

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/  
Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Tech-  
nischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.

<http://www.ub.tuwien.ac.at>



The approved original version of this diploma or  
master thesis is available at the main library of the  
Vienna University of Technology.

<http://www.ub.tuwien.ac.at/eng>

TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

## DIPLOMARBEIT

### Evaluierung der phenolischen Inhaltsstoffe und der antioxidativen Aktivität von Kaffee und Kaffeeprodukten

Ausgeführt am Institut für

Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften

der Technischen Universität Wien

unter der Anleitung von

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Kroyer

Dr. techn. Gerhard Kroyer

durch

Michael Zakaria

Matr. Nr.: 0225430

Zwerggasse ¾

1020 Wien

## **Danksagung**

---

*Ich möchte mich an dieser Stelle und einfühend besonders bei Herrn Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Kroyer für die interessante und nützliche Aufgabenstellung, die ausgezeichnete Betreuung während meiner Diplomarbeit und seiner umfangreichen Hilfe herzlich bedanken.*

*Ebenfalls meinen Dank aussprechen möchte ich den Mitarbeitern des Instituts für Lebensmittelchemie und -technologie für die erfolgreiche Kooperation und Eingliederung in die Arbeitsgemeinschaft.*

*Meine Danksagung gilt nicht zuletzt auch meiner Familie, den zahlreichen Studienkollegen und Freunden, die mich in der langen Zeit meines Studiums permanent gefördert und gefordert haben.*

*Ferner möchte ich mich bei dem Land, in dem ich studieren durfte und das mich fast durchwegs finanziell unterstützt hat, bedanken.*

## Abstract

---

There is a growing interest in the food industry and in preventive health care in the evaluation of natural antioxidants from plant materials. Coffee is one of the most popular beverages and consumed worldwide every day. Beside caffeine as bioactive ingredient coffee other nutritional-physiological active compounds may contribute to the valuable properties of coffee beverages. Coffee has been identified as a rich source of dietary polyphenols, which gained much interest recently due to its antioxidant capacity and its health benefits with a major focus on degenerative diseases.

In this study, green and roasted coffee beans from different origins (*Coffea Arabica* from Nicaragua, Brazil and Ethiopia and *Coffea Robusta* from Ecuador) which were obtained directly from local producers as well as coffee beverages thereof prepared by commonly used procedures as espresso and filter coffee were analyzed in regard to their content of polyphenol compounds and antioxidant properties. Extracts of green and roasted coffee beans were prepared with 60% aqueous methanol and the filter and espresso beverages were analyzed directly. Total polyphenol contents were determined using the Folin-Ciocalteu assay. Antioxidant activities were determined with the DPPH\* radical scavenging method as well as with the ABTS-radical assay in terms of their Inhibition Concentration  $IC_{50}$ , Efficient Concentration  $EC_{50}$  and Trolox Equivalent Antioxidant Capacity TEAC.

The Cascara, also called "coffee cherry", which is the pulp of the coffee-fruit, from Nicaragua has undergone the same extraction process as the coffee beans after being grounded. An extract thereof as well as a tee beverage prepared with hot water were analyzed. The obtained solutions, including extracts and hot beverages, were used for the determination of the total amount of polyphenols as well as for the antioxidative activity.

In the different coffee beans and coffee beverages the content of total polyphenols was determined in the range of 39,55 to 55,77 mg/g with the highest amounts in Robusta coffee beans from Ecuador followed by the Arabicas in the order Ethiopia, Nicaragua and Brazil which had only slight variations in their polyphenol content. The content of polyphenols in roasted coffee beans was throughout slightly diminished compared with the green coffee beans. In the corresponding coffee beverages higher amounts of polyphenols were observed in espresso (32,61 – 39,71 mg/g) than in filter coffee (26,39 – 29,22 mg/g). All the coffee beans and coffee beverages possessed high antioxidant capacity in the same order and in correlation to the content of polyphenol compounds with TEAC-values of 0,15 – 0,41 mmol TE/g. In conclusion, the highest antioxidant activity was observed in green Robusta coffee beans from Ecuador and the coffee beverages thereof. Generally, green coffee beans showed higher antioxidative activity than roasted coffee beans and espresso better radical scavenging activity than filter coffee.

The cascara extract showed a total amount of polyphenols of 27,61 mg/g compared to the cascara tea with 22,74 mg/g. The determination of the antioxidative activity follows this trend, where the cascara extract shows 0,15 mmol TE/g and the cascara tea 0,10 mmol TE/g.

The results of this study indicate that coffee and coffee beverages as well as cascara and cascara tea have high antioxidant and radical scavenging properties in correlation with the content of polyphenol substances and are a major source of dietary antioxidants. As functional beverage consumption of coffee and cascara tea may offer a potential beneficial impact on human health.

## Kurzfassung

---

Das Interesse an der Evaluation von natürlichen Antioxidantien aus Pflanzenmaterial ist in der Lebensmittelindustrie und im präventiven Gesundheitswesen gestiegen. Kaffee ist eines der beliebtesten Getränke und wird weltweit täglich konsumiert. Neben Koffein als bioaktiven Inhaltsstoff beinhaltet Kaffee weitere ernährungsphysiologisch aktive Komponenten, die zu den für den Menschen positiv wirkenden Substanzen gezählt werden können. Kaffee wird als reichhaltige Quelle für Polyphenole angesehen und ist aufgrund seiner antioxidativen Aktivität und dem damit verbundenen gesundheitsfördernden Einfluss auf degenerative Erkrankungen von großem ernährungsphysiologischem Interesse.

In der vorliegenden Studie wurden grüne und geröstete Kaffeebohnen aus verschiedenen Ursprungsregionen (Arabica-Kaffee aus Nicaragua, Brasilien und Äthiopien sowie Robusta-Kaffee aus Ecuador), welche von einem lokalen Produzenten bezogen wurden, auf ihren Gesamtpolyphenolgehalt und ihre antioxidative Aktivität getestet. Zur Gewinnung der Polyphenole wurden sowohl aus den ungerösteten grünen als auch den gerösteten Bohnen mittels 60% wässriger Methanollösung Extrakte hergestellt. Aus den gerösteten Bohnen wurden zusätzlich maschinell jeweils ein Espresso und ein Filterkaffee produziert. Die Folin-Ciocalteu-Analyse wurde zur Ermittlung des Gesamtpolyphenolgehaltes herangezogen. Die antioxidative Aktivität wurde sowohl mittels der DPPH\*-Radikalfänger-Methode als auch mit der ABTS-Radikal-Analyse bestimmt und die inhibitorische Konzentration  $IC_{50}$ , die effektive Konzentration  $EC_{50}$  und die Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) errechnet.

Das getrocknete Fruchtfleisch der Kaffeekirsche, „Cascara“ genannt, aus Nicaragua wurde nach der Zerkleinerung demselben Extraktionsprozess wie dem der Kaffeebohnen unterzogen. Neben dem so hergestellten Extrakt wurde noch ein Teegetränk mittels Aufgießen mit heißem destilliertem Wasser und nachfolgender Filtration hergestellt. Die erhaltenen Lösungen (Extrakt und Heißgetränk) wurden sowohl für die Bestimmung des Gesamtpolyphenolgehaltes als auch für die der antioxidativen Aktivität herangezogen.

Der Gesamtpolyphenolgehalt der verschiedenen Kaffeebohnen und Getränke variiert zwischen 39,55 und 55,77 mg/g, wobei die Robustabohnen aus Ecuador den höchsten Gehalt aufweisen, absteigend gefolgt von den Arabicabohnen aus Äthiopien, Nicaragua und Brasilien. Der Gesamtpolyphenolgehalt der gerösteten Kaffeebohnen war im Vergleich zu dem der grünen Kaffeebohnen durchwegs geringfügig vermindert, folgte aber demselben länderspezifischen Trend. Der Espresso (32,61 - 39,71 mg/g) zeigte in der Gegenüberstellung zum Filterkaffee (26,39 - 29,22 mg/g) einen höheren Gehalt. Alle Kaffeebohnen und Kaffeegetränke wiesen mit den TEAC-Werten von 0,15-0,41 mmol TE/g einen hohen Anteil an Antioxidantien in derselben Reihenfolge und in Korrelation mit deren Gesamtpolyphenolgehalten auf. Schlussfolgernd kann festgestellt werden, dass die höchste antioxidative Aktivität in grünen Robustabohnen aus Ecuador und deren Kaffeegetränken zu finden ist. Im Allgemeinen zeigen grüne Kaffeebohnen eine höhere antioxidative Aktivität als geröstete Kaffeebohnen und der Espresso eine größere Radikalfängeraktivität als der Filterkaffee.

Der Cascaraextrakt weist mit 27,61 mg/g im Vergleich zum Cascaratee mit 22,74 mg/g einen höheren Wert für den Gesamtpolyphenolgehalt auf. Dessen folgend ist auch der Trend bei der Bestimmung der antioxidativen Aktivität, wobei beim Cascaraextrakt 0,15 mmol TE/g und beim Cascaratee 0,10 mmol TE/g nachgewiesen wurden.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass Kaffee, Kaffeegetränke sowie Cascara und Cascaratee hohe antioxidative und Radikalfänger-Eigenschaften in Korrelation zu ihren Gesamtpolyphenolgehalten aufweisen und somit eine große wertvolle Quelle für ernährungsbezogene Antioxidantien sind. Als funktionelles Getränk kann der Konsum von Kaffee und Cascaratee einen potenziellen positiven gesundheitlichen Effekt auf die menschliche Gesundheit haben.

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1. EINLEITUNG UND ALLGEMEINES .....</b>	<b>7</b>
1.1 Antioxidantien .....	7
1.1.1 Entstehung von Radikalen im menschlichen Körper.....	8
1.1.2 Polyphenole .....	8
1.1.2.1 Flavonoide.....	9
1.1.2.2 Phenolsäuren .....	11
1.2 Kaffee.....	11
1.2.1 Etymologie .....	11
1.2.2 Kaffeepflanze .....	11
1.2.3 Inhaltsstoffe des Kaffees.....	13
1.2.4 Arten und Sorten.....	14
1.2.5 Aufbereitung .....	15
1.2.6 Physiologische Wirkung von Kaffeegetränken .....	18
1.3 Studien über die antioxidative Aktivität und den Gesamtpolyphenolgehalt von Kaffee..	20
<b>2. PROBLEMSTELLUNG.....</b>	<b>27</b>
<b>3. MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>28</b>
3.1 Proben.....	28
3.1.1 Kaffeesorten.....	28
3.1.2 Cascara .....	32
3.2 Geräte .....	32
3.3 Probenaufbereitung .....	32
3.3.1 Kaffeeaufbereitung .....	32
3.3.2 Cascaraaufbereitung .....	33
3.4 Bestimmung des Gesamtpolyphenolgehaltes .....	33
3.5 Bestimmung der antioxidativen Aktivität.....	35
3.5.1 Bestimmung der antioxidativen Aktivität mittels der DPPH-Methode .....	35
3.5.2 Bestimmung der antioxidativen Aktivität mittels der ABTS-Methode.....	36
3.6 Statistische Auswertung .....	37
<b>4. ERGEBNISSE.....</b>	<b>38</b>
4.1 Gesamtpolyphenolgehalt .....	38
4.1.1 Kaffeebohnen.....	39

4.1.1.1	Arabicabohnen aus Nicaragua .....	39
4.1.1.2	Arabicabohnen aus Brasilien .....	41
4.1.1.3	Arabicabohnen aus Äthiopien .....	42
4.1.1.4	Robustabohnen aus Ecuador .....	43
4.1.2	Cascara .....	44
4.1.3	Zusammenfassung der Bestimmung des Gesamtpolyphenolgehaltes .....	45
4.2	Antioxidative Aktivität mittels DPPH .....	50
4.2.1	Kaffee .....	51
4.2.1.1	Arabicabohnen aus Nicaragua .....	51
4.2.1.2	Arabicabohnen aus Brasilien .....	57
4.2.1.3	Arabicabohnen aus Äthiopien .....	61
4.2.1.4	Robustabohnen aus Ecuador .....	65
4.2.2	Cascara .....	69
4.2.3	Zusammenfassung der Bestimmung der antioxidativen Aktivität mittels DPPH-Methode .....	72
4.3	Antioxidative Aktivität mittels ABTS .....	77
4.3.1	Kaffee .....	78
4.3.1.1	Arabicabohnen aus Nicaragua .....	78
4.3.1.2	Arabicabohnen aus Brasilien .....	82
4.3.1.3	Arabicabohnen aus Äthiopien .....	86
4.3.1.4	Robustabohnen aus Ecuador .....	90
4.3.2	Cascara .....	94
4.3.3	Zusammenfassung der Bestimmung der antioxidativen Aktivität mittels ABTS-Methode .....	96
<b>5.</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>101</b>
5.1	Extraktion und Heißgetränkherstellung .....	101
5.2	Gesamtpolyphenolgehalt .....	101
5.3	Bestimmung der antioxidativen Aktivität .....	105
5.3.1	DPPH-Methode .....	105
5.3.2	ABTS-Methode .....	107
<b>6.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>111</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>113</b>

# 1. Einleitung und Allgemeines

---

Antioxidantien, auch Oxidationshemmer genannt, werden in Lebensmitteln, Arzneimitteln und Kunststoffen eingesetzt, um die Oxidation empfindlicher Moleküle zu verhindern, also die Reaktion mit dem Luftsauerstoff oder anderen oxidierenden Chemikalien. Dadurch wird eine längere Haltbarkeit bzw. eine für den menschlichen Körper positive Wirkung erzielt. In den vergangenen Jahrzehnten gewann die Forschung in diesem Bereich immer mehr an Bedeutung und es konnte, wie erwartet, eine Korrelation zwischen nährstoffreichem Essen und Gesundheit beobachtet werden.<sup>[1]</sup> So wird die vor 2.400 Jahren geäußerte Aufforderung Hippocrates: „Eure Medizin soll eure Nahrung sein und eure Nahrung soll eure Medizin sein!“ immer greifbarer. Im Bereich der Lebensmittelherstellung ist die Nachfrage nach natürlichen und biologischen Lebensmittel und Lebensmittelzusatzstoffen gestiegen, da die zugelassenen künstlichen Zusatzstoffe einen eher gesundheitsschädlichen bzw. bedenklichen Ruf beim Konsumenten haben. Diese natürlichen Stoffe erfüllen unter anderem den Zweck aus „herkömmlichen“ Nahrungsmitteln sogenanntes „*functional food*“ zu machen, welche einen besonders positiven Effekt auf den Organismus haben sollen.

Meistens wirken Antioxidantien als Radikalfänger, womit der Zusammenhang zu den Polyphenolen erklärt ist, da diese durch ihre aromatische Struktur und die damit verbundene Resonanzstabilisierung als Elektronenakzeptor dienen können. In Nahrungsmitteln spielen größtenteils nur Antioxidantien mit phenolischen OH-Gruppen, wie Polyphenole, Catechine, Flavonoide und Proanthocyanidine, eine wichtige Rolle. Natürlich vorkommende Radikalfänger sind in unterschiedlichen Lebensmitteln bzw. Genussmitteln, wie Obst, Gemüse, Wein, Tee, Kakao und Kaffee zu finden.<sup>[2]</sup>

Neben der Kaffeebohne per se besitzt auch die umgebende Schale antioxidative Eigenschaften und wird deshalb in vielen Teilen der Erde als Teegetränk „Cascara“ konsumiert. Beide besitzen daher eine potentielle gesundheitsfördernde Wirkung.

Die Erforschung von Nahrungsmitteln und der enthaltenen Additive auf deren antioxidative Eigenschaften wird zwar schon seit Jahren betrieben, jedoch hat sich bis dato noch keine normierte quantitative Bestimmung durchgesetzt.

## 1.1 Antioxidantien

Antioxidantien, die aufgrund ihrer Wirkung auch als Radikalfänger bezeichnet werden, fangen Oxi- und Peroxiradikale ab. Vor allem in der Lebensmittelindustrie und im Pharmabereich werden diese natürlich, naturident oder synthetisch hergestellt.

Neben der Autooxidation von Fetten und leicht oxidierbaren Lebensmittelinhaltsstoffen hemmen sie beim Menschen auch die negativen Effekte von reaktiven Stoffwechselzwischenprodukten. Die zwei bedeutendsten Gruppen der natürlichen Antioxidantien sind die fettlöslichen Tocopherole (Vitamin E) und die wasserlöslichen L-Ascorbinsäuren (Vitamin C). Sie kommen natürlich in vielen Lebensmitteln vor (z. B. Tocopherole, Tocotrienole, Flavonoide) oder werden als Lebensmittelzusatzstoffe mit einer „E-Nummer“ versehen (zum Beispiel: Butylhydroxyanisol, Butylhydroxytoluol, Ascorbylpalmitat, Gallate).<sup>[3]</sup>

### 1.1.1 Entstehung von Radikalen im menschlichen Körper

Chemisch gesehen sind Radikale Stoffe, die in ihrer Valenzschale ungepaarte Elektronen aufweisen und damit äußerst reaktionsfähig sind. Neben den in der unteren Abbildung 1 stehenden Gründen, können Radikale auch über UV-Strahlung entstehen. Grundsätzlich werden die Einflussfaktoren in externe und interne unterteilt. Doch diese Abgrenzung ist sehr fließend.

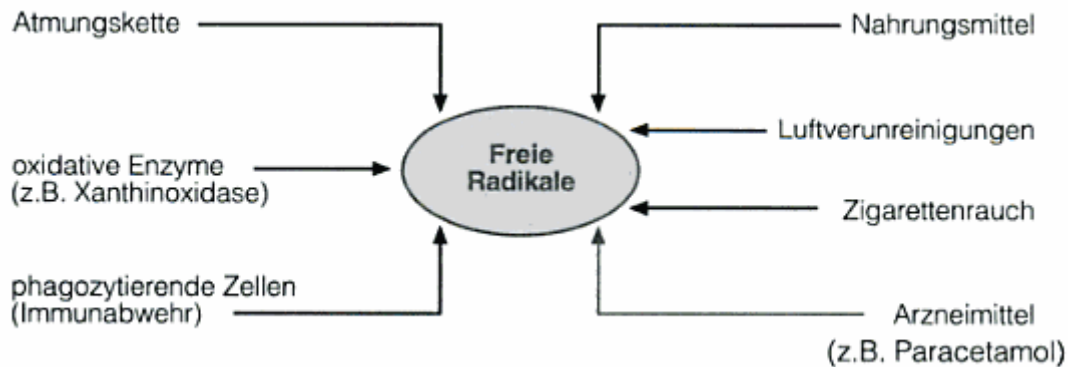


Abbildung 1: Überblick über die Entstehung von freien Radikalen <sup>[4]</sup>

Oftmals kommt es im Körper durch die Aufnahme von Radikalen zu einer Weiterreaktion und damit zu einer exponentiell ansteigenden Menge an Radikalen. Das Resultat ist eine Kettenreaktion wie zum Beispiel die Peroxidation von mehrfach ungesättigten Fettsäuren, die mit der Autooxidation der Fette beginnt. Die bei der Autooxidation auftretenden Radikalkettenreaktionen werden im Allgemeinen in drei Stufen eingeteilt: Wachstum, Verzweigung und Abbruch.

Die Folgen von freien Radikalen im Organismus sind oxidativer Stress, ein beschleunigter Alterungsprozess der Zellen, Krebs, Parkinson, Arteriosklerose, etc. . Da Antioxidantien in der Lage sind, die entstandenen Radikale abzufangen, gewinnen sie zunehmend an Bedeutung bei der Prävention bestimmter Krankheiten. <sup>[5]</sup>

### 1.1.2 Polyphenole

Polyphenole sind kohlenwasserstoffhaltige aromatische Moleküle aus mindestens zwei Phenol- oder Phenoylether-Gruppen. Polyphenole werden in Pflanzen im Rahmen des sekundären Stoffwechsels zum oxidativen Schutz gebildet bzw. gespeichert und sind für Geruch, Geschmack und Farbe verantwortlich. Diese Sekundärmetaboliten bleiben fast zur Gänze bei einer optimalen Verarbeitung zu Nahrungsmitteln in den Pflanzen erhalten und haben eine hohe physiologische Wirkung. <sup>[6]</sup>

Zu den bedeutendsten Hauptgruppen zählen die Flavonoide und Phenolsäuren, wie in Abbildung 2 zu sehen ist.



