulturen und die anschließende Überprüfung mit Pflanzenmaterial an. Hierbei sollte ein besonderer Schwerpunkt auf die Bestimmung der Aktivität von PAL und der N-Methyltransferasen gelegt werden.
- Brieger (1995) charakterisierte phytochemische Parameter verschiedener *Ilex*-Arten mit dem Ziel, Unterscheidungsmerkmale zur sicheren Abgrenzung von Mate zu erarbeiten. Als einen Parameter zur Vermeidung von Verwechslungen führte sie dabei Gehaltsunterschiede des Coffeins und der Caffeoylechinasäuren an. Vor dem Hintergrund der hier beobachteten Variabilität dieser Parameter ist es jedoch notwendig, auch die Variabilität der weiteren *Ilex*-Arten zu bestimmen, bevor solche Aussagen als Unterscheidungskriterien herangezogen werden. Ein weiteres Argument von Brieger beruhte auf der Existenz von Flavonoiden. Mit den hier angewendeten Methoden konnten Flavonoide nicht angemessen bestimmt werden. Deshalb waren Aussagen zur Variabilität dieser Verbindungen nicht möglich. Um Briegers Aussagen zum Ausschluss von Verwechslungen nutzen zu können, wäre es deshalb wünschenswert, die Variabilität der Flavonoide in verschiedenen *Ilex*-Arten mit der Methode von Brieger zu bestimmen. Nur so könnte vermieden werden, dass Flavonoid-arme andere

Ilex-Arten als Mate weiterverarbeitet werden. Unter Umständen müsste auch eine detaillierte Untersuchung der Saponine in Betracht gezogen werden.

- Aufgrund der ersten Ergebnisse zur alternativen Trocknung mittels IR-Strahlen sollten in einem nächsten Schritt nun direkte Vergleiche mit traditionell getrocknetem Material angestrebt werden. Außerdem könnten durch den Einsatz einer IR-Trocknung die Gehalte an Caffeoylechinasäuren in frischen, südamerikanischen Blättern zuverlässiger untersucht werden. Vor Ort unmittelbar nach der Ernte von frischen Blättern durchgeführt, könnte mit einer anschließenden HPLC-Bestimmung die bisherige Lücke geschlossen werden. Die resultierenden Ergebnisse können ausserdem eine Basis liefern, um die Verluste an Caffeoylechinasäuren bis zum Zeitpunkt des Zapekierens abzuschätzen. Für die Praxis könnten daraus Zeitpläne abgeleitet werden, innerhalb derer die Ernten mit einem vertretbaren Maß an Substanzverlusten zu trocknen sind.
- Nachdem gezeigt werden konnte, dass Kalluskulturen dieselben Inhaltsstoffe wie das Pflanzenmaterial akkumulieren, kann dieses Modell gegebenenfalls mittelfristig genutzt werden, um Selektionskriterien abzuleiten und Pflanzen zu regenerieren.

Weiterhin muss aus den vorliegenden Ergebnissen auch im Hinblick auf die beobachtete Variabilität gefordert werden, dass Auszüge von *Ilex paraguariensis* genauestens phytochemisch charakterisiert werden, wenn sie in pharmakologischen Modellen oder klinischen Studien eingesetzt werden. Nur so lässt sich sicher feststellen, auf welche Inhaltsstoffe ein beobachteter Effekt zurückzuführen ist, so dass vielleicht in Zukunft rationale Erklärungen für die Mate traditionell nachgesagten Anwendungen möglich sind.

Die vorgelegten Ergebnisse erfüllen die vielfach in der Literatur formulierte Forderung, die Variabilität der (untersuchten) phytochemischen Parameter in *Ilex paraguariensis* eingehend zu charakterisieren. Das dadurch gewonnene Grundwissen, das sich nicht nur auf die Pflanze sondern auch auf den Produktionsprozess erstreckt, kann sowohl für den Aufbau bzw. den Erhalt der Kulturformen dieser Pflanze als auch für den Ausbau der Produktion genutzt werden. Darüber hinaus liegt nun umfangreiches Datenmaterial vor, das im Sinne einer Produktsicherung bzw. zur Beurteilung der Qualität des Produkts eingesetzt werden kann.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Gehalte einer Matrix von phytochemischen Merkmalen (Farbpigmente, Coffein, Caffeoylchinasäurederivate, Rutin) in mehr als 700 Mate-Proben untersucht. Eines der Ziele war, die Variabilität und deren Ursachen zu erfassen. Das Spektrum der Untersuchungsobjekte reichte von einzelnen oder durch ihre Zugehörigkeit zu einem Zweig bzw. einem Baum definierten Blättern über Zwischenprodukte des Herstellungsprozesses (Mate cancheada, Zwischenstufen folha, goma und po) bis hin zu verschiedenen Endprodukten (chimarrão, grüner Mate-Tee, gerösteter Mate-Tee) sowie Arbeiten mit undifferenziertem Kallusgewebe. Die Verfügbarkeit dieser Untersuchungsobjekte wurde vor allem durch die enge Kooperation mit dem Produzenten Baldo (Sao Mateus do Sul, Paraná, Brasilien) und dessen zuliefernden Plantagenbesitzern ermöglicht. Darüber hinaus konnten durch den direkten Kontakt Informationen ausgetauscht, die Wahl der Proben vor Ort beeinflusst und auch spezielle Feldversuche abgestimmt werden.

Für die analysierten Inhaltsstoffe von 50 zufällig gesammelten und zapekierten Blättern wurden folgende Gehaltsbereiche bestimmt: 6,1 bis 13,1 % Mono- und 3,8 bis 15,5 % Dicaffeoylchinasäuren, 0,4 bis 5,9 % Coffein, 0 bis 2,1 % Rutin sowie 0,06 bis 0,33 % Gesamtchlorophyll und 0,01 bis 0,05 % Carotinoide.

In Blättern eines Zweiges variierten diese Gehalte in engeren Bereichen. Außerdem konnten für Coffein verschiedene Gehaltsklassen beobachtet werden, z.B. wurden in Zweig 16B 0,7 bis 1,5 % und in Zweig 13 2,0 bis 2,9 % akkumuliert.

In Zweigstücken waren die Gehalte an phytochemischen Merkmalen deutlich niedriger als in Blättern.

Durch Untersuchungen von Blättern verschiedener Zweige ausführlich charakterisierter Bäume wurden folgende Zusammenhänge festgestellt:

- Zwischen den akkumulierten Gehalten und der Belichtung bestand ein Zusammenhang: Mit abnehmender Belichtung nahmen die (für jeden Zweig gemittelten) Gehalte der Caffeoylchinasäuren (z.B. 7,7 % Monocaffeoylchinasäuren vs. 5,9 %) signifikant ab, während die Gehalte der Farbpigmente (z.B. 0,24 % Gesamtchlorophyll vs. 0,47 %) signifikant anstiegen. Die Beobachtungen wurden durch die Auswertung eines Anbauversuchs zum Einfluss der Beschattung in Brasilien bestätigt.
- Die Lagen (oben, Mitte, unten) bzw. Expositionen (Nord, Ost, Süd, West) der Zweige waren gleichwertig, da keine signifikanten Unterschiede zwischen den mittleren Gehalten und den Variabilitätsbereichen, d.h. den Breiten der Gehaltsintervalle der phytochemischen Parameter beobachtet wurden. Auch die Herkunft der untersuchten, gut belichteten Bäume war weitgehend gleichwertig, da deren quantitative Zusammensetzungen der Inhaltsstoffe und Variabilitätsbereiche gut übereinstimmten.

- Bäume in einem Alter von 10 bis 30 Jahren produzierten im Durchschnitt etwas höhere Gehalte an untersuchten phytochemischen Merkmalen als jüngere und ältere Bäume.

Die Analysen der Proben aus dem Produktionsbereich kamen zu folgenden Ergebnissen:

- Mate cancheada, dessen Ernte und Cancheamento in unterschiedlichen Jahren erfolgte, lieferte nahezu gleichbleibende Qualität bezüglich der quantitativen Zusammensetzung der Naturstoffe mit Ausnahme der Pigmente. Die durchschnittlichen Variabilitätsbereiche (z.B. 4,9 bis 7,1 % Mono- und 3,4 bis 5,9 % Dicaffeoylchinasäuren, 0,7 bis 1,7 % Coffein) der phytochemischen Merkmale waren kleiner als im Vergleich zu denen einzelner Zweige (entsprechend 4,7 bis 9,6 % und 2,9 bis 10,4 % bzw. 0,5 bis 3,6 %), wenn Bildung von Gehaltsklassen nicht beachtet wurde.
- Die Pigmente von Mate cancheada wurden im Verlauf des ersten Lagerungsjahres um 60 bis 70 % ihres Ausgangsgehalts, d.h. von durchschnittlich 0,19 % Gesamtchlorophyll auf 0,06 % bzw. 0,02 auf 0,01 % Carotinoide reduziert.
- Die Gehalte der phytochemischen Merkmale der Zwischenstufen (folha, goma und po) unterschieden sich bei gleichem Erntezeitpunkt an verschiedenen Produktionsorten praktisch nicht. Verschiedene Erntezeitpunkte führten zu unterschiedlichen Gehalten. Die Variabilität der Gehalte (im Februar 2000 z.B. 5,7 bis 6,9 % Mono- und 4,5 bis 4,9 % Dicaffeoylchinasäuren, 1,1 bis 1,3 % Coffein) war noch geringer als die entsprechende Variabilität des Mate cancheada.
- Grüner Mate-Tee verschiedener Erntejahre unterschied sich nur geringfügig in der Höhe seiner Gehalte (z.B. durchschnittlich 6,7 % Mono- und 6,2 % Dicaffeoylchinasäuren mit einer Standardabweichung von 0,7 bzw. 0,4). Da sich die Caffeoylchinasäuregehalte (2,4 % Mono- und 0,8 % Dicaffeoylchinasäuren mit einer Standardabweichung von 0,9 bzw. 0,5) in gerösteten Mate-Tees verschiedener Erntejahre deutlich unterschieden, ist der abschließende Produktionsschritt des Röstens eher ungleichmäßig, während durch das gesamte Produktionsverfahren zum chimarrão ein Produkt mit reproduzierbarer Zusammensetzung hergestellt wird.

Es wurde gezeigt, dass alternative Trocknungsverfahren wie IR-Trocknung geeignet sind, um ein hinsichtlich der untersuchten Naturstoffe und Farbpigmente ähnliches Endprodukt herzustellen. Da keine wesentlichen Unterschiede in den Gehalten gemessen wurden, können so vielleicht rauchfreie Handelswaren entwickelt und gleichzeitig der Einsatz von einheimischem Holz zur Trocknung reduziert werden.

Erste Analysen von undifferenziertem Gewebe (auf BDS-Medium kultivierte Kalluskulturen) von *Ilex paraguariensis* zeigten, dass ca. 1 bis 2 % (bezogen auf Frischgewichte) der Gehalte der Inhaltsstoffe

des zur Anzucht verwendeten Pflanzenmaterials produziert wurde. Der biphasische Verlauf der Gehalte der Caffeylchinasäuren sowie der späte Anstieg des Coffeingehalts während des Wachstums des Gewebes stimmten gut mit publizierten Beobachtungen an Zellsuspensionskulturen von *Coffea arabica* überein.

Die in dieser Arbeit eingesetzten analytischen Methoden sind prinzipiell für eine Qualitätskontrolle im Rahmen der Produktion geeignet. Für spezifische, vor allem den Geruch betreffende Fragestellungen sind eventuell zusätzliche Untersuchungen mit anderen Verfahren notwendig.

7 Literaturverzeichnis

Alikaridis, F.

Natural Constituents of Ilex Species

J. Ethnopharmacol. **1987**, *20*, 121-44 und dortige Referenzen

Amarowicz, R., Naczki, M., Shahidi, F.

Antioxidant activity of various fractions of non-Tannin phenolics of Canola Hulls

J. Agric. Food Chem. **2000**, *48*, 2755-2759 und dortige Referenzen

AMIS Arzneimittel-Informationen-System – öffentlicher Teil

Stand 07.10.2003, Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information DIMDI, Köln

Andersen, T., Fogh, J.

Weight loss and delayed gastric emptying following a South American herbal preparation in overweight patients

J. Hum. Nutr. Diet. **2001**, *14* (3), 243-250

Anghileri, L.J., Thouvenot, P.

Natural Polyphenols-Iron Interaction – Its Biological Importance

Biol. Trace Elem. Res. **2000**, *73*, 251-258

Athayde, M.L., Coelho, G.C., Schenkel, E.P.

Caffeine and theobromine in epicuticular wax of *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.

Phytochemistry **2000**, *55* (7), 853-857

Ashihara, H.

Purine Metabolism and the Biosynthesis of Caffeine in Maté Leaves

Phytochemistry **1993**, *33* (6), 1427-1430

Baltassat F., Darbour, N., Ferry, S.

Étude du Contenu Purique de Drogues à Caféine : I. – Le Maté : *Ilex paraguariensis* Lamb.

Plant. Méd. Phytothér. **1984**, *18* (4), 195-203

Bartsch, A.

Mate – „Stimulans nicht nur für Gauchos“

Ernährungsumschau **1998**, *45* (8), 273-276

Basnet, P., Matsushige, M., Hase, K., Kadota, S., Namba, T.
Four Di-*O*-caffeoyl Quinic Acid Derivatives from Propolis. Potent Hepatoprotective Activity in
Experimental Liver Injury Models
Biol. Pharm. Bull. **1996**, *19 (11)*, 1479-1484

Baumann, T.W., Röhrig, L.
Formation and Intracellular Accumulation of Caffeine and Chlorogenic Acid in Suspension Cultures
of *Coffea Arabica*
Phytochemistry **1989**, *28 (10)*, 2667-69

Beutler, H.O., Beinstingl, G.
Bestimmung von L-Ascorbinsäure in Lebensmitteln
Deutsche Lebensmittel-Rundschau **1980**, *76 (3)*, 69-75

Blois, M. S.
Antioxidant determination by the use of a stable free radical
Nature **1958**, *181*, 1199-1200.

Böhm, K.
Untersuchungen über choleretische Wirkungen einiger Arzneipflanzen
Arzneim. Forsch. **1959**, *6*, 376-378

Bracesco, N., Dell, M., Rocha, A., Behtash, S., Menini, T., Gugliucci, A., Nunes, E.
Antioxidant Activity of a Botanical Extract Preparation of *Ilex paraguariensis*: Prevention of DNA
Double-Strand Breaks in *Saccharomyces cerevisiae* and Human Low-Density Lipoprotein Oxidation
J. Altern. Complement Med. **2003**, *9(3)*, 379-387

Brieger, D.
Charakterisierung der Blätter von *Ilex paraguariensis* St.-Hil. und möglicher Verfälschungen mit Hilfe
botanischer und phytochemischer Methoden
Dissertationes Botanicae **1995**, Band 240, J. Cramer, Berlin, Stuttgart

British Herbal Pharmacopeia,
Monographie „Ilex“
Part 2 **1979**, British Herbal Medicine Association, West Yorks, Großbritannien

Bundesanzeiger

Aufbereitungsmonographie „Mate folium“

1988, Nr. 85 vom 05.05.1988

Carducci, C.N., Dabas, P.C., Muse, J.O.

Determination of Inorganic Cations by Capillary Ion Electrophoresis in *Ilex paraguariensis* (St.H.), a Plant Used to Prepare Tea in South America

J. AOAC Int. **2000**, *83* (5), 1167-1173

Carini, M., Maffei Facino, R., Aldini, G., Calloni, M., Colombo, L.

Characterization of Phenolic Antioxidants from Maté (*Ilex paraguayensis*) by Liquid Chromatography/Mass Spectrometry and Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry

Rapid Commun. Mass Sp. **1998**, *12*, 1813-1819

Castellsaugé, X., Munoz, N., De Stefani, E., Victora, C.G., Castelletto, R., Rolon, P.A.

Influence of Mate Drinking, Hot Beverages and Diet on Esophageal Cancer Risk in South America

Int. J. Cancer **2000**, *88* (4), 658-64

Chaves, J.M.

Vitaminas B₁, B₂ and C em diversos tipos de erva mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.)

Rev. Alim. (Rio de Janeiro) **1944**, *11*, 173-175

Clifford, M.N., Ramirez-Martinez, J.R.

Chlorogenic Acids and Purine Alkaloids Contents of Maté (*Ilex paraguariensis*) Leaf and Beverage

Food Chem. **1990**, *35*, 13-21

Coelho, G.C., de Araujo Mariath, J.E., Schenkel, E.P.

Populational Diversity on Leaf Morphology of Maté (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil., Aquifoliaceae)

Braz. Arch. Biol. Techn. **2002**, *45* (1), 47-51

Czok, G., Lang, K.

Zur erregenden Wirkung von Chlorogensäure

Arzneim. Forsch. **1961**, *11*, 448-450

Czok, G., Lang, K.

Chlorogensäure-Wirkungen am Magen-Darmkanal

Arzneim. Forsch. **1961**, *11*, 545-549

DAC Deutscher Arzneimittel-Codex 1998

Monographie M-065 „Geröstete Mateblätter“ und Monographie M-066 „Grüne Mateblätter“

Band II, Hrsg. ABDA – Bundesvereinigung Deutscher Apothekerverbände Stand 01.11.2002 Govi Verlag Pharmazeutischer Verlag GmbH Eschborn und Deutscher Apotheker Verlag, Stuttgart

De Andrade, F.D.P., Piacente, S., Pizza, C., Vilegas, W.

Studies on the Constituents of a Brazilian Folk Infusion. Isolation and Structure Elucidation of New Triterpene Saponins from *Ilex amara* Leaves

J. Agric. Food Chem. **2002**, *50*, 255-2561

De Pasquale, C.

Sperimentazione clinica controllata in doppio cieco del Matè in soggetti sottoposti a regime dietetico ipocalorico

Clin. Dietol. **1991**, *18*, 27-38

Descartes de Garcia Paula, R.D.

Contribuição ao Estudo dos Alcalóides do mate

Rev. Bras. Quim. **1962**, *54*, 492-494

De Stefani, E., Correa, P., Fierro, L., Fonham, E., Chen, V.

Black Tobacco, Maté and Bladder Cancer

Cancer **1991**, *67*, 536-40

De Stefani, E., Fierro, L., Mendilaharsu, M., Ronco, A., Larrinaga, M.T., Balbi, J.C., Alonso, S., Deneo-Pellegrini, H.

Meat intake, “Mate” drinking and renal cell cancer in Uruguay : a case-control study

Br. J. Cancer **1998**, *78* (9), 1239-43.

Escudero, P., Escudero, A., Herraiz, M.L.

Valor mineral y vitamínico do la yerba mate (*Ilex paraguayensis*)

Rev. Soc. Bras. Quim. **1945**, *14*, 119-128

Ferreira, F., Vazquez, A., Günter, C., Moyna, P.

Inhibition of the Passive Diffusion of Cholic Acid by the *Ilex paraguariensis* St.Hil. Saponins

Phytother. Res. **1997**, *11*, 79-81

Filip, R., Lopez, P., Coussio, J., Ferraro, G.

Mate Substitutes or Adulterants: Study of Xanthin Content

Phytother. Res. **1998**, *12* (2), 129-131

Filip, R. Lopez, P., Giberti, G., Coussio, J., Ferraro, G.

Phenolic compounds in seven South American *Ilex* species

Fitoterapia **2001**, *72*, 774-778

Filip, R., Lotito, S.B., Ferraro, G., Fraga, C.G.,

Antioxidant Activity of *Ilex paraguariensis* and related Species

Nutr. Res. **2000**, *20*(10), 1437-1446

Fisch, K.

Isolation, Structure Elucidation and Activity Evaluation of Antioxidants from Marine Organisms

Dissertation in Vorbereitung, Bonn

Fonseca, C.A.S., Otto, S.S., Paumgarten, F.J., Leitao, A.C.

Nontoxic, Mutagenic and Clastogenic Activities of Mate-Chimarrão (*Ilex paraguariensis*)

J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol. **2000**, *19* (4), 333-346.

Frankel, E.N., Kanner, J., German, J.B., Parks, E., Kinsella, J.E.

Inhibition of oxidation of human low-density lipoprotein by phenolic substances in red wine

The Lancet **1993**, *341*, 454-457

Frohne, D.

Mate – *Ilex paraguariensis* St.-Hil.

Zeitschrift für Phytotherapie **1999**, *20*, 53-58

Fugmann, B., Lang-Fugmann, S., Steglich, W. (Hrsg.)

Römpp-Lexikon Naturstoffe **1997** Thieme-Verlag, Stuttgart, New York

Gauer, L., Cavalli-Molina, S.

Genetic variation in natural populations of maté (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil., Aquifoliaceae) using RAPD markers

Heredity **2000**, *84*, 647-56

Goldenberg, M.

Maté: a risk factor for oral and oropharyngeal cancer

Oral Oncol. **2002**, 38, 646-9

Gortari, J.

El Mercosur y la economía yerbatera.

Congresso sul-Americano da Erva-mate **1997**, EMBRAPA-CNPQ Curitiba, Documentos 33, 23-48

Gorzalczany, S., Filip, R., Alonso, M.R., Mino, J., Ferraro, G.E., Acevedo, C.

Choleretic effect and intestinal propulsion of "mate" (*Ilex paraguariensis*) and its substitutes or adulterants

J. Ethnopharmacol. **2001**, 75 (2-3), 291-294

Gosmann, G., Guillaume, D., Taketa, A.T.C., Schenkel, E.P.

Triterpenoid Saponins from *Ilex paraguariensis*

J. Nat. Prod. **1995**, 58 (3), 438-441

Gosmann, G., Schenkel, E.P., Seligmann, O.

A New Saponin from Mate, *Ilex paraguariensis*

J. Nat. Prod. **1989**, 52 (6), 1367-1370

Gugliucci, A.

Antioxidant Effects of *Ilex paraguariensis*: Induction of Decreased Oxidability of Human LDL *in vivo*

Biochem. Biophys. Res. Commun. **1996**, 224 (2), 338-344

Gugliucci, A., Menini, T.

The botanical extracts of *Achyrocline satureoides* and *Ilex paraguariensis* prevent methylglyoxal-induced inhibition of plasminogen and antithrombin III

Life Sci. **2002**, 72, 279-292

Gugliucci, A., Stahl, A.J.C.

Low Density Lipoprotein Oxidation is inhibited by Extracts of *Ilex paraguariensis*

Biochem. Mol. Biol. Int. **1995**, 35 (1), 47-56

HagerROM 2003

Hagers Handbuch der Drogen und Arzneistoffe **2003**, Version 4.1, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg

Hänsel, R., Keller, K., Rimpler, H., Schneider, G.

Hagers Handbuch der Pharmazeutischen Praxis **1993**, 5. Ausgabe, Vol. 5, Drogen E-O, 506-512

Homöopathisches Arzneibuch 34

Monographie „Mate – *Ilex paraguariensis*“

1958 3. Auflage, 4. Neudruck, Verlag Dr. Wilmar Schwabe, Deutscher Apotheker Verlag Stuttgart

Hsu, C.K., Leo, P., Shastry, D., Meggs, W., Weisman, R., Hoffman, R.S.

Anticholinergic Poisoning Associated with Herbal Tea

Arch. Intern. Med. **1995**, 155 (20), 2245-2248.

Ito, E., Crozier, A., Ashihara, H.

Theophylline metabolism in higher plants

Biochim. Biophys. Acta **1997**, 1336 (2), 323-330

Knöss, W.

Mate-Tee: Herkunft, Inhaltsstoffe und Wirkungen

Topicos **1997**: 2, 14-17

Knöss, W., Schlüter, W., Stolte, F., Brand, K., Gheno, L.B.

Mate (*Ilex paraguariensis*) Control of natural constituents during processing

Abstr. Of lectures and posters, 46th Ann. Congr. Soc. Med. Plant Res. **1998**, E 08, Wien

Kraemer, K.H., Taketa, A.T.C., Schenkel, E.P., Gosmann, G., Guillaume, D.

Matesaponin 5, a Highly Polar Saponin from *Ilex paraguariensis*

Phytochemistry **1996**, 42, 1119-1122

Leitao, A.C., Braga, R.S.

Mutagenic and genotoxic effects of mate (*Ilex paraguariensis*) in prokaryotic organisms

Braz.J. Med. Biol. Res. **1994**, 27 (7), 1517-1525.

Lichtenthaler, H.K.

Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes

Methods of Enzymology **1987**, 148, 350-382

Martelli, H.L.

Dosagem de Ácido Fólico na Erva Mate

An. Ass.Bras.Quim. **1959**, 18, 83-87

Martinet, A., Hostettmann, K., Schutz, Y.

Thermogenic effects of commercially available plant preparations aimed at treating human obesity
Phytomedicine **1999**, *6* (4), 231-238

Martinet, A., Ndjoko, K., Terreaux, C., Marston, A., Hostettmann, K., Schutz, Y.

NMR and LC-MSⁿ Characterisation of Two Minor Saponins from *Ilex paraguariensis*
Phytochem. Anal. **2001**, *12*, 48-52

Matzkies, F.

Minimierung von Nebenwirkungen während der Gewichtsreduktion mit einem matehaltigen Tee
Therapeutikon **1989**, *3* (11), 624-631

Mazzafera, P.

Caffeine, Theobromine and Theophylline Distribution in *Ilex paraguariensis*
Rev. Bras. Fis. Veg. **1994**, *6* (2), 49-151

Melzig, M.F., Löser, B., Bader, G., Papsdorf, G.

Echtes Goldrutenkraut als entzündungshemmende Droge
Zeitschrift für Phytotherapie **2000**, *21*, 67-70

Miranda, N., Urban, T.

Engenhos e barbaquás **1998**, Posigraf, Curitiba

Mösli Waldhauser, S., Baumann, T.W.

Compartmentation of Caffeine and Related Purine Alkaloids depends exclusively on the Physical Chemistry of their Vacuolar Complex Formation with Chlorogenic Acids
Phytochemistry **1996**, *42* (4), 985-96

Mosimann, A.L.P., Mantovani, C.L., Bordignon, J.C., Pedrosa, R.C., Silva, E.L.

Reduction of Atherosclerosis in Cholesterol-fed Rabbits by *Ilex paraguariensis* Extract (Mate)
Free Radical Bio. Med. **2002**, *33*, Suppl. 1, 650

Muccillo Baisch, A.L., Johnston, K.B., Paganini Stein, F.L.

Endothelium-dependent vasorelaxing activity of aqueous extracts of *Ilex paraguariensis* on mesenteric arterial bed of rats
J. Ethnopharmacol. **1998**, *60* (2), 133-139

Mutschler, E. Geisslinger, G., Kroemer, H.K., Schäfer-Korting, M.

Mutschler Arzneimittelwirkungen Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie **2001**, 8. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart

Neues Rezeptur-Formularium (NRF)

Blasen- und Nierentee (NRF 9.1) Species urologicae

Stammlieferung **1983**, 3. *Ergänzung* – Rezeptur 9.1. Hrsg. ABDA – Bundesvereinigung Deutscher Apothekerverbände, Govi Verlag Pharmazeutischer Verlag GmbH Eschborn und Deutscher Apotheker Verlag, Stuttgart

Ohem, N.

Der Mate und seine Inhaltsstoffe: phytochemische und pharmakokinetische Untersuchungen an *Ilex paraguariensis* St. Hil.

Dissertation **1992**, Marburg

Ohem, N.

Auf den Spuren des Mate - 5000 Kilometer durch den Süden Brasiliens

Dtsch. Apoth. Ztg. **1990**, 130, 1769-73

Ohem, N.

Mate

Naturw. Rdsch. **1996**, 7, 259-61

Ohem, N., Hölzl, J.

Der Mate – eine Genuß- und Heilpflanze aus dem mittleren Südamerika

Pharm. Ztg. **1990**, 135, 2737-2746

Ohnishi, M., Morishita, H., Iwahashi, H., Toda, S., Shirataki, Y., Kimura, M., Kido, R.

Inhibitory Effects of Chlorogenic Acids on Linolenic Acid Peroxidation and Haemolysis

Phytochemistry **1994**, 36 (3), 579-583

Pharmazeutische Stoffliste

Stichwort „*Ilex paraguariensis* St.-Hill (Aquifoliaceae)

2002, 13. Auflage Hrsg: ABDATA Pharma-Daten Service, Eschborn

- Pintos, J., Franco, E.L., Oliveira, B.V., Kowalski, L.P., Curado, M.P., Dewar, R.
Maté, Coffee and Tea Consumption and Risk of Cancers of the Upper Aerodigestive Tract in Southern Brazil
Epidemiology **1994**, 5 (6), 583-90.
- Pomilio, A.B., Trajtemberg, S., Vitale, A.A.
High-Performance Capillary Electrophoresis Analysis of *mate* infusions prepared from stems and leaves of *Ilex paraguariensis* using Automated Micellar Electrokinetic Capillary Chromatography
Phytochem. Anal. **2002**, 13, 235-241
- Pütz, A., Hartmann, A.A., Fontes, P.R., Alexandre, C.O., Silveira, D.A., Klug, S.J., Rabes, H.M.
TP53 Mutation Pattern of Esophageal Squamous Cell Carcinomas in a High Risk Area (Southern Brazil): Role of Life Style Factors
Int. J. Cancer **2002**, 98 (1), 99-105
- Ramos Bareto, R.C.
Caracterização di Ácido Ascórbico nas Infusões da Erva-Mate
Rev. Qui. Ind. (Rio de Janeiro) **1955**, 24, 31-32
- Reginatto, F.H., Athayde, M.L., Gosmann, G., Schenkel, E.P.
Methylxanthines Accumulation in *Ilex*-Species – Caffeine and Theobromine in Erva-Mate (*Ilex paraguariensis*) and Other *Ilex* Species
J. Braz. Chem. Soc. **1999**, 10 (6), 443-446
- Reynolds, J.E.F. (Hrsg.)
Stichworte „Xanthines“ und „Caffeine“
Martindale. The Extra Pharmacopeia, **1996**, 31. Ausgabe, Royal Pharmaceutical Society, London, 1651-1665
- Saldana, M.D.A., Mohamed, R.S., Baer, M.G., Mazzafera, P.
Extraction of Purine Alkaloids from Maté (*Ilex paraguariensis*) Using Supercritical CO₂
J. Agric. Food Chem. **1999**, 47 (9), 3804-3808
- Saldana, M.D.A., Zetzel, C., Mohamed. R.S., Brunner, G.
Extraction of Methylxanthines from Guaraná Seeds, Maté Leaves and Cocoa Beans Using Supercritical Carbon Dioxide and Ethanol
J. Agric. Food Chem. **2002**, 50, 4820-26

Santa Cruz, M.J., Garitta, L., Hough, G.

Sensory Descriptive Analysis of Yerba Mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire), a South American Beverage

Food Sci. Tech. Int. **2002**, 8 (1), 25-31

Scherer, P., Urfer, P., Mayol, M.R., Belingheri, L.D., Marx, F., Janssens, M.J.J.

Inheritance studies of caffeine and theobromine content of Mate (*Ilex paraguariensis*) in Misiones, Argentina

Euphytica **2002**, 126, 203-210

Schinella, G.R., Troiani, G., Dávila, C., de Buschiazzo, P.M., Tournier, H.A.

Antioxidant Effects of an Aqueous Extract of *Ilex paraguariensis*

Biochem. Biophys. Res. Commun. **2000**, 269 (2), 357-360

Schlesier, K., Reuss, R., Böhm, V., Bitsch, R.

Modetees, Sinn oder Unsinn

Proceedings of the German Nutrition Society **2000**, Vol. 2, Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., Abstracts zum 37. Wissenschaftlichen Kongress, P69

Schmalko, M.E., Alzamora, S.M.

Color, Chlorophyll, Caffeine and Water Content Variation during Yerba Mate Processing

Drying Technology **2001**, 19 (3+4), 599-610

Sitte, P., Ziegler, H., Ehrendorfer, F., Bresinsky, A.

Lehrbuch der Botanik für Hochschulen begründet von E. Strasburger, F. Noll, H. Schenck, A.F.W. Schimper **1998**, 34. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

Suzuki, T., Ashihara, H., Waller, G.R.

Purine and Purine Alkaloid Metabolism in *Camellia* and *Coffea* Plants

Phytochemistry **1992**, 31 (8), 2575-2584

Tenorio Sanz, M.D., Torija Isasa M.E.

Elementos Minerales en la Yerba Mate (*Ilex paraguariensis* St.H.)

Arch. Latinoam. Nutr. **1991**, 41 (3), 441-454

Teuscher, E.

Biogene Arzneimittel

1997 5. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart

Tormen, M.J.

Economia ervateira brasileira

in *Erva mate: Biologia e Cultura no Cone Sul* Hrsg.: Winge, H., Ferreira, A.G., de Araújo Mariath, J.E., Tarasconi, L.C., 1995, Editora da Universidade UFRGS, Porto Alegre, 27-42

Vassallo, A., Correa, P., de Stefani, E., Cendan, M., Zavala, D., Chen, V., Carzoglio, J., Deneo-Pellegrini, H.

Esaophageal Cancer in Uruguay: A Case-Control Study

J. Natl. Cancer Inst. 1985, 75 (6), 1005-9

Vazquez, A., Moyna, P.

Studies on Mate Drinking

J. Ethnopharmacol. 1986, 18, 267-272

Vera Garcia, R., Basualdo, I., Peralta, I., de Herebia, M., Caballero, S.

Minerals content of Paraguayan yerba mate (*Ilex paraguariensis*, S.H.)

Arch. Latinoam. Nutr. 1997, 47 (1), 77-80

Victoria, C.G., Munoz, N., Horta, B.L., Ramos, E.O.

Patterns of Maté Drinking in a Brazilian City

Cancer Res. 1990, 50, 7112-5

Wada, M., Takita, T., Innami, S.

Some Kinds of Teas Suppress a Sideration of Diabetes in Streptozotocin-Administered Rats

J. Clin. Biochem. Nutr. 1996, 20, 61-69

Wallin, B., Rosengren, B., Shertzer, H. G., Camejo, G.

Lipoprotein oxidation and measurement of thiobarbituric acid reacting substances formation in a single microtiter plate: Its use for Evaluation of antioxidants

Anal. Biochem. 1993, 208, 10-15

Witteimer, S.

Bioverfügbarkeit und Pharmakokinetik von Caffeoylchinasäuren und Flavonoiden nach oraler Applikation von Artischockenblätter-Extrakt am Menschen

Dissertation, **2003**, Bonn

Wrobel, K., Wrobel, K., Colunga Urbina, E.M.

Determination of Total Aluminium, Chromium, Copper, Iron, Manganese and Nickel and Their Fractions Leached to the Infusions of Black Tea, Green Tea, *Hibiscus sabdariffa* and *Ilex paraguariensis* (Mate) by ETA-AAS

Biol. Trace Elem. Res. **2000**, 78, 271-280

8 Anhang I: Zusammenstellung der erhobenen Daten

Tab. 8-1:	Proben zur Untersuchung der biologischen Variabilität: Informationen zu Einzelblättern und Blättern verschiedener Zweige	146
Tab. 8-2:	Proben zur Untersuchung der biologischen Variabilität: Informationen zu Blättern markierter Bäume	155
Tab. 8-3:	Proben zur Untersuchung der produktionsbedingten Variabilität: Informationen zu Mate cancheada, Zwischenstufen und Handelswaren	166
Tab. 8-4:	Informationen zu Zellkulturen zur Untersuchung der Variabilität undifferenzierten Gewebes	172
Tab. 8-5:	Ergebnisse der Gehaltsbestimmungen aller Proben	173
Tab. 8-6	Varianzanalyse der mittleren Gehalte von Blättern eines Zweiges (Messreihe 23) an Mono- und DicaFFEoylchinasäure, Coffein, Rutin, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden in Abhängigkeit von der Lage, der Exposition und den Lichtverhältnissen des jeweiligen Zweigs	187
Tab. 8-7	Varianzanalyse der mittleren Gehalte von Blättern eines Zweiges (Messreihe 23) an Mono- und DicaFFEoylchinasäure, Coffein, Rutin, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden in Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen des jeweiligen Zweigs	189
Tab. 8-8	Varianzanalyse der mittleren Gehalte an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, DicaFFEoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Blätter von 15 Jungpflanzen in Abhängigkeit von der Beschattung	190
Tab. 8-9	Varianzanalyse der mittleren Gehalte von Mate cancheada an Mono- und DicaFFEoylchinasäure, Coffein, Rutin, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden in Abhängigkeit von den Jahren des Cancheamento	191

Proben zur Untersuchung der biologischen Variabilität

Tab. 8-1: Informationen zu dem Datum der Probennahme des untersuchten Blatts, dem liefernden Plantagenbesitzer, dem Alter der Pflanze, ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, der Pflanzdichte, den Lichtverhältnissen und der Masse der Probe (g)

Probe Nr.	Probennahme	Anbauer/Produzent	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Masse (g)
10/01	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	1,770
10/02	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,764
10/03	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,778
10/04	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,270
10/05	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,275
10/06	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,337
10/07	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,449
10/08	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,760
10/09	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	1,100
10/10	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,847
10/11	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,773
10/12	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,646
10/13	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,466
10/14	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,364
10/15	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,286
10/16	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,797
10/17	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,535
10/18	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,836
10/19	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,483
10/20	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,380
10/21	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,322
10/22	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,499
10/23	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,449
10/24	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,819
10/25	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,636
10/26	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,529

Fortsetzung der Tab. 8-1: Informationen zu dem Datum der Probennahme des untersuchten Blatts, dem liefernden Plantagenbesitzer, dem Alter der Pflanze, ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, der Pflanzdichte, den Lichtverhältnissen und der Masse der Probe (g)

Probe Nr.	Probennahme	Anbauer/Produzent	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Masse (g)
10/27	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,487
10/28	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,858
10/29	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,297
10/30	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,356
10/31	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,271
10/32	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,619
10/33	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,427
10/34	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,439
10/35	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,506
10/36	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,675
10/37	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,695
10/38	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,299
10/39	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,363
10/40	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,396
10/41	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,244
10/42	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,544
10/43	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,820
10/44	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,757
10/45	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,524
10/46	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,790
10/47	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,278
10/48	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,246
10/49	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,258
10/50	11.02.1999	Baldo	nativ	k.A.	Sao Mateus do Sul	k.A.	0,219
11/01	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor einem Jahr	Estiva	mittel	0,3355
11/02	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor einem Jahr	Estiva	mittel	0,4318
11/03	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor einem Jahr	Estiva	mittel	0,2462
11/04	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor einem Jahr	Estiva	mittel	0,2475
11/05	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor einem Jahr	Estiva	mittel	0,3132

Fortsetzung der Tab. 8-1: Informationen zu dem Datum der Probennahme des untersuchten Blatts, dem liefernden Plantagenbesitzer, dem Alter der Pflanze, ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, der Pflanzdichte, den Lichtverhältnissen und der Masse der Probe (g)

Probe Nr.	Probennahme	Anbauer/Produzent	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Masse (g)
11/06	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor einem Jahr	Estiva	mittel	0,5176
11/07	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor einem Jahr	Estiva	mittel	0,2870
11/08	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor einem Jahr	Estiva	mittel	0,3958
11/09	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor einem Jahr	Estiva	mittel	0,3088
11/10	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor einem Jahr	Estiva	mittel	0,2000
12/01	22.01.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	erster Schnitt	Estiva	gut	0,2195
12/02	22.01.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	erster Schnitt	Estiva	gut	0,3341
12/03	22.01.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	erster Schnitt	Estiva	gut	0,4612
12/04	22.01.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	erster Schnitt	Estiva	gut	0,3662
12/05	22.01.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	erster Schnitt	Estiva	gut	0,5656
12/06	22.01.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	erster Schnitt	Estiva	gut	0,4400
12/07	22.01.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	erster Schnitt	Estiva	gut	0,3253
12/08	22.01.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	erster Schnitt	Estiva	gut	0,1565
12/09	22.01.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	erster Schnitt	Estiva	gut	0,1564
13/01	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,2002
13/02	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,2893
13/03	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,2007
13/04	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,1618
13/05	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,6386
13/06	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,5535
13/07	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,2395
13/08	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,4371
13/09	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,3536
13/10	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,2940
13/11	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,7283
13/12	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,3964
13/13	22.01.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	vor 2 Jahren	Estiva	gut	0,1812
14/01	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,0411
14/02	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,4327

Fortsetzung der Tab. 8-1: Informationen zu dem Datum der Probennahme des untersuchten Blatts, dem liefernden Plantagenbesitzer, dem Alter der Pflanze, ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, der Pflanzdichte, den Lichtverhältnissen und der Masse der Probe (g)

Probe Nr.	Probennahme	Anbauer/Produzent	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Masse (g)
14/03	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,5502
14/04	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,4179
14/05	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,6030
14/06	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1095
14/07	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,4635
14/08	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1162
14/09	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,3567
14/10	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,5357
14/11	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,5119
14/IA	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1998
14/IB	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1911
14/IC	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,8340
14/ID	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,0683
14/IE	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,0450
14/IIA	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1757
14/IIB	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1917
14/IIC	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1532
14/IID	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,3218
14/IIIE	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1372
14/IIF	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,3621
14/IIG	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,3577
14/IIH	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1995
14/IIi	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1456
14/IIK	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1510
14/IIIL	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1262
14/IIIM	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,0791
14/IIIA	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,2967
14/IIIB	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,0579
14/IIIC	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1789

Fortsetzung der Tab. 8-1: Informationen zu dem Datum der Probennahme des untersuchten Blatts, dem liefernden Plantagenbesitzer, dem Alter der Pflanze, ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, der Pflanzdichte, den Lichtverhältnissen und der Masse der Probe (g)

Probe Nr.	Probennahme	Anbauer/Produzent	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Masse (g)
14/IIID	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,1982
15/A1	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1995)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	schlecht	0,47
15/A2	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1995)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	schlecht	0,46
15/A3	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1995)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	schlecht	0,40
15/A4	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1995)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	schlecht	0,42
15/B1	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1995)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	schlecht	0,40
15/B2	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1995)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	schlecht	0,55
15/B3	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1995)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	schlecht	0,49
15/B4	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1995)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	schlecht	0,50
15/B5	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1995)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	schlecht	0,54
15/Zweig B	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1995)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	schlecht	0,24
16/A1	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,38
16/A2	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,59
16/A3	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,56
16/A4	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,40
16/A5	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,42
16/B1	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,67
16/B2	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,56
16/B3	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,20
16/B4	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,50
16/Zweig B	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor einem Jahr	Colonia Cachoeira	gut	0,53
17/A1	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1996)	ungeschnitten	Colonia Cachoeira	gut	0,32
17/A2	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1996)	ungeschnitten	Colonia Cachoeira	gut	0,46
17/A3	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1996)	ungeschnitten	Colonia Cachoeira	gut	0,49
17/A4	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1996)	ungeschnitten	Colonia Cachoeira	gut	0,60
17/Zweig A	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1996)	ungeschnitten	Colonia Cachoeira	gut	0,25
17/B1	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1996)	ungeschnitten	Colonia Cachoeira	gut	0,88
17/B2	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1996)	ungeschnitten	Colonia Cachoeira	gut	1,09
17/B3	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1996)	ungeschnitten	Colonia Cachoeira	gut	0,90

Fortsetzung der Tab. 8-1: Informationen zu dem Datum der Probennahme des untersuchten Blatts, dem liefernden Plantagenbesitzer, dem Alter der Pflanze, ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, der Pflanzdichte, den Lichtverhältnissen und der Masse der Probe (g)

Probe Nr.	Probennahme	Anbauer/Produzent	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Masse (g)
17/B4	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1996)	ungeschnitten	Colonia Cachoeira	gut	1,10
17/B5	22.01.1999	J. Gaensly	Plantage (1996)	ungeschnitten	Colonia Cachoeira	gut	0,77
20/A1	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor einem Jahr)	Estiva	mittel	0,54
20/A2	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor einem Jahr)	Estiva	mittel	0,60
20/A3	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor einem Jahr)	Estiva	mittel	0,57
20/A4	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor einem Jahr)	Estiva	mittel	0,43
20/A5	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor einem Jahr)	Estiva	mittel	0,65
20/B1	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor einem Jahr)	Estiva	mittel	0,27
20/B2	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor einem Jahr)	Estiva	mittel	0,23
20/B3	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor einem Jahr)	Estiva	mittel	0,21
20/B4	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor einem Jahr)	Estiva	mittel	0,19
20/B5	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor einem Jahr)	Estiva	mittel	0,11
21/A1	16.09.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	(erster Schnitt)	Estiva	gut	0,67
21/A2	16.09.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	(erster Schnitt)	Estiva	gut	0,57
21/A3	16.09.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	(erster Schnitt)	Estiva	gut	0,72
21/A4	16.09.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	(erster Schnitt)	Estiva	gut	0,57
21/A5	16.09.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	(erster Schnitt)	Estiva	gut	0,32
21/B1	16.09.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	(erster Schnitt)	Estiva	gut	0,59
21/B2	16.09.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	(erster Schnitt)	Estiva	gut	0,56
21/B3	16.09.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	(erster Schnitt)	Estiva	gut	0,49
21/B4	16.09.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	(erster Schnitt)	Estiva	gut	0,29
21/B5	16.09.1999	J.P. Busmann	Plantage (1996)	(erster Schnitt)	Estiva	gut	0,23
22/A1	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor 2 Jahren)	Estiva	gut	0,48
22/A2	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor 2 Jahren)	Estiva	gut	0,49
22/A3	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor 2 Jahren)	Estiva	gut	0,44
22/A4	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor 2 Jahren)	Estiva	gut	0,44
22/A5	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor 2 Jahren)	Estiva	gut	0,45
22/B1	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor 2 Jahren)	Estiva	gut	1,05
22/B2	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor 2 Jahren)	Estiva	gut	0,51

Fortsetzung der Tab. 8-1: Informationen zu dem Datum der Probennahme des untersuchten Blatts, dem liefernden Plantagenbesitzer, dem Alter der Pflanze, ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, der Pflanzdichte, den Lichtverhältnissen und der Masse der Probe (g)

Probe Nr.	Probennahme	Anbauer/Produzent	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Masse (g)
22/B3	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor 2 Jahren)	Estiva	gut	0,64
22/B4	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor 2 Jahren)	Estiva	gut	0,86
22/B5	16.09.1999	J.P. Busmann	nativ (ca. 30 J.)	(vor 2 Jahren)	Estiva	gut	0,65
27/Keim	09.02.2001	Eigenzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,1417
27/Jung_1	09.02.2001	Eigenzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,0987
27/Jung_2	09.02.2001	Eigenzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,0790
27/Jung_3	09.02.2001	Eigenzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,1004
27/Marburg	09.02.2001	Uni Marburg	k.A.	-	Bonn	Tageslicht	0,3447
27/Licht_1	09.02.2001	Eigenzucht	25.02.2000	-	Bonn	Dauerlicht	0,2417
27/Licht_2	09.02.2001	Eigenzucht	25.02.2000	-	Bonn	Dauerlicht	0,0952
30/01	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	unbeschattet	0,518
30/02	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	unbeschattet	0,478
30/03	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	unbeschattet	0,562
30/04	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Schatten 30%	1,419
30/05	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Schatten 30%	0,755
30/06	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Schatten 30%	1,257
30/07	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Schatten 30%	1,676
30/08	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Schatten 30%	1,468
30/09	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Schatten 70%	0,965
30/10	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Schatten 70%	1,298
30/11	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Schatten 70%	1,723
30/12	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Bracatinga	0,779
30/13	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Bracatinga	1,168
30/14	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Bracatinga	0,699
30/15	31.07.2001	Baldo	Kultur (ca. 1,5 J.)	-	Sao Mateus do Sul	Bracatinga	0,998
34/IA	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,499
34/IIA	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,352
34/IIIA	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,406
34/IB	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,710

Fortsetzung der Tab. 8-1: Informationen zu dem Datum der Probennahme des untersuchten Blatts, dem liefernden Plantagenbesitzer, dem Alter der Pflanze, ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, der Pflanzdichte, den Lichtverhältnissen und der Masse der Probe (g)

Probe Nr.	Probennahme	Anbauer/Produzent	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Masse (g)
34/IIB	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,477
34/IIIB	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,496
34/IC	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,750
34/IIC	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,536
34/IIIC	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,522
34/ID	03.02.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,703
34/IID	03.02.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,399
34/IIID	03.02.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,501
34/IE	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,553
34/IIIE	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,509
34/IIIE	31.01.2003	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,542
35/111	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,3437
35/112	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,4155
35/113S	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,3628
35/114L	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,5455
35/115L	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,6418
35/116S	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,3823
35/121	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,3908
35/122	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,3809
35/123S	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,3857
35/124L	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,4442
35/125S	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,3730
35/126L	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,4304
35/212	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,9344
35/213	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,9402
35/211L	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,7237
35/214S	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,4827
35/215S	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,3191
35/216L	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,2183

Fortsetzung der Tab. 8-1: Informationen zu dem Datum der Probennahme des untersuchten Blatts, dem liefernden Plantagenbesitzer, dem Alter der Pflanze, ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, der Pflanzdichte, den Lichtverhältnissen und der Masse der Probe (g)

Probe Nr.	Probennahme	Anbauer/Produzent	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Masse (g)
35/221	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,6712
35/222	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,6629
35/223S	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,7354
35/224L	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,8838
35/225L	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,6089
35/226S	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,4156
35/311	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,6518
35/312	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,3511
35/313S	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,3390
35/314L	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,4415
35/316L	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,5596
35/318S	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,3677
35/321	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,4385
35/322	05.08.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,4282
35/323S	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,3401
35/324L	02.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,3496
35/325S	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	beschattet	0,3611
35/326L	30.09.2002	Eigenanzucht	25.02.2000	-	Bonn	Tageslicht	0,4276

k.A. – keine Angabe, J. – Jahre

Tab. 8-2: Informationen zu drei untersuchten Blättern (1-3) von je drei Zweigen (a-c) eines markierten Baumes, bestehend aus dem Datum der Probenahme des untersuchten Blattes, dem Plantagenbesitzer, der Kulturform der Pflanze (Alter), ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, den Lichtverhältnissen, der Baumhöhe (m), Lage und Orientierung der entsprechenden Zweige und zu der Masse des untersuchten Blattes (g)

Probe Nr.	Probenahme	Plantagenbesitzer	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Baumhöhe (m)	Lage	Orientierung	Masse (g)
23/00-a1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	1,3	oben	West	0,33
23/00-a2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	1,3	oben	West	0,30
23/00-a3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	1,3	oben	West	0,24
23/00-b1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	1,3	Mitte	Süd	0,40
23/00-b2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	1,3	Mitte	Süd	0,36
23/00-b3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	1,3	Mitte	Süd	0,56
23/00-c1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	1,3	unten	Süd	0,30
23/00-c2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	1,3	unten	Süd	0,21
23/00-c3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	1,3	unten	Süd	0,31
23/01-a1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gering	1,3	oben	Süd	0,64
23/01-a2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gering	1,3	oben	Süd	0,46
23/01-a3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gering	1,3	oben	Süd	0,35
23/01-b1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gering	1,3	Mitte	West	0,63
23/01-b2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gering	1,3	Mitte	West	0,50
23/01-b3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gering	1,3	Mitte	West	0,60
23/01-c1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gering	1,3	unten	Süd	0,55
23/01-c2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gering	1,3	unten	Süd	0,47
23/01-c3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	Ernte 1999	Fluviopolis	gering	1,3	unten	Süd	0,55
23/02-a1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	5,0	oben	Ost	0,48
23/02-a2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	5,0	oben	Ost	0,34
23/02-a3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	5,0	oben	Ost	0,39
23/02-b1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	5,0	Mitte	Süd	0,56
23/02-b2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	5,0	Mitte	Süd	0,34
23/02-b3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	5,0	Mitte	Süd	0,26
23/02-c1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	5,0	unten	Nord	0,50
23/02-c2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	5,0	unten	Nord	0,45
23/02-c3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	gut	5,0	unten	Nord	0,38

Fortsetzung der Tab. 8-2: Informationen zu drei untersuchten Blättern (1-3) von je drei Zweigen (a-c) eines markierten Baumes, bestehend aus dem Datum der Probenahme des untersuchten Blattes, dem Plantagenbesitzer, der Kulturform der Pflanze (Alter), ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, den Lichtverhältnissen, der Baumhöhe (m), Lage und Orientierung der entsprechenden Zweige und zu der Masse des untersuchten Blattes (g)

Probe Nr.	Probenahme	Plantagenbesitzer	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Baumhöhe (m)	Lage	Orientierung	Masse (g)
23/03-a1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	schlecht	1,5	oben	West	0,60
23/03-a2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	schlecht	1,5	oben	West	0,51
23/03-a3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	schlecht	1,5	oben	West	1,09
23/03-b1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	schlecht	1,5	Mitte	Süd	0,51
23/03-b2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	schlecht	1,5	Mitte	Süd	0,99
23/03-b3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	schlecht	1,5	Mitte	Süd	0,60
23/03-c1	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	schlecht	1,5	unten	Nord	0,69
23/03-c2	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	schlecht	1,5	unten	Nord	0,58
23/03-c3	20.01.2000	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	Ernte 1999	Fluviopolis	schlecht	1,5	unten	Nord	0,41
23/04-a1	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1999	Estiva	moderat	2,0	oben	Nord	0,48
23/04-a2	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1999	Estiva	moderat	2,0	oben	Nord	0,38
23/04-a3	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1999	Estiva	moderat	2,0	oben	Nord	0,61
23/04-b1	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1999	Estiva	moderat	2,0	Mitte	West	0,53
23/04-b2	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1999	Estiva	moderat	2,0	Mitte	West	0,48
23/04-b3	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1999	Estiva	moderat	2,0	Mitte	West	0,93
23/04-c1	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1999	Estiva	moderat	2,0	unten	Süd	0,45
23/04-c2	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1999	Estiva	moderat	2,0	unten	Süd	0,45
23/04-c3	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1999	Estiva	moderat	2,0	unten	Süd	0,46
23/05-a1	20.01.2000	J.P. Busmann	Plantage (1996)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	oben	Ost	0,39
23/05-a2	20.01.2000	J.P. Busmann	Plantage (1996)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	oben	Ost	0,33
23/05-a3	20.01.2000	J.P. Busmann	Plantage (1996)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	oben	Ost	0,21
23/05-b1	20.01.2000	J.P. Busmann	Plantage (1996)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	Mitte	West	0,29
23/05-b2	20.01.2000	J.P. Busmann	Plantage (1996)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	Mitte	West	0,39
23/05-b3	20.01.2000	J.P. Busmann	Plantage (1996)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	Mitte	West	0,40
23/05-c1	20.01.2000	J.P. Busmann	Plantage (1996)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	unten	Nord	0,42
23/05-c2	20.01.2000	J.P. Busmann	Plantage (1996)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	unten	Nord	0,45
23/05-c3	20.01.2000	J.P. Busmann	Plantage (1996)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	unten	Nord	0,23

Fortsetzung der Tab. 8-2: Informationen zu drei untersuchten Blättern (1-3) von je drei Zweigen (a-c) eines markierten Baumes, bestehend aus dem Datum der Probenahme des Blattes, dem Plantagenbesitzer, der Kulturform der Pflanze (Alter), ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, den Lichtverhältnissen, der Baumhöhe (m), Lage und Orientierung der entsprechenden Zweige und zu der Masse des untersuchten Blattes (g)