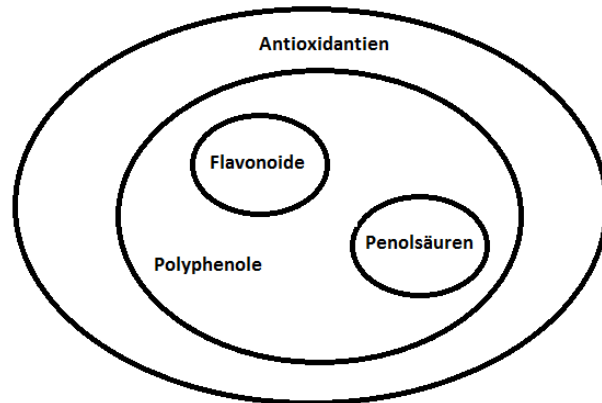


Abbildung 2: Einteilung der natürlichen Antioxidantien in Pflanzen <sup>[7]</sup>

### 1.1.2.1 Flavonoide

In Abbildung 3 ist eine allgemeine Einteilung der bedeutsamsten Flavonoide dargestellt. Die Flavonoide werden in verschiedenen Untergruppen eingeordnet. Zu den wichtigsten zählen die Flavone, Flavonole, Flavanone, Isoflavone, Anthocyanidine und Catechine. <sup>[8]</sup>

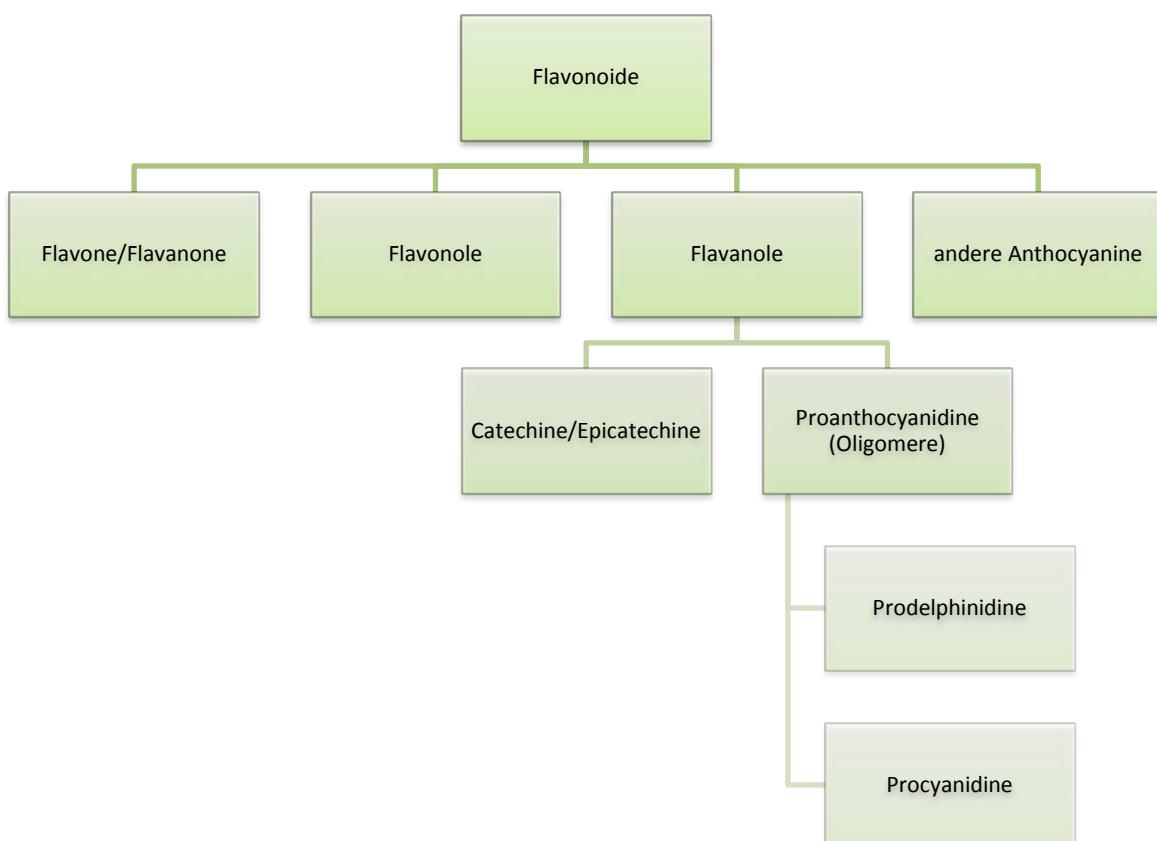
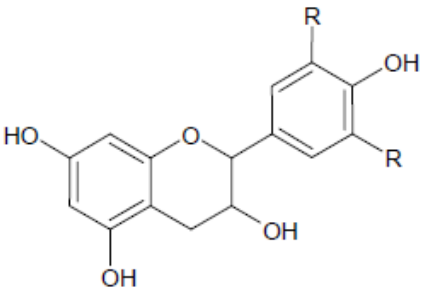
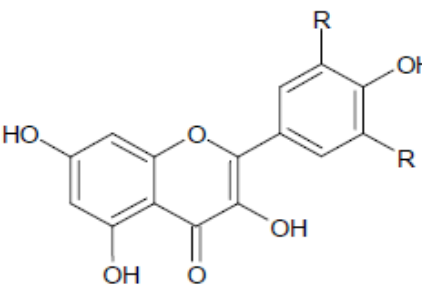
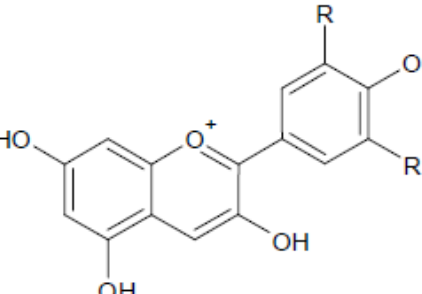
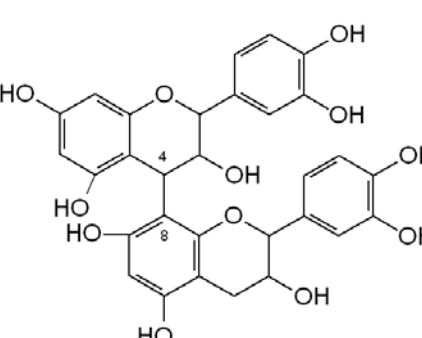


Abbildung 3: Einteilung der wichtigsten Flavonoide <sup>[9]</sup>

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Untergruppen der Flavonoide mit deren Grundstrukturen, den Namen der häufigsten Verbindungen und den Lebensmitteln, in denen sie vorkommen, aufgelistet. <sup>[10]</sup>

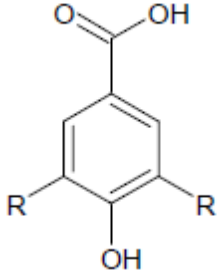
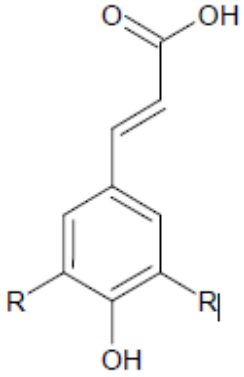
Tabelle 1: Die wichtigsten Untergruppen der Flavonoide mit ihren Verbindungen und Nahrungsquellen

Untergruppe	Grundstruktur	Verbindungen	Vorkommen
Flavanole		Catechin, Epicatechin, Epigallocatechin, Epigallocatechingallat	Kakao, Tee Rotwein, Äpfel, Bohnen, Kirschen, Aprikosen
Flavonole		Quercetin, Myricetin, Rutin, Kaempferol	Tee, Rotwein, Äpfel, Zwiebeln, Broccoli, Tomaten, Lauch
Anthocyanidine		Cyanidin, Malvidin, Delphinidin, Petunidin	Rotwein, Kirschen, Rotklee, verschiedene Beeren
Proanthocyanidine		Proanthocyanidin B1-B6, B8, C1; Arecatannin B1	Rotwein, Äpfel, Erdnüsse, Kokosnüsse

### 1.1.2.2 Phenolsäuren

Die Phenolsäuren werden lediglich in die Untergruppen der Hydroxybenzoesäuren (C1-C6) und der Hydroxyzimtsäuren (C3-C6) eingeteilt (Tabelle 2).<sup>[10]</sup>

Tabelle 2: Die wichtigsten Untergruppen der Phenolsäuren mit ihren Verbindungen und Nahrungsquellen

Untergruppe	Grundstruktur	Verbindungen	Vorkommen
Hydroxybenzoesäuren		Gallussäure	Rotwein, Tee
Hydroxyzimtsäuren		Kaffeesäure, Sinapinsäure, Ferulasäure, Chlorogensäure	Kakao, Kaffee, Rotwein, Tee, Olivenöl, Reis, Hafer

## 1.2 Kaffee

### 1.2.1 Etymologie

Kaffee hat seinen Namen von seiner Ursprungsregion Kaffa, welches im heutigen Äthiopien genauer im Südwesten des abessinischen Hochlandes liegt.<sup>[11]</sup>

In seiner genießbaren Form ist es ein schwarzes, psychotropes, koffeinhaltiges Getränk, das aus gerösteten und gemahlene Kaffeebohnen, den Samen aus den Früchten der Kaffeepflanze, hergestellt wird.

### 1.2.2 Kaffeepflanzen

Die Kaffeepflanzen gehören botanisch zur Gattung der Coffea und sind aus der Familie Rubiaceae. Die hauptsächlich genutzten Arten stammen aus Afrika und werden Coffea arabica (Arabica-Kaffee – „Bergkaffee“) und Coffea canephora (Robusta-Kaffee – „Robustkaffee“) genannt. In geringem Maß werden auch die Arten Coffea liberica und Coffea excelsa verarbeitet. Im Wildwuchs sind es bis zu acht Meter hoch werdende Sträucher, doch auf den Plantagen werden diese auf geringere Höhen zurückgeschnitten.

Bei *Coffea arabica* bilden sich nach neun bis elf Monaten nach der Befruchtung und bei *Coffea canephora* nach sechs bis acht Monaten Steinfrüchte. Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, ändern diese ihre Farbe je nach Reifegrad von Grün über Gelb nach Rot.



Abbildung 4: Catucaí-Kaffeebaum <sup>[12]</sup>

Die Frucht enthält zwei Samen, die Kaffeebohnen, die im Anschluss an die Ernte aufwendig gewonnen wird. Die Kaffeebohnen sind in der Frucht von einem sogenannten Silberhäutchen und darüber von einem sogenannten Pergamenthäutchen umgeben, wie in Abbildung 5 zu sehen ist. Erste rentable Erträge liefert die Pflanze nach drei bis vier Jahren. Ab einem Alter von etwa 20 Jahren geht der Ertrag je Strauch zurück. <sup>[13]</sup>



Abbildung 5: Kaffeekirsche im Querschnitt <sup>[14]</sup>

### 1.2.3 Inhaltsstoffe des Kaffees

Die folgende Tabelle 3 zeigt eine gemittelte Prozentangabe der Inhaltsstoffe eines Arabicakaffees bezogen auf dessen Trockenmasse.

Tabelle 3: Chemische Zusammensetzung eines Arabicakaffees bezogen auf dessen Trockenmasse <sup>[15]</sup>

Substanz	Rohkaffee	Röstkaffee
Saccharose	8,0 %	0 %
Polysaccharide	46,0 %	35,0 %
Lignin	3,0 %	3,0 %
Fette (Triglyceride, Diterpenester, Linolsäure, Palmitinsäure, Fettsäurederivate des 5-Hydroxytryptamins)	16,0 %	17,0 %
Proteine	11,0 %	7,5 %
Chlorogensäuren (Caffeoyl- und Feruloylchinasäuren, Hauptkomponente ist die 5-Caffeoylchinasäure)	6,5 %	2,5 %
Coffein	1,2 %	1,3 %
Trigonellin	1,0 %	1,0 %
Asche	4,2 %	4,5 %
Karamelisations-, Kondensationsprodukte	–	28,5 %

Karamelisations- und Kondensationsprodukte sind beim Rösten entstehende für das Aroma, die braune Farbe und auch den Geschmack essentielle Substanzen. Fast zur Gänze werden diese Stoffe über die Maillard-Reaktion gebildet. Die Maillard-Reaktion ist eine komplexe Reaktion zwischen reduzierenden Zuckern und Aminosäuren (aus den im Kaffee vorhandenen Proteinen). Bei dieser Reaktion entstehen unter anderem Pyrazine, Pyrrolderivate, cyclische Carbonylverbindungen, Kahweofuran, trans-2-Nonenal und 2-Mercaptomethylfuran. Weiters vorhanden sind die zu den Polyphenolen zählende Chlorogensäure und die Koffeinsäure. Wesentlich zum Kaffee Aroma tragen auch etwa 40 flüchtige Verbindungen bei, da diese über die Nase und spezielle Rezeptoren in der Mundhöhle in der Gasphase eine effektivere Wirkung entfalten. Zu diesen zählen 2-Furfurylthiol, 4-Vinylguayacol, Acetaldehyd, Propanol, Alkylpyrazine, Furanone, Methylpropanol und 2-Methylbutanal/3-Methylbutanal. Des Weiteren enthält fertiger Kaffee in geringeren Mengen die Alkaloide Trigonellin, Nikotinsäure, Theobromin und Theophylli. <sup>[15] [16]</sup>

## 1.2.4 Arten und Sorten

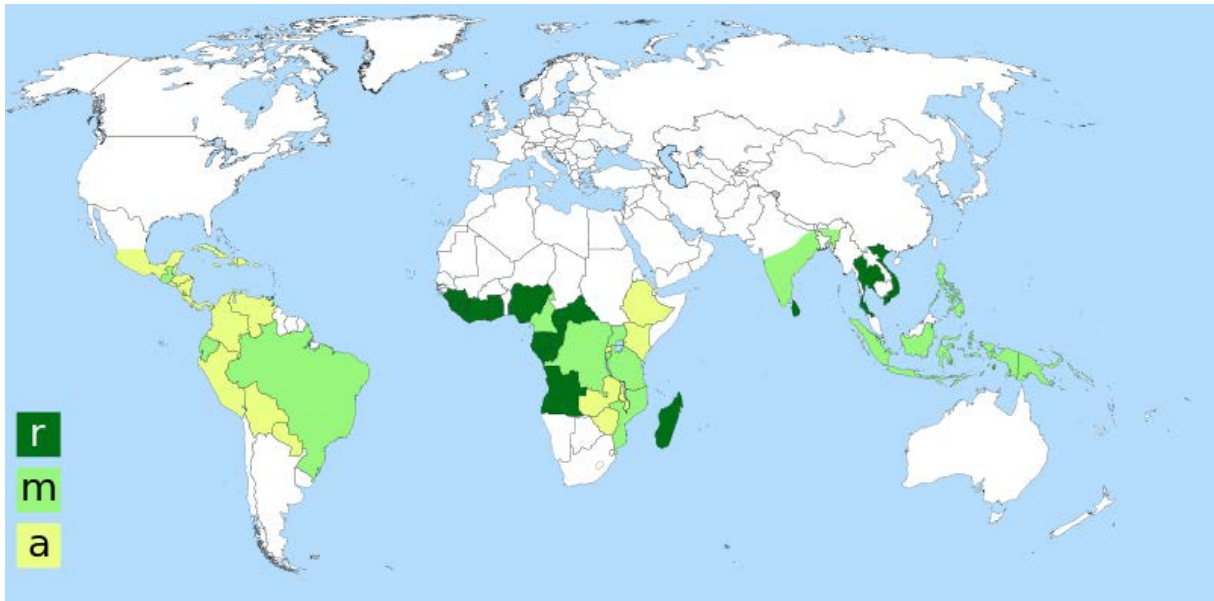


Abbildung 6: Kaffeeanbaugebiete der 14 größten Kaffeeproduzenten der Welt: r – robusta, a – arabica, m – gemischt<sup>[17]</sup>

- Arabicakaffee ist trotz der Tatsache, dass aus Qualitätsgründen meist nur Mischungen den Kunden erreichen, mit 60% Weltmarktanteil die am meist verbreitete Bohne. Sie enthält im Vergleich zur Robusta-Bohne nur die Hälfte des Koffeins, ist aber vor allem wegen ihres Aromas beliebt geworden. Laut neuesten Prognosen ist diese Kaffeebohnenart aber vom Aussterben bedroht, da sie nur auf einen sehr geringen Genpool zurückgreifen kann und sich dadurch nur in geringem Umfang an den Klimawandel anpassen kann. Die Sorte Robusta hingegen, die weniger aromatisch im Vergleich zu Arabica ist, scheint anpassungsfähiger zu sein und wird diesen überleben.<sup>[18] [19] [20]</sup>
- Robusta, die bei Bauern wegen ihrer Widerstandsfähigkeit und ihrer kürzeren Reifungszeit (gegenüber der Arabica) geschätzt wird, hat etwa 36 % Anteil an der Weltproduktion. Optisch unterscheidet sich diese Sorte durch den gerade verlaufenden Einschnitt in der Bohne, während er bei der Arabica einen gewellten Verlauf annimmt.<sup>[18] [19] [20]</sup>
- Excelsa, eher eine Bohnenrarität, wurde 1904 am Tschadsee gefunden und hat von allen Bohnensorten den kräftigsten Wuchs. Diese gedeiht auch auf trockenerem Boden gut und liefert daher auch in regenarmen Jahren einen befriedigenden Ertrag. Dennoch hat sie nur ein Prozent Anteil an der Weltproduktion, was sich aber durch den möglichen Klimawandel bald ändern könnte.<sup>[18] [19] [20]</sup>
- Stenophylla zeichnet sich durch eine besonders kleinblättrige Pflanze aus und wächst vor allem in Westafrika (Guinea und Sierra Leone) in bis zu 700 Meter Seehöhe. In Sierra Leone wird mit dieser Sorte der bekannte „Highland Coffee“ hergestellt. Die Bohnen umschließende Frucht wird bei der Reifung schwarz. Die Bohnen selbst sind relativ groß und rund.<sup>[18] [19] [20]</sup>

- Liberica erreicht bei ungestörtem Wuchs eine Höhe von bis zu 20 Metern. Angebaut wird diese Sorte meist in Liberia, in der Zentralafrikanischen Republik, in den Philippinen, Indonesien und Sierra Leone. Die reife rote ein bis zwei Zentimeter lange Steinfrucht wird von Vögeln, Fledermäusen oder Nagetieren verbreitet. Liberica-Kaffee ist im Vergleich zu den Arten Robusta und Arabica von geringer wirtschaftlicher Bedeutung.<sup>[18] [19] [20]</sup>
- Maragotype scheint eine Mutation aus der Arabica-Bohne oder nach einer anderen Theorie eine Kreuzung aus der Arabica- und der Liberica-Bohne zu sein. Sie sind um ein Drittel größer als die üblichen und werden hauptsächlich in Mexiko und Nicaragua angebaut. Die Sorte wächst am besten in Höhenlagen von 400 bis 1200 Metern. Trotz ihrer günstigeren Größe ist der Ernteertrag im Allgemeinen niedriger als bei anderen Kaffeearten.<sup>[18] [19] [20]</sup>
- Kopi Luwak gilt als seltenste und teuerste Kaffeearte der Welt. Sie wird hauptsächlich in Indonesien hergestellt. Der Preis gründet sich auf der besonderen Veredelungsart, wobei die Schleickatzenart Luwak Kaffeekirschen frisst und die Bohnen ausscheidet. Durch Fermentation im Darm der Tiere, währenddessen bestimmte Bitterstoffe entzogen werden, entsteht der besondere Geschmack.<sup>[21]</sup>

### **1.2.5 Aufbereitung**

Nach der Ernte, die zwischen zehn und zwölf Wochen dauert, wird zur Gewinnung des Rohkaffees bzw. des Fruchtfleisches (auch Pulpe genannt) die Fruchthaut, der auf dem Pergamenthäutchen befindliche Schleim, das Pergamenthäutchen und auch das Silberhäutchen voneinander getrennt. Letzteres gelingt nur in gewissem Maße. Je nachdem wie geerntet wird, erfolgt hier schon eine Qualitätskontrolle. Da an einem Strauch sowohl reife als auch unreife Früchte hängen können, wird hochwertiger Kaffee, insbesondere Arabica-Kaffee, immer nur mit der Hand gepflügt („Picking-Methode“). Wird die Frucht maschinell vom Strauch abgestreift („Stripping-Methode“), erhält man Kaffeebohnen unterschiedlicher Reifegrade, aber dies um ein Vielfaches schneller. Ein Nachsortieren verbessert dabei immens die Qualität. Auf trockenem bzw. nassem Weg wird nun der Rohkaffee bzw. das für das Cascaragetränk erforderliche Fruchtfleisch gewonnen. Robusta-Kaffee sowie brasilianischer und äthiopischer Arabica-Kaffee werden trocken aufbereitet, in den übrigen Gebieten erzeugter Arabica-Kaffee wird nass aufbereitet. Die Nassaufbereitung ergibt dabei Kaffee höherer Qualität.<sup>[22]</sup>

## **Kaffee**

### **Trockenaufbereitung**

Da die Kaffee Früchte („Kaffeekirschen“) in etwa 50 bis 60 % Wasser enthalten, werden diese auf großen Flächen ausgebreitet und ab und zu gewendet, sodass die Sonne schonend für eine Entfeuchtung sorgen kann. Dies dauert im Durchschnitt etwa drei bis fünf Wochen bis sie zu einem Wassergehalt von etwa 12 % getrocknet sind. Anschließend können die trockene Fruchthaut und das trockene Fruchtfleisch mechanisch leichter abgeschält werden. Möglich ist diese Methode nur in sehr sonnenreichen Regionen.<sup>[22]</sup>

### **Nassaufbereitung**

Bei der Nassaufbereitung wird maschinell oder manuell mit Wasser gereinigt und vorsortiert, bis das Gut zum „Entpulper“ gelangt und dieser die Fruchthaut und die Pulpe abquetscht. Dabei bleiben das Pergamenthäutchen und daran anhaftender Schleim an den Kaffeebohnen. In Fermentationsbehälter findet anschließend eine Gärung (Fermentation) statt, wobei der Schleim liquid und damit abwaschbar wird. Nach 12 bis 36 Stunden Fermentation erfolgt eine weitere Waschung und Trocknung (Sonne, Luft, erforderlichenfalls Heißluft) bis auch hier ein Wassergehalt von etwa 12 % erreicht wird. Für die Nassaufbereitung werden je Kilogramm marktfertigen Rohkaffee 130 bis 150 Liter Wasser benötigt und ist damit eines der ökologisch ungünstigsten Varianten eine Kaffeebohne aufzubereiten. Diese Methode ist dennoch sehr beliebt, da dabei ein sehr hochwertiger Kaffee entsteht. <sup>[22]</sup>

### **Halbtrockene Aufbereitung**

Um in Regionen mit Wasserknappheit dieses einzusparen und dennoch eine höhere Qualität als bei der Trockenaufbereitung zu erzielen, wird eine halbtrockene Aufbereitung gewählt: Hier wird ebenfalls gewaschen und das Fruchtfleisch abgequetscht, dann aber nicht fermentiert, sondern sofort getrocknet. Im Anschluss daran werden wie bei der Trockenaufbereitung die mittlerweile trockene Fruchthaut und das trockene Fruchtfleisch von den Kaffeebohnen entfernt. <sup>[22]</sup>

### **Entfernen des Pergamenthäutchens**

Nach der Wahl der bestmöglichen Aufbereitung ist nach Abschluss dieser die Kaffeebohne noch vom Pergamenthäutchen umgeben („Pergamentkaffee“) und wird daher durch Schälen von diesem und soweit es möglich ist auch vom Silberhäutchen getrennt. <sup>[22]</sup>

### **Reinigen, Sortieren**

Abschließend werden noch enthaltene Verunreinigungen und störende Begleitstoffe entfernt und die Bohnen nach Größe und Qualität sortiert, dem sogenannten Verlesen. Bei hochwertigem Kaffee geschieht dies mit der Hand. In der Massenproduktion wird aufgrund des höheren Durchsatzes auf Maschinen gesetzt. Dadurch erhält man den noch ungenießbaren Rohkaffee. <sup>[22]</sup>

### **Rösten**

Um den Rohkaffee in seine genießbare Form überzuführen, müssen die Bohnen geröstet werden. Das Rösten heißt im Fall von Kaffee lediglich das trockene Erhitzen der Kaffeebohnen unter atmosphärischem Druck, wobei die röstkaffeespezifischen Farb-, Geschmacks- und Aromastoffe gebildet werden. Der Röstvorgang beginnt schon bei 60 °C und endet im traditionellen Verfahren bei ca. 200-250°C. Im zeitsparenden Industrieröstverfahren können die Temperaturen weitaus höher sein. In diesem Schritt werden entscheidend der Röstgrad, die Aromabildung und die Bekömmlichkeit durch die Sorte, die Qualität der Rohkaffeebohnen, der Röstzeit und der Rösttemperatur bestimmt. Je länger bei niedriger Temperatur geröstet wird, desto höher ist die Röstkaffeequalität, denn somit können mehr unverträgliche Chlorogensäuren abgebaut und mehr Aromastoffe aufgebaut werden.



Helle Röstungen führen meist zu einem eher säuerlichen, aber weniger bitteren Geschmack, während im Gegensatz dazu dunklere Röstungen leicht süß, aber bitter schmecken.

Die Art der Wärmeübertragung auf die Oberfläche der Kaffeebohnen bestimmt wesentlich den Geschmack des fertigen Kaffees. Dieser kann mittels Konvektion, Strahlung oder Kontakt erfolgen. Allerdings geht man verstärkt von der Kontakt- zur Konvektionsröstung über, bei der der Kaffee mit direkt oder indirekt beheizter Luft umspült und somit die Wärmeübertragung auf das Röstgut verbessert wird. Der positive Effekt dabei ist, dass Verbrennungen von Bohnen, wie sie bei der Kontakterwärmung der Fall sind, so gut wie verhindert werden.