Probe Nr.	Probenahme	Plantagenbesitzer	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Baumhöhe (m)	Lage	Orientierung	Masse (g)
23/06-a1	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	oben	Nord	0,92
23/06-a2	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	oben	Nord	0,64
23/06-a3	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	oben	Nord	0,32
23/06-b1	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	Mitte	Süd	1,03
23/06-b2	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	Mitte	Süd	0,23
23/06-b3	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	Mitte	Süd	0,67
23/06-c1	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	unten	Ost	0,64
23/06-c2	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	unten	Ost	0,57
23/06-c3	20.01.2000	J.P. Busmann	nativ (ca.30 J.)	Ernte 1998	Estiva	gut	1,5	unten	Ost	0,81
23/07-a1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	Januar 1999	Colonia Cachoeira	gut	1,5	oben	West	0,37
23/07-a2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	Januar 1999	Colonia Cachoeira	gut	1,5	oben	West	0,30
23/07-a3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	Januar 1999	Colonia Cachoeira	gut	1,5	oben	West	0,19
23/07-b1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	Januar 1999	Colonia Cachoeira	gut	1,5	Mitte	Nord	0,48
23/07-b2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	Januar 1999	Colonia Cachoeira	gut	1,5	Mitte	Nord	0,48
23/07-b3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	Januar 1999	Colonia Cachoeira	gut	1,5	Mitte	Nord	0,43
23/07-c1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	Januar 1999	Colonia Cachoeira	gut	1,5	unten	Süd	0,48
23/07-c2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	Januar 1999	Colonia Cachoeira	gut	1,5	unten	Süd	0,46
23/07-c3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (10/1994)	Januar 1999	Colonia Cachoeira	gut	1,5	unten	Süd	1,18
23/08-a1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1995)	noch keiner	Colonia Cachoeira	schlecht	4,0	oben	West	0,51
23/08-a2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1995)	noch keiner	Colonia Cachoeira	schlecht	4,0	oben	West	0,63
23/08-a3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1995)	noch keiner	Colonia Cachoeira	schlecht	4,0	oben	West	0,46
23/08-b1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1995)	noch keiner	Colonia Cachoeira	schlecht	4,0	Mitte	Süd	0,50
23/08-b2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1995)	noch keiner	Colonia Cachoeira	schlecht	4,0	Mitte	Süd	0,53
23/08-b3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1995)	noch keiner	Colonia Cachoeira	schlecht	4,0	Mitte	Süd	0,42
23/08-c1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1995)	noch keiner	Colonia Cachoeira	schlecht	4,0	unten	Nord	0,46
23/08-c2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1995)	noch keiner	Colonia Cachoeira	schlecht	4,0	unten	Nord	0,48
23/08-c3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1995)	noch keiner	Colonia Cachoeira	schlecht	4,0	unten	Nord	0,36

Fortsetzung der Tab. 8-2: Informationen zu drei untersuchten Blättern (1-3) von je drei Zweigen (a-c) eines markierten Baumes, bestehend aus dem Datum der Probennahme des untersuchten Blattes, dem Plantagenbesitzer, der Kulturform der Pflanze (Alter), ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, den Lichtverhältnissen, der Baumhöhe (m), Lage und Orientierung der entsprechenden Zweige und zu der Masse des untersuchten Blattes (g)

Probe Nr.	Probenahme	Plantagenbesitzer	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Baumhöhe (m)	Lage	Orientierung	Masse (g)
23/11-a1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1994)	Ernte 1997	Colonia Cachoeira	gut	1,7	oben	Nord	0,65
23/11-a2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1994)	Ernte 1997	Colonia Cachoeira	gut	1,7	oben	Nord	0,72
23/11-a3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1994)	Ernte 1997	Colonia Cachoeira	gut	1,7	oben	Nord	0,58
23/11-b1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1994)	Ernte 1997	Colonia Cachoeira	gut	1,7	Mitte	West	0,81
23/11-b2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1994)	Ernte 1997	Colonia Cachoeira	gut	1,7	Mitte	West	0,54
23/11-b3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1994)	Ernte 1997	Colonia Cachoeira	gut	1,7	Mitte	West	0,46
23/11-c1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1994)	Ernte 1997	Colonia Cachoeira	gut	1,7	unten	Süd	0,54
23/11-c2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1994)	Ernte 1997	Colonia Cachoeira	gut	1,7	unten	Süd	0,70
23/11-c3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1994)	Ernte 1997	Colonia Cachoeira	gut	1,7	unten	Süd	0,85
23/12-a1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1996)	noch keiner	Colonia Cachoeira	gut	2,5	unten	Süd	0,53
23/12-a2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1996)	noch keiner	Colonia Cachoeira	gut	2,5	unten	Süd	0,27
23/12-a3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1996)	noch keiner	Colonia Cachoeira	gut	2,5	unten	Süd	0,28
23/12-b1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1996)	noch keiner	Colonia Cachoeira	gut	2,5	Mitte	Ost	0,43
23/12-b2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1996)	noch keiner	Colonia Cachoeira	gut	2,5	Mitte	Ost	0,33
23/12-b3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1996)	noch keiner	Colonia Cachoeira	gut	2,5	Mitte	Ost	0,33
23/12-c1	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1996)	noch keiner	Colonia Cachoeira	gut	2,5	unten	Ost	0,31
23/12-c2	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1996)	noch keiner	Colonia Cachoeira	gut	2,5	unten	Ost	0,30
23/12-c3	20.01.2000	J. Gaensly	Plantage (1996)	noch keiner	Colonia Cachoeira	gut	2,5	unten	Ost	0,41
23/13-a1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	oben	Ost	0,71
23/13-a2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	oben	Ost	0,73
23/13-a3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	oben	Ost	0,58
23/13-b1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	Mitte	Nord	0,61
23/13-b2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	Mitte	Nord	0,72
23/13-b3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	Mitte	Nord	0,70
23/13-c1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	unten	Süd	0,84
23/13-c2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	unten	Süd	0,97
23/13-c3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	unten	Süd	0,78

Fortsetzung der Tab. 8-2: Informationen zu drei untersuchten Blättern (1-3) von je drei Zweigen (a-c) eines markierten Baumes, bestehend aus dem Datum der Probenahme des Blattes, dem Plantagenbesitzer, der Kulturform der Pflanze (Alter), ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, den Lichtverhältnissen, der Baumhöhe (m), Lage und Orientierung der entsprechenden Zweige und zu der Masse des untersuchten Blattes (g)

Probe Nr.	Probenahme	Plantagenbesitzer	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Baumhöhe (m)	Lage	Orientierung	Masse (g)
23/14-a1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	oben	Nord	0,32
23/14-a2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	oben	Nord	0,32
23/14-a3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	oben	Nord	0,60
23/14-b1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	Mitte	Ost	0,44
23/14-b2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	Mitte	Ost	0,45
23/14-b3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	Mitte	Ost	0,74
23/14-c1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	unten	Süd	0,43
23/14-c2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	unten	Süd	0,32
23/14-c3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,5	unten	Süd	0,40
23/15-a1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,0	oben	Süd	0,47
23/15-a2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,0	oben	Süd	0,52
23/15-a3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,0	oben	Süd	0,41
23/15-b1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,0	Mitte	West	0,29
23/15-b2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,0	Mitte	West	0,22
23/15-b3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,0	Mitte	West	0,30
23/15-c1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,0	unten	Ost	0,46
23/15-c2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,0	unten	Ost	0,96
23/15-c3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	2,0	unten	Ost	0,45
23/16-a1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	1,5	oben	West	0,4
23/16-a2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	1,5	oben	West	0,28
23/16-a3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	1,5	oben	West	0,29
23/16-b1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	1,5	Mitte	Nord	0,37
23/16-b2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	1,5	Mitte	Nord	0,32
23/16-b3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	1,5	Mitte	Nord	0,29
23/16-c1	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	1,5	unten	Ost	0,32
23/16-c2	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	1,5	unten	Ost	0,36
23/16-c3	20.01.2000	S. Romano	Plantage (1992)	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	1,5	unten	Ost	0,38

Fortsetzung der Tab. 8-2: Informationen zu drei untersuchten Blättern (1-3) von je drei Zweigen (a-c) eines markierten Baumes, bestehend aus dem Datum der Probenahme des untersuchten Blattes, dem Plantagenbesitzer, der Kulturform der Pflanze (Alter), ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, den Lichtverhältnissen, der Baumhöhe (m), Lage und Orientierung der entsprechenden Zweige und zu der Masse des untersuchten Blattes (g)

Probe Nr.	Probenahme	Plantagenbesitzer	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Baumhöhe (m)	Lage	Orientierung	Masse (g)
23/17-a1	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1994)	Juli 1998	Agua Branca	gut	1,5	oben	Nord	0,21
23/17-a2	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1994)	Juli 1998	Agua Branca	gut	1,5	oben	Nord	0,21
23/17-a3	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1994)	Juli 1998	Agua Branca	gut	1,5	oben	Nord	0,14
23/17-b1	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1994)	Juli 1998	Agua Branca	gut	1,5	Mitte	West	0,31
23/17-b2	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1994)	Juli 1998	Agua Branca	gut	1,5	Mitte	West	0,39
23/17-b3	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1994)	Juli 1998	Agua Branca	gut	1,5	Mitte	West	0,20
23/17-c1	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1994)	Juli 1998	Agua Branca	gut	1,5	unten	Süd	0,42
23/17-c2	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1994)	Juli 1998	Agua Branca	gut	1,5	unten	Süd	0,37
23/17-c3	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1994)	Juli 1998	Agua Branca	gut	1,5	unten	Süd	0,40
23/18-a1	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	moderat	3,0	oben	West	0,43
23/18-a2	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	moderat	3,0	oben	West	0,24
23/18-a3	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	moderat	3,0	oben	West	0,35
23/18-b1	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	moderat	3,0	Mitte	Ost	0,40
23/18-b2	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	moderat	3,0	Mitte	Ost	0,29
23/18-b3	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	moderat	3,0	Mitte	Ost	1,19
23/18-c1	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	moderat	3,0	unten	Süd	0,23
23/18-c2	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	moderat	3,0	unten	Süd	0,37
23/18-c3	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	moderat	3,0	unten	Süd	0,76
23/19-a1	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	gering	2,0	oben	Süd	0,56
23/19-a2	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	gering	2,0	oben	Süd	0,32
23/19-a3	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	gering	2,0	oben	Süd	0,60
23/19-b1	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	gering	2,0	Mitte	Nord	0,96
23/19-b2	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	gering	2,0	Mitte	Nord	0,97
23/19-b3	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	gering	2,0	Mitte	Nord	0,45
23/19-c1	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	gering	2,0	unten	Ost	0,34
23/19-c2	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	gering	2,0	unten	Ost	0,28
23/19-c3	25.01.2000	H. Lugarini	Plantage (1992)	Juli 1999	Agua Branca	gering	2,0	unten	Ost	0,30

Fortsetzung der Tab. 8-2: Informationen zu drei untersuchten Blättern (1-3) von je drei Zweigen (a-c) eines markierten Baumes, bestehend aus dem Datum der Probenahme des Blattes, dem Plantagenbesitzer, der Kulturform der Pflanze (Alter), ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, den Lichtverhältnissen, der Baumhöhe (m), Lage und Orientierung der entsprechenden Zweige und zu der Masse des untersuchten Blattes (g)

Probe Nr.	Probenahme	Plantagenbesitzer	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Baumhöhe (m)	Lage	Orientierung	Masse (g)
23/20-a1	25.01.2000	A. Stempinhaski	nativ	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	oben	Nord	0,45
23/20-a2	25.01.2000	A. Stempinhaski	nativ	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	oben	Nord	0,29
23/20-a3	25.01.2000	A. Stempinhaski	nativ	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	oben	Nord	0,38
23/20-b1	25.01.2000	A. Stempinhaski	nativ	Juli 1998	Rio do Poco	gut	6,0	Mitte	Ost	0,61
23/20-b2	25.01.2000	A. Stempinhaski	nativ	Juli 1998	Rio do Poco	gut	6,0	Mitte	Ost	0,25
23/20-b3	25.01.2000	A. Stempinhaski	nativ	Juli 1998	Rio do Poco	gut	6,0	Mitte	Ost	0,38
23/20-c1	25.01.2000	A. Stempinhaski	nativ	Juli 1998	Rio do Poco	gut	6,0	unten	Süd	0,42
23/20-c2	25.01.2000	A. Stempinhaski	nativ	Juli 1998	Rio do Poco	gut	6,0	unten	Süd	0,59
23/20-c3	25.01.2000	A. Stempinhaski	nativ	Juli 1998	Rio do Poco	gut	6,0	unten	Süd	0,71
23/21-a1	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	oben	Ost	0,33
23/21-a2	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	oben	Ost	0,30
23/21-a3	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	oben	Ost	0,34
23/21-b1	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	Mitte	Nord	0,27
23/21-b2	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	Mitte	Nord	0,26
23/21-b3	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	Mitte	Nord	0,71
23/21-c1	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	unten	West	0,50
23/21-c2	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	unten	West	0,27
23/21-c3	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gut	1,5	unten	West	0,98
23/22-a1	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gering	1,5	oben	Ost	0,33
23/22-a2	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gering	1,5	oben	Ost	0,40
23/22-a3	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gering	1,5	oben	Ost	0,58
23/22-b1	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gering	1,5	Mitte	West	0,35
23/22-b2	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gering	1,5	Mitte	West	0,20
23/22-b3	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gering	1,5	Mitte	West	0,51
23/22-c1	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gering	1,5	unten	Nord	0,15
23/22-c2	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gering	1,5	unten	Nord	0,20
23/22-c3	25.01.2000	A. Stempinhaski	Plantage (1995)	Juli 1998	Rio do Poco	gering	1,5	unten	Nord	0,51

Fortsetzung der Tab. 8-2: Informationen zu drei untersuchten Blättern (1-3) von je drei Zweigen (a-c) eines markierten Baumes, bestehend aus dem Datum der Probenahme des untersuchten Blattes, dem Plantagenbesitzer, der Kulturform der Pflanze (Alter), ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, den Lichtverhältnissen, der Baumhöhe (m), Lage und Orientierung der entsprechenden Zweige und zu der Masse des untersuchten Blattes (g)

Probe Nr.	Probenahme	Plantagenbesitzer	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Baumhöhe (m)	Lage	Orientierung	Masse (g)
23/23-a1	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	oben	Ost	0,55
23/23-a2	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	oben	Ost	0,42
23/23-a3	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	oben	Ost	0,59
23/23-b1	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	Mitte	Nord	0,80
23/23-b2	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	Mitte	Nord	0,56
23/23-b3	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	Mitte	Nord	0,40
23/23-c1	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	unten	West	0,60
23/23-c2	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	unten	West	0,74
23/23-c3	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	unten	West	0,54
23/24-a1	25.01.2000	J. Stanizewski	Plantage (1991)	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	oben	Süd	0,23
23/24-a2	25.01.2000	J. Stanizewski	Plantage (1991)	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	oben	Süd	0,18
23/24-a3	25.01.2000	J. Stanizewski	Plantage (1991)	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	oben	Süd	0,58
23/24-b1	25.01.2000	J. Stanizewski	Plantage (1991)	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	Mitte	West	0,31
23/24-b2	25.01.2000	J. Stanizewski	Plantage (1991)	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	Mitte	West	0,34
23/24-b3	25.01.2000	J. Stanizewski	Plantage (1991)	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	Mitte	West	0,35
23/24-c1	25.01.2000	J. Stanizewski	Plantage (1991)	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	unten	Ost	0,35
23/24-c2	25.01.2000	J. Stanizewski	Plantage (1991)	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	unten	Ost	0,42
23/24-c3	25.01.2000	J. Stanizewski	Plantage (1991)	Juli 1997	Faxinal dos Elias	gut	3,0	unten	Ost	0,47
23/25-a1	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ (ca.50 J.)	Juli 1996	Faxinal dos Elias	gut	12,0	oben	Süd	0,26
23/25-a2	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ (ca.50 J.)	Juli 1996	Faxinal dos Elias	gut	12,0	oben	Süd	0,22
23/25-a3	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ (ca.50 J.)	Juli 1996	Faxinal dos Elias	gut	12,0	oben	Süd	0,35
23/25-b1	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ (ca.50 J.)	Juli 1996	Faxinal dos Elias	gut	12,0	Mitte	Ost	0,36
23/25-b2	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ (ca.50 J.)	Juli 1996	Faxinal dos Elias	gut	12,0	Mitte	Ost	0,33
23/25-b3	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ (ca.50 J.)	Juli 1996	Faxinal dos Elias	gut	12,0	Mitte	Ost	0,35
23/25-c1	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ (ca.50 J.)	Juli 1996	Faxinal dos Elias	gut	12,0	unten	West	0,20
23/25-c2	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ (ca.50 J.)	Juli 1996	Faxinal dos Elias	gut	12,0	unten	West	0,19
23/25-c3	25.01.2000	J. Stanizewski	nativ (ca.50 J.)	Juli 1996	Faxinal dos Elias	gut	12,0	unten	West	0,31

Fortsetzung der Tab. 8-2: Informationen zu drei untersuchten Blättern (1-3) von je drei Zweigen (a-c) eines markierten Baumes, bestehend aus dem Datum der Probenahme des Blattes, dem Plantagenbesitzer, der Kulturform der Pflanze (Alter), ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, den Lichtverhältnissen, der Baumhöhe (m), Lage und Orientierung der entsprechenden Zweige und zu der Masse des untersuchten Blattes (g)

Probe Nr.	Probenahme	Plantagenbesitzer	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Baumhöhe (m)	Lage	Orientierung	Masse (g)
23/26-a1	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	oben	West	0,46
23/26-a2	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	oben	West	0,47
23/26-a3	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	oben	West	0,31
23/26-b1	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	Mitte	Nord	0,32
23/26-b2	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	Mitte	Nord	0,17
23/26-b3	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	Mitte	Nord	0,22
23/26-c1	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	unten	Ost	0,58
23/26-c2	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	unten	Ost	0,44
23/26-c3	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	unten	Ost	0,58
23/27-a1	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	3,0	oben	West	0,6
23/27-a2	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	3,0	oben	West	0,76
23/27-a3	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	3,0	oben	West	1,26
23/27-b1	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	3,0	Mitte	Nord	0,40
23/27-b2	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	3,0	Mitte	Nord	0,57
23/27-b3	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	3,0	Mitte	Nord	0,74
23/27-c1	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	3,0	unten	Süd	0,37
23/27-c2	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	3,0	unten	Süd	0,63
23/27-c3	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	3,0	unten	Süd	0,44
23/28-a1	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	oben	Süd	0,37
23/28-a2	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	oben	Süd	0,28
23/28-a3	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	oben	Süd	0,39
23/28-b1	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	Mitte	Ost	0,38
23/28-b2	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	Mitte	Ost	0,27
23/28-b3	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	Mitte	Ost	0,36
23/28-c1	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	unten	West	0,48
23/28-c2	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	unten	West	0,46
23/28-c3	25.01.2000	L. Opalinski	nativ	Ernte 1998	Faxinal dos Elias	gut	4,0	unten	West	0,47

Fortsetzung der Tab. 8-2: Informationen zu drei untersuchten Blättern (1-3) von je drei Zweigen (a-c) eines markierten Baumes, bestehend aus dem Datum der Probenahme des untersuchten Blattes, dem Plantagenbesitzer, der Kulturform der Pflanze (Alter), ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, den Lichtverhältnissen, der Baumhöhe (m), Lage und Orientierung der entsprechenden Zweige und zu der Masse des untersuchten Blattes (g)

Probe Nr.	Probenahme	Plantagenbesitzer	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Baumhöhe (m)	Lage	Orientierung	Masse (g)
23/29-a1	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	oben	Ost	0,39
23/29-a2	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	oben	Ost	0,46
23/29-a3	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	oben	Ost	0,33
23/29-b1	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	Mitte	Nord	0,20
23/29-b2	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	Mitte	Nord	0,30
23/29-b3	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	Mitte	Nord	0,31
23/29-c1	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	unten	Süd	0,38
23/29-c2	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	unten	Süd	0,35
23/29-c3	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	unten	Süd	0,25
23/30-a1	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	oben	Nord	0,26
23/30-a2	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	oben	Nord	0,20
23/30-a3	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	oben	Nord	0,23
23/30-b1	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	Mitte	Süd	0,53
23/30-b2	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	Mitte	Süd	0,44
23/30-b3	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	Mitte	Süd	0,48
23/30-c1	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	unten	West	0,53
23/30-c2	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	unten	West	0,37
23/30-c3	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1994)	Juli 1999	Tesoura	gut	1,7	unten	West	0,36
23/31-a1	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1995)	Juli 1999	Tesoura	gut	2,5	oben	Nord	0,13
23/31-a2	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1995)	Juli 1999	Tesoura	gut	2,5	oben	Nord	0,28
23/31-a3	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1995)	Juli 1999	Tesoura	gut	2,5	oben	Nord	0,38
23/31-b1	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1995)	Juli 1999	Tesoura	gut	2,5	Mitte	Ost	0,37
23/31-b2	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1995)	Juli 1999	Tesoura	gut	2,5	Mitte	Ost	0,26
23/31-b3	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1995)	Juli 1999	Tesoura	gut	2,5	Mitte	Ost	0,35
23/31-c1	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1995)	Juli 1999	Tesoura	gut	2,5	unten	West	0,66
23/31-c2	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1995)	Juli 1999	Tesoura	gut	2,5	unten	West	0,54
23/31-c3	25.01.2000	R. Fischer	Plantage (1995)	Juli 1999	Tesoura	gut	2,5	unten	West	0,59

Fortsetzung der Tab. 8-2: Informationen zu drei untersuchten Blättern (1-3) von je drei Zweigen (a-c) eines markierten Baumes, bestehend aus dem Datum der Probenahme des Blattes, dem Plantagenbesitzer, der Kulturform der Pflanze (Alter), ihrem letzten Schnitt und ihrem Standort, den Lichtverhältnissen, der Baumhöhe (m), Lage und Orientierung der entsprechenden Zweige und zu der Masse des untersuchten Blattes (g)

Probe Nr.	Probenahme	Plantagenbesitzer	Kulturform (Alter)	letzter Schnitt	Ort	Lichtverhältnisse	Baumhöhe (m)	Lage	Orientierung	Masse (g)
28/01_1	16.01.2001	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	vor 1,5 J.	Fluviopolis	gut	1,3	Mitte	Süd	0,70
28/01_2	16.01.2001	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	vor 1,5 J.	Fluviopolis	gut	1,3	Mitte	Süd	0,65
28/01_3	16.01.2001	J.C. Ignazewski	Plantage (1994)	vor 1,5 J.	Fluviopolis	gut	1,3	Mitte	Süd	0,64
28/02_1	16.01.2001	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	vor 1,5 J.	Fluviopolis	gut	5,0	oben	Ost	0,58
28/02_2	16.01.2001	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	vor 1,5 J.	Fluviopolis	gut	5,0	oben	Ost	0,55
28/02_3	16.01.2001	J.C. Ignazewski	nativ (ca.25 J.)	vor 1,5 J.	Fluviopolis	gut	5,0	oben	Ost	0,92
28/11_1	16.01.2001	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor 1 J.	Colonia Cachoeira	gut	1,7	oben	Nord	0,25
28/11_2	16.01.2001	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor 1 J.	Colonia Cachoeira	gut	1,7	oben	Nord	0,30
28/11_3	16.01.2001	J. Gaensly	Plantage (1994)	vor 1 J.	Colonia Cachoeira	gut	1,7	oben	Nord	0,23

P – Plantage, J. – Jahre

Proben zur Untersuchung der produktionsbedingten Variabilität

Tab. 8-3: Informationen zu dem Herstellungszustand und der Produktart der untersuchten Probe, dem Datum der Probenahme, dem liefernden Plantagenbesitzer bzw. Produzenten, dem Herkunftsort sowie weitere Hinweise zu dem Datum des Cancheamento, dem Erntejahr oder der genauen Bezeichnung der Handelsware

Probe Nr.	Herstellungszustand	Produktart	Probenahme	Plantagenbesitzer/ Produzent	Ort	Hinweise zu Daten bzw. Bezeichnung der Handelsware
18/01	Mate cancheada	-	24.08.1999	Kovalski	Rio Claro do Sul	Cancheamento 14.08.1999
18/02	Mate cancheada	-	24.08.1999	José Juca	Divisa	Cancheamento 21.08.1999
18/03	Mate cancheada	-	24.08.1999	Antiono Mendes Correia	Pinhao	Cancheamento 09.08.1999
18/04	Mate cancheada	-	24.08.1999	Jonas Armando Szpunar	Crus Machado	Cancheamento 08.08.1999
18/05	Mate cancheada	-	24.08.1999	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento August 1999
18/06	Mate cancheada	-	24.08.1999	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento August 1999
18/07	Mate cancheada	-	24.08.1999	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento Juli 1999
18/08	Mate cancheada	-	24.08.1999	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento Juli 1999
18/09	Mate cancheada	-	24.08.1999	Morandi	Bituruna	Cancheamento 07.07.1999
18/10	Mate cancheada	-	24.08.1999	Aldemir de Jesus Vieira	Cambará	Cancheamento 16.08.1999
18/11	Mate cancheada	-	24.08.1999	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento 01.05.1999
18/12	Mate cancheada	-	24.08.1999	Jorge Gaensly	Sao Mateus do Sul	Cancheamento Ernte 1999
18/A	Mate cancheada	-	24.08.1999	Marcelo F. Ribeiro	Estiva	Cancheamento 15.05.1999
18/B	Mate cancheada	-	24.08.1999	Bedim	Sao Joao do Triunfo	Cancheamento 19.08.1999
18/C	Mate cancheada	-	24.08.1999	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento Dezember 1998
18/D	Mate cancheada	-	24.08.1999	Ind. do Mate Rio Bonito	Rio Bonito do Iguacú	Cancheamento 13.05.1999
18/E	Mate cancheada	-	24.08.1999	Carlito Cordeiro	Paula Freitas	Cancheamento 29.07.1999
18/F	Mate cancheada	-	24.08.1999	Erva mate Paraná	Clevelandia	Cancheamento 20.05.1999
18/G	Mate cancheada	-	24.08.1999	Erva Mate Tanacuia	Turvo	Cancheamento 17.05.1999
18/H	Mate cancheada	-	24.08.1999	Antonio Ihay	Pitanga	Cancheamento 24.08.1999
18/I	Mate cancheada	-	24.08.1999	Prizma	Uniao da Vitória	Cancheamento 05.05.1999
18/J	Mate cancheada	-	24.08.1999	Mario Narineski	Bituruna	Cancheamento August 1999
18/L	Mate cancheada	-	24.08.1999	Ervateira Selva	Bituruna	Cancheamento 05.07.1999
18/M	Mate cancheada	-	24.08.1999	Ervateira Selva	Bituruna	Cancheamento Dezember 1998
18/N	Mate cancheada	-	24.08.1999	Jonas Dudziki	Bituruna	Cancheamento 22.05.1999

Fortsetzung von Tab. 8-3: Informationen zu dem Herstellungszustand und der Produktart der untersuchten Probe, dem Datum der Probenahme, dem liefernden Plantagenbesitzer bzw. Produzenten, dem Herkunftsort sowie weitere Hinweise zu dem Datum des Cancheamento, dem Erntejahr oder der genauen Bezeichnung der Handelsware

Probe Nr.	Herstellungszustand	Produktart	Probenahme	Plantagenbesitzer/ Produzent	Ort	Hinweise zu Daten bzw. Bezeichnung der Handelsware
18/O	Mate cancheada	-	24.08.1999	Edson Pupo	Imbituva	Cancheamento 22.03.1999
18/P	Mate cancheada	-	24.08.1999	Bedim	Sao Joao do Triunfo	Cancheamento 11.02.1999
18/Q	Mate cancheada	-	24.08.1999	Marcelo F. Ribeiro	Estiva	Cancheamento 24.02.1998
18/R	Mate cancheada	-	24.08.1999	Ind. do Mate Rio Bonito	Rio Bonito do Iguacú	Cancheamento August 1999
18/S	Mate cancheada	-	24.08.1999	Augusto Pontarolo	Prudentópolis	Cancheamento August 1999
18/T	Mate cancheada	-	24.08.1999	Irmaos Roth	Prudentópolis	Cancheamento August 1999
19/folha1	Zwischenprodukt	folha	Nov. 1999	Baldo	Sao Mateus	-
19/folha2	Zwischenprodukt	folha	Nov. 1999	Baldo	Canoinhas	-
19/folha3	Zwischenprodukt	folha	Nov. 1999	Baldo	Matriz	-
19/goma1	Zwischenprodukt	goma	Nov. 1999	Baldo	Sao Mateus	-
19/goma2	Zwischenprodukt	goma	Nov. 1999	Baldo	Canoinhas	-
19/goma3	Zwischenprodukt	goma	Nov. 1999	Baldo	Matriz	-
19/po1	Zwischenprodukt	po	Nov. 1999	Baldo	Sao Mateus	-
19/po2	Zwischenprodukt	po	Nov. 1999	Baldo	Canoinhas	-
19/residuo	Zwischenprodukt	residuo	Nov. 1999	Baldo	-	-
24/folha1	Zwischenprodukt	folha	Feb. 2000	Baldo	Sao Mateus	-
24/folha2	Zwischenprodukt	folha	Feb. 2000	Baldo	Canoinhas	-
24/folha3	Zwischenprodukt	folha	Feb. 2000	Baldo	Matriz	-
24/folha4	Zwischenprodukt	folha	Feb. 2000	Baldo	Argentina	-
24/goma1	Zwischenprodukt	goma	Feb. 2000	Baldo	Sao Mateus	-
24/goma2	Zwischenprodukt	goma	Feb. 2000	Baldo	Canoinhas	-
24/goma3	Zwischenprodukt	goma	Feb. 2000	Baldo	Matriz	-
24/po1	Zwischenprodukt	po	Feb. 2000	Baldo	Sao Mateus	-
24/po2	Zwischenprodukt	po	Feb. 2000	Baldo	Canoinhas	-
24/residuo	Zwischenprodukt	residuo	Feb. 2000	Baldo	-	-
25/01	Mate cancheada	-	26.07.2000	Kovalski	Rio Claro do Sul	Cancheamento 14.08.1999
25/02	Mate cancheada	-	26.07.2000	José Juca	Divisa	Cancheamento 21.08.1999