*Folgende Röstverfahren sind gebräuchlich:*

- Chargenröstung entweder im Trommelröster oder im Fließbettröster
- Kontinuierliche Röstung, bei der Transport und Röstung des Kaffees in rotierenden Trommeln mit innenliegendem Transportsystem erfolgen

*Röstungsarten:*

- Helle Röstung = blasse oder Zimt-Röstung
- Mittlere Röstung = amerikanische Röstung, Frühstücksröstung
- Starke Röstung = helle französische Röstung, Wiener Röstung
- Doppelte Röstung = Continental-Röstung, französische Röstung
- Italienische Röstung = Espresso-Röstung
- *torrefacto* (spanisch für geröstet) = Röstung unter Zuckerbeigabe, vor allem in Spanien gebräuchlich. Der so geröstete Kaffee wird dem konventionell gerösteten (*tueste natural*) zu 20–50 % beigemischt, das Ergebnis wird als *mezcla* (spanisch für Mischung) bezeichnet. Eine *mezcla* 70/30 zum Beispiel besteht aus 70 % *tueste natural* und 30 % *café torrefacto*. Diese Röstungsart reduziert Säure und Bitterkeit des Kaffees.<sup>[23] [24] [25] [26] [27] [28]</sup>

## **Cascara**

Aus dem von der Kaffeepflanze abgetrennten Fruchtfleisch bzw. der Kaffeekirsche, die entweder über das Nassaufbereitungs-, halbtrockene Aufbereitungs- oder das Trockenaufbereitungsverfahren gewonnen wurde, wird nach Säuberung und Trocknung der sogenannte Kaffee(kirschen)tee oder Cascara hergestellt. Der Name kommt aus dem Spanischen und bedeutet so viel wie „Schale“. Diese wird durch die Sonne getrocknet und leicht geröstet. Eine vorherige Auslese nach Reifungsgrad erfolgt hier nur bei sehr hochwertigem Cascara, der meist für den Export gedacht ist. Während des Trocknens ändert sich die Farbe der Kaffeekirsche in ein dunkles Rotbraun. In den heimischen Ländern gilt dieser eher als Getränk für ärmere Leute. Doch gewinnt dieser aufgrund seines charakteristischen herbsüßen Geschmacks auch in den Industrieländern immer mehr an Beliebtheit. Man mischt diesem trotz seiner Eigensüße manchmal Zimtstangen bei. Der Kaffeekirschentee enthält zwar Koffein, dennoch nicht in so hohem Ausmaß wie Kaffee oder Tee und kann daher auch zu abendlicher Stunde genossen werden.<sup>[22]</sup>

## 1.2.6 Physiologische Wirkung von Kaffeegetränken

Kaffee in flüssiger Form hat einen sauren pH-Wert von 5 und durch seinen Koffeingehalt eine aufmunternde und leicht antidepressive Wirkung, die durch eine Blockade des schlaffördernden Botenstoffes Adenosin bewirkt wird. Dennoch wirkt es unmittelbar nach der Einnahme beruhigend und veranlasst, durch die bessere Durchblutung des Schlafzentrums im Gehirn, einen angenehmen Ruhezustand. Wird zu lange gewartet entfaltet sich der Effekt des Koffeins und die Stimulation anderer Hirnregionen beginnt. Der konzentrationsfördernde Effekt kann durch die Einnahme kleinerer Dosen über einen längeren Zeitraum besser ausgenutzt werden. Dieser Effekt beruht auf einer Blockade des Adenosins durch das enthaltende Koffein. Folglich werden vermehrt Adrenalin und Dopamin ausgeschüttet. Da Dopamin bewiesenermaßen die Konzentrationsfähigkeit steigert, wird dieser Mechanismus (dopaminrezeptorspezifisch) auch therapeutisch über Methylphenidat bei Aufmerksamkeitsdefizitstörung genutzt. Adrenalin vermindert jedoch die Denkfähigkeit zugunsten der Reflexhandlung, da es vor allem auf einen Angriff vorbereiten soll. So können sehr komplizierte denkintensive Aufgaben, eventuell bei einer hohen Dosis Kaffee schlechter gelöst werden.<sup>[29]</sup>

Dass Antioxidantien die Zellen schützen, zeigt eine Studie deutscher Wissenschaftler: Die Forscher fanden heraus, dass der tägliche Genuss von drei bis vier Tassen Kaffee oxidative DNA-Schäden um 40% senkt und damit den Zellschutz erhöht. Die Wissenschaftler vermuten, dass dieser Effekt die zahlreichen positiven Wirkungen des Kaffees auf die Gesundheit erklärt.<sup>[30] [31] [32]</sup>

Während nach einer Studie, der sogenannten CALM-Studie (Coffee and Lipoprotein Metabolism study), koffeinhaltiger Kaffee keinerlei negativen Einfluss auf Blutdruck, Pulsfrequenz, Body-Mass-Index (BMI), Blutzuckerspiegel, Insulinmenge und verschiedene Blutfettwerte (Gesamtcholesterin, HDL, LDL sowie Apolipoprotein B) zeigte, wurde dies wider Erwartens beim entkoffeinierten Kaffee bewiesen. Die Lipoproteinwerte, der Gehalt an freien Fettsäuren – beides Risikofaktoren für Arteriosklerose – im Blut und der LDL-Cholesterinspiegel („schlechtes Cholesterin“) waren häufig erhöht.<sup>[33] [34]</sup>

Während die großangelegte CALM-Studie keinen Einfluss des Kaffees auf den Blutzucker- und Insulinspiegel zeigte, berichten andere Wissenschaftler der Duke-Universität in Durham (USA) in der Fachzeitschrift Diabetes Care, dass Koffein in Kombination mit einer Mahlzeit bei Diabetes mellitus den Blutzuckerspiegel um beinahe 50 Prozent und den Insulinspiegel um 20 Prozent ansteigen ließ. Man schloss daraus, dass Koffein den gestörten Energiestoffwechsel der Diabetiker noch weiter beeinträchtigt und die Erhöhung der Werte darauf beruhe. Allerdings war die Probandenzahl mit 14 Studienteilnehmern sehr klein und daher wohl kaum repräsentativ. Weiters wurde reines Koffein in Kapselform und nicht etwa Kaffee (als Getränk) verabreicht. Es wird vermutet, dass Koffein in dieser Form, wie er auch in Limonaden enthalten ist, die Proteinfaltung des Insulins stört und somit dieses unwirksam macht, was durch eine erhöhte Aktivität der Langerhansschen Inseln versucht wird zu kompensieren, welches wiederum zu einer Erhöhung des Insulinspiegels führt.<sup>[35] [36] [37] [38]</sup>

Der Annahme, dass Kaffee die Empfindlichkeit des Körpers für Insulin reduziert und den Blutzuckerwert ansteigen lässt, widersprechen auch die Ergebnisse einer weiteren epidemiologischen Studie mit mehr als 120.000 Teilnehmern.

Es zeigte sich, dass Männer, die mehr als sechs Tassen Kaffee pro Tag tranken, ein um 50 Prozent geringeres Risiko für Diabetes mellitus Typ 2 hatten, bei Frauen reduzierte sich das Risiko um nahezu 30 Prozent. Welche Faktoren für diesen Effekt verantwortlich sind, konnten bisher noch nicht endgültig geklärt werden. Es könnten einerseits Inhaltsstoffe des Kaffees selbst wie Koffein, Kalium, Magnesium oder Antioxidantien sein, andererseits könnte es auch sein, dass sich die Lebensgewohnheiten der Viel-Kaffeetrinker von denen der anderen Probanden in bisher nicht bekannter Weise unterscheiden. Da aber sowohl koffeinhaltiger als auch entkoffeinierter Kaffee die beobachtete „Diabetesschutzwirkung“ zeigt, wird diese auf die enthaltenen Antioxidantien, Polyphenole und Mineralstoffe zugeführt, welche möglicherweise einen synergetischen Effekt haben. <sup>[39] [40] [41] [42] [43] [44]</sup>

In weiteren Studien konnte gezeigt werden, dass Nierenzellen durch die Antioxidantien des Kaffees vor kanzerogenen Sauerstoffradikalen geschützt werden und damit Nierenkrebs verhindert wird. Weiterhin könne das Getränk vor Lebererkrankungen, Blasen-, Haut- und Dickdarmkrebs wegen eines vermutlich ähnlichen Effektes schützen. Ebenfalls gezeigt werden konnte, dass Koffein den Effekt einer Chemotherapie deutlich verbessere. <sup>[45] [46] [47]</sup>

Als weiterer positiver Effekt wird die Parkinson hemmende Wirkung des Koffeins diskutiert, da die Produktion des Nervenbotenstoffs Dopamin angeregt wird. Auch der Ausbruch der Alzheimerkrankheit könne durch regelmäßigen Genuss verzögert werden. Bei Mäusen wurde bei Zugabe von Koffein ins Trinkwasser eine Regeneration der Gedächtnisleistung bei Verringerung der Ansammlungen von Beta-Amyloid beobachtet. Die Forscher vermuten, dass die antioxidativen Eigenschaften von Koffein dafür verantwortlich sind. <sup>[48] [49] [48] [50]</sup>

Bei übermäßigem Konsum von Kaffee oder anderen koffeinhaltigen Getränken können Nebenwirkungen, wie Tachykardie, Angstzustände, Schlaflosigkeit, Krämpfe und leichte Abhängigkeit mit entsprechend milden Entzugssymptomen. <sup>[51]</sup>

Auch bei mäßigem Kaffeekonsum kann bei entsprechender körperlicher Disposition Sodbrennen auftreten. Nachgewiesen wurde auch, dass koffeinhaltiger Kaffee die Produktion von Magensäure und die Kontraktion der Gallenblase anregt. <sup>[52]</sup>

Kaffee kann außerdem die Aufnahme der essentiellen Mineralstoffe Calcium und Magnesium reduzieren und deren Ausscheidung erhöhen. Außerdem senkt es den Magnesiumspiegel im Blut. <sup>[53] [54] [55] [56]</sup>

In einer Studie von Trine Ranheim und Bente Halvorsen wurde in einzelnen Fällen eine Erhöhung der Cholesterinspiegel nach dem Genuss von ungefiltertem Kaffee nachgewiesen. Die filterbaren Diterpene Cafestol und Kahweol bewirken diesen Effekt. <sup>[57]</sup>

### 1.3 Studien über die antioxidative Aktivität und den Gesamtpolyphenolgehalt von Kaffee

In den folgenden Studien wird präziser auf die antioxidative Aktivität und den damit verbundenen Gehalt an Polyphenolen eingegangen.

#### Studies on extraction and antioxidant potential of green coffee (M.Madhava Naidu, G.Sulochanamma, S. R. Sampathu & P. Srinivas, 2007)

In dieser Studie wurden mehrere Mixturen auf deren Extraktionspotential hin getestet und anschließend die antioxidative Aktivität des grünen Kaffees über mehrere Methoden analysiert.

*Tabelle 4: Aufstellung der Extraktionsausbeute und Polyphenolgehaltes in grünem Kaffee*

Probe	Lösungsmittelverhältnis (Isopropanol/Wasser)	Extraktionsausbeute [%]	Gesamtpolyphenolgehalt [%]
Robusta Kaffee	80:20	20.12±0.75	22.89±0.06
	70:30	24.32±0.62	26.19±0.63
	60:40	29.10±0.25	31.71±0.25
Arabica Kaffee	80:20	21.12±0.75	23.29±0.06
	70:30	26.10±0.25	28.71±0.23
	60:40	27.32±0.62	32.19±0.63

Wie in Tabelle 4 zu sehen ist, wurde mit der Mischung 60:40 die höchste Ausbeute bezüglich des Gesamtpolyphenolgehaltes erzielt. Die antioxidative Wirkung wurde sowohl über die DPPH-Methode gemessen, wobei das Antioxidans mit 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazil zu alpha-alpha-diphenyl-beta-picrylhydrazine reagiert und die anschließende Färbung spektrometrisch erfasst wird, als auch mit einem HPLC-Profil und einem <sup>1</sup>H- und <sup>13</sup>C- NMR. Bei 200 ppm ergab sich für den Arabica-Kaffee 92% und den Robusta-Kaffee 88% antioxidative Aktivität. <sup>[58]</sup>

#### Antioxidative activity of coffee extracts depending on roasting and extraction conditions (Leloup V., Le Derff F., Le Coq F. & Dossin E, 2008)

In diesem Versuch wurde Kaffee Robusta aus Vietnam in drei Röstgraden bei 100°C und 180°C in einem Dionexextraktor behandelt und so die Polyphenole herausgelöst. Der Gesamtgehalt hier wurde mittels Folin-Ciocalteu-Assay ermittelt und die antioxidative Kapazität über ABTS-Radikalfänger-Assays. Es konnte gezeigt werden, dass während dem Rösten die Konzentration an freien Polyphenolen gesunken ist, aber dafür neue antioxidative Spezies gebildet wurden.

*Tabelle 5: Gesamtpolyphenolgehalt bei unterschiedlichen Extraktionstemperaturen*

Extraktionstemperatur [°C]	Gesamtpolyphenolgehalt [mmol/g GC db]
100	0,0029
180	126-217

Während im grünen Kaffee die freien extrahierten Phenole auf etwa 60% antioxidative Aktivität kommen, liegt der Wert des gerösteten Kaffees bei weniger als 20%.<sup>[59]</sup>

### **Antioxidant activity of green coffee conserves (Naidu M. & Jagadeesh D., 2005)**

Hier wurde aus grünem Kaffee über eine Mischung aus Methanol und Wasser ein Extrakt hergestellt, das anschließend über  $\beta$ -Carotin-Linoleat und 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) auf seine antioxidative Wirkung hin analysiert wurde.

*Tabelle 6: Aufstellung der Extraktionslösung im Bezug auf die antioxidative Wirkung*

<b>Extraktionslösung [Methanol/Wasser]</b>	<b>Antioxidative Wirkung bei 200ppm [%]</b>
60:40	70-73
70:30	65-70

Die Ergebnisse zeigten deutlich, dass die 60:40-Mixtur eine höhere Ausbeute liefert und damit verbunden auch eine höhere antioxidative Wirkung zeigt. Weiters wurde in dieser Arbeit gezeigt, dass die Ferula- und p-Cumarsäuren einen größeren Beitrag zur antioxidativen Aktivität beitragen als Chlorogensäuren.<sup>[60]</sup>

### **Comparison between the antioxidant properties of slurry of the coffee (Coffea Arabica) and coffee beverage (Rocha B., Batista B., Duarte S. & Marcelo H., 2009)**

In dieser Studie wurden unter anderem die Rückstände von Filterkaffee und anderen Kaffeegetränke mit verschiedenen Lösungsmitteln aufgeschlämmt und anschließend die Radikalfängereigenschaften mittels DPPH-Methode (jeweils bei 200mg/L) analysiert. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst.

*Tabelle 7: Aufstellung der Extraktionslösung im Bezug auf die antioxidative Wirkung*

<b>Extraktionsmittel</b>	<b>Antioxidative Wirkung [%]</b>
Dichlormethan	91,8
Acetat	85,6
Methanol	57,4

Mit Dichlormethan wurde die höchste Ausbeute beziehungsweise die stärkste antioxidative Wirkung erreicht.<sup>[61]</sup>

## Assessing the Antioxidant Activity of Melanoidins from Coffee Brews by Different Antioxidant Methods (Delgado-Andrade C., Rufian-Henares A. & Morales J., 2005)

In dieser Arbeit wurde Instantkaffee in 100ml heißem Wasser aufgelöst, in drei unterschiedlichen Graden gebrüht und filtriert. Als Analyseprobe ergab sich dann eine leicht (CTn 110, 14.5%), mittel (CTn 85, 16.2%) und dunkle (CTn 60, 18.9%) Brüfung. Diese wurden dann auf drei Arten (siehe Tabelle 8) auf deren antioxidative Wirkung getestet.

Tabelle 8: Gegenüberstellung des Brühgrades und der ermittelten antioxidativen Wirkung

Brühgrad	TEAC <sub>DPPH</sub> [ $\mu\text{mol}_{\text{äqu}}$ Trolox/g]	TEAC <sub>ABTS</sub> [ $\mu\text{mol}_{\text{äqu}}$ Trolox/g]	TEAC <sub>FRAP</sub> [ $\mu\text{mol}_{\text{äqu}}$ Trolox/g]
Leicht	428 ± 1	1195 ± 12	314 ± 2
Mittel	419 ± 5	1206 ± 7	296 ± 11
Dunkel	325 ± 3	616 ± 11	225 ± 3

Im Allgemeinen und unabhängig von der Messmethode verhält sich die Radikalfängeraktivität indirekt proportional zum Brühgrad.<sup>[62]</sup>

## Influence of Brewing Method and Acidity Regulators on the Antioxidant Capacity of Coffee Brews (Perez-Martinez M., Caemmerer B., De Pena M., Cid C. & Kroh W., 2010)

In dieser Studie wurde ein handelsüblicher Filterkaffee, Espresso, Mokka und Kannenkaffee zubereitet und anschließend über die Folin-Ciocalteu-Methode der Gesamtpolyphenolgehalt bestimmt und die antioxidative Wirkung analysiert. Folgende Tabelle 9 zeigt die Resultate:

Tabelle 9: Gegenüberstellung der Zubereitungsart und der ermittelten antioxidativen Wirkung

Zubereitungsart	Polyphenolgehalt [mgGA/g Kaffee]	ABTS [mmol Trolox/g Kaffee]
Filterkaffee	45	0,334
Espresso	55	0,315
Mokka	40	0,445
Kannenkaffee	37	0,296

Sowohl der Gesamtpolyphenolgehalt als auch die antioxidative Aktivität sind beim Mokka am höchsten.<sup>[63]</sup>

**Evaluation of antioxidant activity of medicinal plant extracts produced for commercial purpose (Sathisha D., Lingaraju B. & Sham K., 2011)**

Mit einer 75%igen Methanollösung wurde ein Extrakt aus Kaffee hergestellt und sprühgetrocknet. Dieses Pulver wurde anschließend über die DPPH-Methode auf seine antioxidative Aktivität analysiert und verglichen (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Vergleich zweier Kaffeesorten anhand der antioxidativen Wirkung

Kaffeesorte	IC <sub>50</sub> [mg/mL]
Kaffee Longa	0.32±0.12
Kaffee Arabica	0.40±0.23

Die Kaffeesorte Arabica, welche auch verbreiteter ist, zeigt deutlich mehr Radikalfängereigenschaften.<sup>[64]</sup>

**Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The Influence of Processing Conditions and Raw Material (Vignoli A., Bassoli G. & Benassi M. T., 2010)**

In dieser Studie wurden Kaffee Arabica und Kaffee Robusta in drei verschiedenen Röstgraden vorbehandelt und anschließend über zwei Arten Extrakte hergestellt. Der erste Extrakt wurde konventionell und einfach über heißes Wasser hergestellt.

Der Zweite über eine Doppelextraktionsanlage, die ebenfalls mit heißem Wasser arbeitet. Beide so gewonnenen Proben wurden abschließend lyophilisiert (gefriergetrocknet) und analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 festgehalten.

Tabelle 11: Gegenüberstellung des Brühgrades und der ermittelten antioxidativen Wirkung

Analyseart	Röstgrad	Kaffee Arabica		Kaffee Robusta	
		Extraktion I	Extraktion II	Extraktion I	Extraktion II
ABTS [g Trolox/100g Kaffee]	Leicht	18.77 ± 1.00	23.27 ± 0.00	27.28 ± 0.25	32.29 ± 3.25
	Mittel	21.03 ± 2.25	23.53 ± 0.75	36.05 ± 1.75	32.79 ± 0.50
	Dunkel	23.78 ± 0.25	24.78 ± 0.00	33.93 ± 1.50	27.79 ± 3.75
FRAP [g Trolox/100g Kaffee]	Leicht	19.27 ± 2.25	25.03 ± 0.00	26.28 ± 1.50	29.78 ± 0.50
	Mittel	25.03 ± 0.50	30.79 ± 0.50	34.04 ± 0.75	34.54 ± 1.00
	Dunkel	27.78 ± 0.25	26.03 ± 0.50	35.04 ± 0.75	29.78 ± 1.75
FOLIN [g GA/100g Kaffee]	Leicht	12.08 ± 0.51	14.97 ± 0.17	14.97 ± 0.00	18.54 ± 0.51
	Mittel	13.09 ± 0.17	15.14 ± 1.02	16.67 ± 0.34	17.35 ± 0.34
	Dunkel	13.44 ± 0.00	13.10 ± 0.34	15.82 ± 0.17	13.44 ± 0.34
DPPH-IC <sub>50</sub> [µg/mL]	Leicht	24.92 ± 0.55	16.11 ± 0.26	16.35 ± 0.34	14.81 ± 0.37
	Mittel	19.87 ± 1.38	18.80 ± 0.47	16.14 ± 0.11	14.70 ± 0.20
	Dunkel	20.51 ± 0.18	20.23 ± 1.02	16.79 ± 1.04	19.47 ± 0.35

Keine Extraktionsmethode zeigt eine klar bessere Ausbeute, dennoch kann man deutlich sehen, dass im Durchschnitt Kaffee Robusta eine höhere antioxidative Wirkung zeigt.<sup>[65]</sup>

**Antioxidant activity and protective effects of green and dark coffee components against human low density lipoprotein oxidation (Gomez-Ruiz A., Ames J. & Leake D., 2008)**

Für die Herstellung der Kaffeeextrakte wurde in dieser Arbeit eine im Handel erhältliche Kaffeemaschine verwendet. Aus der gewonnenen Probe wurde dann über die ABTS- und ORAC-Methode die gesuchte antioxidative Aktivität ermittelt. In Tabelle 12 sind kurzgefasst die Ergebnisse ausgestellt.

Tabelle 12: Auflistung des Brühgrades mit den entsprechenden antioxidativen Wirkungen

Brühgrad	ABTS [ $\mu\text{mol}_{\text{äqu}}$ Trolox/g]		ORAC [ $\mu\text{mol}_{\text{äqu}}$ Trolox/g]	
Grüner Kaffee	6.15 ± 0.62		4.89 ± 0.48	
Leicht gebrühter Kaffee	6.31 ± 0.56		4.63 ± 0.71	
Mittel gebrühter Kaffee	5.97 ± 0.33		4.59 ± 0.24	
Stark gebrühter Kaffee	5.92 ± 0.30		5.89 ± 0.29	

Unbehandelter noch grüner Kaffee besitzt die stärkste Radikalfängereigenschaft. <sup>[66]</sup>

**Antioxidant capacity of coffees of several origins brewed following three different procedures (Parras P., Martinez-Tome M., Jimenez A.M. & Murcia M.A., 2005)**

Die antioxidative Kapazität von Kaffee (Arabica und Robusta) aus zwölf verschiedenen Regionen (Uganda, Papua, Jamaica, Äthiopien, Kenia, Puerto Rico, "Caracolillo" Puerto Rico, Nicaragua, Kolumbien, Vietnam, Brasilien und Guatemala) und zwei entkoffeinierte Kaffees aus Kolumbien und Brasilien wurden in dieser Arbeit durch drei gängige Verfahren (Espresso, Filterkaffee und italienischer Kaffee, welcher besonders stark geröstet und anschließend, wie ein Espresso zubereitet wird) vorbereitet und hinsichtlich ihrer Antioxidantien und anderen phenolischen Verbindungen analysiert.

Tabelle 13 zeigt die TEAC-Werte für sechs Minuten und 24 Stunden nach Herstellung des Kaffees und vergleicht diese mit einer antioxidativen Standardsubstanz.