Fortsetzung der Tab. 8-3: Informationen zu dem Herstellungszustand und der Produktart der untersuchten Probe, dem Datum der Probennahme, dem liefernden Plantagenbesitzer bzw. Produzenten, dem Herkunftsort sowie weitere Hinweise zu dem Datum des Cancheamento, dem Erntejahr oder der genauen Bezeichnung der Handelsware

Probe Nr.	Herstellungszustand	Produktart	Probenahme	Plantagenbesitzer/ Produzent	Ort	Hinweise zu Daten bzw. Bezeichnung der Handelsware
25/03	Mate cancheada	-	26.07.2000	Antonio Mendes Correia	Pinhao	Cancheamento 09.08.1999
25/04	Mate cancheada	-	26.07.2000	Jonas Armando Szpunar	Cruz Machado	Cancheamento 18.08.1999
25/05	Mate cancheada	-	26.07.2000	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento August 1999
25/06	Mate cancheada	-	26.07.2000	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento August 1999
25/07	Mate cancheada	-	26.07.2000	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento Juli 1999
25/08	Mate cancheada	-	26.07.2000	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento Juli 1999
25/09	Mate cancheada	-	26.07.2000	Morandi	Bituruna	Cancheamento 07.07.1999
25/10	Mate cancheada	-	26.07.2000	Aldemir de Jesus Vieira	Cambará	Cancheamento 16.08.1999
25/11	Mate cancheada	-	26.07.2000	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento 01.05.1999
25/12	Mate cancheada	-	26.07.2000	Jorge Gaensly	Sao Mateus do Sul	Cancheamento Juni 1999
25/13	Mate cancheada	-	26.07.2000	Morandi	Bituruna	Cancheamento 18.01.2000
25/14	Mate cancheada	-	26.07.2000	Barausse	Palmeiras	Cancheamento Januar 2000
25/15	Mate cancheada	-	26.07.2000	Erva-Mate Viana	Turvo	Cancheamento Januar 2000
25/16	Mate cancheada	-	26.07.2000	Jonas Armando Szpunar	Cruz Machado	Cancheamento 20.01.2000
25/17	Mate cancheada	-	26.07.2000	Joao Elias Belo	Sao Joao do Triunfo	Cancheamento 31.12.1999
25/18	Mate cancheada	-	26.07.2000	Ind. do Mate Rio Bonito	Rio Bonito do Iguacu	Cancheamento 21.01.2000
25/19	Mate cancheada	-	26.07.2000	Ernani Narinesczki	Bituruna	Cancheamento 19.01.2000
25/20	Mate cancheada	-	26.07.2000	Carlito Cordeiro	Paula Freitas	Cancheamento 21.01.2000
25/21	Mate cancheada	-	26.07.2000	Ind. do Mate Rio Bonito	Rio Bonito do Iguacu	Cancheamento 21.01.2000
25/22	Mate cancheada	-	26.07.2000	Celso Stadler	Imbituva	Cancheamento 10.01.2000
25/23	Mate cancheada	-	26.07.2000	Ervateira Selva	Bituruna	Cancheamento 01.12.1999
25/24	Mate cancheada	-	26.07.2000	Ervateira Sao Roque	Paulo Frontim	Cancheamento 26.01.2000
25/25	Mate cancheada	-	26.07.2000	Baldo S/A	Sao Mateus do Sul	Cancheamento 27.01.2000
25/26	Mate cancheada	-	26.07.2000	Prizma	Uniao da Vitória	Cancheamento 25.01.2000
25/27	Mate cancheada	-	26.07.2000	Messias Fagundes	Mandirituba	Cancheamento 25.01.2000
25/A	Mate cancheada	-	26.07.2000	Marcelo F. Ribeiro	Estiva	Cancheamento 15.05.1999
25/B	Mate cancheada	-	26.07.2000	Bedim	Sao Joao do Triunfo	Cancheamento 19.08.1999

Fortsetzung von Tab. 8-3: Informationen zu dem Herstellungszustand und der Produktart der untersuchten Probe, dem Datum der Probenahme, dem liefernden Plantagenbesitzer bzw. Produzenten, dem Herkunftsort sowie weitere Hinweise zu dem Datum des Cancheamento, dem Erntejahr oder der genauen Bezeichnung der Handelsware

Probe Nr.	Herstellungszustand	Produktart	Probenahme	Plantagenbesitzer/Produzent	Ort	Hinweise zu Daten bzw. Bezeichnung der Handelsware
25/C	Mate cancheada	-	26.07.2000	Baldo	Sao Mateus do Sul	Cancheamento Dezember 1998
25/D	Mate cancheada	-	26.07.2000	Ind. do Mate Rio Bonito	Rio Bonito do Iguacu	Cancheamento 13.05.1999
25/E	Mate cancheada	-	26.07.2000	Carlito Cordeiro	Paula Freitas	Cancheamento 29.07.1999
25/F	Mate cancheada	-	26.07.2000	Erva Mate Paraná	Clevelandia	Cancheamento 20.05.1999
25/G	Mate cancheada	-	26.07.2000	Erva Mate Tanacuaia	Turvo	Cancheamento 17.05.1999
25/H	Mate cancheada	-	26.07.2000	Antonio Ihay	Pitanga	Cancheamento 24.08.1999
25/I	Mate cancheada	-	26.07.2000	Prizma	Uniao da Vitória	Cancheamento 05.05.1999
25/J	Mate cancheada	-	26.07.2000	Mario Narineski	Bituruna	Cancheamento August 1999
25/L	Mate cancheada	-	26.07.2000	Ervateira Selva	Bituruna	Cancheamento 05.07.1999
25/M	Mate cancheada	-	26.07.2000	Ervateira Selva	Bituruna	Cancheamento Dezember 1998
25/N	Mate cancheada	-	26.07.2000	Jonas Dudziki	Bituruna	Cancheamento 22.05.1999
25/O	Mate cancheada	-	26.07.2000	Edson Pupo	Imbituva	Cancheamento 22.03.1999
25/P	Mate cancheada	-	26.07.2000	Bedim	Sao Joao do Triunfo	Cancheamento 11.02.1999
25/Q	Mate cancheada	-	26.07.2000	Marcelo F. Ribeiro	Estiva	Cancheamento 24.02.1998
25/R	Mate cancheada	-	26.07.2000	Ind. do Mate Rio Bonito	Rio Bonito do Iguacu	Cancheamento August 1999
25/S	Mate cancheada	-	26.07.2000	Augusto Pontarolo	Prudentópolis	Cancheamento August 1999
25/T	Mate cancheada	-	26.07.2000	Irmaos Roth	Prudentópolis	Cancheamento August 1999
25/01!	Mate cancheada	-	27.07.2000	Baldo S/A	Sao Mateus do Sul	Ernte Juli 1998
25/02!	Mate cancheada	-	27.07.2000	Baldo S/A	Sao Mateus do Sul	Ernte Juli 1998
25/03!	Mate cancheada	-	27.07.2000	Mario Narineski	Bituruna	Ernte Januar 1999
25/Baldo !	Mate cancheada	-	27.07.2000	Baldo S/A	Sao Mateus do Sul	Ernte 18.01.1999
26/Baldo	Handelsware	chimarrão	20.11.2000	Baldo	Brasilien	Yerba Mate tipo exportacion
26/Canarias	Handelsware	chimarrão	20.11.2000	Canarias S.a	Uruguay	Yerba Mate tipo P.U. 1 super extra
26/Sara rot	Handelsware	chimarrão	20.11.2000	Carrau & Cia. S.A.	Uruguay	Yerba Mate Sara P.U. 1
26/Sara blau	Handelsware	chimarrão	20.11.2000	Carrau & Cia. S.A.	Uruguay	Yerba Mate Sara Suave super extra
26/La Mulata	Handelsware	chimarrão	20.11.2000	Castera HNOS S.R.L.	Uruguay	Yerba Mate La Mulata super extra
26/Arminio	Handelsware	chimarrão	20.11.2000	Leao Junior S.A.	Brasilien	Yerba Mate Arminio
26/HB Btl.	Handelsware	grün	20.11.2000	Bad Heilbrunner	Deutschland	Mate Tee grün

Fortsetzung der Tab. 8-3: Informationen zu dem Herstellungszustand und der Produktart der untersuchten Probe, dem Datum der Probennahme, dem liefernden Plantagenbesitzer bzw. Produzenten, dem Herkunftsort sowie weitere Hinweise zu dem Datum des Cancheamento, dem Erntejahr oder der genauen Bezeichnung der Handelsware

Probe Nr.	Herstellungszustand	Produktart	Probenahme	Plantagenbesitzer/Produzent	Ort	Hinweise zu Daten bzw. Bezeichnung der Handelsware
26/HB lose	Handelsware	grün	20.11.2000	Bad Heilbrunner	Deutschland	Mate Tee grün
29/01	Handelsware	geröstet	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1998
29/02	Handelsware	geröstet	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1998
29/03	Handelsware	geröstet	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1998
29/04	Handelsware	geröstet	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1998
29/05	Handelsware	grün	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1998
29/06	Handelsware	grün	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1998
29/07	Handelsware	grün	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1998
29/08	Handelsware	grün	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1998
29/09	Handelsware	grün	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1997
29/10	Handelsware	grün	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1997
29/11	Handelsware	geröstet	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1997
29/12	Handelsware	geröstet	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1997
29/13	Handelsware	geröstet	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1999
29/14	Handelsware	geröstet	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1996
29/15	Handelsware	grün	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1996
29/16	Handelsware	grün	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 2000
29/17	Handelsware	geröstet	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 2000
29/18	Handelsware	geröstet	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1999
29/19	Handelsware	grün	17.01.2001	Bad Heilbrunner	Brasilien	Erntejahr 1999
31/folha1	Zwischenprodukt	folha	Juni 2001	Baldo	Sao Mateus	-
31/folha2	Zwischenprodukt	folha	Juni 2001	Baldo	Canoinhas	-
31/folha3	Zwischenprodukt	folha	Juni 2001	Baldo	Matriz	-
31/goma1	Zwischenprodukt	goma	Juni 2001	Baldo	Sao Mateus	-
31/goma2	Zwischenprodukt	goma	Juni 2001	Baldo	Canoinhas	-
31/goma3	Zwischenprodukt	goma	Juni 2001	Baldo	Matriz	-
31/po1	Zwischenprodukt	po	Juni 2001	Baldo	Sao Mateus	-

Fortsetzung der Tab. 8-3: Informationen zu dem Herstellungszustand und der Produktart der untersuchten Probe, dem Datum der Probenahme, dem liefernden Plantagenbesitzer bzw. Produzenten, dem Herkunftsort sowie weitere Hinweise zu dem Datum des Cancheamento, dem Erntejahr oder der genauen Bezeichnung der Handelsware

Probe Nr.	Herstellungszustand	Produktart	Probenahme	Plantagenbesitzer/Produzent	Ort	Hinweise zu Daten bzw. Bezeichnung der Handelsware
31/po2	Zwischenprodukt	po	Juni 2001	Baldo	Canoinhas	-
32/01	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Jonas Dudzik	Cruz Machado	Cancheamento Juli 02
32/02	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Prado	Uniao da Vitória	Cancheamento Februar 02
32/03	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Morandi	Bituruna	Cancheamento Dezember 01
32/04	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Joao Elias elo	Sao Joao do Triunfo	Cancheamento August 02
32/05	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Baldo S/A	Sao Mateus do Sul	Cancheamento Dezember 01
32/06	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Ind. Erva Mate Stadler	Imbituva	Cancheamento 2001
32/07	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Afonso Estempinhaski	Sao Joao do Triunfo	Cancheamento August 02
32/08	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Ernani Narineczki	Cruz Machado	Cancheamento 20.12.01
32/09	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Morandi	Bituruna	Cancheamento September 02
32/10	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Alexandre Novaki	Sao Joao do Triunfo	Cancheamento August 01
32/13	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Baldo S/A	Sao Mateus do Sul	Cancheamento August 02
32/14	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Ind. Erva Mate Stadler	Imbituva	Cancheamento August 02
32/15	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Adao B. Staniszewski	Sao Mateus do Sul	Cancheamento September 01
32/16	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Lauro da Silveira	Sao Mateus do Sul	Cancheamento August 02
32/17	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Kowalski	Mallet	Cancheamento August 02
32/18	Mate cancheada	-	Dez. 2002	Capimar	Uniao da Vitória	Cancheamento September 02
33/Beschwerde produkt	Handelsware	chimãrrao	24.01.2003	Baldo	Brasilien	Yerba Mate tipo P.U.1 super extra
33/beste Qualität	Handelsware	chimãrrao	24.01.2003	Baldo	Brasilien	Yerba Mate tipo P.U.1 super extra
33/normale Qualität	Handelsware	chimãrrao	24.01.2003	Baldo	Brasilien	Yerba Mate tipo P.U.1 super extra

Zellkulturen zur Untersuchung der Variabilität undifferenzierten Gewebes**Tab. 8-4:** Informationen zur Standzeit (d) der untersuchten Kalluskultur, dem Extraktions- sowie dem Datum der Überimpfung, den Lichtverhältnissen und zu der Masse des Kallus (g)

Probe Nr.	Standzeit (d)	Extraktion	Überimpfung	Lichtverhältnisse	Masse (g)
K1/1	4	03.08.2001	30.07.2001	dunkel	1,8584
K1/2	8	07.08.2001	30.07.2001	dunkel	2,0197
K1/3	12	11.08.2001	30.07.2001	dunkel	2,6419
K1/4	16	15.08.2001	30.07.2001	dunkel	4,4336
K1/5	20	19.08.2001	30.07.2001	dunkel	10,1699
K1/6	24	23.08.2001	30.07.2001	dunkel	14,4370
K1/7	28	27.08.2001	30.07.2001	dunkel	15,5600
K1/8	32	31.08.2001	30.07.2001	dunkel	20,7554
K1/9	36	04.09.2001	30.07.2001	dunkel	21,4889
K1/10	40	08.09.2001	30.07.2001	dunkel	19,8838
K1/11	44	12.09.2001	30.07.2001	dunkel	21,5930
K1/12	48	16.09.2001	30.07.2001	dunkel	22,0321
K1/A	4	03.08.2001	30.07.2001	dunkel	1,9186
K1/B	8	07.08.2001	30.07.2001	dunkel	2,4263
K1/C	12	11.08.2001	30.07.2001	dunkel	4,1013
K1/D	16	15.08.2001	30.07.2001	dunkel	4,8537
K1/E	20	19.08.2001	30.07.2001	dunkel	6,4180
K1/F	24	23.08.2001	30.07.2001	dunkel	6,4905
K1/G	28	27.08.2001	30.07.2001	dunkel	11,3984
K1/H	32	31.08.2001	30.07.2001	dunkel	16,0764
K1/K	36	04.09.2001	30.07.2001	dunkel	21,9262
K1/L	40	08.09.2001	30.07.2001	dunkel	23,4742
K1/M	44	12.09.2001	30.07.2001	dunkel	21,3362
K1/N	48	16.09.2001	30.07.2001	dunkel	19,5236
K1/I	4	07.08.2001	03.08.2001	dunkel	2,0401
K1/II	8	11.08.2001	03.08.2001	dunkel	2,3580
K1/III	12	15.08.2001	03.08.2001	dunkel	2,2392
K1/IV	16	19.08.2001	03.08.2001	dunkel	4,0948
K1/V	20	23.08.2001	03.08.2001	dunkel	4,4658
K1/VI	24	27.08.2001	03.08.2001	dunkel	7,9330
K1/VII	28	31.08.2001	03.08.2001	dunkel	8,6782
K1/VIII	32	04.09.2001	03.08.2001	dunkel	10,3798
K1/IX	36	08.09.2001	03.08.2001	dunkel	13,1210
K1/X	40	12.09.2001	03.08.2001	dunkel	12,8639
K1/XI	44	16.09.2001	03.08.2001	dunkel	14,2064
K1/XII	48	20.09.2001	03.08.2001	dunkel	13,7861
K2/A_dunkel1	24	06.10.2001	12.09.2001	dunkel	21,3313
K2/A_hell1	24	06.10.2001	12.09.2001	hell	17,4321
K2/A_dunkel2	30	05.11.2001	06.10.2001	dunkel	24,8035
K2/A_hell2	30	05.11.2001	06.10.2001	hell	16,6856
K2/A_dunkel3	44	19.12.2001	05.11.2001	dunkel	7,1120
K2/A_hell3	44	19.12.2001	05.11.2001	hell	7,0516
K2/B_dunkel	35	19.12.2001	14.11.2001	dunkel	26,3769
K2/B_hell	35	19.12.2001	14.11.2001	hell	16,5475

Ergebnisse der Gehaltsbestimmungen aller Proben**Tab. 8-5:** Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Proben- nummer	Monocaffeoyl- chinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoyl- chinasäuren (%)	Gesamt- chlorophyll (%)	Carotinoide (%)
10/01	11,2	4,0	0,7	7,1	0,24	0,03
10/02	8,7	3,1	1,0	8,6	0,15	0,01
10/03	10,2	4,1	n.b.	11,1	0,31	0,03
10/04	7,2	1,3	1,1	7,0	0,24	0,04
10/05	7,0	2,2	1,2	7,8	0,28	0,05
10/06	7,0	1,2	1,5	5,7	0,24	0,05
10/07	8,2	2,5	1,0	7,5	0,17	0,03
10/08	7,1	3,4	1,1	7,4	0,28	0,02
10/09	9,7	2,9	n.b.	7,4	0,17	0,03
10/10	8,5	3,6	1,3	6,2	0,26	0,03
10/11	8,4	2,0	1,4	6,7	0,18	0,03
10/12	8,9	2,6	1,6	8,3	0,21	0,04
10/13	7,3	2,9	1,9	8,6	0,12	0,03
10/14	7,2	0,6	0,9	8,1	0,28	0,05
10/15	7,9	1,5	1,1	6,0	0,17	0,03
10/16	10,2	4,3	0,8	7,8	0,31	0,03
10/17	9,6	4,8	n.b.	9,5	0,33	0,04
10/18	10,8	2,2	0,9	6,8	0,22	0,04
10/19	9,4	2,8	n.b.	7,1	0,27	0,04
10/20	8,7	3,2	1,6	8,0	0,26	0,05
10/21	12,5	2,3	1,1	5,5	0,12	0,01
10/22	9,5	0,9	n.b.	5,1	0,15	0,01
10/23	8,7	2,9	2,1	7,2	0,13	0,03
10/24	8,0	1,5	1,2	5,9	0,19	0,04
10/25	8,0	3,1	n.b.	8,0	0,27	0,03
10/26	7,2	2,9	n.b.	7,2	0,27	0,04
10/27	7,0	0,4	n.b.	5,3	0,29	0,05
10/28	10,5	4,0	n.b.	6,3	0,29	0,03
10/29	7,9	2,0	0,9	5,1	0,18	0,02
10/30	9,0	2,8	n.b.	8,6	0,16	0,02
10/31	7,3	3,1	0,9	7,2	0,18	0,03
10/32	10,5	1,2	1,0	7,3	0,11	0,01
10/33	9,7	3,2	1,7	8,4	0,14	0,02
10/34	7,0	2,2	0,9	7,6	0,17	0,02
10/35	7,1	1,8	1,1	6,3	0,11	0,02
10/36	10,3	3,0	1,4	6,1	0,06	0,01
10/37	9,3	3,3	1,5	9,3	0,12	0,02
10/38	8,6	2,5	n.b.	5,5	0,13	0,01
10/39	9,4	3,3	1,1	7,7	0,19	0,03
10/40	8,4	1,9	1,3	6,2	0,14	0,01
10/41	6,8	2,7	0,7	3,8	0,23	0,02
10/42	9,7	3,2	n.b.	5,5	0,21	0,02
10/43	13,1	5,9	n.b.	15,5	0,23	0,01
10/44	8,8	3,6	n.b.	10,8	0,26	0,02
10/45	9,2	3,4	1,1	9,2	0,17	0,03
10/46	9,5	3,5	1,5	6,3	0,12	0,01
10/47	6,1	0,8	0,9	7,5	0,18	0,03
10/48	6,7	1,8	1,0	5,6	0,11	0,02
10/49	6,6	1,0	1,2	5,9	0,10	0,01
10/50	7,6	1,5	1,1	6,2	0,11	0,02

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
11/01	7,7	1,5	0,8	4,2	0,13	0,03
11/02	10,5	1,4	0,9	6,2	0,22	0,03
11/03	8,8	1,5	0,6	4,6	0,14	0,03
11/04	9,5	1,1	0,9	6,0	0,13	0,03
11/05	9,0	0,8	1,1	5,5	0,11	0,02
11/06	9,1	1,1	1,5	5,4	0,13	0,03
11/07	9,2	1,3	0,9	7,0	0,10	0,03
11/08	11,0	1,2	1,1	7,0	0,11	0,02
11/09	9,5	1,0	0,9	5,7	0,12	0,03
11/10	14,9	1,8	1,2	9,6	0,16	0,04
12/01	10,1	1,9	1,3	6,9	0,14	0,03
12/02	10,7	2,1	1,0	6,6	0,19	0,03
12/03	10,6	2,0	1,1	6,9	0,21	0,04
12/04	8,4	1,8	1,0	6,3	0,24	0,04
12/05	8,1	2,1	0,8	6,6	0,18	0,03
12/06	7,0	2,2	1,3	4,6	0,17	0,02
12/07	8,7	2,4	0,8	6,0	0,12	0,01
12/08	8,6	2,4	0,8	6,8	0,17	0,03
12/09	10,3	2,9	0,8	6,9	0,16	0,02
13/01	9,7	2,0	n.b.	7,3	0,08	0,01
13/02	10,1	2,1	n.b.	7,1	0,08	0,01
13/03	10,2	2,5	n.b.	7,2	0,14	0,02
13/04	8,1	2,2	1,3	5,7	0,12	0,02
13/05	11,1	2,9	n.b.	7,7	0,15	0,02
13/06	8,8	2,6	n.b.	7,1	0,15	0,02
13/07	8,0	2,2	n.b.	7,9	0,17	0,03
13/08	6,3	2,0	n.b.	5,6	0,17	0,03
13/09	7,4	2,6	1,4	5,1	0,16	0,03
13/10	8,8	2,8	n.b.	5,2	0,16	0,03
13/11	8,8	2,7	n.b.	6,8	0,17	0,03
13/12	7,5	2,4	n.b.	6,1	0,21	0,04
13/13	7,7	2,1	n.b.	5,3	0,12	0,02
14/01	4,0	1,5	0,4	3,9	n.b.	n.b.
14/02	7,7	2,1	0,5	5,7	0,11	0,03
14/03	10,5	2,1	0,5	5,4	0,17	0,04
14/04	9,4	2,4	0,4	6,2	0,13	0,04
14/05	9,4	2,5	0,5	6,1	0,16	0,04
14/06	10,5	3,7	0,9	5,3	0,15	0,03
14/07	8,4	2,6	0,2	5,6	0,17	0,04
14/08	9,6	2,4	0,4	5,4	0,13	0,02
14/09	8,2	1,9	0,1	5,1	0,15	0,04
14/10	9,2	1,9	0,3	6,5	0,14	0,04
14/11	10,6	2,3	0,1	6,9	0,16	0,04
14/IA	13,2	4,1	0,2	10,5	0,13	0,03
14/IB	10,4	3,6	0,4	8,6	0,16	0,04
14/IC	13,4	4,3	0,5	8,9	0,16	0,04
14/ID	14,2	4,4	0,4	7,9	0,18	0,04
14/IE	11,2	3,6	0,1	9,5	n.b.	n.b.
14/IIA	12,4	3,4	0,6	9,0	0,13	0,03
14/IIB	13,8	4,9	0,4	7,8	0,16	0,04
14/IIC	13,6	4,1	0,0	9,2	0,15	0,04
14/IID	15,2	4,5	0,0	10,7	0,17	0,04
14/IIIE	11,5	3,1	0,4	7,1	0,16	0,04

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicafeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicafeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
14/IIF	12,2	3,9	0,0	8,6	0,17	0,04
14/IIG	10,7	3,2	0,3	6,4	0,20	0,04
14/IIH	9,7	3,0	0,3	6,5	0,18	0,04
14/IIi	10,6	3,4	0,4	7,8	0,17	0,04
14/IIK	7,8	2,4	0,3	5,5	0,19	0,04
14/IIL	11,8	3,6	0,2	9,6	0,16	0,03
14/IIM	9,1	3,4	0,7	5,4	n.b.	n.b.
14/IIIA	10,8	3,1	0,3	6,0	0,18	0,05
14/IIIB	11,7	3,7	0,0	7,7	n.b.	n.b.
14/IIIC	9,8	2,9	0,3	6,3	0,16	0,04
14/IIID	11,6	3,4	0,3	6,1	0,20	0,05
15/A1	8,9	2,7	0,8	3,4	0,17	0,02
15/A2	8,1	2,1	0,2	3,1	0,20	0,02
15/A3	7,2	1,6	0,1	2,3	0,19	0,02
15/A4	3,8	1,5	0,3	1,7	0,18	0,01
15/B1	8,8	2,3	0,3	3,6	0,19	0,02
15/B2	9,1	2,2	0,2	3,4	0,17	0,02
15/B3	8,2	2,0	0,3	2,9	0,20	0,01
15/B4	7,7	1,7	0,2	2,7	0,23	0,01
15/B5	9,4	2,3	0,0	3,1	0,21	0,01
15/ZweigB	3,5	0,0	n.b.	1,3	0,01	0,00
16/A1	6,9	2,2	n.b.	2,5	0,14	0,01
16/A2	7,9	1,9	n.b.	3,4	0,16	0,01
16/A3	8,7	1,9	n.b.	4,4	0,15	0,01
16/A4	8,1	1,8	n.b.	4,5	0,16	0,01
16/A5	7,4	1,7	n.b.	3,2	0,17	0,01
16/B1	7,1	1,5	n.b.	2,9	0,10	0,02
16/B2	7,1	1,0	n.b.	2,7	0,13	0,02
16/B3	7,3	1,1	n.b.	3,3	0,12	0,01
16/B4	5,5	0,7	n.b.	2,6	0,06	0,00
16/ZweigB	2,7	0,3	n.b.	1,3	0,01	0,00
17/A1	9,0	0,1	0,8	5,6	0,06	0,01
17/A2	8,5	0,7	1,6	6,5	0,06	0,01
17/A3	8,2	0,0	0,9	6,4	0,07	0,01
17/A4	6,5	0,1	0,8	3,6	0,06	0,01
17/ZweigA	4,6	0,1	0,0	3,9	0,00	0,00
17/B1	9,2	0,1	0,8	7,0	0,05	0,01
17/B2	6,0	0,0	0,6	3,3	0,05	0,01
17/B3	6,7	0,1	0,8	3,6	0,05	0,01
17/B4	6,9	0,1	0,8	4,0	0,04	0,01
17/B5	4,5	n.b.	0,6	2,3	0,05	0,01
18/01	5,7	1,4	n.b.	3,9	0,16	0,02
18/02	7,0	1,0	n.b.	4,0	0,21	0,03
18/03	5,1	1,0	n.b.	3,3	0,18	0,02
18/04	5,7	0,9	n.b.	3,3	0,18	0,02
18/05	5,6	0,7	n.b.	3,2	0,18	0,02
18/06	6,5	1,3	n.b.	4,5	0,24	0,03
18/07	6,8	1,3	n.b.	4,6	0,25	0,03
18/08	8,3	1,6	n.b.	4,9	0,23	0,02
18/09	6,3	1,0	0,6	4,4	0,16	0,02
18/10	6,0	0,8	n.b.	3,3	0,18	0,02
18/11	7,5	0,5	0,9	4,6	0,12	0,02
18/12	7,6	1,6	n.b.	5,9	0,14	0,01

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
18/A	7,1	1,7	n.b.	4,6	0,14	0,02
18/B	6,2	0,9	n.b.	3,6	0,14	0,03
18/C	6,0	0,9	n.b.	3,7	0,08	0,02
18/D	5,1	0,7	0,8	3,8	0,15	0,03
18/E	7,2	1,2	n.b.	5,1	0,11	0,03
18/F	6,3	0,8	0,6	4,6	0,09	0,02
18/G	6,4	1,9	n.b.	5,9	0,17	0,03
18/H	5,9	0,8	n.b.	1,6	0,14	0,03
18/I	5,6	1,0	0,4	3,0	0,08	0,01
18/J	6,3	1,1	n.b.	4,1	0,14	0,03
18/L	6,7	0,8	n.b.	3,6	0,20	0,04
18/M	7,6	1,1	0,5	5,6	0,05	0,01
18/N	5,6	1,3	0,3	4,5	0,13	0,02
18/O	6,8	0,3	0,4	3,8	0,19	0,04
18/P	6,6	2,2	n.b.	6,0	0,09	0,02
18/Q	5,8	1,3	0,3	5,0	0,05	0,01
18/R	5,8	0,5	0,6	3,8	0,27	0,03
18/S	6,2	0,5	0,6	7,1	0,23	0,03
18/T	7,5	1,2	n.b.	4,7	0,31	0,03
19/folha1	5,2	1,0	n.b.	2,8	0,16	0,02
19/folha2	4,8	1,0	n.b.	2,7	0,09	0,02
19/folha3	5,0	0,9	n.b.	2,8	0,08	0,01
19/goma1	4,8	0,9	n.b.	2,8	0,08	0,02
19/goma2	4,7	0,8	n.b.	2,6	0,08	0,02
19/goma3	4,8	0,9	n.b.	2,5	0,08	0,01
19/po1	5,2	1,1	n.b.	3,3	0,06	0,01
19/po2	5,0	0,9	n.b.	2,4	0,06	0,01
19/residuo	3,6	0,4	n.b.	1,3	0,02	0,00
20/A1	6,2	1,0	0,9	3,1	0,27	0,06
20/A2	5,8	0,9	0,8	3,2	0,19	0,04
20/A3	5,7	1,1	0,9	3,3	0,18	0,04
20/A4	4,9	0,9	0,4	3,0	0,20	0,05
20/A5	5,9	1,1	0,4	3,5	0,19	0,05
20/B1	7,9	1,6	1,6	5,9	0,18	0,05
20/B2	5,4	1,9	1,0	5,1	0,17	0,04
20/B3	4,8	1,0	0,9	4,1	0,20	0,05
20/B4	4,3	1,4	1,0	4,1	0,21	0,05
20/B5	3,2	1,8	1,0	3,7	0,23	0,05
21/A1	5,3	1,3	n.b.	4,1	0,16	0,02
21/A2	3,1	0,9	n.b.	2,8	0,15	0,01
21/A3	5,8	1,3	n.b.	3,9	0,15	0,01
21/A4	6,0	1,1	n.b.	4,2	0,19	0,02
21/A5	5,9	1,2	0,0	4,7	0,20	0,02
21/B1	7,7	1,6	1,2	7,6	0,09	0,02
21/B2	8,5	1,4	1,2	7,2	0,11	0,02
21/B3	7,8	1,6	1,2	7,6	0,10	0,02
21/B4	7,7	1,4	1,1	6,6	0,11	0,02
21/B5	6,6	1,3	0,9	7,2	0,09	0,02
22/A1	7,2	1,2	1,8	5,1	0,06	0,01
22/A2	7,4	1,4	1,7	5,4	0,07	0,01
22/A3	7,1	1,4	1,5	5,9	0,09	0,01
22/A4	7,4	1,0	1,2	6,7	0,10	0,01
22/A5	9,2	1,4	1,7	7,6	0,10	0,01

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicafeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicafeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
22/B1	5,3	1,1	n.b.	4,0	0,16	0,02
22/B2	5,9	1,3	n.b.	4,8	0,26	0,04
22/B3	5,6	1,1	n.b.	4,4	0,18	0,03
22/B4	5,3	1,0	n.b.	4,2	0,16	0,02
22/B5	5,7	1,1	n.b.	4,1	0,20	0,03
23/00-a1	9,7	4,0	1,1	9,4	0,27	0,05
23/00-a2	8,1	3,4	1,0	10,6	0,26	0,05
23/00-a3	7,9	4,1	1,2	11,3	0,26	0,05
23/00-b1	10,4	3,8	1,0	10,7	0,42	0,08
23/00-b2	8,8	3,9	1,1	11,4	0,36	0,07
23/00-b3	9,3	4,0	1,0	10,8	0,42	0,08
23/00-c1	8,6	2,2	0,7	6,7	0,16	0,04
23/00-c2	8,8	2,5	0,7	7,1	0,21	0,05
23/00-c3	5,9	0,9	n.b.	4,0	0,20	0,04
23/01-a1	7,1	2,0	1,4	6,7	0,37	0,08
23/01-a2	6,4	2,1	1,0	5,9	0,43	0,08
23/01-a3	5,6	2,3	1,1	5,3	0,50	0,09
23/01-b1	3,7	0,9	0,9	2,3	0,35	0,06
23/01-b2	7,7	2,1	1,2	4,8	0,55	0,10
23/01-b3	3,3	0,8	0,8	2,1	0,33	0,06
23/01-c1	8,2	2,2	1,5	6,8	0,64	0,10
23/01-c2	7,5	2,2	1,2	5,8	0,55	0,09
23/01-c3	4,7	1,5	0,7	2,8	0,37	0,07
23/02-a1	10,1	2,2	1,6	7,7	0,20	0,05
23/02-a2	8,9	2,4	1,4	8,5	0,24	0,05
23/02-a3	9,2	2,8	1,3	7,4	0,32	0,07
23/02-b1	9,6	2,7	0,9	7,2	0,35	0,07
23/02-b2	8,2	2,8	0,8	8,3	0,40	0,07
23/02-b3	7,9	2,7	0,9	8,4	0,37	0,07
23/02-c1	10,2	3,0	1,1	7,5	0,34	0,07
23/02-c2	9,9	2,8	0,9	7,8	0,37	0,07
23/02-c3	7,9	2,5	0,9	8,0	0,39	0,08
23/03-a1	6,4	1,8	1,5	5,6	0,41	0,07
23/03-a2	4,1	1,5	1,2	3,6	0,51	0,09
23/03-a3	4,7	1,1	1,0	2,8	0,41	0,08
23/03-b1	6,2	1,6	2,4	4,5	0,50	0,09
23/03-b2	5,1	1,3	1,5	2,6	0,35	0,07
23/03-b3	4,1	1,1	1,0	2,2	0,42	0,08
23/03-c1	7,8	1,3	1,6	4,8	0,38	0,07
23/03-c2	6,2	1,4	1,3	5,1	0,44	0,09
23/03-c3	5,9	1,8	1,1	4,2	0,46	0,09
23/04-a1	9,3	2,5	1,2	6,9	0,37	0,07
23/04-a2	9,2	2,4	0,9	5,7	0,47	0,08
23/04-a3	7,0	1,9	0,9	3,6	0,34	0,07
23/04-b1	9,3	2,2	1,2	5,7	0,30	0,06
23/04-b2	7,8	2,3	0,8	4,6	0,46	0,08
23/04-b3	7,4	1,6	0,7	2,6	0,38	0,06
23/04-c1	8,6	2,0	0,9	5,4	0,33	0,06
23/04-c2	8,0	2,1	0,6	4,9	0,39	0,07
23/04-c3	7,9	1,1	0,7	3,1	0,36	0,07
23/05-a1	6,9	1,1	1,0	4,2	0,27	0,05
23/05-a2	6,8	1,2	0,9	4,2	0,32	0,06
23/05-a3	6,2	1,0	1,1	3,8	0,30	0,06

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
23/05-b1	8,1	1,8	1,3	7,3	0,29	0,05
23/05-b2	7,5	1,7	1,1	7,1	0,33	0,06
23/05-b3	7,7	1,9	1,4	7,4	0,34	0,07
23/05-c1	8,4	1,1	0,8	5,4	0,32	0,06
23/05-c2	8,2	1,2	0,9	6,5	0,34	0,06
23/05-c3	10,1	1,2	1,2	5,8	0,15	0,03
23/06-a1	8,9	2,1	0,8	7,2	0,25	0,05
23/06-a2	8,8	2,2	0,6	7,5	0,27	0,05
23/06-a3	9,2	2,5	0,6	7,4	0,34	0,06
23/06-b1	9,5	2,0	1,0	7,7	0,22	0,04
23/06-b2	9,2	2,4	0,8	6,5	0,28	0,05
23/06-b3	8,5	1,5	0,8	3,1	0,37	0,07
23/06-c1	7,2	1,1	0,6	4,0	0,25	0,05
23/06-c2	9,4	1,4	0,7	3,5	0,33	0,07
23/06-c3	6,1	0,8	0,8	3,6	0,23	0,05
23/07-a1	5,8	1,4	1,6	3,3	0,39	0,07
23/07-a2	5,3	1,2	1,2	3,2	0,43	0,07
23/07-a3	5,6	1,1	1,0	3,3	0,40	0,08
23/07-b1	7,9	2,3	0,6	5,4	0,41	0,07
23/07-b2	8,4	2,5	0,7	6,0	0,43	0,07
23/07-b3	8,6	2,5	0,7	5,6	0,43	0,08
23/07-c1	9,0	2,4	0,9	6,6	0,35	0,06
23/07-c2	7,9	2,2	0,7	4,9	0,43	0,08
23/07-c3	6,9	1,4	n.b.	3,0	0,39	0,07
23/08-a1	6,7	0,8	0,9	3,6	0,48	0,09
23/08-a2	7,0	1,5	0,9	3,6	0,58	0,11
23/08-a3	7,0	0,9	0,7	3,3	0,61	0,11
23/08-b1	8,2	2,5	1,2	5,3	0,48	0,09
23/08-b2	6,7	1,3	0,8	3,7	0,52	0,09
23/08-b3	5,8	1,0	0,8	3,1	0,51	0,09
23/08-c1	6,0	0,9	0,7	3,0	0,50	0,09
23/08-c2	3,2	0,7	n.b.	1,9	0,38	0,07
23/08-c3	5,4	1,0	n.b.	2,7	0,49	0,09
23/11-a1	10,4	0,9	1,1	6,2	0,24	0,05
23/11-a2	4,3	0,5	0,7	2,3	0,19	0,04
23/11-a3	3,8	0,4	0,6	2,3	0,18	0,04
23/11-b1	9,2	2,6	0,9	7,0	0,37	0,07
23/11-b2	8,3	2,5	0,8	6,4	0,30	0,06
23/11-b3	7,3	2,3	0,7	5,9	0,37	0,06
23/11-c1	10,0	1,0	0,9	6,0	0,23	0,04
23/11-c2	9,0	1,1	0,9	6,5	0,25	0,05
23/11-c3	8,8	1,1	0,9	4,9	0,29	0,06
23/12-a1	8,6	0,7	1,3	7,3	0,27	0,05
23/12-a2	8,2	0,6	1,2	6,9	0,20	0,04
23/12-a3	8,0	0,5	1,5	6,9	0,14	0,03
23/12-b1	7,3	0,9	1,1	6,1	0,22	0,05
23/12-b2	8,7	1,1	1,5	7,9	0,22	0,05
23/12-b3	7,7	0,9	1,0	7,4	0,27	0,05
23/12-c1	7,5	0,8	1,2	5,9	0,22	0,05
23/12-c2	6,0	0,7	0,8	4,5	0,19	0,04
23/12-c3	6,7	0,8	1,0	5,9	0,21	0,03
23/13-a1	8,1	2,9	1,0	8,4	0,37	0,06
23/13-a2	8,5	2,9	1,1	8,6	0,31	0,05

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
23/13-a3	8,4	3,2	0,9	8,9	0,28	0,05
23/13-b1	8,0	2,3	1,1	8,1	0,25	0,05
23/13-b2	7,7	2,4	1,1	8,9	0,27	0,05
23/13-b3	8,5	2,4	1,0	8,2	0,25	0,04
23/13-c1	7,9	2,9	0,9	8,2	0,29	0,05
23/13-c2	8,4	3,4	0,8	9,1	0,38	0,06
23/13-c3	7,1	3,1	0,7	7,9	0,34	0,07
23/14-a1	10,3	1,1	0,8	6,7	0,16	0,03
23/14-a2	9,8	1,1	0,9	6,5	0,18	0,04
23/14-a3	7,3	0,6	1,0	4,3	0,14	0,03
23/14-b1	8,3	1,3	1,0	6,9	0,16	0,03
23/14-b2	8,2	1,3	0,9	7,3	0,15	0,03
23/14-b3	6,5	0,6	0,9	4,1	0,11	0,03
23/14-c1	10,0	1,8	0,9	8,2	0,27	0,05
23/14-c2	9,8	1,8	0,9	8,5	0,17	0,04
23/14-c3	9,2	1,6	0,9	7,2	0,15	0,03
23/15-a1	7,1	1,2	1,3	7,5	0,21	0,04
23/15-a2	6,9	1,3	1,2	6,2	0,20	0,04
23/15-a3	6,3	1,1	1,1	6,1	0,22	0,05
23/15-b1	6,9	1,1	1,9	7,9	0,17	0,04
23/15-b2	7,7	1,2	1,4	6,9	0,19	0,04
23/15-b3	5,5	0,7	1,2	4,5	0,14	0,03
23/15-c1	5,6	1,0	1,5	7,1	0,13	0,04
23/15-c2	6,7	0,9	1,2	4,7	0,17	0,04
23/15-c3	5,9	0,7	1,1	5,1	0,16	0,04
23/16-a1	9,1	0,7	1,3	5,5	0,09	0,02
23/16-a2	8,2	0,6	1,0	5,2	0,12	0,03
23/16-a3	7,2	0,4	0,7	4,0	0,10	0,03
23/16-b1	9,1	0,5	1,0	4,5	0,08	0,02
23/16-b2	9,3	0,5	1,0	5,0	0,11	0,03
23/16-b3	7,0	0,4	0,8	3,7	0,14	0,04
23/16-c1	7,2	0,5	0,9	4,9	0,07	0,02
23/16-c2	7,6	0,6	1,0	5,0	0,08	0,02
23/16-c3	5,4	0,4	0,8	3,7	0,14	0,03
23/17-a1	9,5	1,4	2,1	6,0	0,18	0,04
23/17-a2	9,2	1,4	1,7	6,8	0,17	0,04
23/17-a3	9,1	1,5	1,1	5,7	0,23	0,05
23/17-b1	6,8	3,3	n.b.	9,6	0,37	0,07
23/17-b2	6,0	2,1	n.b.	7,4	0,29	0,06
23/17-b3	6,3	2,2	n.b.	8,1	0,29	0,06
23/17-c1	8,6	1,9	1,6	5,4	0,25	0,05
23/17-c2	9,4	2,0	1,5	5,7	0,27	0,05
23/17-c3	10,8	2,3	1,8	6,6	0,18	0,04
23/18-a1	9,1	1,6	2,0	5,8	0,14	0,03
23/18-a2	7,3	1,6	1,1	6,1	0,19	0,03
23/18-a3	7,9	0,8	1,3	4,3	0,21	0,04
23/18-b1	8,4	1,5	1,3	4,9	0,17	0,03
23/18-b2	8,5	1,6	1,4	5,2	0,20	0,04
23/18-b3	6,4	0,7	1,2	3,1	0,20	0,04
23/18-c1	9,3	2,2	0,9	5,2	0,30	0,05
23/18-c2	8,5	1,8	1,2	4,4	0,51	0,08
23/18-c3	10,8	0,9	1,2	2,5	0,27	0,05
23/19-a1	9,3	3,1	0,9	6,2	0,27	0,06

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
23/19-a2	10,8	3,5	0,9	7,4	0,24	0,05
23/19-a3	6,9	1,6	0,7	3,5	0,31	0,06
23/19-b1	6,9	1,2	0,7	3,1	0,39	0,07
23/19-b2	5,6	0,9	0,7	2,7	0,36	0,07
23/19-b3	5,9	1,0	0,7	2,8	0,47	0,09
23/19-c1	8,3	2,4	1,1	5,6	0,29	0,06
23/19-c2	8,7	2,4	1,0	5,4	0,29	0,05
23/19-c3	7,3	2,5	0,8	5,2	0,29	0,06
23/20-a1	7,1	1,3	0,8	8,7	0,39	0,07
23/20-a2	6,7	1,4	1,0	9,0	0,34	0,06
23/20-a3	4,3	0,6	0,8	4,0	0,36	0,08
23/20-b1	8,0	1,3	0,7	5,6	0,44	0,07
23/20-b2	7,8	1,7	0,6	6,5	0,51	0,09
23/20-b3	5,0	0,8	0,7	3,4	0,35	0,06
23/20-c1	7,4	1,1	0,8	6,2	0,43	0,08
23/20-c2	6,0	0,9	0,8	5,3	0,44	0,08
23/20-c3	2,7	0,5	0,7	2,5	0,24	0,05
23/21-a1	9,9	1,2	1,7	8,0	0,18	0,04
23/21-a2	9,4	1,1	1,6	7,4	0,18	0,04
23/21-a3	8,2	0,9	1,3	6,3	0,19	0,04
23/21-b1	9,5	1,0	1,6	6,8	0,15	0,03
23/21-b2	8,3	0,9	1,3	6,4	0,16	0,04
23/21-b3	7,5	0,4	1,4	4,9	0,11	0,03
23/21-c1	8,4	1,1	1,1	5,7	0,20	0,05
23/21-c2	8,5	1,0	1,2	6,8	0,19	0,05
23/21-c3	6,4	n.b.	1,3	4,1	0,15	0,03
23/22-a1	7,2	1,5	n.b.	6,7	0,42	0,06
23/22-a2	7,4	1,8	n.b.	6,8	0,36	0,05
23/22-a3	8,7	0,7	n.b.	4,7	0,33	0,05
23/22-b1	6,4	2,3	n.b.	7,2	0,36	0,04
23/22-b2	7,6	2,4	n.b.	7,6	0,34	0,05
23/22-b3	7,8	2,2	n.b.	7,5	0,39	0,05
23/22-c1	7,5	0,9	n.b.	7,4	0,34	0,04
23/22-c2	7,7	1,1	n.b.	7,0	0,38	0,05
23/22-c3	7,4	n.b.	0,7	3,3	0,30	0,05
23/23-a1	9,4	2,3	0,9	6,6	0,22	0,04
23/23-a2	9,5	2,3	0,7	6,7	0,27	0,04
23/23-a3	9,1	2,3	1,0	6,9	0,27	0,05
23/23-b1	9,9	2,3	1,1	8,3	0,21	0,04
23/23-b2	8,6	2,2	1,2	7,7	0,24	0,05
23/23-b3	7,5	2,2	1,0	6,5	0,29	0,05
23/23-c1	9,2	2,4	1,4	9,2	0,18	0,03
23/23-c2	7,0	2,4	1,3	8,6	0,22	0,04
23/23-c3	9,1	2,4	1,3	8,7	0,22	0,04
23/24-a1	10,8	1,8	1,4	8,2	0,35	0,06
23/24-a2	8,8	0,4	1,7	5,8	0,37	0,06
23/24-a3	9,2	1,7	1,2	7,8	0,28	0,07
23/24-b1	9,5	2,0	2,0	8,5	0,25	0,05
23/24-b2	9,0	2,1	1,6	7,5	0,38	0,08
23/24-b3	9,3	0,9	1,6	8,1	0,32	0,07
23/24-c1	9,3	2,4	1,6	9,9	0,27	0,05
23/24-c2	9,2	2,4	1,7	9,7	0,28	0,06
23/24-c3	9,7	2,8	1,7	9,9	0,31	0,06

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
23/25-a1	5,7	2,1	n.b.	4,1	0,28	0,05
23/25-a2	5,4	1,9	n.b.	4,4	0,52	0,09
23/25-a3	6,3	2,4	n.b.	5,1	0,42	0,07
23/25-b1	8,2	2,7	0,8	5,9	0,36	0,05
23/25-b2	5,2	1,8	0,7	3,8	0,38	0,07
23/25-b3	8,9	2,9	0,8	6,4	0,36	0,05
23/25-c1	3,0	1,0	0,6	2,6	0,32	0,06
23/25-c2	4,4	1,2	0,6	3,5	0,41	0,07
23/25-c3	5,0	1,2	1,0	4,0	0,22	0,05
23/26-a1	6,0	1,7	0,7	5,8	0,23	0,05
23/26-a2	7,7	2,2	1,2	6,4	0,24	0,05
23/26-a3	7,1	1,8	1,0	6,0	0,54	0,10
23/26-b1	6,9	2,6	0,9	5,3	0,19	0,04
23/26-b2	6,1	2,1	0,8	4,6	0,19	0,04
23/26-b3	4,4	1,7	0,8	3,7	0,20	0,05
23/26-c1	11,0	1,8	0,6	5,7	0,13	0,03
23/26-c2	7,1	1,3	0,8	4,6	0,15	0,02
23/26-c3	9,3	1,5	0,7	5,3	0,10	0,02
23/27-a1	9,6	1,9	0,9	4,7	0,10	0,02
23/27-a2	8,4	1,8	1,1	5,3	0,08	0,02
23/27-a3	6,2	1,7	0,8	3,6	0,08	0,01
23/27-b1	7,2	1,3	0,8	3,6	0,08	0,02
23/27-b2	8,2	1,4	1,0	4,0	0,07	0,02
23/27-b3	4,3	1,5	1,0	3,0	0,10	0,02
23/27-c1	8,6	1,6	0,9	4,3	0,11	0,02
23/27-c2	6,7	0,7	1,0	2,7	0,08	0,01
23/27-c3	6,1	1,5	1,0	4,1	0,11	0,02
23/28-a1	8,5	0,6	1,0	5,6	0,18	0,04
23/28-a2	7,8	0,8	0,9	5,4	0,12	0,03
23/28-a3	7,9	0,7	1,5	2,8	0,16	0,04
23/28-b1	8,6	1,5	1,0	5,3	0,16	0,04
23/28-b2	7,3	2,0	0,9	5,0	0,20	0,04
23/28-b3	5,1	1,9	0,7	4,0	0,14	0,03
23/28-c1	8,3	1,3	1,1	4,7	0,13	0,03
23/28-c2	5,3	0,6	1,1	2,7	0,10	0,03
23/28-c3	4,8	0,5	1,0	2,8	0,08	0,03
23/29-a1	5,2	2,0	1,6	6,2	0,13	0,01
23/29-a2	6,2	2,0	1,6	6,5	0,14	0,02
23/29-a3	2,9	2,1	1,3	6,2	0,13	0,01
23/29-b1	1,8	1,3	0,9	3,1	0,14	0,01
23/29-b2	4,1	1,8	1,7	6,3	0,11	0,02
23/29-b3	4,8	2,0	1,9	6,3	0,09	0,02
23/29-c1	5,8	2,7	2,5	8,9	0,10	0,01
23/29-c2	4,8	3,0	1,9	8,8	0,12	0,01
23/29-c3	5,9	2,6	2,6	8,4	0,11	0,02
23/30-a1	5,3	1,7	2,1	5,3	0,15	0,04
23/30-a2	2,4	1,5	1,5	4,4	0,21	0,03
23/30-a3	1,3	1,3	0,6	1,5	0,30	0,02
23/30-b1	6,1	1,3	1,3	3,5	0,25	0,04
23/30-b2	6,0	1,5	1,7	4,4	0,17	0,03
23/30-b3	6,7	1,5	1,7	5,0	0,20	0,04
23/30-c1	5,4	2,0	1,5	5,5	0,19	0,04
23/30-c2	1,8	2,1	0,6	2,9	0,21	0,03

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
23/30-c3	4,1	1,7	1,0	4,1	0,25	0,02
23/31-a1	6,4	1,0	1,5	4,0	0,13	0,02
23/31-a2	4,4	n.b.	1,5	3,2	0,09	0,02
23/31-a3	4,2	n.b.	1,3	3,4	0,08	0,02
23/31-b1	6,9	1,5	1,6	4,2	0,12	0,03
23/31-b2	7,9	1,0	1,6	4,3	0,14	0,03
23/31-b3	7,6	1,6	1,9	4,6	0,10	0,02
23/31-c1	6,3	0,6	1,3	4,0	0,10	0,03
23/31-c2	5,2	0,6	1,3	3,8	0,11	0,03
23/31-c3	3,6	0,5	0,9	2,6	0,11	0,03
24/folha1	6,3	1,2	2,7	4,8	0,08	0,01
24/folha2	6,7	1,3	2,8	4,9	0,08	0,01
24/folha3	6,2	1,1	2,4	4,5	0,06	0,01
24/folha4	7,2	1,2	3,2	5,7	0,07	0,01
24/goma1	6,9	1,2	2,7	5,0	0,07	0,01
24/goma2	5,8	1,1	2,5	4,6	0,07	0,01
24/goma3	6,7	1,2	2,7	4,9	0,06	0,01
24/po1	6,0	1,1	2,5	4,8	0,06	0,01
24/po2	5,7	1,2	2,6	4,9	0,06	0,01
24/residuo	4,1	0,7	1,4	3,1	0,02	0,00
25/01	5,5	1,7	n.b.	4,4	0,06	0,01
25/02	5,2	1,1	n.b.	3,8	0,07	0,01
25/03	5,3	1,5	n.b.	4,1	0,04	0,01
25/04	5,8	1,4	n.b.	4,3	0,04	0,01
25/05	6,2	1,3	n.b.	4,3	0,06	0,01
25/06	5,6	1,5	n.b.	4,4	0,08	0,01
25/07	6,7	1,8	0,8	5,2	0,07	0,01
25/08	6,2	1,6	n.b.	4,5	0,03	0,01
25/09	5,4	1,3	0,9	4,5	0,05	0,01
25/10	5,9	1,3	0,8	7,1	0,03	0,01
25/11	5,9	0,9	1,1	4,4	0,04	0,01
25/12	6,2	1,7	n.b.	5,7	0,06	0,01
25/13	5,6	1,4	1,0	5,5	0,06	0,01
25/14	6,1	1,3	n.b.	5,1	0,07	0,01
25/15	5,7	1,3	n.b.	6,0	0,09	0,02
25/16	5,2	1,2	n.b.	4,9	0,04	0,01
25/17	4,8	1,2	n.b.	4,8	0,07	0,01
25/18	5,2	1,3	0,9	4,6	0,11	0,03
25/19	4,9	1,4	1,0	4,6	0,07	0,01
25/20	5,1	1,8	n.b.	5,6	0,07	0,01
25/21	5,1	1,2	1,0	4,8	0,11	0,03
25/22	4,8	0,8	1,0	4,7	0,06	0,01
25/23	5,6	1,8	1,0	5,6	0,04	0,01
25/24	4,8	1,5	0,7	5,0	0,07	0,01
25/25	6,4	1,7	0,8	5,4	0,07	0,01
25/26	4,6	1,3	0,9	4,4	0,07	0,01
25/27	4,2	1,1	1,0	4,5	0,06	0,01
25/A	5,8	1,7	0,8	4,8	0,09	0,01
25/B	4,8	1,1	0,8	3,9	0,08	0,01
25/C	5,3	1,2	0,8	4,3	0,03	0,01
25/D	3,9	1,0	1,0	3,5	0,05	0,01
25/E	4,5	1,1	0,7	4,0	0,05	0,01
25/F	4,0	1,0	0,9	3,6	0,05	0,01