Tabelle 13: TEAC-Werte des Kaffees im Vergleich zu Standards

Probe		TEAC [ $\mu\text{mol}_{\text{äqu}}$ Trolox/g]	
		6 Minuten	24 Stunden
Guatemala	Filterkaffee	10.32 ± 0.04	12.92 ± 0.02
	Italienischen Kaffee	10.21 ± 0.05	12.46 ± 0.04
	Espresso	8.67 ± 0.01	11.11 ± 0.07
Nicaragua	Filterkaffee	12.29 ± 0.07	13.46 ± 0.07
	Italienischen Kaffee	11.51 ± 0.06	12.42 ± 0.01
	Espresso	8.74 ± 0.02	11.23 ± 0.03
Colombia	Filterkaffee	12.13 ± 0.04	13.40 ± 0.03
	Italienischen Kaffee	10.34 ± 0.01	11.63 ± 0.02
	Espresso	8.60 ± 0.03	10.99 ± 0.06



<b>Colombia (entkoffeiniert)</b>	Filterkaffee	8.06 ± 0.07	12.91 ± 0.07
	Italienischen Kaffee	10.85 ± 0.03	11.95 ± 0.05
	Espresso	8.54 ± 0.06	10.32 ± 0.02
<b>Vietnam</b>	Filterkaffee	11.90 ± 0.03	13.41 ± 0.01
	Italienischen Kaffee	12.82 ± 0.05	12.32 ± 0.05
	Espresso	11.42 ± 0.07	11.23 ± 0.01
<b>Papua</b>	Filterkaffee	10.07 ± 0.07	13.10 ± 0.06
	Italienischen Kaffee	10.42 ± 0.01	11.76 ± 0.01
	Espresso	7.31 ± 0.07	9.46 ± 0.07
<b>Ethiopia</b>	Filterkaffee	9.80 ± 0.07	13.07 ± 0.02
	Italienischen Kaffee	8.77 ± 0.04	11.21 ± 0.04
	Espresso	8.23 ± 0.02	10.76 ± 0.07
<b>Brazil</b>	Filterkaffee	10.63 ± 0.07	13.54 ± 0.07
	Italienischen Kaffee	10.91 ± 0.04	12.02 ± 0.01
	Espresso	9.38 ± 0.02	11.24 ± 0.07
<b>Brazil (entkoffeiniert)</b>	Filterkaffee	7.75 ± 0.07	12.95 ± 0.07
	Italienischen Kaffee	9.68 ± 0.05	11.78 ± 0.05
	Espresso	7.80 ± 0.01	10.59 ± 0.01
<b>”Caracolillo” Puerto Rico</b>	Filterkaffee	10.91 ± 0.06	13.33 ± 0.04
	Italienischen Kaffee	11.00 ± 0.01	12.08 ± 0.05
	Espresso	8.46 ± 0.03	10.84 ± 0.01
<b>Puerto Rico</b>	Filterkaffee	9.54 ± 0.07	13.27 ± 0.07
	Italienischen Kaffee	10.66 ± 0.02	11.67 ± 0.02
	Espresso	9.20 ± 0.04	11.04 ± 0.04
<b>Kenya</b>	Filterkaffee	10.69 ± 0.07	13.11 ± 0.07
	Italienischen Kaffee	10.28 ± 0.02	11.39 ± 0.02
	Espresso	7.36 ± 0.04	9.96 ± 0.04
<b>Jamaica</b>	Filterkaffee	8.82 ± 0.07	12.93 ± 0.05
	Italienischen Kaffee	9.51 ± 0.05	11.51 ± 0.01
	Espresso	6.97 ± 0.02	10.42 ± 0.06
<b>Uganda</b>	Filterkaffee	10.95 ± 0.07	13.38 ± 0.05
	Italienischen Kaffee	11.85 ± 0.05	11.75 ± 0.03
	Espresso	10.51 ± 0.04	10.84 ± 0.05
<b>Standards</b>	Propylgallat	17.20 ± 0.01	17.44 ± 0.01
	α-Tocopherol	1.10 ± 0.04	2.30 ± 0.04
	BHT	0.26 ± 0.02	0.72 ± 0.02
	BHA	0.44 ± 0.04	1.41 ± 0.04
	Chlorogensäure	14.80 ± 0.01	>19
	Kaffeensäure	12.40 ± 0.02	>19
	p-Cumarsäure	2.70 ± 0.01	>19

Die Kaffeegetränke verschiedener Herkunft zeigten hinsichtlich der Lagerung keine signifikanten Unterschiede. Allerdings wies der Filterkaffee meist eine stärkere antioxidative Aktivität auf. Im Allgemeinen zeigten die entkoffeinierten Kaffees (Kolumbien und Brasilien) niedrigere TEAC-Werte als Kaffee mit Koffein. Alle untersuchten Proben haben unabhängig von Kosten, Herkunft und in welcher Weise sie gebraut wurden (Espresso, Filterkaffee oder Italienisch) relativ hohe TEAC-Werte. <sup>[67]</sup>

### **Untersuchungen zur antioxidativen Wirksamkeit von Koffeinhaltstoffen/-extrakten und Kaffeegetränken in vitro und bei Probanden (Bakuradze T., 2010)**

In dieser Arbeit wurde unter anderem die direkte antioxidative Aktivität von handelsüblichem Rohkaffee mittels TEAC- und ORAC-Assay gemessen. Nach der Gewinnung eines Röstgutes wurde lyophilisiert.

Die Ergebnisse zeigten eine radikalabfangende Eigenschaft aller Kaffeeextrakte mit Werten von 0,9-1,5 mM Trolox (TEAC) bzw. 2,5-2,8 mM Trolox (ORAC).<sup>[68]</sup>

### **Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting (Hecimovic I., Belscak-Cvitanovic A., Horzic D. & Komes D., 2011)**

In dieser Arbeit wurde Kaffee aus Minas (Kaffee Arabica), Cioccolato (Kaffee Arabica), Cherry (Kaffee Canephora) und Vietnam (Kaffee Robusta) in drei unterschiedlichen Röstgraden (hell, mittel und dunkel) auf die phenolischen Komponenten untersucht. Die antioxidative Kapazität wurde unter Verwendung der UV/VIS-Spektroskopie ermittelt und verglichen.

Den höchsten Gehalt an Polyphenolen hatte Kaffee Canephora mit 42,37 mg GAE/g. Den niedrigsten hatte der Kaffee aus Cioccolato mit 33,12 mg GAE/g.<sup>[69]</sup>

## 2. Problemstellung

---

Kaffee und deren Produkte erfreuen sich dank ihrer organoleptischen Eigenschaften und der positiven ernährungsphysiologischen Effekte immer größerer Beliebtheit. Daher soll in dieser Arbeit der Gesamtpolyphenolgehalt und die antioxidative Wirkung von Kaffeebohnenextrakten bzw. Kaffeegetränken aus verschiedenen Regionen und dem in Österreich noch eher unbekanntem Kaffeeirschentee bzw. Kaffeeirschenextrakt evaluiert werden. Die Bewertung der Ergebnisse soll durch den Vergleich der Produkte untereinander, sowie durch Literaturwerte aus bisher durchgeführten Arbeiten erfolgen. Zu den untersuchten Kaffeeproben zählen daher ungeröstete und geröstete afrikanische bzw. südamerikanische Arabica- und Robustabohnen, sowie das getrocknete Fruchtfleisch von Kaffeepflanzen aus Nicaragua.

Zur Aufarbeitung der verschiedenen Kaffeeproben sollen diese fein gemahlen und anschließend in einem erhitzten Methanol/Wassergemisch extrahiert werden, um die enthaltenen Polyphenole zu lösen. Es sollen zusätzlich aus jeder gerösteten Bohnensorte nach einer Zerkleinerung maschinell ein Espresso und ein Filterkaffee hergestellt werden.

Nach einer photometrischen Gehaltsbestimmung der Gesamtpolyphenole nach der Folin-Ciocalteu-Methode, sollen die Ergebnisse in Gallussäure-Äquivalente dargestellt werden. Für die antioxidative Aktivität sollen sowohl die  $IC_{50}$ - und  $EC_{50}$ -Werte als auch die daraus ermittelten Troloxäquivalente herangezogen werden. Die antioxidative Aktivität der zuvor hergestellten Produkte soll durch zwei verschiedene Methoden bestimmt werden. Zum einen durch die DPPH-Methode, bei der die Abnahme des Radikals 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl photometrisch bestimmt wird. Zum anderen über die ABTS-Methode, bei der ebenfalls die Abnahme des stabilen Radikalkations Diammonium-2,2'-azino-die-(3-ethylbenzotiazolin)-6-sulfonat (ABTS) mit Hilfe eines Photometers bestimmt wird. Die Effektivität der Antioxidantien soll in  $IC_{50}$ ,  $EC_{50}$  und TEAC (Trolox Equivalent Antioxidative Capacity) Werten ausgedrückt werden.

Von der Cascara, wie das getrocknete Fruchtfleisch der Kaffeebohnen bezeichnet wird, soll nach Zerkleinerung ein Extrakt mittels Methanol/Wassergemisch hergestellt werden. Zusätzlich soll ein Kaffeeirschentee durch Filtration zubereitet werden und beides anschließend wie bei den Kaffeebohnen einer Gesamtpolyphenolgehaltsbestimmung und einer Bestimmung der antioxidativen Aktivität unterzogen werden.

## 3. MATERIAL UND METHODEN

---

### 3.1 Proben

Für die Arbeit standen die unten abgebildeten Proben zur Verfügung. Es wurden sowohl Arabica- als auch Robustabohnen aus Nicaragua, Ecuador, Äthiopien und Brasilien in gerösteter sowie ungerösteter Form auf ihren Gesamtpolyphenolgehalt und ihre antioxidativer Aktivität hin analysiert. Aus den gerösteten Bohnen wurden jeweils ein Espresso und ein Filterkaffee hergestellt. Die Cascara aus Nicaragua wurde sowohl als Extrakt als auch als Teeaufguss untersucht.

#### 3.1.1 Kaffeesorten

##### Arabica

- **Nicaragua**  
Jinotega, Biosfair S.A.



Abbildung 7 und 8: Ungeröstete ungemahlene (Links) und gemahlene (Rechts) Arabicabohnen aus Nicaragua



Abbildung 9 und 10: Ungeröstete ungemahlene (Links) und gemahlene (Rechts) Arabicabohnen aus Nicaragua

- **Brasilien**  
Mococa, Fazenda Ambiental Fortaleza



Abbildung 11 und 12: Ungeröstete ungemahlene (Links) und gemahlene (Rechts) Arabicabohnen aus Brasilien



Abbildung 13 und 14: Geröstete ungemahlene (Links) und gemahlene (Rechts) Arabicabohnen aus Brasilien



- **Äthiopien**  
Kooperative Darra Silicho



Abbildung 15 und 16: Ungeröstete ungemahlene (Links) und gemahlene (Rechts) Arabicabohnen aus Äthiopien



Abbildung 17 und 18: Geröstete ungemahlene (Links) und gemahlene (Rechts) Arabicabohnen aus Äthiopien

## Robusta

- **Ecuador**  
Kooperative Jatac, Ahuano



*Abbildung 19 und 20: Ungeröstete ungemahlene (Links) und gemahlene (Rechts) Robustabohnen aus Ecuador*



*Abbildung 21 und 22: Geröstete ungemahlene (Links) und gemahlene (Rechts) Robustabohnen aus Ecuador*

### **3.1.2 Cascara**

- **Nicaragua**  
Jinotega, Biosfair S.A.



Abbildung 23 und 24: Getrocknete ungemahlene (Links) und gemahlene (Rechts) Cascara aus Nicaragua

## **3.2 Geräte**

- Handmühle: HARIO Ceramic Slim MSS-1
- Zentrifuge: Labofuge 400R Heraeus Instruments
- Wasserbad: GRANT OLS 200
- Espresso-Maschine: Dalla Corte Evolution 2003
- Photometer: HP 8453
- Waage: Sartorius analytic A120S
- Schlagmühle
- Pipetten: Finnpipette Digital 1-5m, Labsystems Pipetta2 200-1000µl

## **3.3 Probenaufbereitung**

### **3.3.1 Kaffeeaufbereitung**

Die gerösteten Kaffeebohnen aus den jeweiligen Herkunftsländern werden über eine handbetriebene HARIO Ceramic Slim MSS-1 Kaffeemühle fein gemahlen. Die ungerösteten Bohnen werden aufgrund ihrer Härte bei 17.000 rpm mit einer Schlagmühle zerkleinert. Anschließend werden die einzelnen Pulver luftdicht, dunkel und kühl gelagert.



Von den so aufbereiteten gerösteten und ungerösteten Kaffeebohnen wird jeweils 1g in 50ml einer Methanol/Wasser-Lösung (60:40) übergeführt und anschließend zur Extraktion in einem oszillierenden 60°C heißen Wasserbad für zwei Stunden gerührt. Nach einem 15-minütigen Zentrifugieren zur Abtrennung des festen Rückstandes wird zur Konzentrationserhaltung auf die vorherigen Mengen im Kolben aufgefüllt.

Zur Herstellung des Filterkaffees für die Messung des Gesamtpolyphenolgehaltes werden 15g der gerösteten handgemahlene (HARIO Ceramic Slim MSS-1) Bohnen in einem Filter vorgelegt und mit 250ml destilliertem 95°C heißem Wasser übergossen. Die Einwirkzeit beträgt drei Minuten. Anschließend wird durch Auffüllen auf die ursprüngliche Lösungsmenge die Konzentration konstant gehalten.

Der Espresso wird mit einer handelsüblichen Espressomaschine „Dalla Corte Evolution 2003“ hergestellt. Hierfür werden 16g der gerösteten handgemahlene (HARIO Ceramic Slim MSS-1) Kaffeebohne mit 75ml 93°C heißem Wasser bei einem Druck von 9bar behandelt.

### **3.3.2 Cascaraaufbereitung**

Die Cascara wird wie die gerösteten Bohnen über eine im Handel erhältliche Mühle (HARIO Ceramic Slim MSS-1) fein gemahlen.

Von der so zerkleinerten Cascara werden 1g/50ml einer Methanol/Wasser-Lösung (60:40) für zwei Stunden in einem oszillierenden 60°C heißen Wasserbad gerührt.

Für das Cascarateegetränk lässt man 10g der getrockneten handgemahlene (HARIO Ceramic Slim MSS-1) Schale in 250ml 90°C heißem destillierten Wasser vier Minuten lang einwirken. Anschließend wird filtriert und zur Konzentrationserhaltung wieder auf das ursprüngliche Volumen aufgefüllt.

Für alle Tests werden nur klare, filtrierte bzw. zentrifugierte Lösungen verwendet. So können unerwünschte Effekte, wie eine für das Spektrometer verfälschende Streuung an einem suspendierten Teilchen in der Flüssigkeit, vermieden werden.

## **3.4 Bestimmung des Gesamtpolyphenolgehaltes**

Die Bestimmung des Gesamtpolyphenolgehaltes wurde mittels der Folin-Ciocalteu-Methode nach Singleton et al. durchgeführt.<sup>[70]</sup>

### **Erstellung der Gallussäure-Kalibrationsgerade**

Für den leichteren Vergleich mit Literaturwerten und der Reproduzierbarkeit wird der Gesamtpolyphenolgehalt in der Einheit %(w/w) GAE (gallic acid equivalent) angegeben. Um dies machen zu können, muss zuerst eine Gallussäure-Kalibrationsgerade erstellt werden, wobei die Gallussäure als Bezugssystem fungiert.

Hierfür wird eine Stammlösung mit der Konzentration 1000g/L (destilliertes Wasser) hergestellt und anschließend folgende Verdünnungen photometrisch bei 750nm gegen destilliertes Wasser analysiert:

50 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L und 200 mg/L

Die Verdünnungen (siehe Tabelle 14) werden wie die zu untersuchenden Proben behandelt. Daher wird eine gesättigte Natriumcarbonatlösung (177g/L) mit destilliertem Wasser angesetzt. In einer graduierten 10ml Messeprouvette wurden jeweils 0,5ml der Gallussäureverdünnungsreihe und 0,5ml des Folin-Ciocalteu-Reagenzes vermischt. Nach 3 Minuten wurde 1ml der gesättigten  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -Lösung zugegeben und auf 10ml mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Diese Lösung wurde ebenfalls vermischt, um Homogenität zu gewährleisten. Nach genau einer Stunde Inkubationszeit, in der die hergestellten Lösungen im Dunkeln standen, wurde die spektrometrische Messung durchgeführt.

### **Evaluierung des Gesamtpolyphenolgehaltes**

Der Gesamtpolyphenolgehalt wird über die bereits erprobte Methode nach Folin-Ciocalteu ermittelt. Dabei oxidiert das Folin-Ciocalteu-Reagenz die phenolischen Hydroxylgruppen unter Bildung eines intensiv blauen Farbstoffes, dessen Intensität anschließend photometrisch ausgewertet wird und so Rückschlüsse über den Gesamtpolyphenolgehalt bietet. Das Prinzip dabei ist, dass die Konzentration des entstandenen blauen Molybdän-Wolfram-Komplexes proportional zur Konzentration der phenolischen Komponente des Analyten ist.

Dafür wird die methanolische bzw. die wässrige Lösung der Probe und 0,5ml des Folin-Ciocalteu-Reagenzes in einer graduierten 10ml Epruvette vermischt. Die genauen Mengen sind den Tabellen 15-32 zu entnehmen. Nach 3 Minuten wird 1ml einer  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -Lösung (17,7g auf 100ml dest. Wasser) zugegeben und auf 10ml mit dest. Wasser aufgefüllt. Diese Lösung wird vermischt, um Homogenität zu gewährleisten.

Nach genau einer Stunde bei dunkler Aufbewahrung wird die Extinktion bei 750nm gegen 10ml dest. Wasser und 0,5ml der verdünnten Probe gemessen, wobei die Auswertung anhand einer Gallussäure-Kalibriergeraden erfolgt. Das Hinzufügen von 0,5ml Probelösung zur Blindlösung dient dem Vermeiden von verfälschenden Effekten durch die Eigenfarbe der Probe bei der spektrometrischen Messung. Die Probenkonzentrationen werden so gewählt, dass die gemessenen Extinktionen im Bereich 0,2-1,2 liegen. Dies wird damit erreicht, dass man einerseits eine Verdünnungsreihe herstellt und andererseits die Menge an Probe in der Messlösung variierte.

#### **Chemikalien:**

Natriumcarbonat (Sigma-Aldrich)

Folin-Ciocalteu-Reagenz (Fluka)

Gallussäure (Roth)

destilliertes Wasser

## **3.5 Bestimmung der antioxidativen Aktivität**

### **3.5.1 Bestimmung der antioxidativen Aktivität mittels der DPPH-Methode**

Die Bestimmung der antioxidativen Aktivität wurde mittels der DPPH-Methode nach Brand-Williams et al. durchgeführt.<sup>[71]</sup>

#### **Erstellung der Trolox-Kalibrationsgeraden für die DPPH-Methode**

Trolox (6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carbonsäure) ist ein wasserlösliches Vitamin E-Derivat, das aufgrund seiner ausgeprägten antioxidativen Aktivität als Referenzsubstanz bei der Bestimmung der antioxidativen Kapazität einer Probe herangezogen wird. Um die erhaltenen Messergebnisse in Trolox-Äquivalente darstellen zu können, werden Lösungen unterschiedlicher Trolox-Konzentrationen (siehe Tabelle 38) mit DPPH versetzt und photometrisch gemessen.

#### **Evaluierung der antioxidativen Aktivität mittels DPPH**

Die Radikalfängeraktivität wird mittels DPPH-Methode ermittelt. Bei dieser Methode wird die Abnahme des zugeführten DPPH-Radikals, verursacht durch die antioxidativen Inhaltsstoffe der Probensubstanz, photometrisch erfasst.

Dies liefert Erkenntnisse über die Radikalfängereigenschaften bzw. die Verwendung der Substanzen in der Funktion als Antioxidationsmittel.

Die deutlich violette Färbung des DPPH-Radikals hängt mit dem ungepaarten Elektron am N-Atom zusammen und nimmt mit der Zugabe eines Antioxidans, an dessen H-Atom es sich bindet, ab. Dadurch ändert sich die Farbe von Violett auf Gelb, da DPPH-H entsteht.

Aus den errechneten Ergebnissen der DPPH-Analyse wird anschließend der charakteristische  $EC_{50}$ - und der Troloxäquivalenzwert bestimmt, um einen direkten Vergleich der verschiedenen Antioxidantien zu erleichtern.

Zu Beginn der Messung muss zuerst die DPPH-Stammlösung hergestellt werden. Hierfür werden 25,6mg (= 65µmol) DPPH in 100ml Methanol gelöst. Es muss stets darauf geachtet werden, dass diese Lösung kühl und dunkel gelagert ist. Für die späteren Messungen wird für die erforderlichen DPPH-Lösungen die Stammlösung immer frisch mit Methanol auf 1:10 verdünnt (=  $6,5 \times 10^{-5}$  molar), da sie nicht über einen längeren Zeitraum stabil bleiben. Für die Bestimmung an sich wird eine Verdünnungsreihe hergestellt und anschließend davon 300µl in einer Küvette vorgelegt. Zu dieser Lösung werden 2,7ml der frischen DPPH-Lösung hinzugegeben und mittels Plümper direkt in der Küvette vermischt und gegen ein Probe-Methanol-Gemisch bei 515nm gemessen. Für die DPPH-Anfangskonzentration wird jedoch DPPH gegen reines Methanol gemessen.

Nach dem Mischen der Lösung wird genau eine Stunde gewartet und gegen die vorbereiteten Blanks gemessen, um die Abnahme der Konzentration zu ermitteln. Aus den gewonnenen Ergebnissen dieser Messreihe lässt sich anschließend der  $EC_{50}$ -, der  $IC_{50}$ -Wert und die TE (Trolox equivalents) berechnen.

Während der  $EC_{50}$ -Wert (mittlere effektive Konzentration), die Konzentration ist, bei der die Hälfte des Radikals abgenommen hat und damit auf die Radikalmasse bezogen und in [g Probe/g DPPH] angegeben wird, wird der  $IC_{50}$ -Wert (mittlere inhibitorische Konzentration) auf die Konzentration des Radikals bezogen und in [mg Probe/L] angegeben. Die antioxidativen Aktivitäten dieser Analyten werden anschließend mit Trolox verglichen.

#### **Chemikalien:**

DPPH (Aldrich)

Methanol (Sigma-Aldrich)

### **3.5.2 Bestimmung der antioxidativen Aktivität mittels der ABTS-Methode**

Die Bestimmung der antioxidativen Aktivität wurde mittels der ABTS-Methode nach Re et al. durchgeführt.<sup>[72]</sup>

#### **Erstellung der Trolox-Kalibrationsgeraden für die ABTS-Methode**

Zur Berechnung der Trolox-Äquivalente und folglich der  $IC_{50}$ -Werte müssen Verdünnungen von Trolox der ABTS-Methode unterzogen und photometrisch gemessen werden. Die Extinktionswerte und die eingesetzten Konzentrationen sind der Tabelle 80 zu entnehmen.

#### **Evaluierung der antioxidativen Aktivität mittels ABTS**

In einer oxidativen Lösung entsteht das stabile Radikalkation des Diammonium-2,2'-azino-di-(3-ethylbenzthiazolin)-6-sulfonates (ABTS), welches die Lösung grün färbt. Durch Zugabe eines Antioxidans wird die Lösung entfärbt, welches quantitativ mittels Photometer bei 734nm bestimmt werden kann.

Zu Beginn muss eine 7 mM ABTS-Lösung hergestellt werden. Diese erhält man durch Lösen von 94,1 mg ABTS in 25ml destilliertem Wasser. Anschließend wird durch Einwiegen von 16,6 mg Kaliumperoxodisulfat und folgliches Lösen in 25 ml destilliertem Wasser eine 2,45 mM Kaliumperoxodisulfat-Lösung hergestellt. Beide Lösungen werden vereint, homogenisiert und zwölf Stunden im Dunklen bei Raumtemperatur inkubiert. Nach der Inkubation wird die nun dunkelgrün gefärbte Lösung mit Ethanol im Verhältnis 1:15 verdünnt, um eine Absorption von 0,7 zu erhalten.

Für die eigentlichen Analysen werden 0,5 ml Probenextrakt mit 4,5 ml ABTS-Lösung vermischt und sechs Minuten im Dunkeln bei 30°C inkubiert. Das Gemisch wird mittels Photometer gegen 0,5 ml Probe in Ethanol gemessen.

### **Chemikalien:**

ABTS (Sigma-Aldrich)

Kaliumperoxodisulfat (Merck)

dest. Wasser

### **3.6 Statistische Auswertung**

Mittels Microsoft Excel 2007 erfolgte die Datenauswertung, welche einen arithmetischen Mittelwert und die Standardabweichung beinhaltet. In die einzelnen Diagramme wurde auch eine Regressionsgerade samt Korrelationswert gelegt, welcher zeigt, wie gut die Regressionsgerade die Daten repräsentiert. Das UV/VIS-Gerät selbst hat jede Probe drei Mal gemessen und simultan über ein internes Statistikprogramm den Mittelwert errechnet und angegeben.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Gesamtpolyphenolgehalt

Im Folgenden werden mittels Folin-Ciocalteu-Methode die Gesamtpolyphenolgehalte der einzelnen Kaffeebohnsorten und der Cascara bzw. deren Heißgetränke bestimmt.

#### Gallussäure-Kalibrationsgerade

Für die Darstellung der Ergebnisse der Gesamtpolyphenolgehalte, die mit Hilfe der Folin-Ciocalteu-Methode bestimmt wurden, muss eine Gallussäurekalibrationsgerade erstellt werden, um die Resultate in Gallussäure-Äquivalenten zu präsentieren. Die für die Kalibrationsgerade gemessenen Extinktionswerte und die dazugehörigen Konzentrationen sind der Tabelle 14 und dem Diagramm 1 zu entnehmen. Diese wurden anschließend für die Berechnung der GAE-Werte in den Tabellen 15-32 genutzt.

Tabelle 14: Extinktionswerte der GS-Gerade zur Bestimmung des Gesamtpolyphenolgehaltes

Konzentration der Verdünnung [g/L]	Konzentration in der Küvette [mg/L]	Extinktionswert
0,05	2,5	0,269
0,10	5,0	0,523
0,15	7,5	0,769
0,20	10,0	1,037

Mit diesen Daten wurde folgende Kalibrierungsgerade erstellt:

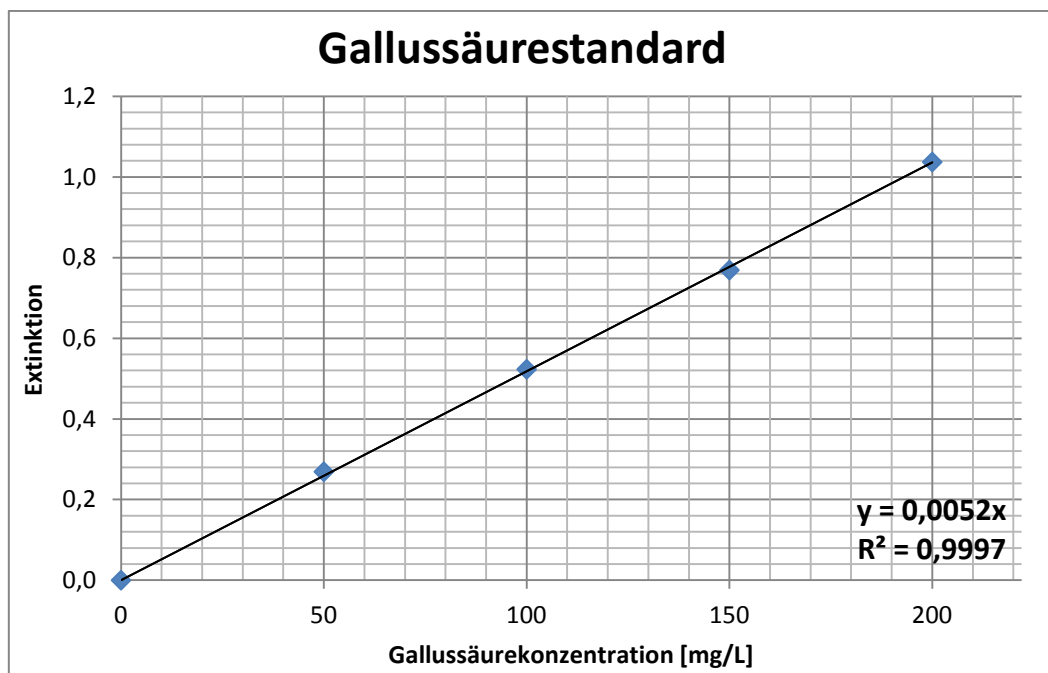


Diagramm 1: Gallussäurekalibrationsgerade nach Folin-Ciocalteu

## **4.1.1 Kaffeebohnen**

### **4.1.1.1 Arabicabohnen aus Nicaragua**

Die Tabellen 15-18 zeigen die gemessenen Extinktionen mit den dazugehörigen Konzentrationen. Mittels Geradengleichung der Gallussäure wurden anschließend die GAE-Werte errechnet.

Exemplarisch wird hier der Rechenweg detailliert geschildert. Die resultierende Geradengleichung dient der Bestimmung der GAE-Werte und lautet, wie im Diagramm 1 zu sehen ist:

$$y = 0,0052x$$

Gl. 1

Anschließend wurden die erhaltenen Extinktionswerte aus der photometrischen Messung in die unten stehenden Gleichungen der Reihe nach eingesetzt und in die Tabellen 15-18 eingefügt.

$$GS \text{ [mg/l]} = \frac{Abs_{750nm}}{0,0052}$$

Gl. 2

Nach dem Erhalt des obigen GS-Wertes muss dieser auf die verwendeten Konzentrationen bezogen werden, daher wird er durch diese dividiert.

$$GS \text{ [mg/g]} = \frac{GS \text{ [mg/l]}}{c \text{ [g/l]}}$$

Gl. 3

Abschließend erfolgt die Umrechnung in Gewichtsprozent, welches das Ergebnis anschaulicher machen soll.

$$GAE \text{ [% w/w]} = GS \text{ [g/g]} \times 100$$

Gl. 4

Tabelle 15: GAE-Werte der Arabicarohbohne aus Nicaragua

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
4,000	0,890	171,152	42,788	4,279
3,333	0,750	144,242	43,273	4,327
2,857	0,644	123,781	43,323	4,332
2,500	0,554	106,531	42,612	4,261
2,222	0,498	95,702	43,066	4,307
2,000	0,452	86,890	43,445	4,345
1,500	0,341	65,492	43,662	4,366
1,000	0,225	43,300	43,300	4,330

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **4,318±0,032 [%w/w]**

Tabelle 16: GAE-Werte der Arabicaröstbohne aus Nicaragua

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
4,000	0,892	171,527	42,882	4,288
3,333	0,716	137,715	41,315	4,131
2,857	0,594	114,219	39,977	3,998
2,500	0,506	97,287	38,915	3,891
2,222	0,462	88,812	39,965	3,997
2,000	0,420	80,698	40,349	4,035
1,500	0,324	62,262	41,508	4,151
1,000	0,230	44,225	44,225	4,423

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **4,114±0,162 [%w/w]**

Tabelle 17: GAE-Werte des Filterkaffees aus Nicaragua

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
7,500	1,100	211,519	28,203	2,820
6,667	0,989	190,212	28,532	2,853
4,000	0,588	113,154	28,288	2,829
3,333	0,489	94,038	28,212	2,821
2,857	0,423	81,374	28,481	2,848
2,500	0,372	71,442	28,577	2,858
2,222	0,331	63,718	28,673	2,867
2,000	0,290	55,808	27,904	2,790

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **2,836±0,024 [%w/w]**

Tabelle 18: GAE-Werte des Espressos aus Nicaragua

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
7,500	1,388	266,904	35,587	3,559
6,667	1,241	238,713	35,807	3,581
4,000	0,739	142,057	35,514	3,551
3,333	0,607	116,724	35,017	3,502
2,857	0,527	101,330	35,465	3,547
2,500	0,467	89,788	35,915	3,592
2,222	0,409	78,667	35,400	3,540
2,000	0,368	70,769	35,385	3,538

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **3,551±0,026 [%w/w]**



#### 4.1.1.2 Arabicabohnen aus Brasilien

Die Tabellen 19-22 zeigen die gemessenen Extinktionen mit den dazugehörigen Konzentrationen. Mittels Geradengleichung der Gallussäure wurden anschließend die GAE-Werte errechnet.

*Tabelle 19: GAE-Werte der Arabicarohbohne aus Brasilien*

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
4,000	0,870	167,294	41,824	4,182
3,333	0,732	140,710	42,213	4,221
2,857	0,640	123,158	43,105	4,311
2,500	0,570	109,633	43,853	4,385
2,222	0,499	95,944	43,175	4,317
2,000	0,449	86,323	43,162	4,316
1,500	0,336	64,708	43,138	4,314
1,000	0,225	43,333	43,333	4,333

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **4,298±0,060 [%w/w]**

*Tabelle 20: GAE-Werte der Arabicaröstbohne aus Brasilien*

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
4,000	0,822	158,044	39,511	3,951
3,333	0,687	132,112	39,633	3,963
2,857	0,590	113,542	39,740	3,974
2,500	0,514	98,856	39,542	3,954
2,222	0,459	88,254	39,714	3,971
2,000	0,409	78,731	39,365	3,937
1,500	0,307	59,096	39,397	3,940
1,000	0,205	39,462	39,462	3,946

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **3,955±0,013 [%w/w]**

*Tabelle 21: GAE-Werte des Filterkaffees aus Brasilien*

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
7,500	1,038	199,656	26,621	2,662
6,667	0,925	177,890	26,684	2,668
4,000	0,543	104,427	26,107	2,611
3,333	0,454	87,365	26,209	2,621
2,857	0,387	74,330	26,015	2,602
2,500	0,340	65,375	26,150	2,615
2,222	0,308	59,265	26,669	2,667
2,000	0,277	53,262	26,631	2,663

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **2,639±0,027 [%w/w]**

*Tabelle 22: GAE-Werte des Espressos aus Brasilien*

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
7,500	1,282	246,508	32,868	3,287
6,667	1,139	219,064	32,860	3,286
4,000	0,669	128,734	32,184	3,218
3,333	0,572	109,928	32,978	3,298
2,857	0,477	91,697	32,094	3,209
2,500	0,419	80,613	32,245	3,225
2,222	0,381	73,283	32,977	3,298
2,000	0,340	65,327	32,663	3,266

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **3,261±0,035 [%w/w]**

#### 4.1.1.3 Arabicaohnen aus Äthiopien

Die Tabellen 23-26 zeigen die gemessenen Extinktionen mit den dazugehörigen Konzentrationen. Mittels Geradengleichung der Gallussäure wurden anschließend die GAE-Werte errechnet.

Tabelle 23: GAE-Werte der Arabicarohbohne aus Äthiopien

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
4,000	0,969	186,292	46,573	4,657
3,333	0,811	155,913	46,774	4,677
2,857	0,696	133,835	46,842	4,684
2,500	0,602	115,862	46,345	4,634
2,222	0,537	103,208	46,443	4,644
2,000	0,481	92,440	46,220	4,622
1,500	0,366	70,358	46,905	4,691
1,000	0,240	46,202	46,202	4,620

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **4,654±0,026 [%w/w]**

Tabelle 24: GAE-Werte der Arabicaröstbohne aus Äthiopien

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
4,000	0,870	167,306	41,826	4,183
3,333	0,719	138,306	41,492	4,149
2,857	0,622	119,521	41,832	4,183
2,500	0,543	104,363	41,745	4,175
2,222	0,490	94,240	42,408	4,241
2,000	0,439	84,363	42,182	4,218
1,500	0,321	61,646	41,097	4,110
1,000	0,216	41,569	41,569	4,157

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **4,177±0,038 [%w/w]**

Tabelle 25: GAE-Werte des Filterkaffees aus Äthiopien

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
7,500	1,130	217,269	28,969	2,897
6,667	1,003	192,904	28,936	2,894
4,000	0,586	112,731	28,183	2,818
3,333	0,499	96,026	28,808	2,881
2,857	0,429	82,582	28,904	2,890
2,500	0,367	70,635	28,254	2,825
2,222	0,330	63,504	28,577	2,858
2,000	0,296	56,992	28,496	2,850

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **2,864±0,029 [%w/w]**

Tabelle 26: GAE-Werte des Espressos aus Äthiopien

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
7,500	1,428	274,596	36,613	3,661
6,667	1,280	246,213	36,932	3,693
4,000	0,750	144,206	36,051	3,605
3,333	0,640	123,125	36,937	3,694
2,857	0,547	105,176	36,812	3,681
2,500	0,472	90,686	36,275	3,627
2,222	0,420	80,754	36,339	3,634
2,000	0,380	73,076	36,538	3,654

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **3,656±0,030 [%w/w]**

#### 4.1.1.4 Robustabohnen aus Ecuador

Die Tabellen 27-30 zeigen die gemessenen Extinktionen mit den dazugehörigen Konzentrationen. Mittels Geradengleichung der Gallussäure wurden anschließend die GAE-Werte errechnet.

Tabelle 27: GAE-Werte der Robustarohbohne aus Ecuador

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
4,000	1,150	221,135	55,284	5,528
3,333	0,956	183,827	55,148	5,515
2,857	0,829	159,425	55,799	5,580
2,500	0,720	138,487	55,395	5,539
2,222	0,637	122,485	55,118	5,512
2,000	0,591	113,637	56,818	5,682
1,500	0,443	85,233	56,822	5,682
1,000	0,290	55,813	55,813	5,581

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **5,577±0,065 [%w/w]**

Tabelle 28: GAE-Werte der Robustaröstbohne aus Ecuador

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
4,000	1,102	211,942	52,986	5,299
3,333	0,913	175,548	52,664	5,266
2,857	0,797	153,185	53,615	5,361
2,500	0,690	132,742	53,097	5,310
2,222	0,610	117,242	52,759	5,276
2,000	0,560	107,742	53,871	5,387
1,500	0,421	80,944	53,963	5,396
1,000	0,280	53,848	53,848	5,385

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **5,335±0,050 [%w/w]**

Tabelle 29: GAE-Werte des Filterkaffees aus Ecuador

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
7,500	1,167	224,404	29,921	2,992
6,667	0,991	190,558	28,584	2,858
4,000	0,599	115,134	28,783	2,878
3,333	0,497	95,571	28,671	2,867
2,857	0,437	84,022	29,408	2,941
2,500	0,337	64,763	25,905	2,591
2,222	0,380	73,060	32,877	3,288
2,000	0,308	59,231	29,615	2,962

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **2,922±0,180 [%w/w]**

Tabelle 30: GAE-Werte des Espressos aus Ecuador

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
7,500	1,500	288,371	38,449	3,845
6,667	1,381	265,618	39,843	3,984
4,000	0,829	159,458	39,864	3,986
3,333	0,692	132,995	39,898	3,990
2,857	0,593	114,045	39,916	3,992
2,500	0,519	99,840	39,936	3,994
2,222	0,460	88,447	39,801	3,980
2,000	0,416	79,999	39,999	4,000

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **3,971±0,048 [%w/w]**

## 4.1.2 Cascara

### Cascara aus Nicaragua

Die Tabellen 31 und 32 zeigen die gemessenen Extinktionen mit den dazugehörigen Konzentrationen, wobei die sowohl beim Extrakt als auch beim Cascaratee als Trockenmasse Cascara pro Liter Lösungsmittel angegeben sind. Mittels Geradengleichung der Gallussäure wurden anschließend die GAE-Werte errechnet.

Tabelle 31: GAE-Werte der Cascara aus Nicaragua

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
6,667	0,950	182,604	27,391	2,739
5,000	0,719	138,362	27,672	2,767
4,000	0,570	109,573	27,393	2,739
3,333	0,474	91,223	27,367	2,737
2,857	0,412	79,217	27,726	2,773
2,500	0,360	69,185	27,674	2,767
2,222	0,321	61,644	27,740	2,774
2,000	0,290	55,781	27,890	2,789

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **2,761±0,018 [%w/w]**

Tabelle 32: GAE-Werte des Cascaratees aus Nicaragua

Konzentration [g/L]	Extinktion	GS [mg/L]	GS [mg/g]	GAE [%w/w]
8,000	0,940	180,762	22,595	2,260
6,667	0,789	151,735	22,760	2,276
5,000	0,593	113,942	22,788	2,279
8,000	0,940	180,762	22,595	2,260
4,000	0,474	91,171	22,793	2,279
3,333	0,395	75,963	22,789	2,279
2,500	0,295	56,779	22,712	2,271
2,222	0,263	50,646	22,791	2,279

Der Mittelwert und die Standardabweichung betragen: **2,275±0,007 [%w/w]**

### 4.1.3 Zusammenfassung der Bestimmung des Gesamtpolyphenolgehaltes

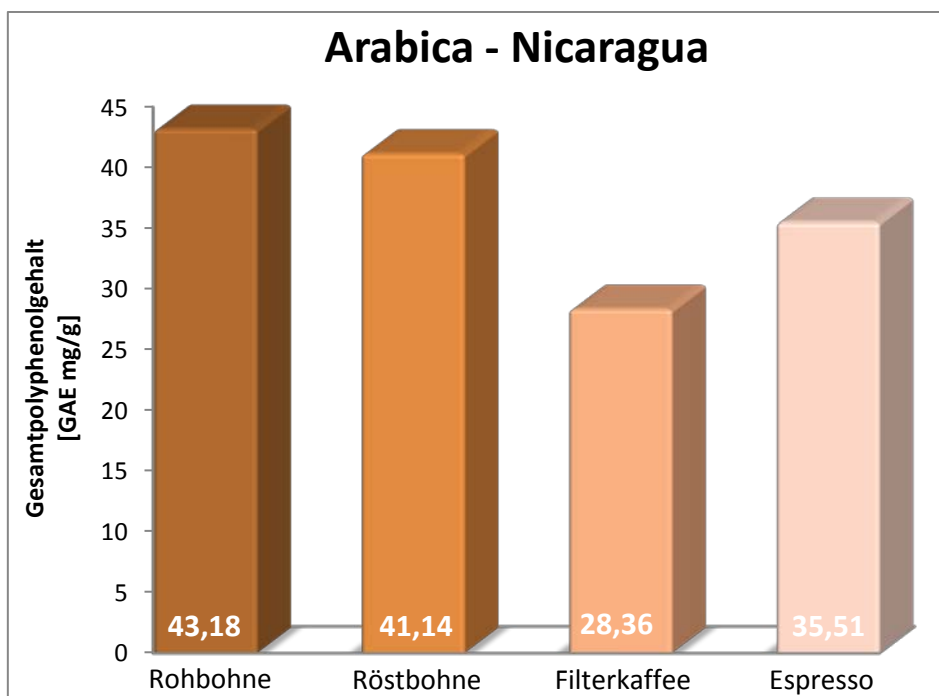
Zwecks besserer Vergleichbarkeit sind unten stehend alle Ergebnisse der Gesamtpolyphenolgehaltsanalyse der Kaffeesorten und der Cascara länderspezifisch aufgelistet.

#### Kaffee

In Tabelle 33 sind die errechneten Werte der Kaffeebohne aus Nicaragua nach der Zubereitungsart zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 2 erstellt.

*Tabelle 33: Arabica Bohne aus Nicaragua*

<b>Nicaragua</b>	<b>GAE [mg/g]</b>
<b>Rohkaffee</b>	43,18
<b>Röstkaffee</b>	41,14
<b>Filterkaffee</b>	28,36
<b>Espresso</b>	35,51



*Diagramm 2: Arabica Bohne aus Nicaragua*

In Tabelle 34 sind die errechneten Werte der Kaffeebohne aus Brasilien nach der Zubereitungsart zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 3 erstellt.

Tabelle 34: Arabica Bohne aus Brasilien

<b>Brasilien</b>	<b>GAE [mg/g]</b>
<b>Rohkaffee</b>	42,98
<b>Röstkaffee</b>	39,55
<b>Filterkaffee</b>	26,39
<b>Espresso</b>	32,61

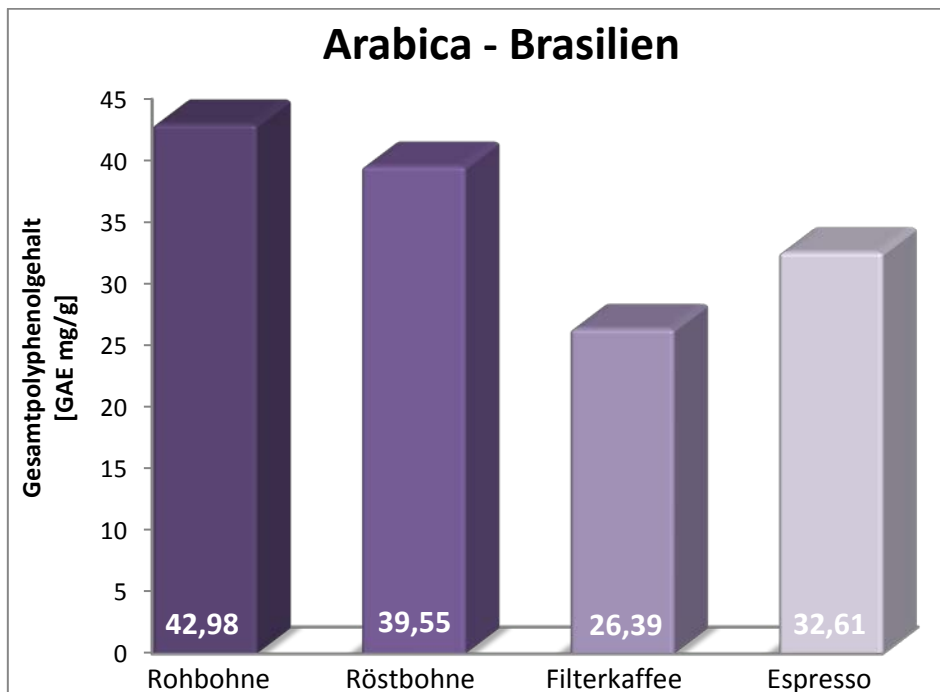


Diagramm 3: Arabica Bohne aus Brasilien

In Tabelle 35 sind die errechneten Werte der Kaffeebohne aus Äthiopien nach der Zubereitungsart zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 4 erstellt.

Tabelle 35: Arabica Bohne aus Äthiopien

<b>Äthiopien</b>	<b>GAE [mg/g]</b>
<b>Rohkaffee</b>	46,54
<b>Röstkaffee</b>	41,77
<b>Filterkaffee</b>	28,64
<b>Espresso</b>	36,56

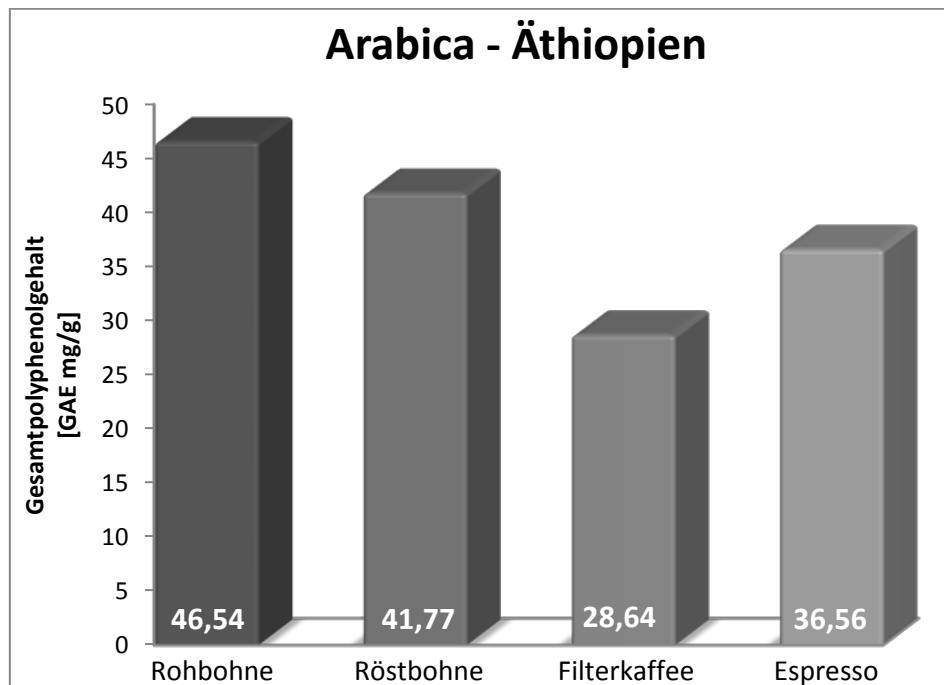


Diagramm 4: Arabica Bohne aus Äthiopien

In Tabelle 36 sind die errechneten Werte der Kaffeebohne aus Ecuador nach der Zubereitungsart zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 5 erstellt.