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
25/G	4,7	1,7	n.b.	5,0	0,09	0,02
25/H	4,9	1,1	0,9	3,7	0,05	0,01
25/I	4,3	1,1	0,8	3,9	0,03	0,01
25/J	4,6	1,1	0,8	3,8	0,04	0,01
25/L	5,5	1,1	1,0	4,2	0,09	0,02
25/M	6,6	1,4	1,1	5,9	0,03	0,01
25/N	4,6	1,4	0,7	4,4	0,05	0,01
25/O	5,8	0,8	0,9	3,9	0,05	0,01
25/P	4,9	1,7	0,7	4,8	0,07	0,01
25/Q	4,9	1,5	0,7	4,8	0,04	0,00
25/R	5,1	0,9	1,0	4,0	0,06	0,01
25/S	5,3	0,9	0,9	3,8	0,05	0,01
25/T	4,7	0,6	0,7	4,0	0,05	0,01
25/01!	4,8	1,3	0,7	4,7	0,02	0,00
25/02!	5,7	1,5	0,9	5,0	0,02	0,00
25/03!	3,9	1,1	0,7	4,3	0,04	0,01
25/Baldo !	6,1	1,3	0,7	4,8	0,04	0,01
26/Baldo	5,5	1,1	0,9	4,3	0,04	0,01
26/Canarias	6,1	1,5	1,1	5,3	0,04	0,01
26/Sara rot	6,5	1,5	1,1	6,2	0,05	0,01
26/Sara blau	5,5	1,3	n.b.	4,0	0,04	0,01
26/La Mulata	5,5	1,3	0,9	4,8	0,07	0,01
26/Arminio	6,2	1,2	1,2	5,2	0,07	0,01
26/HB_Btl.	6,6	1,6	1,5	7,3	0,10	0,02
26/HB_lose	6,8	1,5	1,1	5,6	0,06	0,01
27/Keim	5,4	4,2	0,4	0,4	n.b.	n.b.
27/Jung_1	3,0	5,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
27/Jung_2	4,8	4,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
27/Jung_3	2,4	5,1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
27/Marburg	6,2	3,2	0,6	1,7	0,03	0,03
27/Licht_1	2,2	4,0	n.b.	n.b.	0,02	0,02
27/Licht_2	2,2	6,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
28/01_1	11,9	3,0	n.b.	6,9	0,27	0,04
28/01_2	10,4	3,1	n.b.	6,7	0,27	0,05
28/01_3	12,3	4,0	n.b.	9,0	0,29	0,05
28/02_1	7,2	1,0	n.b.	4,6	0,20	0,04
28/02_2	7,9	1,3	0,5	5,0	0,21	0,04
28/02_3	6,9	0,4	0,6	3,6	0,14	0,02
28/11_1	7,8	0,1	1,5	6,1	0,08	0,02
28/11_2	9,6	0,1	0,9	6,4	0,09	0,02
28/11_3	7,7	0,1	0,6	5,2	0,10	0,03
29/01	3,4	0,7	n.b.	0,8	0,06	0,03
29/02	2,4	0,6	n.b.	0,6	0,05	0,03
29/03	3,3	0,8	n.b.	0,8	0,06	0,03
29/04	3,5	0,8	n.b.	1,1	0,05	0,03
29/05	6,9	1,0	0,8	5,5	0,07	0,01
29/06	7,9	1,4	0,8	6,5	0,05	0,00
29/07	6,4	0,9	0,7	5,7	0,06	0,00
29/08	6,4	0,9	0,7	5,6	0,05	0,01
29/09	7,9	1,4	0,8	6,5	0,05	0,01
29/10	6,8	1,1	0,8	5,2	0,08	0,01
29/11	1,5	0,5	n.b.	0,1	0,04	0,03
29/12	2,3	0,8	n.b.	0,3	0,06	0,04

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
29/13	3,2	0,8	n.b.	0,7	0,04	0,03
29/14	1,7	0,7	n.b.	0,3	0,05	0,04
29/15	7,2	1,3	0,7	5,8	0,05	0,00
29/16	5,8	0,9	0,9	6,3	0,06	0,01
29/17	2,0	0,5	n.b.	0,1	0,05	0,04
29/18	0,9	0,4	n.b.	0,2	0,05	0,04
29/19	5,7	0,6	0,7	5,5	0,07	0,01
30/01	7,4	1,2	1,6	5,8	0,08	0,04
30/02	7,1	0,1	1,7	4,9	0,05	0,03
30/03	6,3	1,1	1,4	4,5	0,08	0,03
30/04	6,7	0,5	n.b.	2,7	0,10	0,03
30/05	6,6	0,3	n.b.	2,6	0,09	0,03
30/06	7,3	0,2	1,0	3,1	0,06	0,02
30/07	6,2	0,1	0,8	2,1	0,08	0,02
30/08	6,6	0,3	0,9	4,2	0,07	0,03
30/09	5,9	0,1	n.b.	1,6	0,12	0,03
30/10	7,3	0,3	0,6	2,0	0,16	0,04
30/11	4,5	0,2	n.b.	1,7	0,11	0,03
30/12	8,2	0,8	n.b.	1,9	0,26	0,06
30/13	7,2	1,1	n.b.	1,6	0,30	0,07
30/14	7,0	0,7	n.b.	1,4	0,31	0,08
30/15	9,5	0,3	n.b.	2,0	0,19	0,05
31/folha1	4,5	1,1	1,1	3,7	0,03	0,01
31/folha2	4,1	1,1	1,0	3,9	0,03	0,01
31/folha3	5,4	1,3	1,1	4,5	0,04	0,01
31/goma1	4,6	1,2	1,0	4,1	0,04	0,01
31/goma2	4,2	1,1	0,9	3,8	0,04	0,01
31/goma3	5,9	1,4	1,0	5,3	0,05	0,01
31/po1	4,0	1,0	1,0	3,6	0,03	0,01
31/po2	4,2	1,0	1,0	3,5	0,03	0,01
32/01	6,1	1,1	0,4	3,9	0,10	0,02
32/02	5,2	1,2	0,3	4,8	0,05	0,00
32/03	6,5	1,6	0,5	6,1	0,04	0,00
32/04	6,1	1,3	0,1	3,6	0,15	0,02
32/05	6,7	1,4	0,4	5,3	0,03	0,00
32/06	6,5	0,8	0,8	5,4	0,04	0,00
32/07	5,4	0,7	0,4	3,8	0,04	0,00
32/08	5,4	1,0	0,5	4,6	0,06	0,01
32/09	5,4	1,2	0,4	4,8	0,05	0,01
32/10	4,8	1,2	0,2	3,6	0,05	0,00
32/11	5,2	0,9	0,7	4,5	0,11	0,02
32/12	5,4	1,1	0,4	3,9	0,04	0,01
32/13	5,6	1,0	0,3	3,7	0,15	0,03
32/14	6,0	0,7	0,3	3,6	0,15	0,03
32/15	6,7	1,3	0,4	4,9	0,06	0,00
32/16	6,6	1,2	0,4	4,3	0,12	0,02
32/17	5,5	1,5	0,2	3,9	0,11	0,01
32/18	5,5	1,5	0,3	4,6	0,06	0,00
33/Beschwerdeprod	5,5	1,0	0,5	4,2	0,05	0,00
33/beste Qualität	5,2	1,0	0,5	4,0	0,05	0,01
33/normale Qualität	5,9	1,0	0,5	4,1	0,06	0,01
34/IA	11,3	0,1	0,5	2,0	0,12	0,03
34/IIA	11,6	0,2	0,4	2,2	0,11	0,02

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicafeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicafeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
34/IIIA	9,7	0,6	0,3	1,8	0,25	0,04
34/IB	8,2	0,1	0,5	1,4	0,18	0,04
34/IIB	11,7	0,4	0,5	2,3	0,23	0,01
34/IIIB	8,6	0,8	n.b.	1,2	0,33	0,06
34/IC	8,0	0,1	0,6	1,5	0,20	0,04
34/IIC	11,8	0,2	0,5	2,4	0,15	0,03
34/IIIC	7,6	0,6	n.b.	1,2	0,38	0,06
34/ID	7,9	0,1	0,5	1,5	0,23	0,05
34/IID	11,8	0,3	0,6	1,4	0,14	0,03
34/IIID	7,6	0,6	n.b.	1,1	0,34	0,06
34/IE	8,1	0,1	0,5	2,0	0,20	0,04
34/IIIE	12,0	0,2	0,7	2,5	0,15	0,03
34/IIIE	7,8	0,7	n.b.	1,0	0,37	0,06
35/111	5,2	0,8	n.b.	0,9	0,34	0,07
35/112	5,8	0,8	n.b.	1,6	0,31	0,07
35/113S	6,7	0,9	n.b.	2,0	0,31	0,06
35/114L	5,6	0,7	n.b.	1,8	0,27	0,05
35/115L	5,0	0,5	n.b.	1,9	0,20	0,04
35/116S	7,2	0,6	n.b.	2,8	0,25	0,07
35/121	6,7	0,5	n.b.	1,9	0,17	0,04
35/122	6,8	0,6	n.b.	1,5	0,21	0,05
35/123S	6,4	0,4	n.b.	1,5	0,20	0,04
35/124L	5,1	0,2	n.b.	1,7	0,13	0,03
35/125S	6,3	0,4	n.b.	1,8	0,16	0,05
35/126L	5,1	0,2	n.b.	1,2	0,17	0,05
35/212	6,1	0,4	n.b.	2,0	0,15	0,03
35/213	6,6	0,4	n.b.	2,3	0,15	0,03
35/211L	6,9	0,8	n.b.	1,7	0,25	0,04
35/214S	7,4	0,7	n.b.	2,3	0,26	0,05
35/215S	7,0	0,6	n.b.	2,3	0,30	0,05
35/216L	6,7	1,0	n.b.	1,5	0,40	0,06
35/221	6,1	0,4	n.b.	2,0	0,17	0,04
35/222	6,9	0,5	n.b.	1,9	0,20	0,04
35/223S	7,4	0,6	n.b.	2,6	0,27	0,05
35/224L	6,1	0,4	n.b.	1,7	0,24	0,04
35/225L	6,7	0,4	n.b.	1,7	0,29	0,05
35/226S	8,0	0,5	n.b.	1,9	0,27	0,05
35/311	6,3	0,3	n.b.	2,4	0,22	0,05
35/312	6,9	0,6	n.b.	1,8	0,24	0,05
35/313S	6,9	0,5	n.b.	2,3	0,23	0,04
35/314L	6,6	0,4	n.b.	2,3	0,24	0,05
35/316L	4,7	0,3	n.b.	1,6	0,25	0,04
35/318S	6,1	0,3	n.b.	2,2	0,32	0,06
35/321	7,4	0,4	n.b.	2,5	0,21	0,04
35/322	6,3	0,3	n.b.	2,2	0,16	0,03
35/323S	7,1	0,3	n.b.	2,1	0,20	0,04
35/324L	7,1	0,5	n.b.	2,0	0,25	0,05
35/325S	6,3	0,3	n.b.	2,0	0,19	0,03
35/326L	6,3	0,5	n.b.	2,0	0,24	0,04
K1/1	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K1/2	0,006	n.b.	n.b.	0,001	n.b.	n.b.
K1/3	0,008	n.b.	n.b.	0,003	n.b.	n.b.
K1/4	0,011	n.b.	n.b.	0,004	n.b.	n.b.

Fortsetzung von Tab. 8-5: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicaffeoylchinasäuren sowie Gesamtchlorophyll und Carotinoiden von allen im Rahmen der Arbeit bestimmten Proben, sortiert nach ihrer Probennummer

Probennummer	Monocaffeoylchinasäuren (%)	Coffein (%)	Rutin (%)	Dicaffeoylchinasäuren (%)	Gesamtchlorophyll (%)	Carotinoide (%)
K1/5	0,005	0,000	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K1/6	0,021	0,000	n.b.	0,003	n.b.	n.b.
K1/7	0,026	0,000	n.b.	0,007	n.b.	n.b.
K1/8	0,018	0,000	0,001	0,013	n.b.	n.b.
K1/9	0,008	0,001	0,001	0,006	n.b.	n.b.
K1/10	0,006	0,002	n.b.	0,009	n.b.	n.b.
K1/11	0,002	0,002	n.b.	0,001	n.b.	n.b.
K1/12	n.b.	0,001	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K1/A	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K1/B	0,005	n.b.	0,001	0,001	n.b.	n.b.
K1/C	0,006	n.b.	0,001	0,001	n.b.	n.b.
K1/D	0,006	n.b.	0,001	0,001	n.b.	n.b.
K1/E	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K1/F	0,002	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K1/G	0,014	0,000	0,002	0,002	n.b.	n.b.
K1/H	0,027	0,000	0,006	0,008	n.b.	n.b.
K1/K	0,019	0,000	0,007	0,010	n.b.	n.b.
K1/L	n.b.	0,002	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K1/M	0,002	0,002	0,001	0,001	n.b.	n.b.
K1/N	n.b.	0,001	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K1/I	0,009	n.b.	n.b.	0,002	n.b.	n.b.
K1/II	0,006	n.b.	n.b.	0,000	n.b.	n.b.
K1/III	0,004	n.b.	n.b.	0,000	n.b.	n.b.
K1/IV	0,002	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K1/V	0,002	0,000	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K1/VI	0,013	0,000	n.b.	0,001	n.b.	n.b.
K1/VII	0,012	0,000	n.b.	0,001	n.b.	n.b.
K1/VIII	0,017	0,001	n.b.	0,001	n.b.	n.b.
K1/IX	0,039	0,001	0,002	0,019	n.b.	n.b.
K1/X	0,033	0,002	0,002	0,017	n.b.	n.b.
K1/XI	0,023	0,002	0,001	0,015	n.b.	n.b.
K1/XII	0,001	0,003	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K2/A_dunkel1	0,008	0,000	n.b.	0,002	n.b.	n.b.
K2/A_hell1	0,021	0,001	n.b.	0,007	n.b.	n.b.
K2/A_dunkel2	0,013	0,001	n.b.	0,014	n.b.	n.b.
K2/A_hell2	0,020	0,001	0,001	0,016	n.b.	n.b.
K2/A_dunkel3	0,002	0,000	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K2/A_hell3	0,039	0,000	0,001	0,008	n.b.	n.b.
K2/B_dunkel	0,010	0,000	0,001	0,007	n.b.	n.b.
K2/B_hell	0,032	0,002	0,003	0,024	n.b.	n.b.

n.b. – nicht bestimmbar

Tab. 8-6: Varianzanalyse der mittleren Gehalte von Blättern eines Zweiges (Messreihe 23) an Mono- und DicaFFEoylchinasäure, Coffein, Rutin, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden in Abhängigkeit von der Lage, der Exposition und den Lichtverhältnissen des jeweiligen Zweigs

Abhängige Variable	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Df	Mittel der Quadrate	F-Test	Signifikanz
Monocaffeoylchinasäuren	Korrigiertes Modell	42,517 ^a	24	1,77	0,898	0,603
	Konstanter Term	1842,119	1	1842,12	933,724	0,000
	Licht	18,173	2	9,09	4,606	0,014
	Lage	1,123	2	0,56	0,285	0,753
	Exposition	0,476	3	0,16	0,080	0,970
	Licht * Lage	0,523	2	0,26	0,132	0,876
	Licht * Exposition	2,039	3	0,68	0,345	0,793
	Lage * Exposition	11,862	6	1,98	1,002	0,433
	Licht * Lage * Exposition	4,651	4	1,16	0,589	0,672
	Fehler	110,481	56	1,97		
	Gesamt	4825,480	81			
Korrigierte Gesamtvariation		152,998	80			
Coffein	Korrigiertes Modell	13,649 ^b	24	0,57	1,056	0,419
	Konstanter Term	88,750	1	88,75	164,839	0,000
	Licht	1,630	2	0,82	1,514	0,229
	Exposition	1,014	3	0,34	0,628	0,600
	Lage	0,323	2	0,16	0,300	0,742
	Licht * Exposition	0,335	3	0,11	0,208	0,891
	Licht * Lage	0,074	2	0,04	0,069	0,933
	Exposition * Lage	5,793	6	0,97	1,793	0,117
	Licht * Exposition * Lage	4,109	4	1,03	1,908	0,122
	Fehler	30,151	56	0,54		
	Gesamt	268,800	81			
Korrigierte Gesamtvariation		43,800	80			
Rutin	Korrigiertes Modell	1,453 ^c	23	0,06	0,502	0,964
	Konstanter Term	38,720	1	38,72	307,828	0,000
	Licht	0,029	2	0,01	0,114	0,892
	Exposition	0,380	3	0,13	1,007	0,397
	Lage	0,353	2	0,18	1,405	0,254
	Licht * Exposition	0,224	3	0,07	0,593	0,622
	Licht * Lage	0,201	2	0,10	0,798	0,456
	Exposition * Lage	0,112	6	0,02	0,148	0,989
	Licht * Exposition * Lage	0,210	3	0,07	0,557	0,645
	Fehler	6,667	53	0,13		
	Gesamt	100,850	77			
Korrigierte Gesamtvariation		8,119	76			
DicaFFEoylchinasäuren	Korrigiertes Modell	91,290 ^d	24	3,80	1,251	0,242
	Konstanter Term	913,571	1	913,57	300,563	0,000
	Licht	49,583	2	24,79	8,156	0,001
	Exposition	1,206	3	0,40	0,132	0,940
	Lage	0,819	2	0,41	0,135	0,874
	Licht * Exposition	0,789	3	0,26	0,087	0,967
	Licht * Lage	3,009	2	1,50	0,495	0,612
	Exposition * Lage	28,057	6	4,68	1,538	0,183
	Licht * Exposition * Lage	2,152	4	0,54	0,177	0,949
	Fehler	170,214	56	3,04		
	Gesamt	3018,920	81			
Korrigierte Gesamtvariation		261,503	80			

Fortsetzung von Tab. 8-6: Varianzanalyse der mittleren Gehalte von Blättern eines Zweiges (Messreihe 23) an Mono- und DicaFFEoylchinasäure, Coffein, Rutin, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden in Abhängigkeit von der Lage, der Exposition und den Lichtverhältnissen des jeweiligen Zweigs

Abhängige Variable	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Df	Mittel der Quadrate	F-Test	Signifikanz
Gesamtchlorophyll	Korrigiertes Modell	0,492 ^e	24	0,02	2,091	0,012
	Konstanter Term	4,155	1	4,16	423,506	0,000
	Licht	0,217	2	0,11	11,056	0,000
	Exposition	0,045	3	0,01	1,513	0,221
	Lage	0,007	2	0,00	0,372	0,691
	Licht * Exposition	0,026	3	0,01	0,899	0,447
	Licht * Lage	0,003	2	0,00	0,175	0,840
	Exposition * Lage	0,063	6	0,01	1,074	0,389
	Licht * Exposition * Lage	0,038	4	0,01	0,974	0,429
	Fehler	0,549	56	0,01		
	Gesamt	7,023	81			
	Korrigierte Gesamtvariation	1,042	80			
Carotinoide	Korrigiertes Modell	0,014 ^f	24	0,00	1,990	0,018
	Konstanter Term	0,139	1	0,14	474,981	0,000
	Licht	0,006	2	0,00	9,787	0,000
	Exposition	0,002	3	0,00	1,812	0,155
	Lage	0,000	2	0,00	0,790	0,459
	Licht * Exposition	0,001	3	0,00	1,683	0,181
	Licht * Lage	0,000	2	0,00	0,475	0,625
	Exposition * Lage	0,002	6	0,00	0,970	0,454
	Licht * Exposition * Lage	0,001	4	0,00	1,093	0,369
	Fehler	0,016	56	0,00		
	Gesamt	0,241	81			
	Korrigierte Gesamtvariation	0,030	80			

Df – Freiheitsgrade; ^a R-Quadrat = 0,278 (korrigiertes R-Quadrat = 0,032); ^b R-Quadrat = 0,312 (korrigiertes R-Quadrat = 0,017); ^c R-Quadrat = 0,179 (korrigiertes R-Quadrat = 0,177); ^d R-Quadrat = 0,349 (korrigiertes R-Quadrat = 0,070); ^e R-Quadrat = 0,473 (korrigiertes R-Quadrat = 0,247); ^f R-Quadrat = 0,460 (korrigiertes R-Quadrat = 0,229)

Tab. 8-7: Varianzanalyse der mittleren Gehalte von Blättern eines Zweiges (Messreihe 23) an Mono- und DicaFFEoylchinasäure, Coffein, Rutin, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden in Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen des jeweiligen Zweigs

Abhängige Variable	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Df	Mittel der Quadrate	F-Test	Signifikanz
Monocaffeoylchinasäuren	Korrigiertes Modell	18,629 ^a	2	9,315	5,407	0,006
	Konstanter Term	1719,858	1	1719,858	998,366	0,000
	Licht	18,629	2	9,315	5,407	0,006
	Fehler	134,369	78	1,723		
	Gesamt	4825,480	81			
	Korrigierte Gesamtvariation	152,998	80			
Coffein	Korrigiertes Modell	0,873 ^b	2	0,437	0,793	0,456
	Konstanter Term	83,155	1	83,155	151,097	0,000
	Licht	0,873	2	0,437	0,793	0,456
	Fehler	42,927	78	0,550		
	Gesamt	268,800	81			
	Korrigierte Gesamtvariation	43,800	80			
Rutin	Korrigiertes Modell	0,089 ^c	2	0,044	0,408	0,667
	Konstanter Term	36,663	1	36,663	337,827	0,000
	Licht	0,089	2	0,044	0,408	0,667
	Fehler	8,031	74	0,109		
	Gesamt	100,850	77			
	Korrigierte Gesamtvariation	8,119	76			
DicaFFEoylchinasäuren	Korrigiertes Modell	42,186 ^d	2	21,093	7,502	0,001
	Konstanter Term	840,770	1	840,770	299,020	0,000
	Licht	42,186	2	21,093	7,502	0,001
	Fehler	219,317	78	2,812		
	Gesamt	3018,920	81			
	Korrigierte Gesamtvariation	261,503	80			
Gesamtchlorophyll	Korrigiertes Modell	0,345 ^e	2	0,172	19,284	0,000
	Konstanter Term	4,116	1	4,116	460,511	0,000
	Licht	0,345	2	0,172	19,284	0,000
	Fehler	0,697	78	0,009		
	Gesamt	7,023	81			
	Korrigierte Gesamtvariation	1,042	80			
Carotinoide	Korrigiertes Modell	0,009 ^f	2	0,004	16,317	0,000
	Konstanter Term	0,135	1	0,135	493,774	0,000
	Licht	0,009	2	0,004	16,317	0,000
	Fehler	0,021	78	0,000		
	Gesamt	0,241	81			
	Korrigierte Gesamtvariation	0,030	80			

Df – Freiheitsgrade; ^a R-Quadrat = 0,278 (korrigiertes R-Quadrat = 0,032); ^b R-Quadrat = 0,312 (korrigiertes R-Quadrat = 0,017); ^c R-Quadrat = 0,179 (korrigiertes R-Quadrat = 0,177); ^d R-Quadrat = 0,349 (korrigiertes R-Quadrat = 0,070); ^e R-Quadrat = 0,473 (korrigiertes R-Quadrat = 0,247); ^f R-Quadrat = 0,460 (korrigiertes R-Quadrat = 0,229)

Tab. 8-8: Varianzanalyse der mittleren Gehalte an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin, Dicaffeoylchinasäuren, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden der Blätter von 15 Jungpflanzen in Abhängigkeit von der Beschattung

Abhängige Variable	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Df	Mittel der Quadrate	F-Test	Signifikanz
Monocaffeoylchinasäuren	Korrigiertes Modell	7,862 ^a	3	2,621	3,160	0,068
	Konstanter Term	676,664	1	676,664	815,958	0,000
	Beschattung	7,862	3	2,621	3,160	0,068
	Fehler	9,122	11	0,829		
	Gesamt	735,280	15			
	Korrigierte Gesamtvariation	16,984	14			
Coffein	Korrigiertes Modell	0,982 ^b	3	0,327	3,063	0,073
	Konstanter Term	3,600	1	3,600	33,688	0,000
	Beschattung	0,982	3	0,327	3,063	0,073
	Fehler	1,176	11	0,107		
	Gesamt	5,710	15			
	Korrigierte Gesamtvariation	2,157	14			
Rutin	Korrigiertes Modell	1,010 ^c	2	0,505	30,314	0,004
	Konstanter Term	5,643	1	5,643	338,560	0,000
	Beschattung	1,010	2	0,505	30,314	0,004
	Fehler	0,067	4	0,017		
	Gesamt	10,220	7			
	Korrigierte Gesamtvariation	1,077	6			
Dicaffeoylchinasäuren	Korrigiertes Modell	23,337 ^d	3	7,779	23,171	0,000
	Konstanter Term	118,399	1	118,399	352,679	0,000
	Beschattung	23,337	3	7,779	23,171	0,000
	Fehler	3,693	11	0,336		
	Gesamt	145,190	15			
	Korrigierte Gesamtvariation	27,029	14			
Gesamtchlorophyll	Korrigiertes Modell	0,095 ^e	3	0,032	29,393	0,000
	Konstanter Term	0,266	1	0,266	245,875	0,000
	Beschattung	0,095	3	0,032	29,393	0,000
	Fehler	0,012	11	0,001		
	Gesamt	0,390	15			
	Korrigierte Gesamtvariation	0,107	14			
Carotinoide	Korrigiertes Modell	0,004 ^f	3	0,001	18,204	0,000
	Konstanter Term	0,022	1	0,022	325,059	0,000
	Beschattung	0,004	3	0,001	18,204	0,000
	Fehler	0,001	11	0,000		
	Gesamt	0,028	15			
	Korrigierte Gesamtvariation	0,004	14			

Df – Freiheitsgrade; ^a R-Quadrat = 0,463 (korrigiertes R-Quadrat = 0,316); ^b R-Quadrat = 0,455 (korrigiertes R-Quadrat = 0,307); ^c R-Quadrat = 0,938 (korrigiertes R-Quadrat = 0,907); ^d R-Quadrat = 0,863 (korrigiertes R-Quadrat = 0,826); ^e R-Quadrat = 0,889 (korrigiertes R-Quadrat = 0,859); ^f R-Quadrat = 0,832 (korrigiertes R-Quadrat = 0,787)

Tab. 8-9: Varianzanalyse der mittleren Gehalte von Mate cancheada an Mono- und Dicafeoylchinasäure, Coffein, Rutin, Gesamtchlorophyll und Carotinoiden in Abhängigkeit von den Jahren des Cancheamento

Abhängige Variable	Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Df	Mittel der Quadrate	F-Test	Signifikanz
Monocaffeoylchinasäuren	Korrigiertes Modell	18,629 ^a	2	9,315	5,407	0,006
	Konstanter Term	1301,548	1	1301,548	2426,752	0,000
	Jahr des Cancheamento	12,969	4	3,242	6,045	0,000
	Fehler	31,644	59	0,536		
	Gesamt	2318,710	64			
	Korrigierte Gesamtvariation	44,612	63			
Coffein	Korrigiertes Modell	0,528 ^b	4	0,132	0,976	0,428
	Konstanter Term	50,506	1	50,506	373,222	0,000
	Jahr des Cancheamento	0,528	4	0,132	0,976	0,428
	Fehler	7,984	59	0,135		
	Gesamt	94,770	64			
	Korrigierte Gesamtvariation	8,512	63			
Rutin	Korrigiertes Modell	1,843 ^c	4	0,461	15,729	0,000
	Konstanter Term	7,974	1	7,974	272,198	0,000
	Jahr des Cancheamento	1,843	4	0,461	15,729	0,000
	Fehler	0,996	34	0,029		
	Gesamt	15,590	39			
	Korrigierte Gesamtvariation	2,839	38			
Dicafeoylchinasäuren	Korrigiertes Modell	6,565 ^d	4	1,641	2,098	0,092
	Konstanter Term	786,145	1	786,145	1005,141	0,000
	Jahr des Cancheamento	6,565	4	1,641	2,098	0,092
	Fehler	46,145	59	0,782		
	Gesamt	1355,920	64			
	Korrigierte Gesamtvariation	52,710	63			
Gesamtchlorophyll	Korrigiertes Modell	0,140 ^e	4	0,035	15,287	0,000
	Konstanter Term	0,288	1	0,288	125,742	0,000
	Jahr des Cancheamento	0,140	4	0,035	15,287	0,000
	Fehler	0,135	59	0,002		
	Gesamt	1,145	64			
	Korrigierte Gesamtvariation	0,275	63			
Carotinoide	Korrigiertes Modell	0,003 ^f	4	0,001	11,090	0,000
	Konstanter Term	0,007	1	0,007	99,683	0,000
	Jahr des Cancheamento	0,003	4	0,001	11,090	0,000
	Fehler	0,004	59	0,000		
	Gesamt	0,027	64			
	Korrigierte Gesamtvariation	0,007	63			

Df – Freiheitsgrade; ^a R-Quadrat = 0,291 (korrigiertes R-Quadrat = 0,243); ^b R-Quadrat = 0,062 (korrigiertes R-Quadrat = 0,002); ^c R-Quadrat = 0,649 (korrigiertes R-Quadrat = 0,608); ^d R-Quadrat = 0,125 (korrigiertes R-Quadrat = 0,065); ^e R-Quadrat = 0,509 (korrigiertes R-Quadrat = 0,476); ^f R-Quadrat = 0,429 (korrigiertes R-Quadrat = 0,390)

9 Anhang II: Bestimmung der Mineralstoffgehalte sowie der antioxidativen Eigenschaften von Mate

9.1 Einleitung

Bisher stehen in der Literatur nicht viele Daten zu den Mineralstoffgehalten in Mate zu Verfügung. Vera Garcia *et al.* (1997) beschrieben erste Ergebnisse zu Mate-Blättern und untersuchten, wie einige Autoren (Escudero *et al.*, 1945; Tenorio Sanz und Torija Isasa, 1991; Wrobel *et al.*, 2000; Carducci *et al.*, 2000) zuvor, auch die Gehalte an Mineralstoffen in verschiedenen Handelswaren. Darüber hinaus konnten frühere Berichte in der Literatur zu den hohen Ascorbinsäuregehalten von Mate (Ramos-Bareto, 1955) nicht bestätigt werden (Knöss *et al.*, 1998). Vor diesem Hintergrund wurden die Gehalte von acht Mineralstoffen mittels Flammenabsorptionsspektroskopie in grünem und geröstetem Mate-Tee aus fünf Produktionsjahren, welche von dem Kooperationspartner Bad Heilbrunner zu Verfügung gestellt worden waren, bestimmt. Anhand der Ergebnisse wurden Aussagen zur Variabilität, welche nach unserem Kenntnisstand bisher noch nicht in der Literatur analysiert wurden, getroffen und Vergleiche mit Literaturdaten angestellt. Die entsprechenden Analysen wurden am Institut für Tierernährung der Universität Bonn in Zusammenarbeit mit S. Plos durchgeführt.

Die antioxidativen Eigenschaften des Mate wurde in jüngerer Zeit verstärkt in der Literatur diskutiert (Bracesco *et al.*, 2003; Filip *et al.*, 2000; Schinella *et al.*, 2000). Ausgehend von unseren Untersuchungen zu phytochemischen Merkmalen in *Ilex paraguariensis* sollte deshalb als erstes das antioxidative Potential verschiedener Mate-Tees erfasst und anschließend in den Rahmen weiterer bekannter Tees mit antioxidativen Eigenschaften eingeordnet werden. Darüber hinaus sollte die Frage beantwortet werden, ob ein Zusammenhang zwischen den antioxidativen Eigenschaften und den Gehalten an phytochemischen Parametern des Mate bestünde. Diese Fragen konnten mit zwei Testsystemen zur Bestimmung antioxidativer Eigenschaften, welche von K. Fisch in der Arbeitsgruppe König (Pharmazeutische Biologie, Universität Bonn) etabliert worden waren, beantwortet werden.

9.2 Mineralstoffzusammensetzung von Mate

Aktueller Kenntnisstand

In Abb. 9-1 sind die in der Literatur publizierten Gehalte der Handelswaren an den Makroelementen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium sowie an den Mikroelementen Eisen, Kupfer, Mangan und Zink wiedergegeben. Zumeist handelt es sich bei den dargestellten Ergebnissen um Mittelwerte aus mehreren Messungen. Die Mittelwerte, welche von den verschiedenen Autoren bestimmt wurden, stimmen bis auf Kupfer kaum überein. Sie schwanken, ausgehend von der geringsten Gehaltsangabe um bis zu 100 %.

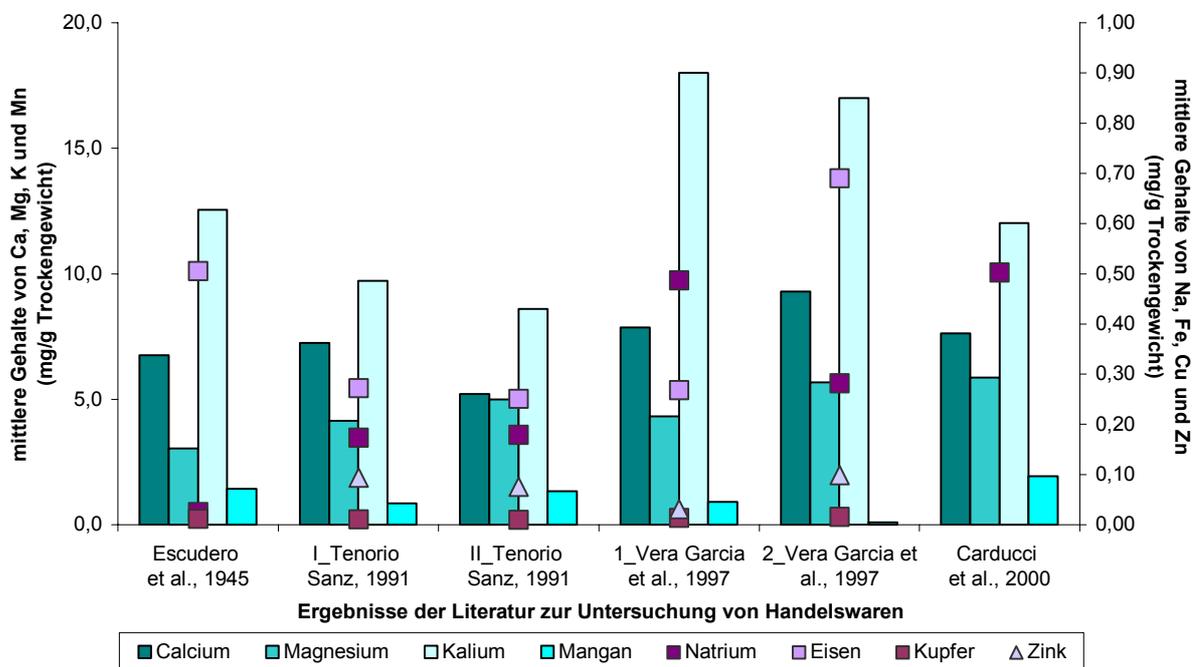


Abb. 9-1: In der Literatur publizierte Gehalte (mg/g Trockengewicht) verschiedener Bestimmungen von Handelswaren an den Makroelementen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium sowie an den Mikroelementen Eisen, Kupfer, Mangan und Zink

Die von Vera Garcia *et al.* (1997) bei der Untersuchungen von Mate-Blättern bestimmten Gehalte an Mineralstoffen werden im Rahmen der Ergebnisse (s. Abb. 9-3), die hier bestimmt wurden, vorgestellt.

Wrobel *et al.* (2000) untersuchten in einer vergleichenden Analyse ebenfalls Mate-Blätter. Diese Versuchsreihe war ausschließlich auf die Bestimmung von Mikroelementen ausgerichtet. Sie kam zu dem Ergebnis, dass Mate eine gute Nahrungsquelle für das Mikroelement Mangan sei, da dessen Gehalt mit 222,3 mg pro 100 g Trockengewicht bestimmt worden war. Darüber hinaus wurde ein Eisengehalt von 16,6 mg sowie ein Kupfergehalt von 1,11 mg (jeweils bezogen auf 100 g Trockengewicht) ermittelt.

Analysiertes Probenmaterial

Zur Bestimmung der Mineralstoffzusammensetzung (zur Methode s. Kap. 3.4.4.3) wurden 19 Proben von verschiedenen Handelswaren untersucht. Es handelte sich hierbei um dieselben Proben, deren Ergebnisse der quantitativen Zusammensetzung ihrer phytochemischen Parameter in Kap. 4.5.3 (Messreihe 29) vorgestellt wurden. Alle Proben lagen als geschnittenes Blattmaterial vor und stammten aus Brasilien. Sie unterschieden sich in der Verarbeitung während des Herstellungsprozesses (grüner oder gerösteter Mate-Tee) sowie dem Erntejahr (1996 bis 2000). Weitere Probeninformationen sind im Anhang I Tab. 8-3 unter der Probennummer 29 zu entnehmen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Einzelergebnisse der zehn untersuchten gerösteten sowie der neun grünen Proben unterscheiden sich nur geringfügig voneinander. Deshalb sind in Abb. 9-2 die durchschnittlichen Gehalte der jeweiligen Handelswaren angegeben. Zusätzlich sind die Standardabweichungen als Maß der Streuung der Einzelergebnisse dargestellt.

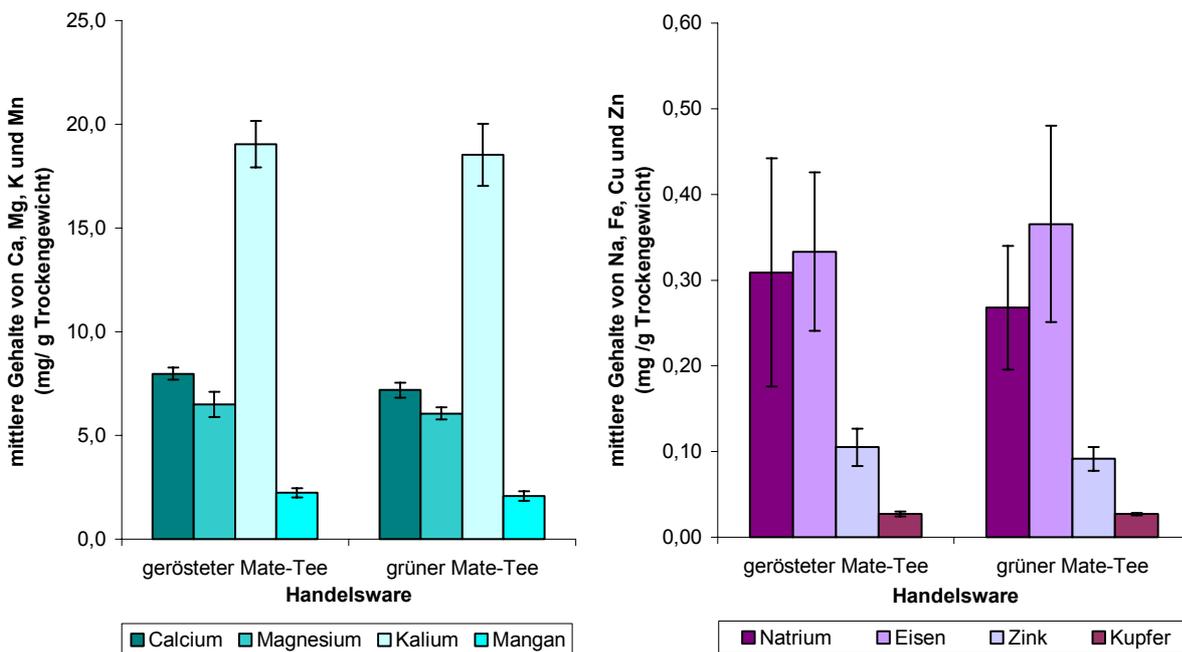


Abb. 9-2: Mittlere Gehalte (mg/g Trockengewicht) und deren Standardabweichungen (n = 10 bzw. 9) an Calcium, Magnesium, Kalium und Mangan (linkes Diagramm) und an Natrium, Eisen, Zink und Kupfer (rechtes Diagramm) von zehn gerösteten und neun grünen Proben Mate-Tees unterschiedlicher Erntejahre (1996 bis 2000) aus Brasilien

Ein Vergleich der beiden Handelswaren zeigt, dass keine deutlichen Unterschiede in den einzelnen Mineralstoffgehalten zwischen geröstetem und grünem Mate-Tee bestehen. In der Einzelbetrachtung der Ergebnisse fallen besonders die hohen Mangangehalte auf. Obwohl es zu der Gruppe der Spure-

elemente zählt, werden Gehalte von über 2 mg/g Trockengewicht bestimmt. Damit sind diese sogar höher als die durchschnittlichen Natriumgehalte (0,29 mg/g Trockengewicht).

Die durchschnittlich sehr geringen Standardabweichungen weisen daraufhin, dass die Variabilität der Gehalte der einzelnen Mineralstoffe in den Handelprodukten für den untersuchten Zeitraum sehr gering ist. Daraus kann geschlossen werden, dass von den liefernden Quellen in dieser Zeit relativ gut vergleichbares Material bezogen wurde. Von dieser Feststellung sind die Ergebnisse für Natrium und Eisen jedoch auszunehmen. Für beide wurde eine höhere Standardabweichung berechnet. Diese sind allerdings nicht ausschließlich auf die Variabilität des Materials zurückzuführen, sondern treten bei Bestimmungen mit dem vorhandenen Gerätesystem in den niedrigen Konzentrationsbereichen bei diesen Elementen häufiger auf (S. Plos, persönliche Mitteilungen).

Wie bereits einleitend erwähnt, beziehen sich die überwiegend in der Literatur veröffentlichten Ergebnisse zu Mineralstoffgehalten auf Handelswaren. Den hier gewonnenen Ergebnissen lagen Muster grünen und gerösteten Mate-Tees verschiedener Erntejahre zugrunde, die ausschließlich aus Mate-Blättern gewonnen wurden. Deshalb können die bestimmten Mineralstoffgehalte nur mit den Angaben von Vera Garcia *et al.* (1997) und Wrobel *et al.* (2000) verglichen werden.

Da Vera Garcia und Coautoren insgesamt Mate-Blätter vier Proben zu vier unterschiedlichen Zeitpunkten (August und Oktober 1991 sowie Mai und August 1992) analysierten, stehen jeweils vier Durchschnittsgehalte zum Vergleich zu Verfügung. Aufgrund der guten Übereinstimmung der Gehalte von grünen und gerösteten Mate-Blättern werden in dem Vergleich mit den Literaturdaten die Ergebnisse der Handelswaren gemittelt und unter der Bezeichnung „Handelswaren von Bad Heilbrunner“ wiedergegeben (s. Abb. 9-3).

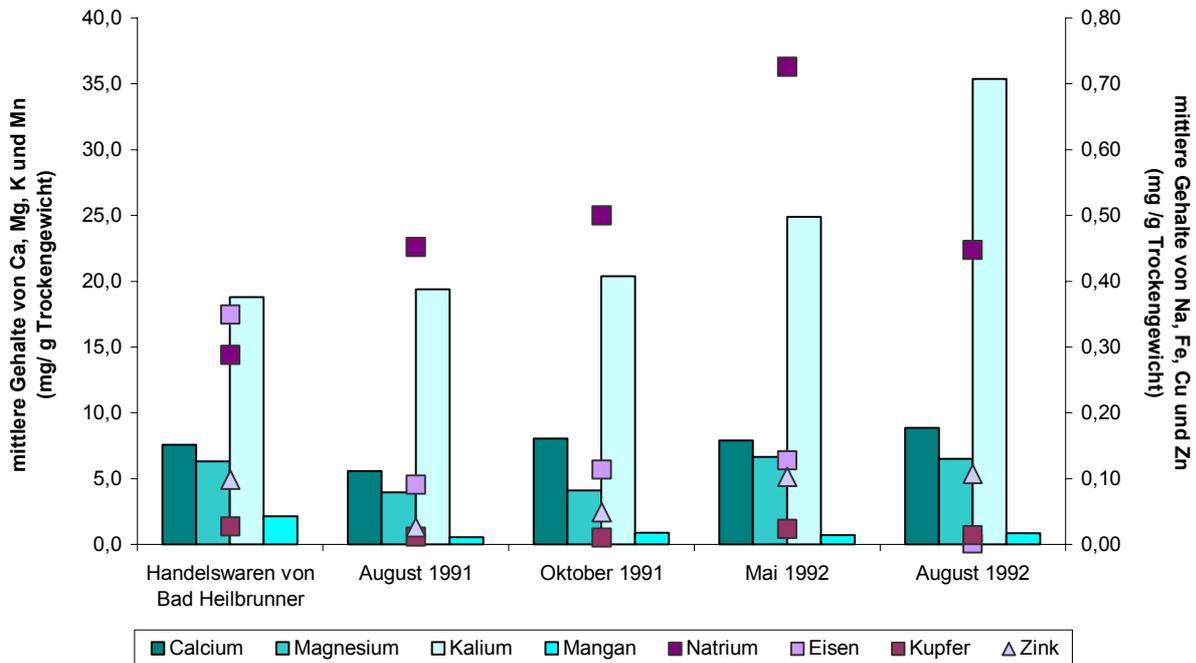


Abb. 9-3: Mittlere Gehalte (mg/g Trockengewicht) der Makroelemente Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium sowie der Mikroelemente Mangan, Eisen, Zink und Kupfer von Handelswaren von Bad Heilbrunn (gemittelt aus grünen und gerösteten Sorten der Erntejahre 1996 bis 2000 aus Brasilien) im Vergleich zu den Angaben von Vera Garcia *et al.* (1997) zu Mate-Blättern, die im August und Oktober 1991 sowie im Mai und August 1992 gesammelt und analysiert wurden.

Generell stimmen die hier ermittelten Gehaltsangaben gut mit den Literaturangaben überein. Auffällig ist jedoch der hohe Kaliumgehalt der Proben von August 1992 sowie die von Vera Garcia *et al.* insgesamt beobachteten höheren Gehalte an Natrium. Die hier untersuchten Proben zeichnen sich durch deutlich höhere als von Vera Garcia *et al.* beschriebene Mangan- und Eisengehalte aus. Auch Wrobel *et al.* (2000) fanden einen zwei- bis vierfach höheren Mangangehalt in Mate-Blättern als Vera Garcia. Sie bestätigen mit 2,22 mg/g Trockengewicht die hier gemessenen Mangangehalte. Die von Wrobel und Coautoren veröffentlichten Ergebnisse zur Bestimmung von Eisen bestätigen mit 0,17 mg/g Trockengewicht dagegen die Beobachtungen von Vera Garcia. Dieser beurteilte schon die von ihm gemessenen Eisengehalte als hoch und vermutete, dass das Metall durch die Trocknung eingeschleppt würde.

Neben solchen Vermutungen könnte die Ursache der beobachteten Unterschiede auch auf unterschiedliche äußere Faktoren wie Umwelteinflüsse oder auf unterschiedlicher Beschaffenheit des Bodens zurückzuführen sein. Zur Klärung dieser Frage sind deshalb weitere Untersuchungen, möglichst über die ausschließliche Bestimmung in der Pflanze selbst hinaus, nötig.

9.3 Antioxidative Eigenschaften von Mate

Zur Bestimmung der antioxidativen Eigenschaften wurden verschiedene Sorten Mate-Tees im Vergleich zu anderen handelsüblichen Teesorten in zwei Testsystemen (TBARS- und DPPH-Assay) untersucht. Um einen Hinweis auf eine entsprechende Wirkung beim Genuss von Mate-Tee zu erhalten, wurden wässrige Extrakte in getränkvergleichbarer Konzentration analysiert. Zur Bestimmung der antioxidativen Komponenten wurden sowohl methanolische Extrakte der Teesorten als auch Naturstoffisolate aus einem Mate-Extrakt analysiert.

Analysiertes Probenmaterial

Von neun verschiedenen handelsüblichen Tees (s. Tab. 9-1) wurden die antioxidativen Eigenschaften sowohl methanolischer als auch wässriger Extrakte im TBARS-Assay und im DPPH-Assay (zur Methode s. Kap. 0) untersucht.

Tab. 9-1: Bezeichnung zu der neun untersuchten handelsüblichen Tees mit Angaben zu der Probenbezeichnung, den Herstellern sowie zu den Verpackungseinheiten

Probenbezeichnung	Teebezeichnung	Hersteller	Verpackungseinheit
Mate grün	Mate Tee grün	Bad Heilbrunner	15 Teebeutel zu 1,8 g
Mate geröstet	Mate Tee geröstet	Bad Heilbrunner	15 Teebeutel zu 1,8 g
Guarana Mate	Guarana Mate	Bad Heilbrunner	15 Teebeutel zu 1,8 g
Grüner Tee	Grüner Tee Teesan	Bad Heilbrunner	15 Teebeutel zu 1,75 g
Pu-Erh Tee	Pu-Erh Tee Teesan	Bad Heilbrunner	15 Teebeutel zu 1,75 g
Rosmarin-Tee	Folia Rosmarini	Caesar & Lorenz	250 g
Schwarzer Tee	Thea nigra	Caesar & Lorenz	250 g
Yerba Mate 1	Yerba Mate Tipo Exportacion	Baldo	1000 g
Yerba Mate 2	Yerba Mate Super Extra Canarias	Baldo	500 g

Im Anschluss erfolgte die Bestimmung der antioxidativen Eigenschaften von phenolischen Naturstoffen von *Ilex paraguariensis*. Diese waren zuvor aus einem methanolischen Extrakt mittels Hochdruckflüssigkeitschromatographie isoliert und identifiziert worden. Es wurden folgende Verbindungen untersucht:

- die Monocaffeoylchinasäuren 3-Caffeoylchinasäure, 4-Caffeoylchinasäure und 5-Caffeoylchinasäure
- die Dicaffeoylchinasäuren 3,4-Dicaffeoylchinasäure, 3,5-Dicaffeoylchinasäure und 4,5-Dicaffeoylchinasäure
- Rutin

Ergebnisse und Diskussion

Vom Kooperationspartner Bad Heilbrunner wurden drei verschiedenen Sorten Mate-Tees sowie zwei weitere Tee-Sorten (Grüner Tee und Pu-Erh-Tee) zu Verfügung gestellt. Um einen Produktvergleich mit anderen Mate-haltigen Teesorten zu ermöglichen, wurden zusätzlich zwei chimarrão-Produkte (bezeichnet als Yerba Mate 1 und 2) der Firma Baldo in die Untersuchungen einbezogen. Zur Einordnung der antioxidativen Eigenschaften wurden Rosmarin-Tee und Schwarzer Tee, welche über ein bekanntes antioxidatives Potential verfügen, untersucht.

In einer ersten Versuchsreihe wurde das antioxidative Potential von methanolischen Extrakten (60 % V/V) der neun Tee-Sorten untersucht. Die Extrakte entsprachen damit denjenigen, die üblicherweise zur quantitativen Bestimmung der phytochemischen Parameter eingesetzt wurden. Jeder Extrakt wurde in der Ausgangskonzentration (1 mg/ml) und in einer 1:5-Verdünnung analysiert (s. Abb. 9-4 und Abb. 9-5).

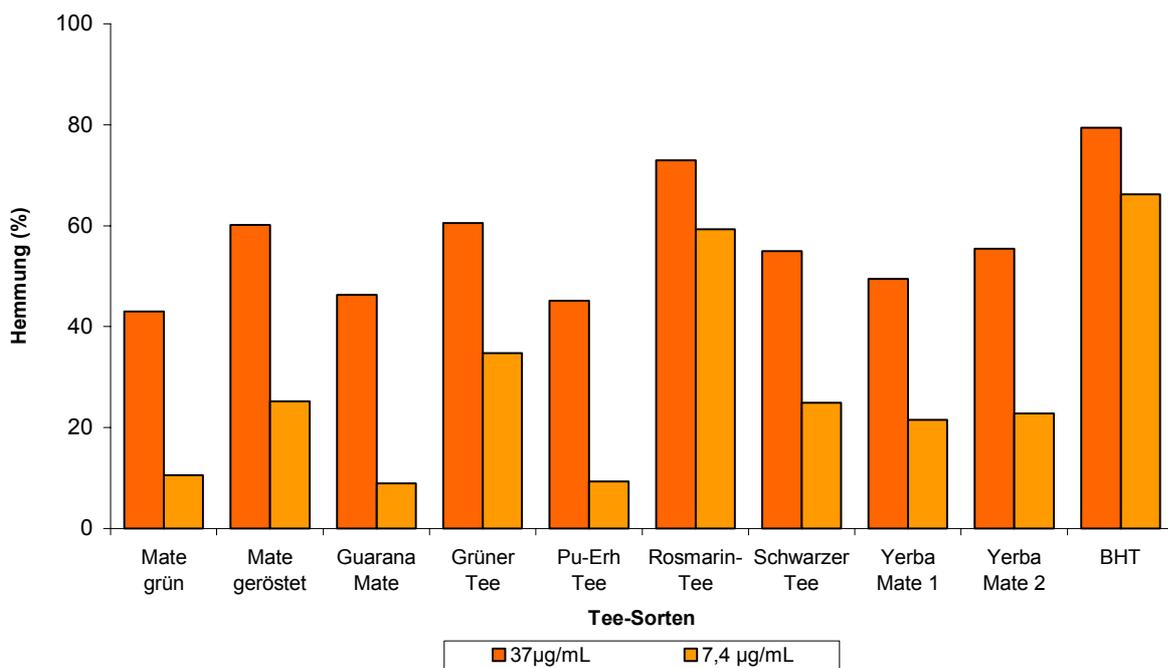


Abb. 9-4: Hemmung (%) methanolischer Extrakte von in Deutschland und in Brasilien handelsüblichen Mate-Tees im TBARS-Assay gegen BHT als Vergleich, wobei Rosmarin- und Schwarzem Tee aufgrund ihres antioxidativen Potentials mitanalysiert wurden

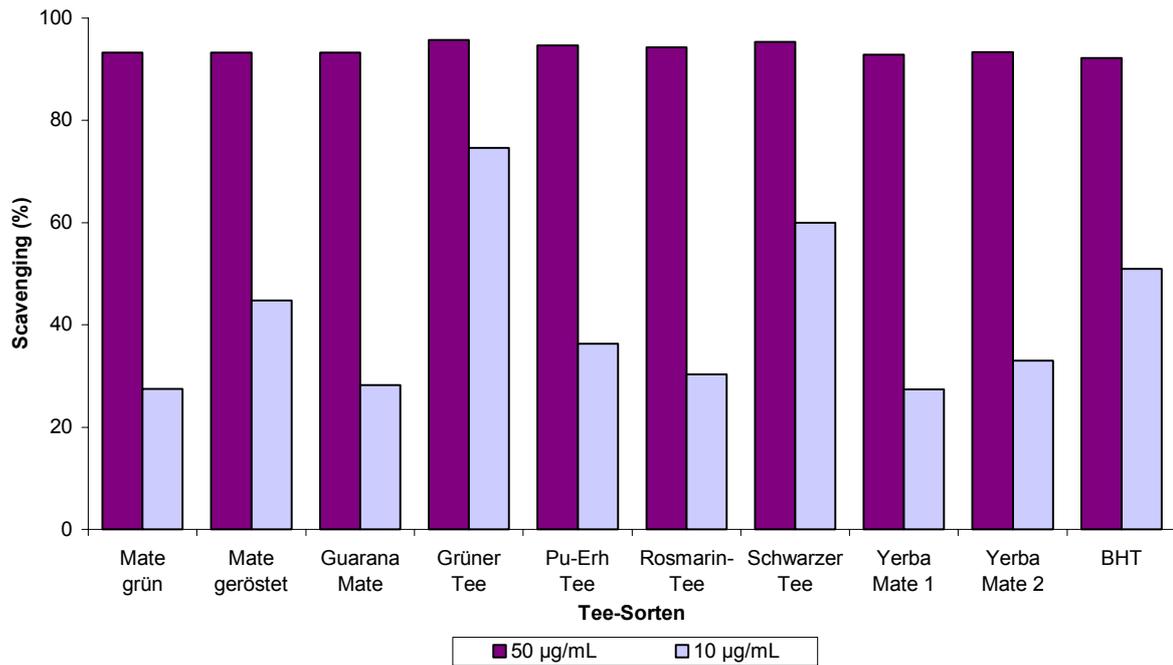


Abb. 9-5: Radikalfängereigenschaften (%) methanolischer Extrakte von in Deutschland und in Brasilien handelsüblichen Mate-Tees im DPPH-Assay gegen BHT als Vergleich, wobei Rosmarin- und Schwarzer Tee aufgrund ihres antioxidativen Potentials mitanalysiert wurden.