Tabelle 36: Robustabohne aus Ecuador

<b>Ecuador</b>	<b>GAE [mg/g]</b>
<b>Rohkaffee</b>	55,77
<b>Röstkaffee</b>	53,35
<b>Filterkaffee</b>	29,22
<b>Espresso</b>	39,71

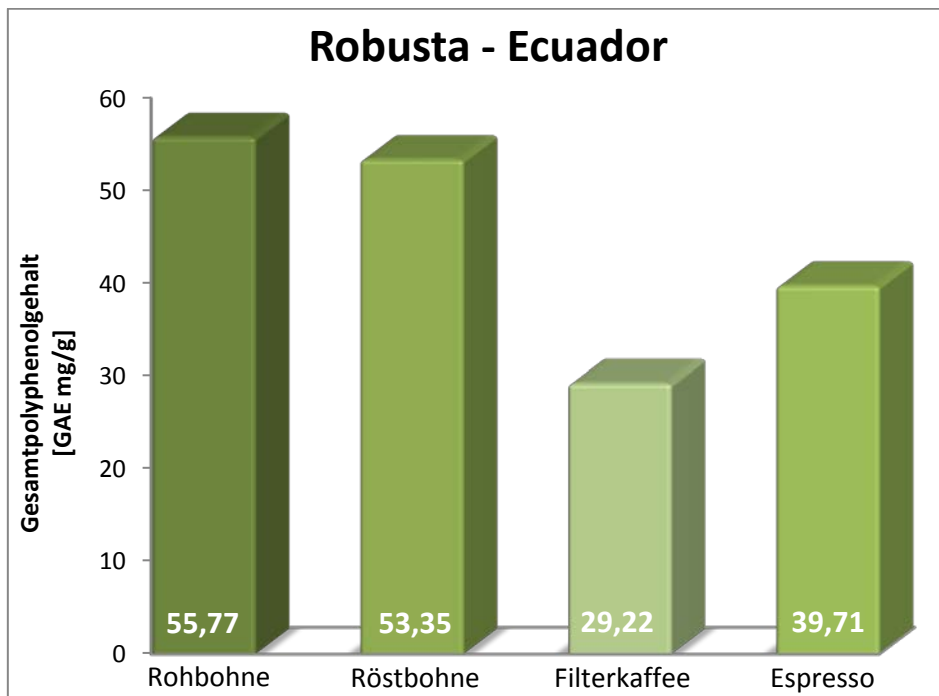


Diagramm 5: Robustabohne aus Ecuador



## Cascara

In Tabelle 37 sind die errechneten Werte der Cascara aus Nicaragua als Extrakt und Teegetränk zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 6 erstellt.

Tabelle 37: Cascara aus Nicaragua

<b>Cascara</b>	<b>GAE [mg/g]</b>
<b>Cascaraextrakt</b>	27,61
<b>Cascaratee</b>	22,75

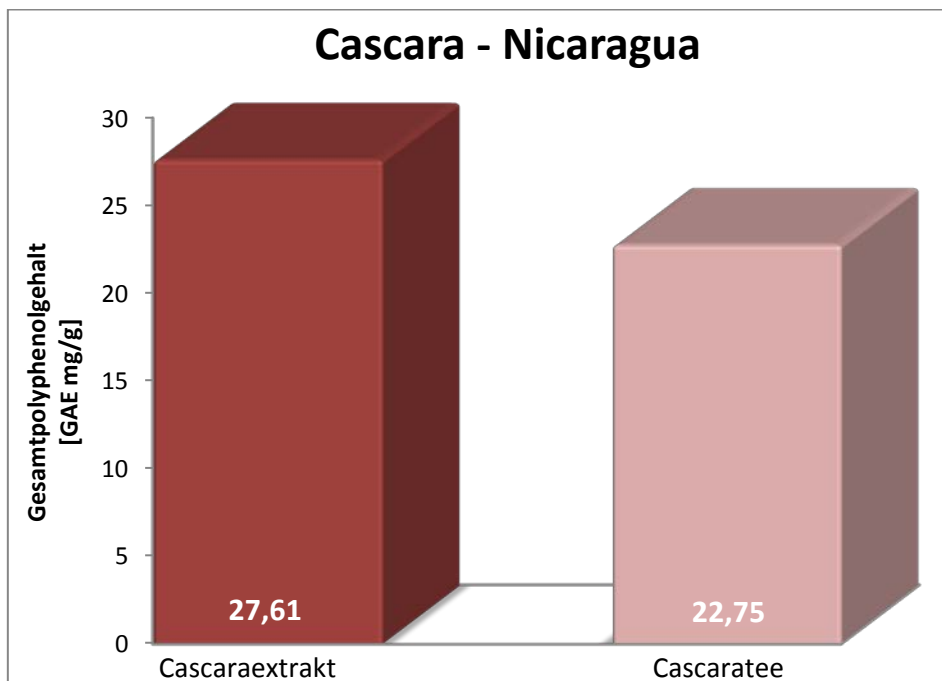


Diagramm 6: Cascara aus Nicaragua

## 4.2 Antioxidative Aktivität mittels DPPH

Im Folgenden werden mittels DPPH-Methode die antioxidative Aktivität der einzelnen Kaffeebohnsorten und der Cascara bzw. deren Heißgetränke bestimmt.

### Trolox-Kalibrationsgerade

Für die Darstellung der Ergebnisse der Radikalfängerkapazität muss eine Trolox-Kalibrationsgerade erstellt werden, um die Resultate vergleichbar präsentieren zu können. Die für die Gerade gemessenen Extinktionswerte und die dazugehörigen Konzentrationen sind der Tabelle 38 und den Diagrammen 7 und 8 zu entnehmen.

Tabelle 38: Extinktionswerte der Trolox-Gerade für die Bestimmung der antioxidativen Aktivität

$C_{\text{Probe}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Trolox}}$ Küvette [mg/L]	$\text{mg}_{\text{Probe}} /$ $\text{mg}_{\text{DPPH}}$ [mg/mg]	restliches DPPH [%]	umgesetztes DPPH [%]
0,05	0,11396	3,67	5,0	0,25	18,2	81,8
0,04	0,20969	6,69	4,0	0,20	33,6	66,4
0,03	0,30284	9,63	3,0	0,15	48,5	51,5
0,02	0,39984	12,68	2,0	0,10	64,0	36,0
0,01	0,49690	15,74	1,0	0,05	79,5	20,5

Mit diesen Daten wurden folgende Geraden erstellt:

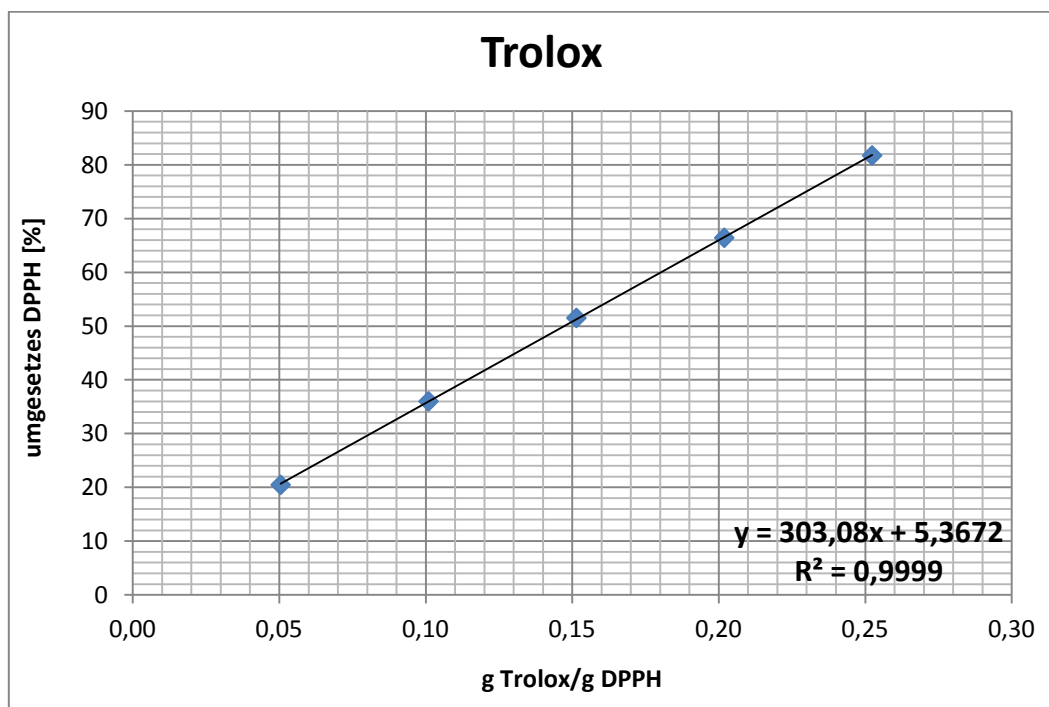


Diagramm 7: Umgesetztes DPPH in Abhängigkeit der Troloxkonzentration

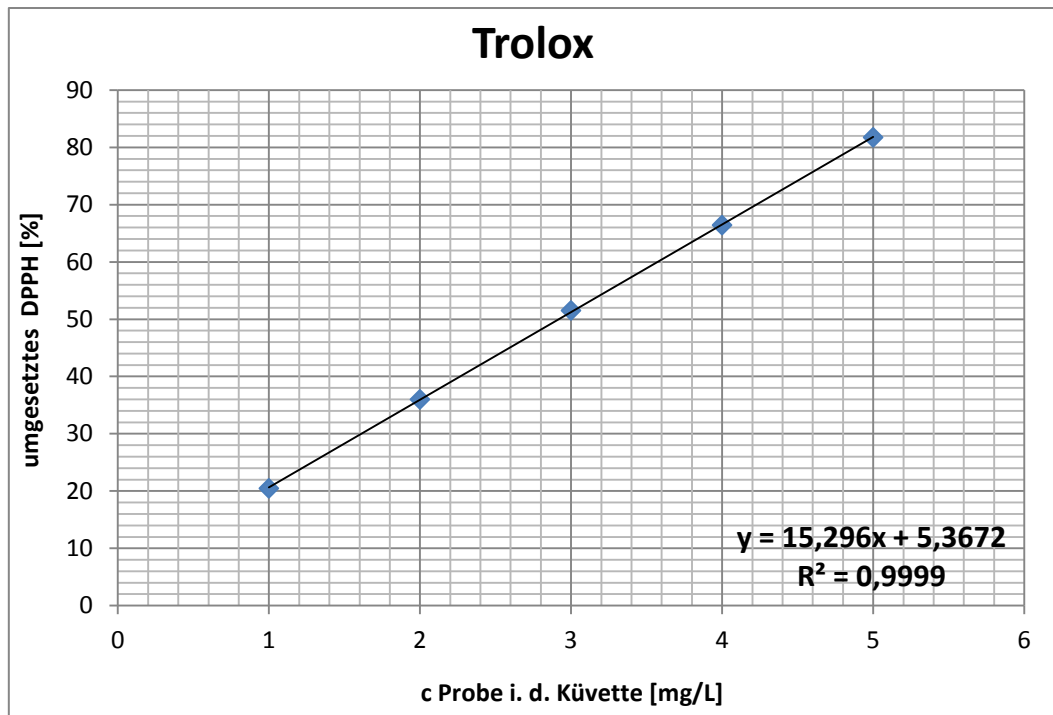


Diagramm 8: Umgesetztes DPPH in Abhängigkeit der Konzentration in der Küvette

Die Berechnung der Trolox-Äquivalente erfolgt mittels Geradengleichung der umgesetzten DPPH und der Troloxkonzentration. Wie bei den Proben wird auch bei der Referenzsubstanz Trolox der  $IC_{50}$ - oder  $EC_{50}$ -Wert berechnet und durch Anwendung der Gleichung 5 das TE (Trolox-Äquivalent) ermittelt:

$$TE = \frac{IC_{50,Trolox}}{IC_{50,Probe}} = \frac{EC_{50,Trolox}}{EC_{50,Probe}}$$

Gl. 5

Die Ergebnisse der antioxidativen Aktivität für Trolox:

<b>IC<sub>50</sub></b>	<b>2,92 mg/L</b>
<b>EC<sub>50</sub></b>	<b>0,15 g Probe/g DPPH</b>
<b>TE</b>	<b>1 mg/g</b>

## **4.2.1 Kaffee**

### **4.2.1.1 Arabicabohnen aus Nicaragua**

Es werden vier Verdünnungen der jeweiligen Proben hergestellt und die Absorptionen photometrisch bestimmt. Anschließend wird die effektive Probenkonzentration mg Probe / mg DPPH, die Konzentration von DPPH, das umgesetzte DPPH, der  $EC_{50}$ -Wert sowie der  $IC_{50}$ -Wert berechnet.

Exemplarisch sind hier die genutzten Gleichungen zur Errechnung der Kennwerte aufgelistet:

$$C_{Epr} [mg/l] = \frac{C_{Probe} [mg/l]}{Verdünnung [1:X]}$$

Gl. 6

$$\text{effektive Probenkonzentration [g/g]} = \frac{C_{Epr} [mg/l]}{C_{DPPH} [mg/l]}$$

Gl. 7

$$C_{DPPH(t_0)} [mg/l] = \frac{Absorption_{(t_0)} + 0,00258}{12509} * MG_{DPPH} [g/mol] * 1000$$

Gl. 8

$$C_{DPPH(t_{60})} [mg/l] = \frac{Absorption_{(t_{60})} + 0,00258}{12509} * MG_{DPPH} [g/mol] * 1000$$

Gl. 9

$$MG_{DPPH} = 394,3 [g/mol]$$

Gl. 10

$$Rest DPPH [\%] = \frac{C_{DPPH(t_0)} [mg/l]}{C_{DPPH(t_{60})} [mg/l]} * 100$$

Gl. 11

$$Umgesetztes DPPH [\%] = 100 - Rest DPPH [\%]$$

Gl. 12

Mit Hilfe der jeweiligen Regressionsgerade konnte über die Umformung der EC<sub>50</sub>- und der IC<sub>50</sub>-Wert berechnet werden. Um genaue Werte zu erhalten, wurde auf die graphische Ermittlung verzichtet.

$$EC_{50} = \frac{50 - d}{k}$$

Gl. 13

$$IC_{50} = \frac{50 - d}{k}$$

Gl. 14

$$\text{Troloxäquivalent [g/g]} = ((\text{Probe [g]})/(\text{DPPH [g]}))/((\text{Trolox [g]})/(\text{DPPH [g]}))$$

Gl. 15

$$\begin{aligned} TE [g/mmol] &= \\ &= \frac{((\text{Probe [g]})/(\text{DPPH [g]}))/((\text{Trolox [g]})/((\text{DPPH [g]})/(250,3 [g/mol] )))}{1000} \end{aligned}$$

Gl. 16

In Tabelle 39 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 9 und 10 erstellt.

Tabelle 39: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Rohkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\text{mg}_{\text{Probe}} /$ $\text{mg}_{\text{DPPH}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,40	0,25088	2,03E-05	7,99	40,0	2,35	46,7	53,3
0,20	0,33841	2,73E-05	10,75	20,0	1,18	63,0	37,0
0,10	0,37911	3,05E-05	12,03	10,0	0,59	70,6	29,4
0,05	0,40218	3,24E-05	12,76	5,0	0,29	74,9	25,1

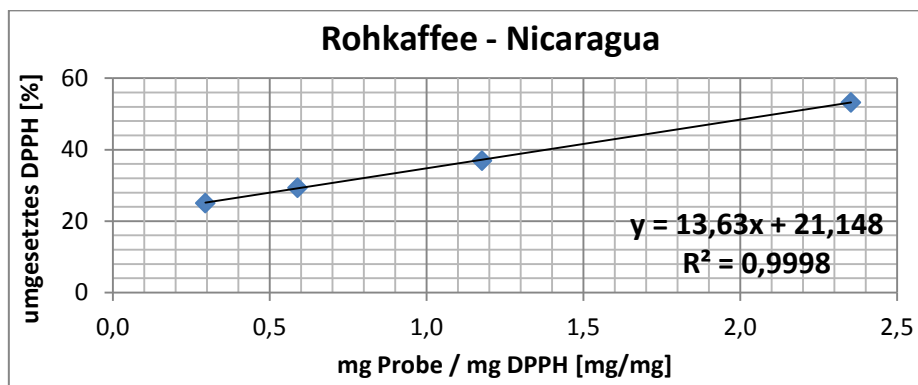


Diagramm 9: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

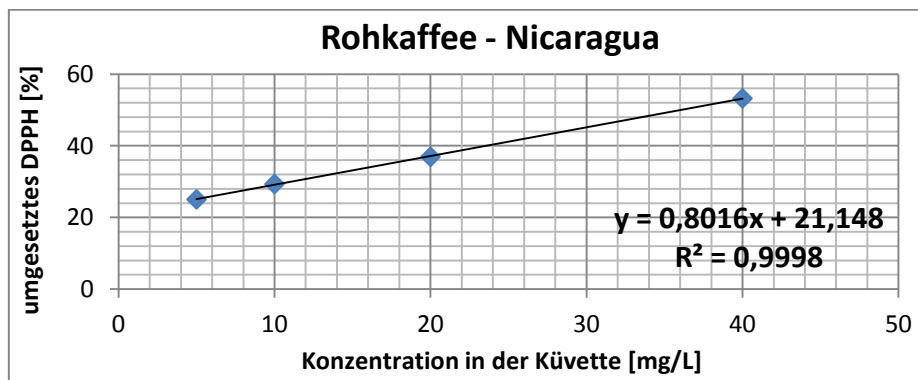


Diagramm 10: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 40 errechnet.

Tabelle 40: Errechnete Ergebnisse der Nicaraguabohne aus dem DPPH-Versuch

<b><math>EC_{50}</math> [g Probe/g DPPH]</b>	<b>2,12</b>
<b>TE [mg/g]</b>	<b>69,57</b>
<b>TE [mmol/g]</b>	<b>0,28</b>
<b><math>IC_{50}</math> [mg/L]</b>	<b>35,99</b>

In Tabelle 41 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 11 und 12 erstellt.

Tabelle 41: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Röstkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\text{mg}_{\text{Probe}} /$ $\text{mg}_{\text{DPPH}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,75	0,20014	1,62E-05	6,39	75,0	4,41	37,3	62,7
0,20	0,43661	3,51E-05	13,84	20,0	1,18	81,3	18,7
0,10	0,470894	3,79E-05	14,92	10,0	0,59	87,7	12,3
0,05	0,491647	3,95E-05	15,58	5,0	0,29	91,6	8,4

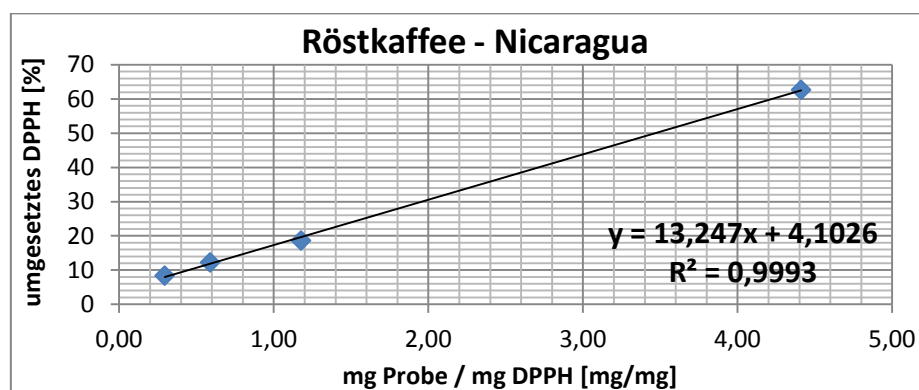


Diagramm 11: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

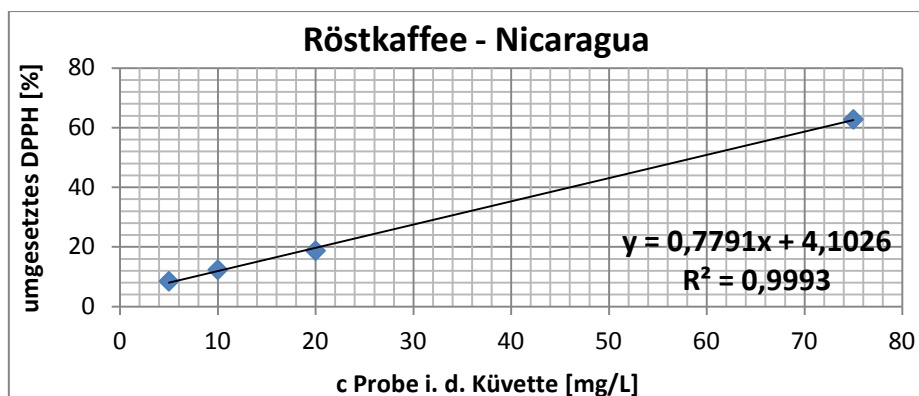


Diagramm 12: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 42 errechnet.

Tabelle 42: Errechnete Ergebnisse der Nicaraguabohne aus dem DPPH-Versuch

<b><math>EC_{50}</math> [g Probe/g DPPH]</b>	<b>3,46</b>
<b>TE [mg/g]</b>	<b>42,50</b>
<b>TE [mmol/g]</b>	<b>0,17</b>
<b><math>IC_{50}</math> [mg/L]</b>	<b>58,91</b>

In Tabelle 43 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 13 und 14 erstellt.

Tabelle 43: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Filterkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\text{mg}_{\text{Probe}} /$ $\text{mg}_{\text{DPPH}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,64	0,26352	2,13E-05	8,39	64,0	3,91	51,0	49,0
0,50	0,31510	2,54E-05	10,01	50,0	3,02	60,4	39,6
0,45	0,33516	2,70E-05	10,65	45,0	2,72	64,2	35,8
0,32	0,37977	3,06E-05	12,05	32,0	1,94	72,8	27,2

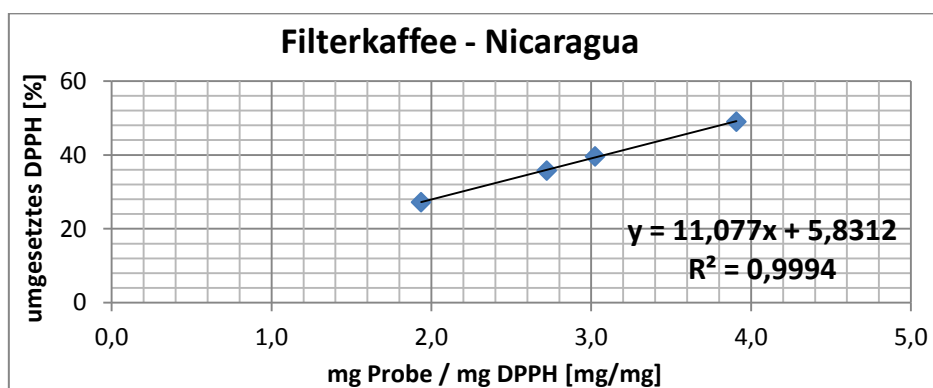


Diagramm 13: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

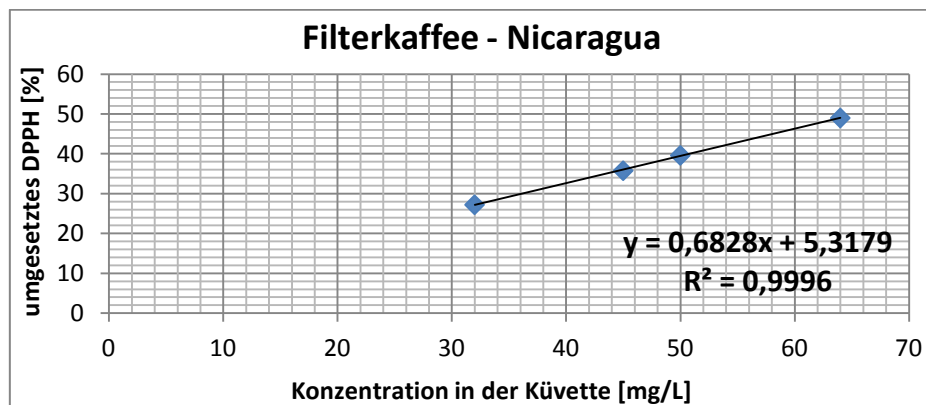


Diagramm 14: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 44 errechnet.

Tabelle 44: Errechnete Ergebnisse der Nicaraguabohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	3,99
TE [mg/g]	36,93
TE [mmol/g]	0,15
$IC_{50}$ [mg/L]	65,44

In Tabelle 45 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 15 und 16 erstellt.

Tabelle 45: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Essrosos

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,75	0,19898	1,61E-05	6,35	75,0	4,54	38,1	61,9
0,25	0,37996	3,06E-05	12,06	25,0	1,52	73,2	26,8
0,12	0,42501	3,42E-05	13,48	12,0	0,73	81,4	18,6
0,08	0,43650	3,51E-05	13,84	8,0	0,48	83,6	16,4

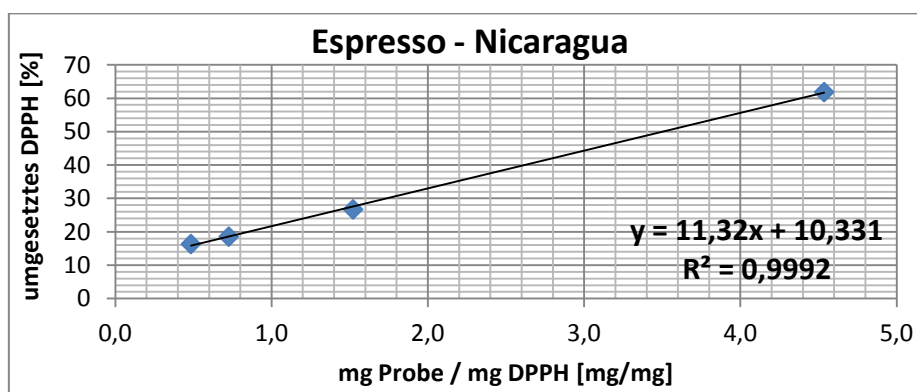


Diagramm 15: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

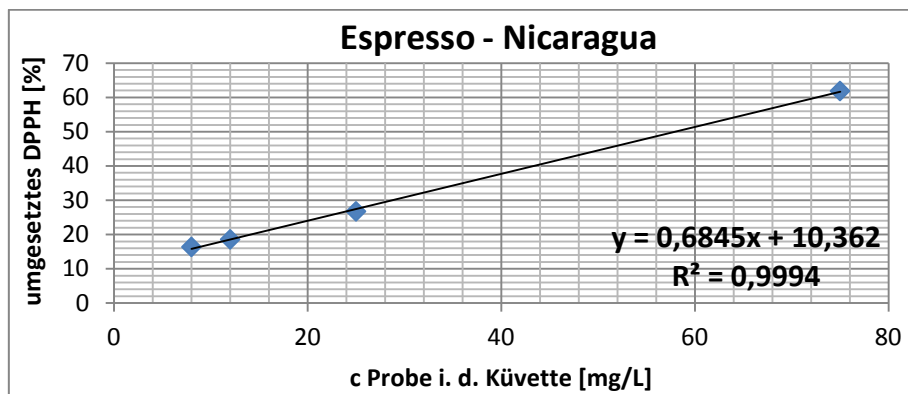


Diagramm 16: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 46 errechnet.

Tabelle 46: Errechnete Ergebnisse der Nicaraguabohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	3,50
TE [mg/g]	42,02
TE [mmol/g]	0,17
$IC_{50}$ [mg/L]	57,91



#### 4.2.1.2 Arabicabohnen aus Brasilien

In Tabelle 47 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 17 und 18 erstellt.

Tabelle 47: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Rohkaffees

C <sub>Proben</sub> [g/L]	Extinktion	C <sub>DPPH</sub> [mol/L]	C <sub>DPPH</sub> [mg/L]	C <sub>Küvette</sub> [mg/L]	mg <sub>Probe</sub> / mg <sub>DPPH</sub> [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,40	0,26088	2,11E-05	8,30	40,0	2,35	48,6	51,4
0,20	0,35043	2,82E-05	11,13	20,0	1,18	65,3	34,7
0,10	0,39012	3,14E-05	12,38	10,0	0,59	72,7	27,3
0,05	0,41098	3,31E-05	13,04	5,0	0,29	76,6	23,4

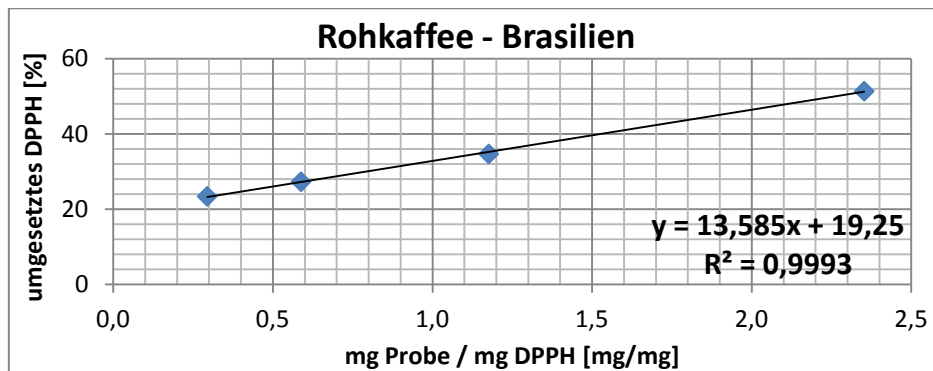


Diagramm 17: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des EC<sub>50</sub>-Wertes

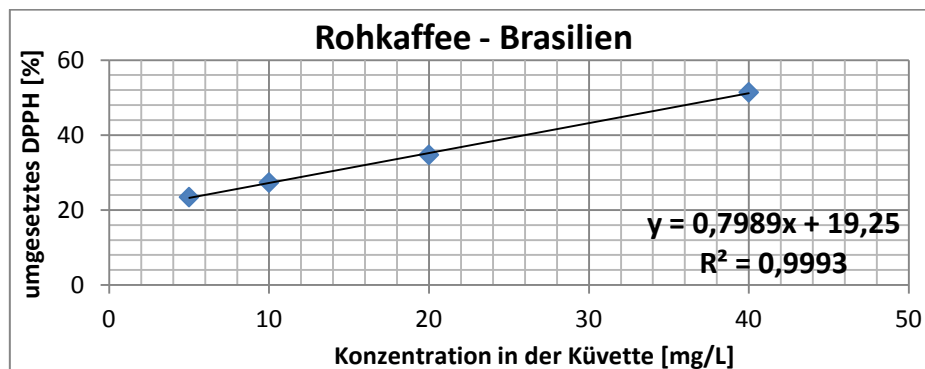


Diagramm 18: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des IC<sub>50</sub>-Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 48 errechnet.

Tabelle 48: Errechnete Ergebnisse der Brasiliebohne aus dem DPPH-Versuch

EC <sub>50</sub> [g Probe/g DPPH]	2,26
TE [mg/g]	65,06
TE [mmol/g]	0,26
IC <sub>50</sub> [mg/L]	38,49

In Tabelle 49 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 19 und 20 erstellt.

Tabelle 49: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Röstkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,75	0,20599	1,67E-05	6,57	75,0	4,41	38,4	61,6
0,20	0,43061	3,46E-05	13,65	20,0	1,18	80,2	19,8
0,10	0,47811	3,84E-05	15,15	10,0	0,59	89,1	10,9
0,05	0,50023	4,02E-05	15,85	5,0	0,29	93,2	6,8

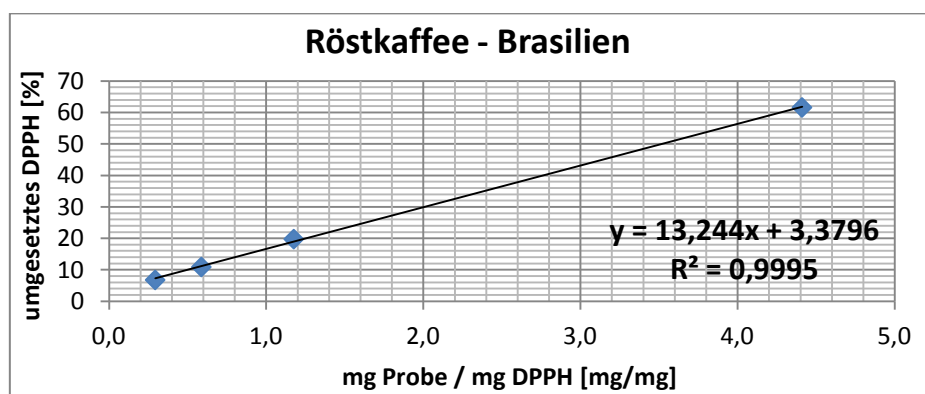


Diagramm 19: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

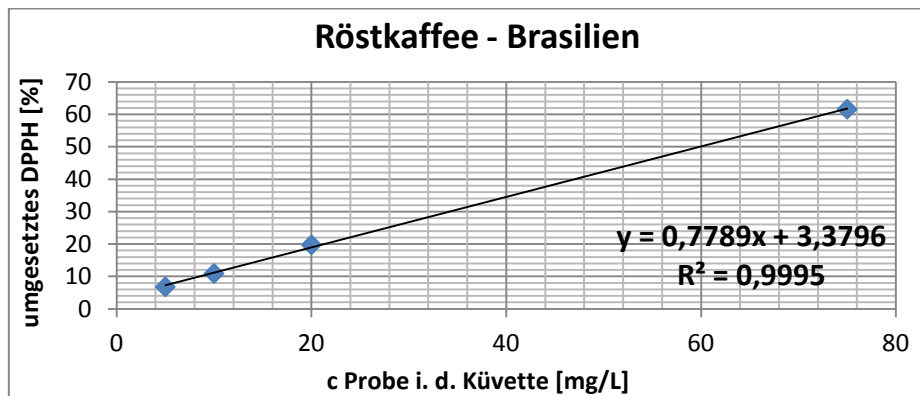


Diagramm 20: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 50 errechnet.

Tabelle 50: Errechnete Ergebnisse der Brasilienbohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	3,53
TE [mg/g]	41,71
TE [mmol/g]	0,17
$IC_{50}$ [mg/L]	60,04

In Tabelle 51 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 21 und 22 erstellt.

Tabelle 51: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Filterkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,64	0,27032	2,18E-05	8,60	64,0	3,87	51,8	48,2
0,50	0,32059	2,58E-05	10,19	50,0	3,02	61,4	38,6
0,45	0,34201	2,75E-05	10,86	45,0	2,72	65,5	34,5
0,32	0,38877	3,13E-05	12,34	32,0	1,94	74,5	25,5

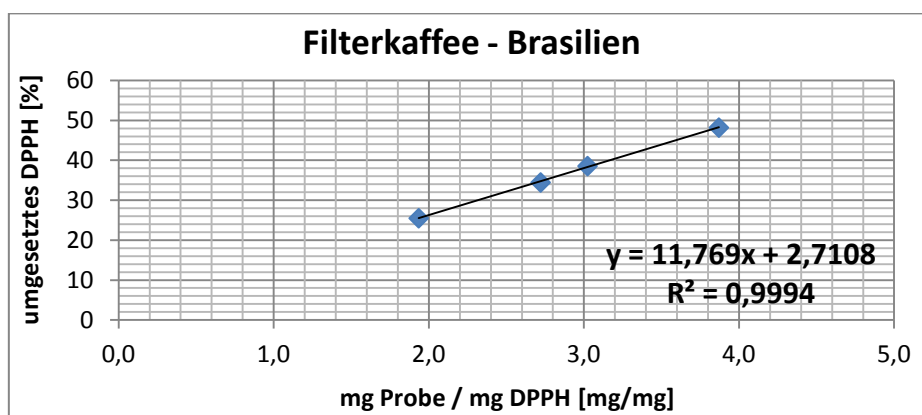


Diagramm 21: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

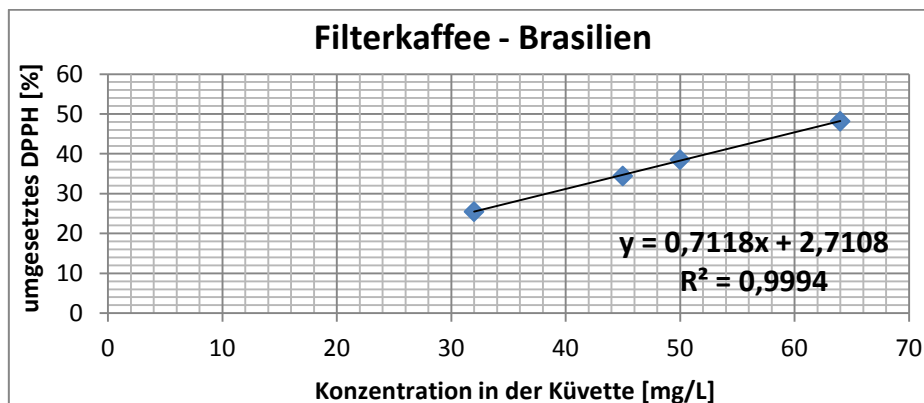


Diagramm 22: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 52 errechnet.

Tabelle 52: Errechnete Ergebnisse der Brasilienbohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	4,02
TE [mg/g]	36,65
TE [mmol/g]	0,15
$IC_{50}$ [mg/L]	66,44

In Tabelle 53 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 23 und 24 erstellt.

Tabelle 53: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Essentos

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,75	0,20240	1,64E-05	6,46	74,5	4,51	38,8	61,2
0,24	0,38819	3,12E-05	12,32	24,0	1,45	74,4	25,6
0,12	0,42919	3,45E-05	13,61	12,0	0,73	82,2	17,8
0,08	0,44634	3,59E-05	14,15	8,0	0,48	85,5	14,5

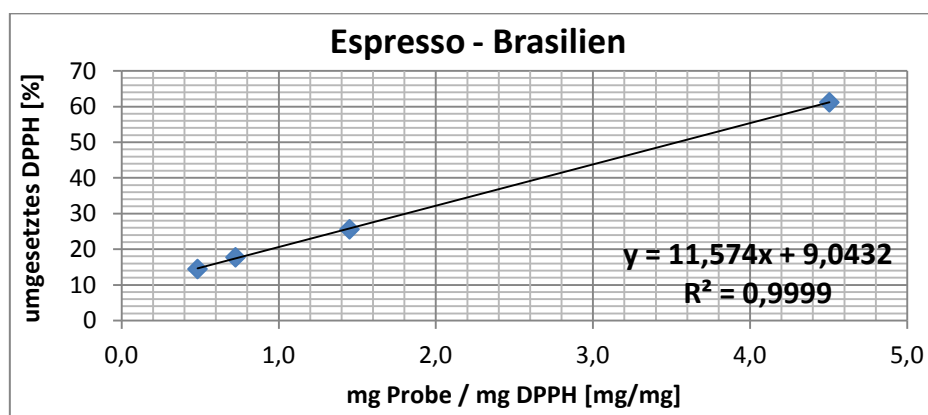


Diagramm 23: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

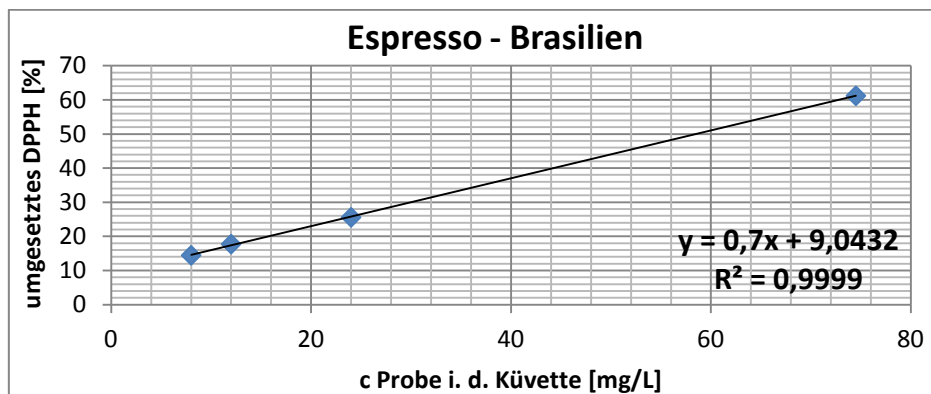


Diagramm 24: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 54 errechnet.

Tabelle 54: Errechnete Ergebnisse der Brasilienbohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	3,54
TE [mg/g]	41,62
TE [mmol/g]	0,17
$IC_{50}$ [mg/L]	58,51

### 4.2.1.3 Arabiabohnen aus Äthiopien

In Tabelle 55 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 25 und 26 erstellt.

Tabelle 55: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Rohkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,40	0,24606	1,99E-05	7,84	40,0	2,35	45,8	54,2
0,20	0,31151	2,51E-05	9,90	20,0	1,18	58,0	42,0
0,10	0,35189	2,83E-05	11,17	10,0	0,59	65,5	34,5
0,05	0,36752	2,96E-05	11,67	5,0	0,29	68,5	31,5

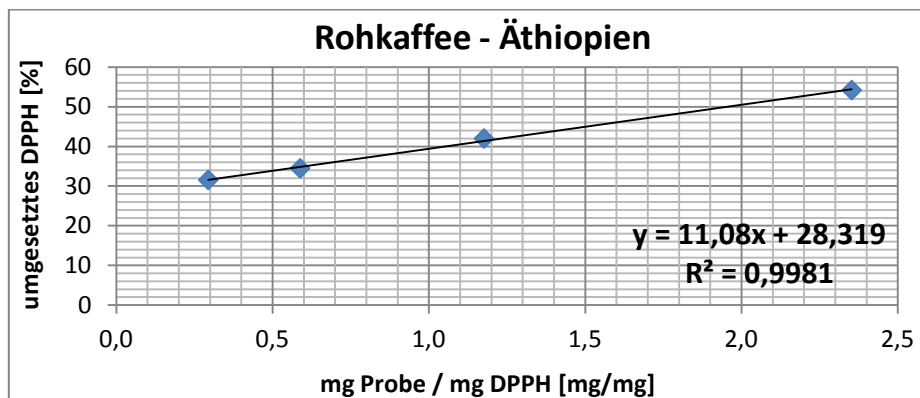


Diagramm 25: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

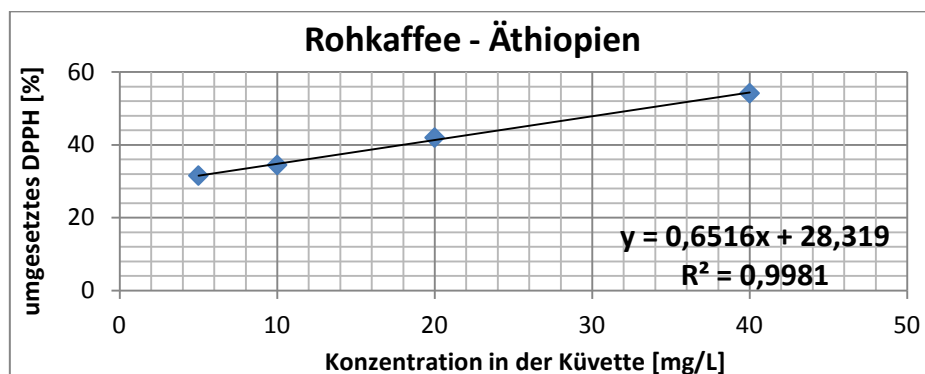


Diagramm 26: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 56 errechnet.

Tabelle 56: Errechnete Ergebnisse der Äthiopenbohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	1,96
TE [mg/g]	75,26
TE [mmol/g]	0,30
$IC_{50}$ [mg/L]	33,27

In Tabelle 57 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 27 und 28 erstellt.

Tabelle 57: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Röstkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,40	0,25346	2,05E-05	8,07	40,0	2,35	47,2	52,8
0,20	0,31505	2,54E-05	10,01	20,0	1,18	58,7	41,3
0,10	0,35121	2,83E-05	11,15	10,0	0,59	65,4	34,6
0,05	0,36600	2,95E-05	11,62	5,0	0,29	68,2	31,8

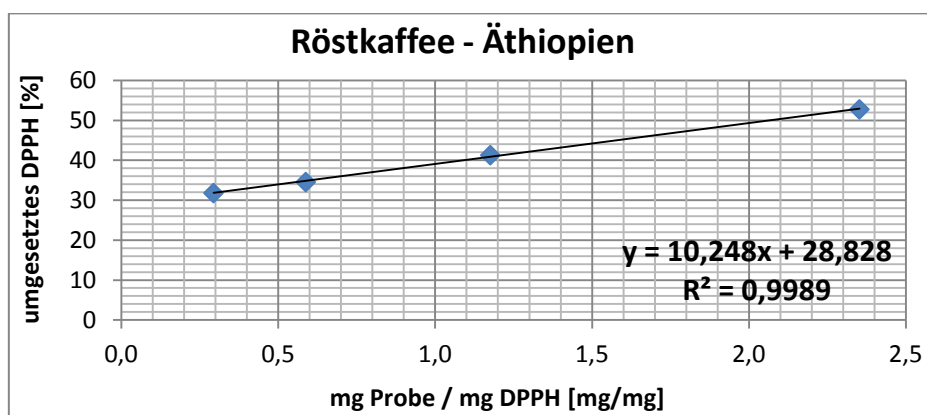


Diagramm 27: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

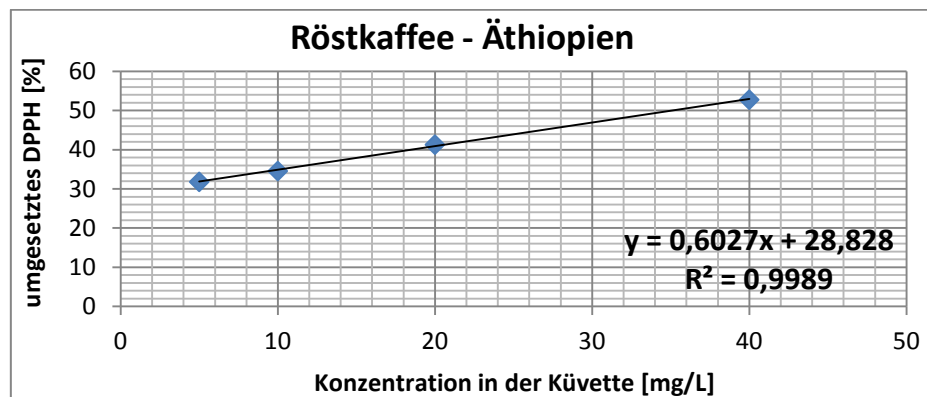


Diagramm 28: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 58 errechnet.

Tabelle 58: Errechnete Ergebnisse der Äthiopenbohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	2,07
TE [mg/g]	71,28
TE [mmol/g]	0,28
$IC_{50}$ [mg/L]	35,13

In Tabelle 59 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 29 und 30 erstellt.