Die antioxidative Wirkung der untersuchten Extrakte kann aufgrund von zwei Faktoren beurteilt werden. Zum einen ist die prozentuale Hemmung bzw. das Scavenging der höheren Extraktkonzentration im Vergleich zu der Reaktion der entsprechenden BHT-Konzentration ausschlaggebend. BHT wirkt stark antioxidativ. Zum zweiten zeichnet sich antioxidatives Potential auch dadurch aus, dass in der 1:5-Verdünnung immer noch eine hohe prozentuale Hemmung erreicht wird.

Ein Vergleich der prozentualen Hemmungen der höheren Extraktkonzentrationen im TBARS-Assay zeigte, dass nur der methanolischen Extrakt des Rosmarin-Tees mit über 70 % Hemmung ein ähnlich hohes antioxidatives Potential wie BHT aufwies. Geringere antioxidative Eigenschaften mit Hemmungen von 50 bis 60 % konnten bei den Extrakten des gerösteten Mate-Tees, des Grünen Tees, des Schwarzen Tees und mit den beiden Proben des brasilianischen Hersteller beobachtet werden. Für grünen Mate, Guarana-Mate und Pu-Erh-Tee konnte so gut wie keine Hemmung und damit kaum antioxidatives Potential gemessen werden. Auch der Vergleich der Ergebnisse der niedrigeren Konzentration bestätigten die erstgenannten Auswertungen.

Im DPPH-Assay reagierten alle Extrakte in der höheren Konzentration mit BHT vergleichbar (über 90 % Scavenging). Dagegen unterschieden sich die Ergebnisse der radikalfangenden Wirkung der Verdünnungen der Extrakte. Neben dem Extrakt des Grünen Tees zeigte auch der Extrakt des Schwarzen Tees eine bessere Wirkung als BHT. Rosmarin-Tee hob sich in diesem Testsystem in seiner Wirkung nicht von den untersuchten Mate-Extrakten ab.

In einem zweiten Ansatz wurden wässrige Extrakte aller Tee-Sorten in die Testsysteme eingebracht. Auch hier wurden die Ausgangskonzentration (12 mg/ml) sowie eine 1:5-Verdünnung untersucht (s. Abb. 9-6 und Abb. 9-7).

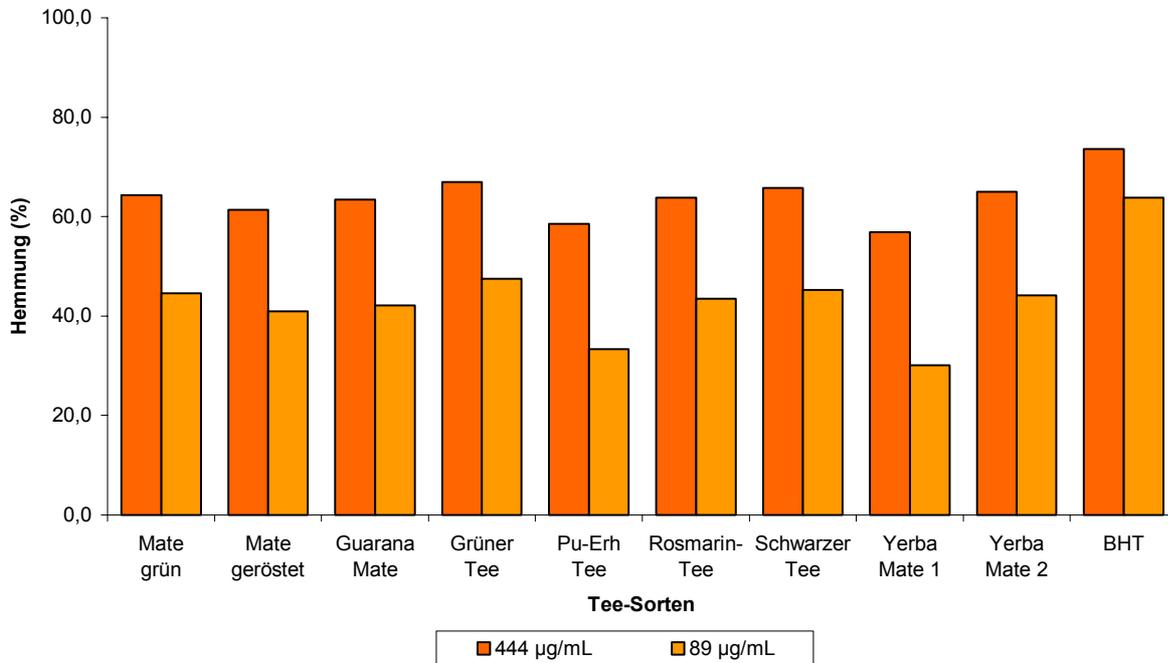


Abb. 9-6: Hemmung (%) wässriger Extrakte von in Deutschland und in Brasilien handelsüblichen Mate-Tees im TBARS-Assay gegen BHT als Vergleich, wobei Rosmarin- und Schwarzer Tee aufgrund ihres antioxidativen Potentials mitanalysiert wurden

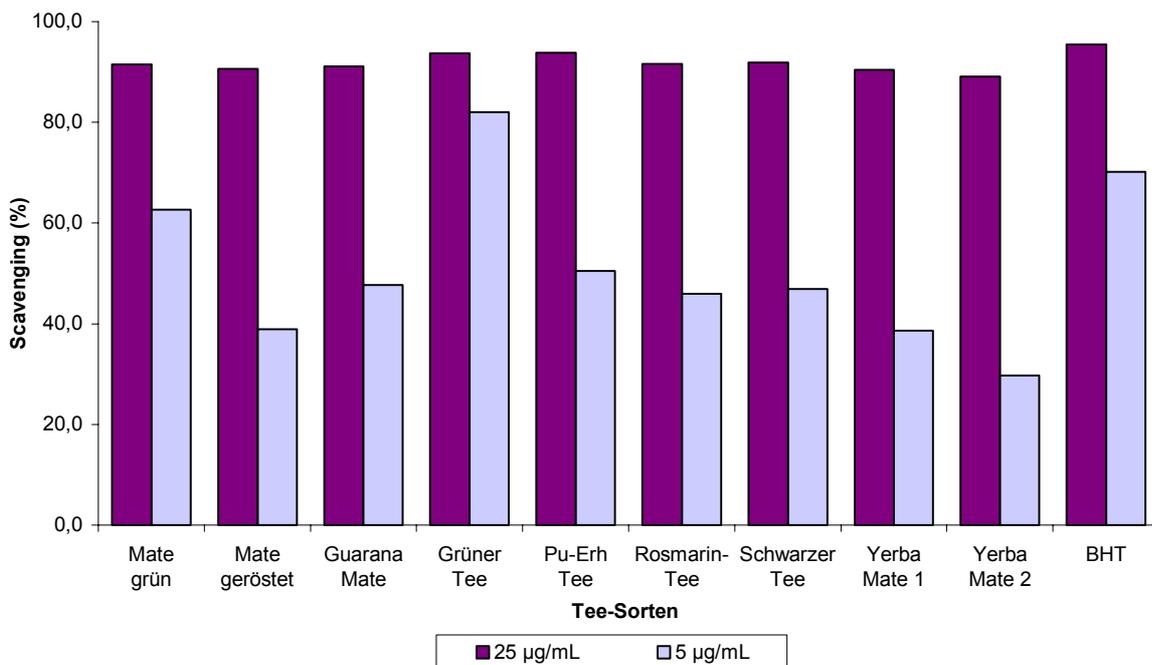


Abb. 9-7: Radikalfängereigenschaften (%) wässriger Extrakte von in Deutschland und in Brasilien handelsüblichen Mate-Tees im DPPH-Assay gegen BHT als Vergleich, wobei Rosmarin- und Schwarzer Tee aufgrund ihres antioxidativen Potentials mitanalysiert wurden

Alle wässrigen Extrakte zeichneten sich im TBARS-Assay durch eine sehr ähnliche, insgesamt gute antioxidative Wirkung aus. In der höheren Konzentration erreichten alle eine prozentuale Hemmung im Bereich von BHT. In der niedrigeren Konzentration relativierte sich das Ergebnis zwischen den Extrakten nur geringfügig. Insgesamt reagierten sie mit einer Hemmung von unter 50 % jedoch deutlich schwächer als BHT.

Auch im DPPH-Assay zeigten alle wässrigen Extrakte in der höheren Konzentration weder untereinander noch im Vergleich zu BHT Unterschiede. Während die durchschnittlichen radikalfangenden Eigenschaften der niedrigeren Extrakt-Konzentration bei 50 % lagen, zeigten grüner Mate und Grüner Tee einen etwas stärkeren Effekt. Insgesamt konnte auch hier festgestellt werden, dass alle untersuchten wässrigen Extrakte ein deutliches antioxidatives Potential aufwiesen.

Mit diesen Ergebnissen zeichnete sich ein deutlich anderes Bild der antioxidativen Eigenschaften der untersuchten Extrakte ab als in der ersten Versuchsreihe. Im ersten Ansatz wurden die zu untersuchenden Proben nach der Methode zur Extraktion der Naturstoffe (und damit der phenolischen Verbindungen) des Mate hergestellt. Für diese phenolischen Verbindungen konnte aufgrund ihrer Struktur eine antioxidative Wirkung erwartet werden. Dementsprechend eignete sich diese Vorgehensweise, um in einem ersten Schritt das antioxidative Potential zu untersuchen. Aussagen zu einer Wirkung, die durch den Konsum von Mate-Tee zu erwarten wären, konnten aus diesen ersten Ergebnissen jedoch nicht abgeleitet werden. Deshalb wurden in dem zweiten Ansatz bewusst Bedingungen gewählt, die den Bedingungen der alltäglichen Teezubereitungen für den Konsum möglichst nahe kommen sollten. Die untersuchten Extrakt-Konzentrationen sollten denen entsprechen, die durch Zubereitung eines Teebeutels in einer Tasse Wasser entstehen. Durch dieses Vorgehen konnte gezeigt werden, dass durch den Genuss von Mate-Tee ähnliche antioxidative Wirkungen zu erwarten sind wie durch den Konsum von Grünem Tee oder Rosmarin-Tee.

Diese Resultate führten zu der Frage, ob das antioxidative Potential des Mate auf bestimmte Inhaltsstoffe zurückgeführt werden könne. Deshalb wurde eine dritte Versuchsreihe geplant. In dieser wurde die Wirkung der phenolischen Naturstoffisolate in den beiden Testsystemen untersucht. Als Referenzsubstanzen wurden Chlorogensäure und Rutin eingesetzt. Auch hier wurden zwei Konzentrationen (1 mg/ml und eine 1:5-Verdünnung) jeder Probe analysiert (s. Abb. 9-8 und Abb. 9-9).

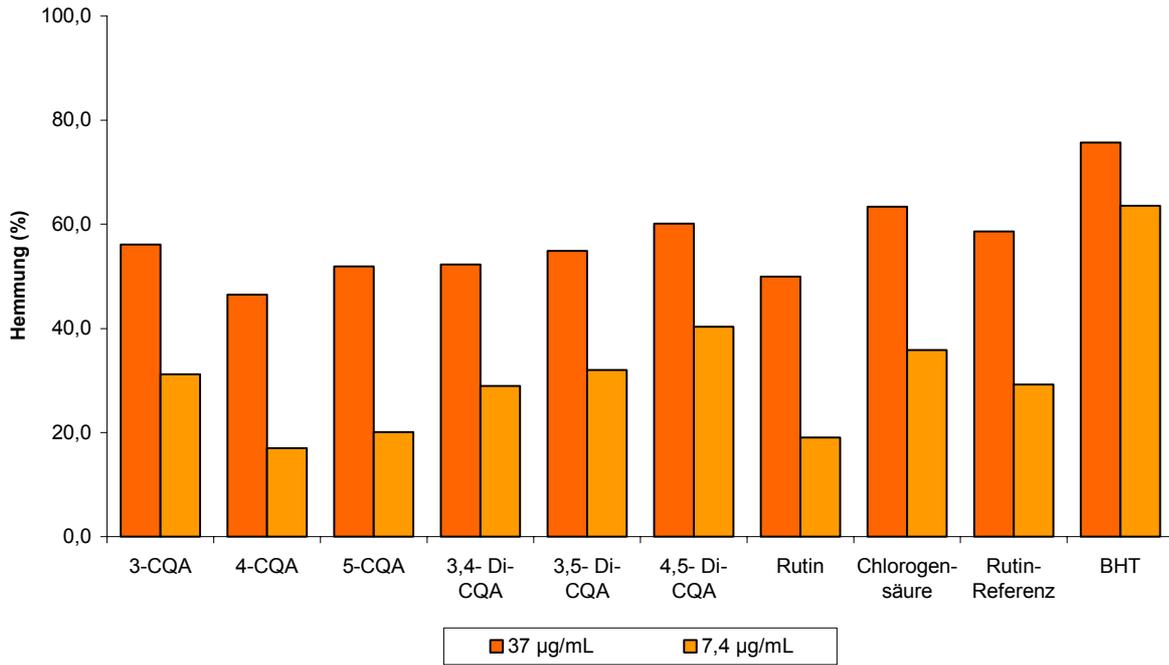


Abb. 9-8: Hemmung (%) phenolischer Naturstoffisolate von *Ilex paraguariensis* im TBARS-Assay im Vergleich zu den Referenzsubstanzen Chlorogensäure, Rutin und BHT

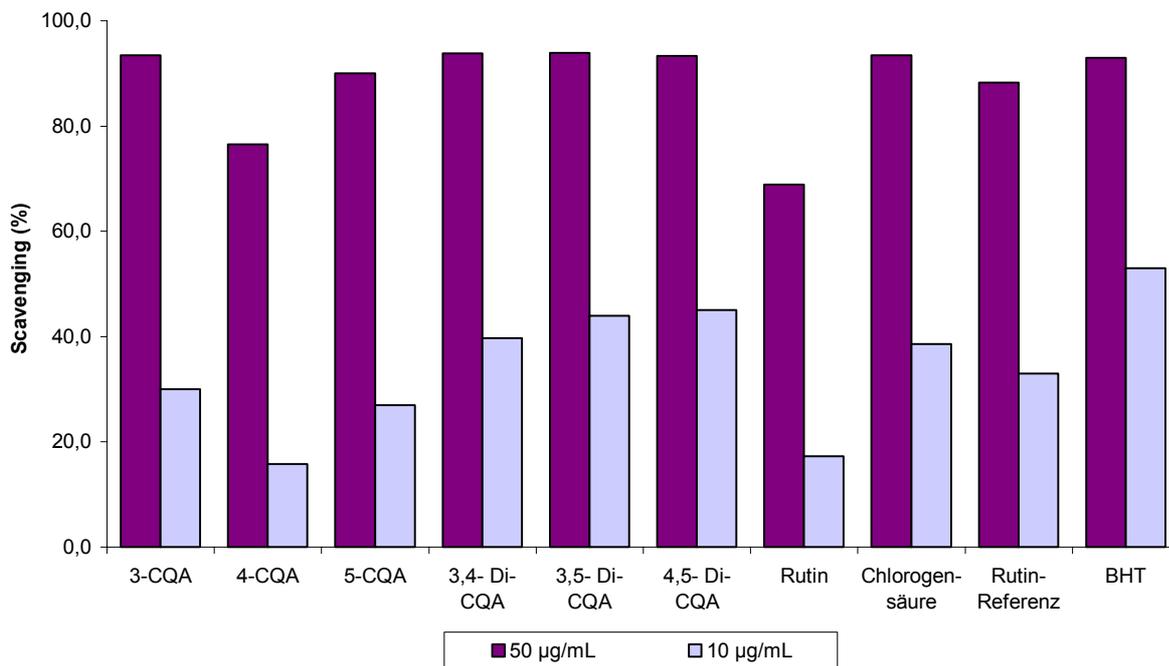


Abb. 9-9: Radikalfängereigenschaften (%) phenolischer Naturstoffisolate von *Ilex paraguariensis* im DPPH-Assay im Vergleich zu den Referenzsubstanzen Chlorogensäure, Rutin und BHT

In beiden Testsystemen zeigten die untersuchten Isolate der sechs Caffeoylchinasäuren sehr ähnliche, konzentrationsabhängige antioxidative Eigenschaften. Im Durchschnitt war der Effekt der Dicaffeoylchinasäuren etwas höher als der der Monocaffeoylchinasäuren. Dicaffeoylchinasäuren verfügen über eine zusätzliche *o*-Diphenolstruktur, die nach Teuscher (1997) an der antioxidativen Wirkung beteiligt

ist. Da in den Test immer die gleiche absolute Menge an Naturstoffisolat eingebracht wurde, sollten zur weiteren Klärung der unterschiedlichen Effekte molekulargewichtsspezifische Untersuchungen mit den Caffeoylchinasäuren durchgeführt werden. Außerdem ist zu beachten, dass in die Testsysteme Naturstoffisolate eingebracht wurden und keine Reinstoffe. Dass dieser Unterschied sich auf die antioxidativen Eigenschaften auswirkt, zeigt ein Vergleich der Ergebnisse der Chlorogensäure mit den Monocaffeoylchinasäuren bzw. der Rutin-Referenzsubstanz mit isoliertem Rutin. Für die Isolate wurden immer geringere Wirkungen bestimmt, als für die Referenzen.

Zum derzeitigen Stand der Untersuchung der phenolischen Verbindungen kann festgehalten werden, dass bisher alle Parameter ähnliche antioxidative Eigenschaften aufwiesen.

Damit soll die Wirkung der Extrakte in Verbindung mit ihrer quantitativen Zusammensetzung (s. Abb. 9-10) betrachtet werden.

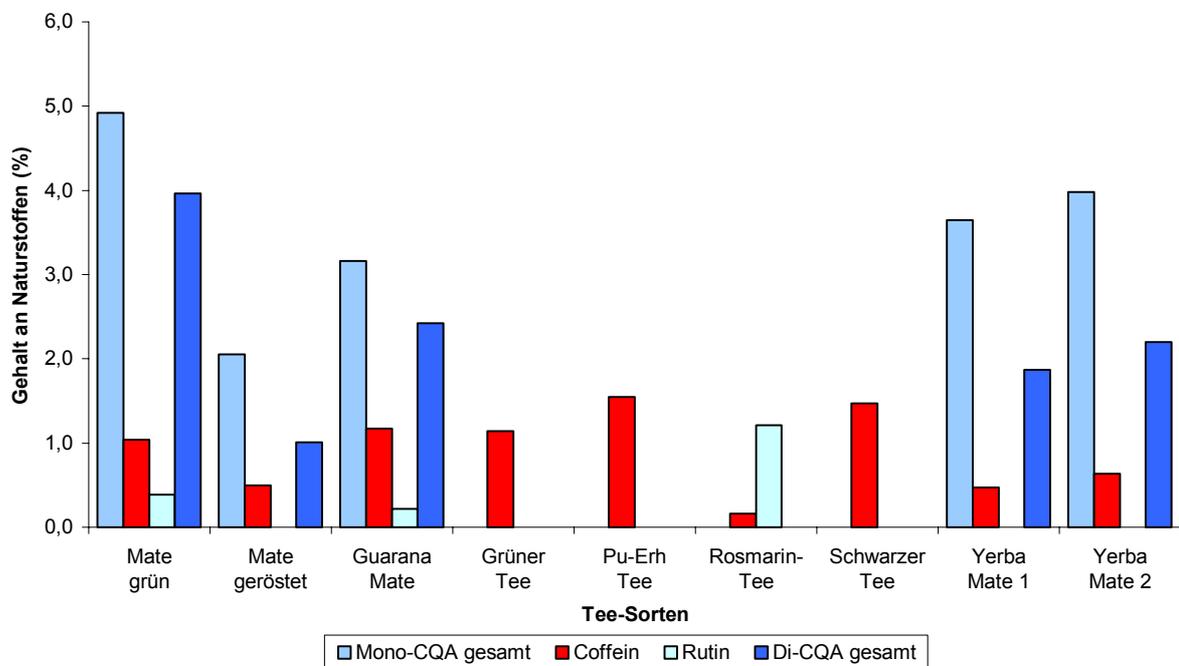


Abb. 9-10: Gehalte (%) an Monocaffeoylchinasäuren, Coffein, Rutin und Dicafeoylchinasäuren von neun verschiedenen Tee-Sorten

Bis auf den Extrakt des gerösteten Mate waren alle anderen wässrigen Mate-Extrakte mit 3 bis 5 % Monocaffeoylchinasäuren und 2 bis 4 % Dicafeoylchinasäuren sehr ähnlich zusammengesetzt. Dies erklärt die ähnlichen Ergebnisse ihrer antioxidativen Wirkungen in den beiden Testsystemen. Für gerösteten Mate wurde nur die Hälfte der genannten Gehalte bestimmt. Allerdings wurde hier ein hoher Gehalt an Kaffeesäure (nicht dargestellt) beobachtet. Da Kaffeesäure der strukturelle Bestandteil der Caffeoylchinasäuren ist, welcher die phenolischen Hydroxylgruppen trägt, ist auch für diese Verbindung eine antioxidative Wirkung zu erwarten. Damit ist erklärbar, warum gerösteter Mate trotz

der niedrigeren Gehalte an Caffeoylchinasäuren eine ähnliche antioxidative Wirkung wie die anderen Mate-Extrakte zeigte.

In Extrakten, die nicht aus Mate-haltigen Teesorten hergestellt wurden, wurden erwartungsgemäß keine Caffeoylchinasäuren detektiert. Bis auf den Extrakt des Rosmarin-Tees konnte auch kein Rutin erfasst werden. Damit könnte ein Teil des antioxidativen Potentials des Rosmarin-Tees auf den Gehalt an Rutin zurückzuführen sein.

Insgesamt lieferten die Untersuchungen des antioxidativen Potentials von Mate folgende Ergebnisse:

- Auf unterschiedliche Weise hergestellte Mate-Extrakte zeigten eine konzentrationsabhängige, gute antioxidative Wirkung.
- Mono- und Dicafeoylchinasäuren trugen in den bisher durchgeführten Messungen in vergleichbarem Maß zu einer antioxidativen Wirkung bei.
- Die antioxidative Wirkung eines für den Konsum zubereiteten Mate-Tees lag in demselben Bereich wie die eines entsprechend zubereiteten Grünen Tees oder Rosmarin-Tees.

Die hier ermittelten Ergebnisse stimmen gut mit den in der Literatur (s. Kap. 2.6.3) beschriebenen Beobachtungen überein. So beschrieben Gugliucci und Stahl (1995), Carini *et al.* (1998), Schinella *et al.* (2000) und auch Bracesco *et al.* (2003), dass die Wirkung der von ihnen untersuchten Extrakte gut mit der jeweiligen Referenzsubstanz (BHT, Ascorbinsäure, α -Tocopherol) vergleichbar sei. Ein Vergleich der Werte im Einzelnen ist jedoch nicht möglich, da die Bedingungen (Probenvorbereitung, Extraktkonzentrationen, Testsystem) nicht übereinstimmen.

Carini und Coautoren (1998) identifizierten in ihren Untersuchungen unter anderem Mono- und Dicafeoylchinasäuren als antioxidativ wirksame Prinzipien in wässrigen Mate-Extrakten. Auch diese Beobachtung stimmt mit den hier gemachten überein.

Filip *et al.* (2000) beobachteten eine positive, signifikante Korrelation zwischen der antioxidativen Wirkung und dem jeweiligen Gehalt an Caffeoylchinasäuren (photometrisch bestimmt als Chlorogensäure). Die Ergebnisse der antioxidativen Wirkung der hier untersuchten wässriger Extrakte (s. Abb. 9-6) von „grünem Mate“, „Yerba Mate1“ und „Yerba Mate2“ in Verbindung mit der HPLC-Quantifizierung der Inhaltsstoffe (s. Abb. 9-10) unterstützen diese Beobachtung.

Über diesen Stand hinaus lieferte die vorliegende Literatur keinen Hinweis auf Untersuchungen zu antioxidativen Wirkungen der einzelnen Substanzen von Mate. Wie bereits angesprochen, konnte hier kein Unterschied in der Wirkung von Mono- und Dicafeoylchinasäuren beobachtet werden. Es besteht jedoch die Vermutung, dass Dicafeoylchinasäuren aufgrund der zweiten *o*-Diphenolstruktur ein höheres antioxidatives Potential aufweisen könnten. Zur Überprüfung dieser Hypothese könnten größere Mengen an Dicafeoylchinasäuren gewonnen, aufgereinigt sowie molekulargewichtsspezifische Analysen im Vergleich zu Monocaffeoylchinasäuren durchgeführt werden. Eine erst vor kurzem veröffentlichte Arbeit zur Bioverfügbarkeit von Caffeoylchinasäuren weist jedoch darauf hin, dass nach Applikation eines Artischocken-Extrakts, der auch Caffeoylchinasäuren enthielt, nur

Hydroxycimtsäurenmetabolite (u.a. Kaffeesäure, Dihydrokaffeesäure) systemisch verfügbar waren (Wittmer, 2003). Dementsprechend könnten weitere Bestimmungen des antioxidativen Potentials von Mate auf die Betrachtung der Gesamtcaffeoylchinasäuren bzw. deren Metabolite reduziert werden. In jedem Fall sind über diesen ersten Ansatz hinausreichende genaue Charakterisierungen von Extrakten, deren antioxidatives Potential analysiert wird, zu fordern.

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Pharmazeutische Biologie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn unter der Leitung von Herrn Priv.-Doz. Dr. W. KNÖSS angefertigt. Für die Überlassung des Themas sowie seine vielfältige Hilfe und Unterstützung danke ich ihm sehr !

Frau Prof. Dr. G. M. KÖNIG danke ich ebenfalls sehr herzlich für die Übernahme des Korreferates und ihre wohlwollende Unterstützung dieser Arbeit. Durch sie wurde unsere Arbeitsgruppe herzlich und gleichwertig in ihre Arbeitsgruppe integriert.

Bei der Leitung und den Mitarbeitern des Kooperationspartner, der Firma BALDO SA, Sao Mateus do Sul, Parana, Brasilien, und den vielen weiteren Plantagenbesitzern der Region möchte ich mich für ihre wertvolle Hilfe und Zusammenarbeit bei dem Sammeln, Vorbereiten und Zuschicken des Untersuchungsmaterials bedanken. Der Firma Baldo ist außerdem für die finanzielle Förderung des Projekts zu danken.

Der BAD HEILBRUNNER REFORM-DIÄT-ARZNEI GmbH & Co., namentlich Herrn Dr. DITTRICH danke ich für die gute Zusammenarbeit bei den Projekten der Bestimmung der antioxidativen Eigenschaften und der Mineralstoffbestimmung des Mate sowie für die finanzielle Unterstützung.

Bei Herrn Dr. R. FIMMERS (Institut für Medizinische Biometrie, Informatik und Epidemiologie, Universität Bonn) bedanke ich mich sehr für die Zusammenarbeit bei der statistischen Auswertung.

Der LEITUNG des Instituts für Tierernährung der Universität Bonn danke ich für die Erlaubnis zur Durchführung der Mineralstoffbestimmungen in deren Hause. Insbesondere bedanke ich mich bei SASKIA PLOS für die gute Einarbeitung und die nette Aufnahme in der Arbeitsgruppe.

KATJA FISCH danke ich gerne für die freundschaftliche Zusammenarbeit bei der Durchführung der Testsysteme zum Nachweis der antioxidativen Wirksamkeit. Wir haben gemeinsam viel Zeit beim Pipettieren und vor der HPLC- Anlage verbracht.

DIRK SCHMITZ bin ich sehr für die viele Mühe, große Sorgfalt und Pflege, welche er bei der An- und Aufzucht unserer Matepflanzen verwendet hat, zu Dank verpflichtet.

Bei ELKE GASSEN und EDITH NEU bedanke ich mich ebenfalls gerne und herzlich für ihre hilfreiche Art und stete Unterstützung bei vielen Fragen und Belangen, die weit über die Beschaffung von Arbeitsmaterial jeglicher Art hinaus ging.

Den MITARBEITERN des Hauses, insbesondere der AG KÖNIG danke ich für eine schöne, erfahrungsreiche, lehrreiche und oft genug auch unterhaltsame Zeit.