Tabelle 59: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Filterkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,64	0,23938	1,93E-05	7,63	64,0	3,91	46,3	53,7
0,50	0,30013	2,42E-05	9,54	50,0	3,02	57,5	42,5
0,45	0,32156	2,59E-05	10,22	45,0	2,72	61,6	38,4
0,32	0,37459	3,02E-05	11,89	32,0	1,94	71,8	28,2

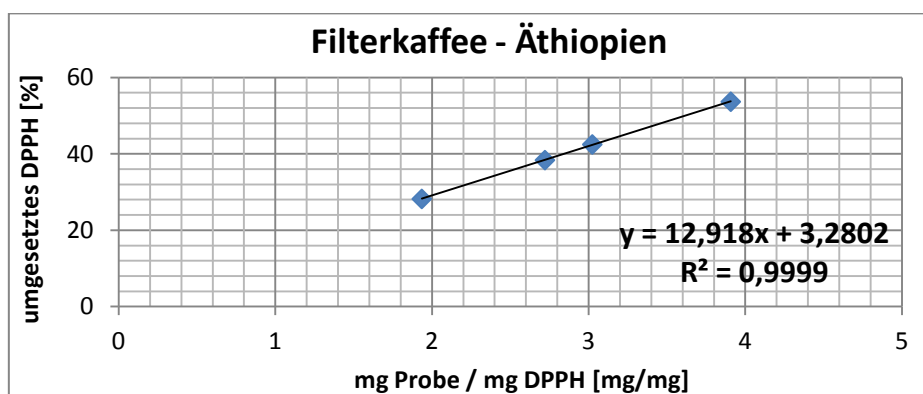


Diagramm 29: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

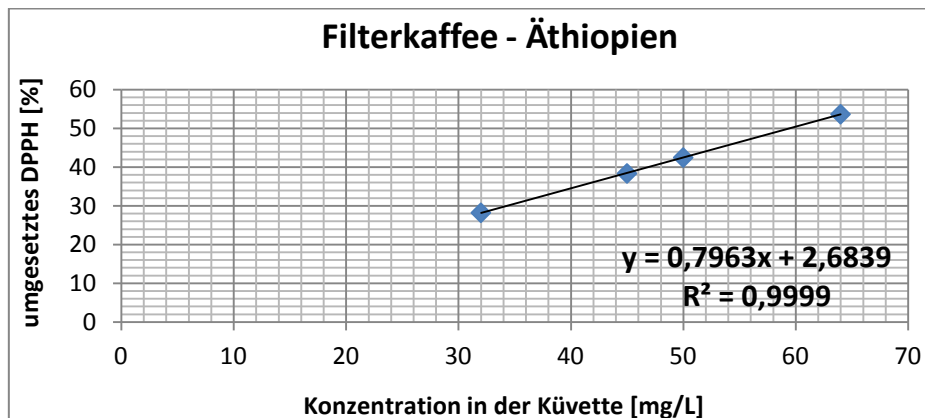


Diagramm 30: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 60 errechnet.

Tabelle 60: Errechnete Ergebnisse der Äthiopenbohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	3,62
TE [mg/g]	40,72
TE [mmol/g]	0,16
$IC_{50}$ [mg/L]	59,42

In Tabelle 61 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 31 und 32 erstellt.

Tabelle 61: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Esseros

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,40	0,27198	2,19E-05	8,65	40,0	2,42	52,1	47,9
0,24	0,35662	2,87E-05	11,32	24,0	1,46	68,8	31,3
0,12	0,41482	3,34E-05	13,16	12,0	0,73	79,5	20,5
0,08	0,43529	3,50E-05	13,80	8,0	0,48	83,4	16,6

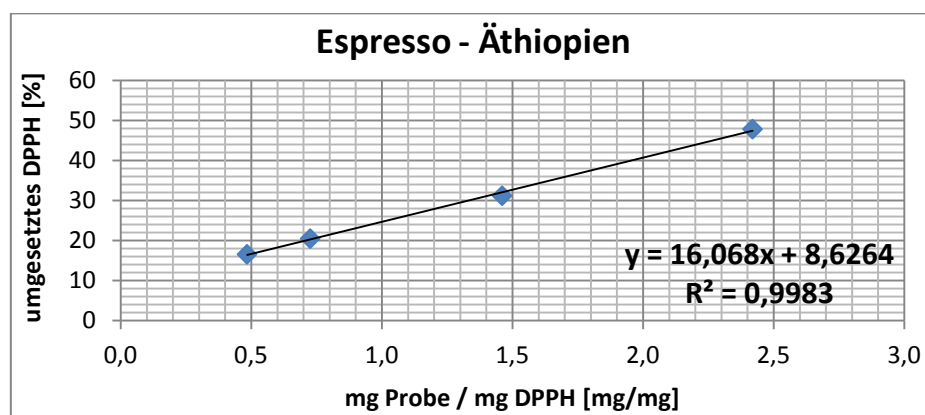


Diagramm 31: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

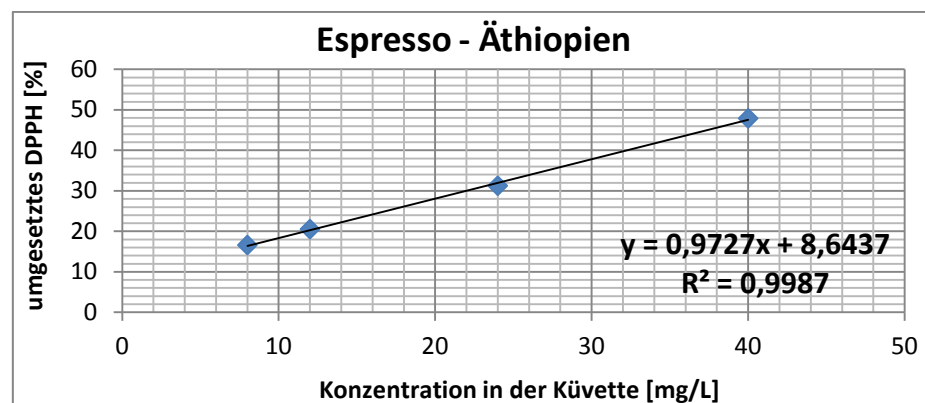


Diagramm 32: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 62 errechnet.

Tabelle 62: Errechnete Ergebnisse der Äthiopienbohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	2,57
TE [mg/g]	57,19
TE [mmol/g]	0,23
$IC_{50}$ [mg/L]	42,52



#### 4.2.1.4 Robustabohnen aus Ecuador

In Tabelle 63 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 33 und 34 erstellt.

Tabelle 63: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Rohkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,40	0,15382	1,25E-05	4,93	40,0	2,25	27,4	72,6
0,20	0,31796	2,56E-05	10,10	20,0	1,12	56,6	43,4
0,10	0,41965	3,38E-05	13,31	10,0	0,56	74,7	25,3
0,05	0,46691	3,75E-05	14,80	5,0	0,28	83,1	16,9

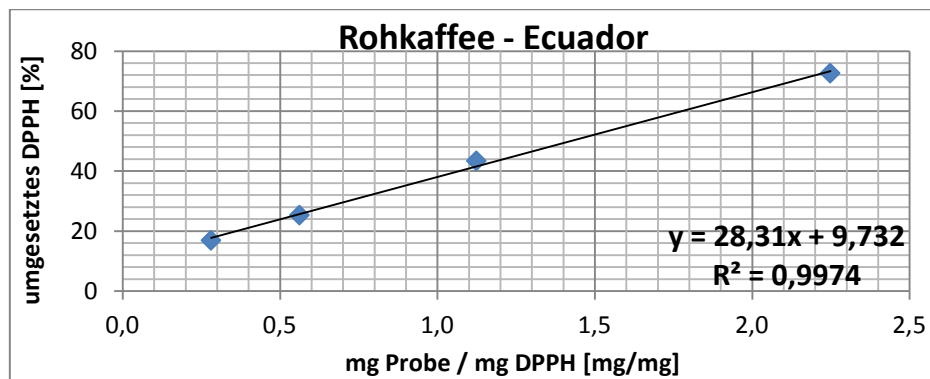


Diagramm 33: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

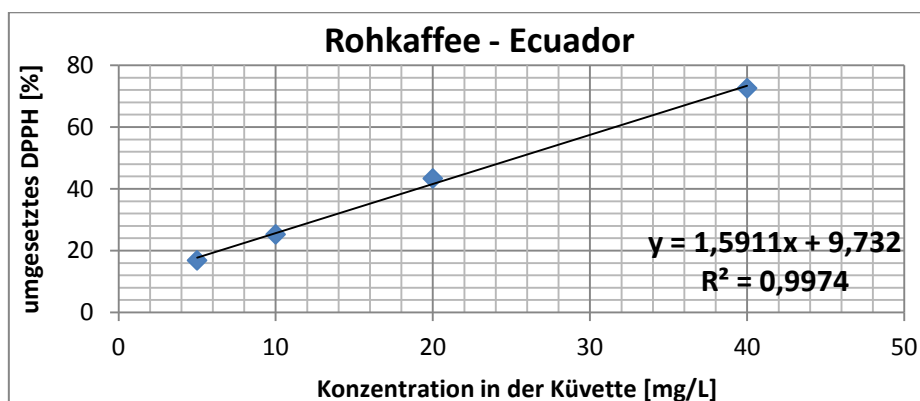


Diagramm 34: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 64 errechnet.

Tabelle 64: Errechnete Ergebnisse der Ecuadorbohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	1,42
TE [mg/g]	103,53
TE [mmol/g]	0,41
$IC_{50}$ [mg/L]	25,31

In Tabelle 65 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 35 und 36 erstellt.

Tabelle 65: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Röstkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,40	0,25053	2,02E-05	7,98	40,0	2,25	44,6	55,4
0,20	0,35968	2,90E-05	11,42	20,0	1,12	64,0	36,0
0,10	0,42056	3,38E-05	13,34	10,0	0,56	74,8	25,2
0,05	0,45116	3,63E-05	14,30	5,0	0,28	80,3	19,7

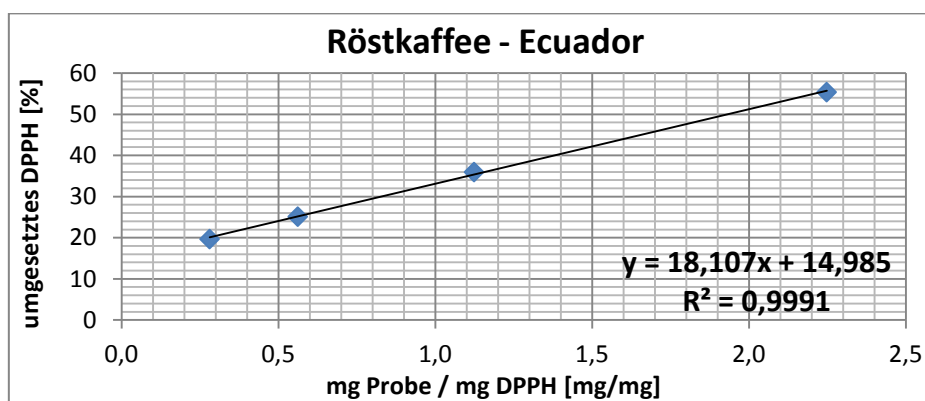


Diagramm 35: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

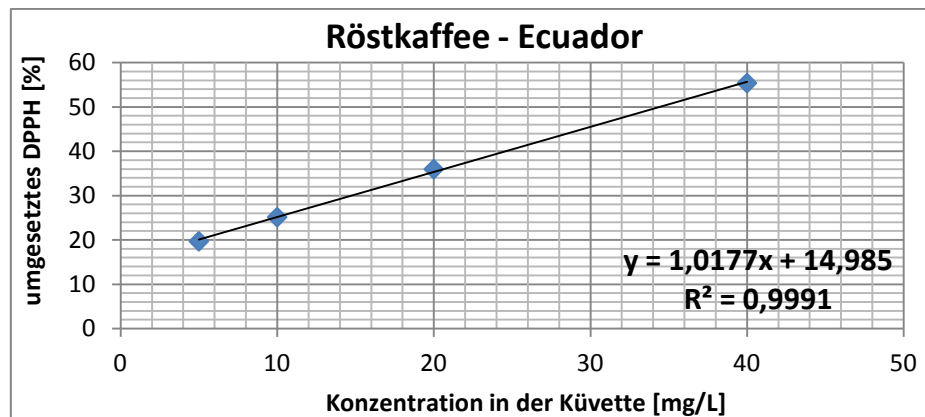


Diagramm 36: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 66 errechnet.

Tabelle 66: Errechnete Ergebnisse der Ecuadorbohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	1,93
TE [mg/g]	76,15
TE [mmol/g]	0,30
$IC_{50}$ [mg/L]	34,41

In Tabelle 67 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 37 und 38 erstellt.

Tabelle 67: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Filterkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,64	0,22484	1,82E-05	7,17	64,0	3,91	43,5	56,5
0,50	0,27901	2,25E-05	8,88	50,0	3,02	53,5	46,5
0,45	0,29716	2,40E-05	9,45	45,0	2,72	56,9	43,1
0,32	0,34512	2,78E-05	10,96	32,0	1,94	66,1	33,9

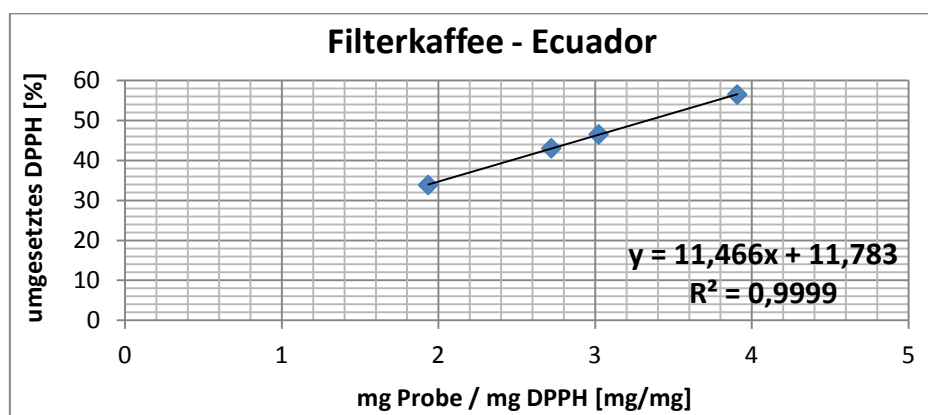


Diagramm 37: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

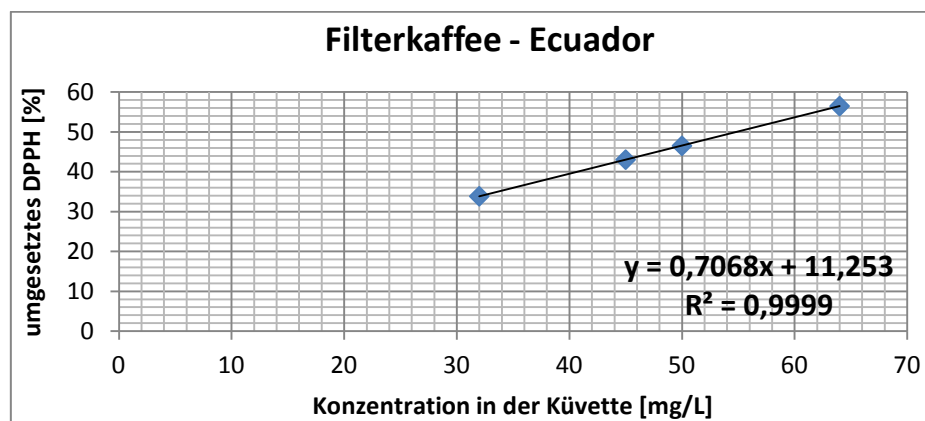


Diagramm 38: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 68 errechnet.

Tabelle 68: Errechnete Ergebnisse der Ecuadorbohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	3,33
TE [mg/g]	44,18
TE [mmol/g]	0,18
$IC_{50}$ [mg/L]	54,82

In Tabelle 69 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 39 und 40 erstellt.

Tabelle 69: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Essrosos

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,40	0,26920	2,17E-05	8,57	40,0	2,42	51,6	48,4
0,24	0,36062	2,90E-05	11,45	24,0	1,45	69,1	30,9
0,12	0,42828	3,44E-05	13,58	12,0	0,73	82,0	18,0
0,08	0,45081	3,62E-05	14,29	8,0	0,48	86,4	13,6

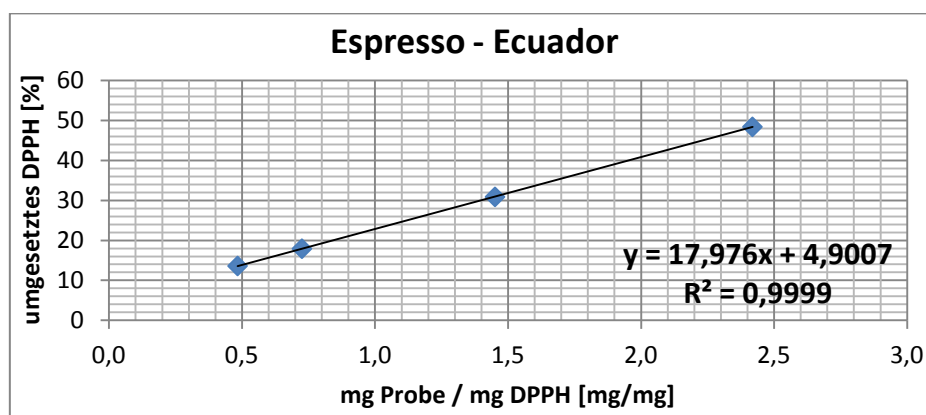


Diagramm 39: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

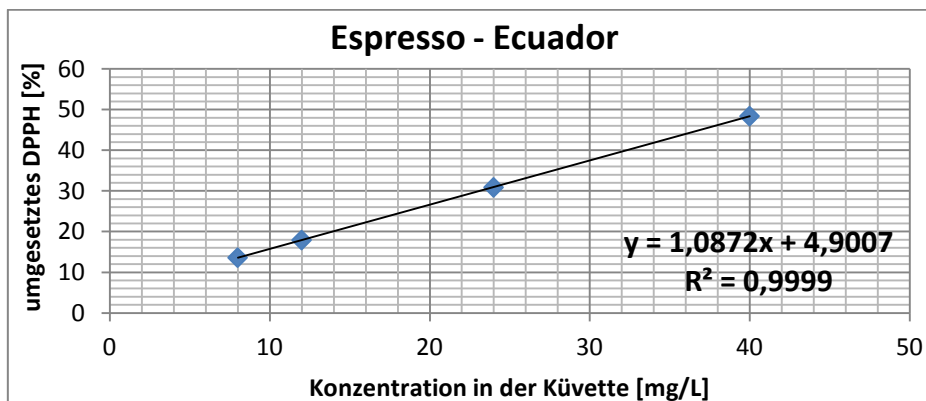


Diagramm 40: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 70 errechnet.

Tabelle 70: Errechnete Ergebnisse der Ecuadorbohne aus dem DPPH-Versuch

$EC_{50}$ [g Probe/g DPPH]	2,51
TE [mg/g]	58,70
TE [mmol/g]	0,23
$IC_{50}$ [mg/L]	41,48

## 4.2.2 Cascara

### Cascaraextrakt aus Nicaragua

In Tabelle 71 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 41 und 42 erstellt.

Tabelle 71: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Cascaraextraktes

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{DPPH}}$ [mol/L]	$C_{\text{DPPH}}$ [mg/L]	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	$\frac{\text{mg}_{\text{Probe}}}{\text{mg}_{\text{DPPH}}}$ [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,8	0,25306	2,04E-05	8,06	80,0	4,50	45,0	55,0
0,6	0,30691	2,47E-05	9,76	60,0	3,37	54,6	45,4
0,4	0,35865	2,89E-05	11,39	40,0	2,25	63,8	36,2
0,2	0,42073	3,38E-05	13,34	20,0	1,12	74,9	25,1

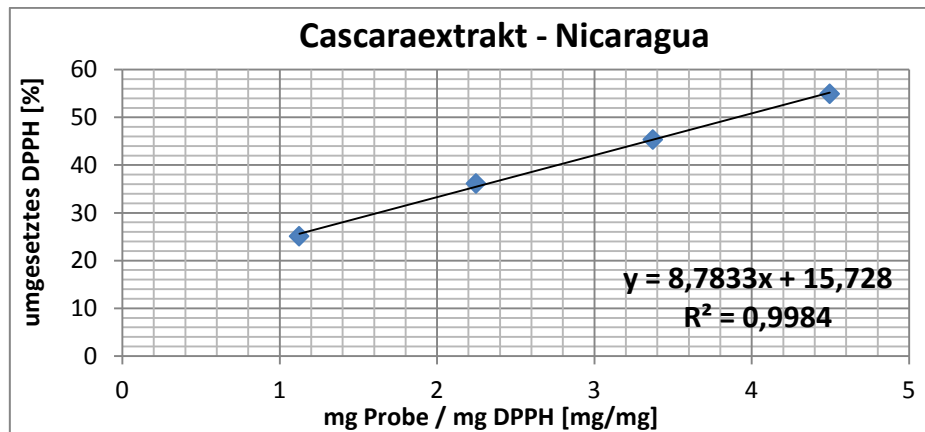


Diagramm 41: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Cascaraextrakt für die Bestimmung des  $EC_{50}$ -Wertes

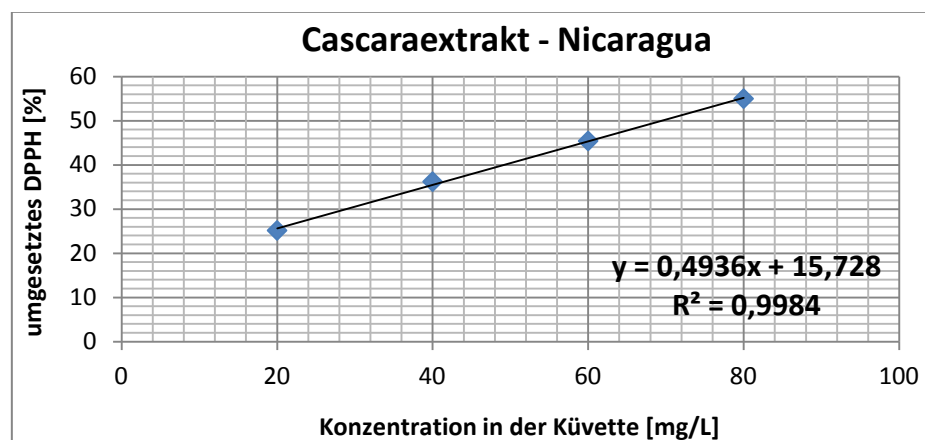


Diagramm 42: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Cascaraextrakt für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 72 errechnet.

Tabelle 72: Errechnete Ergebnisse der Cascara aus dem DPPH-Versuch

<b>EC<sub>50</sub> [g Probe/g DPPH]</b>	<b>3,90</b>
<b>TE [mg/g]</b>	<b>37,74</b>
<b>TE [mmol/g]</b>	<b>0,15</b>
<b>IC<sub>50</sub> [mg/L]</b>	<b>69,43</b>

### Cascaratee aus Nicaragua

In Tabelle 73 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurden anschließend die Diagramme 43 und 44 erstellt.

Tabelle 73: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes DPPH des Cascaratee

C <sub>Proben</sub> [g/L]	Extinktion	C <sub>DPPH</sub> [mol/L]	C <sub>DPPH</sub> [mg/L]	C <sub>Küvette</sub> [mg/L]	mg <sub>Probe</sub> / mg <sub>DPPH</sub> [mg/mg]	Rest DPPH [%]	Umgesetztes DPPH [%]
0,8	0,25306	2,04E-05	8,06	80,0	4,50	45,0	55,0
0,6	0,30691	2,47E-05	9,76	60,0	3,37	54,6	45,4
0,4	0,35865	2,89E-05	11,39	40,0	2,25	63,8	36,2
0,2	0,42073	3,38E-05	13,34	20,0	1,12	74,9	25,1

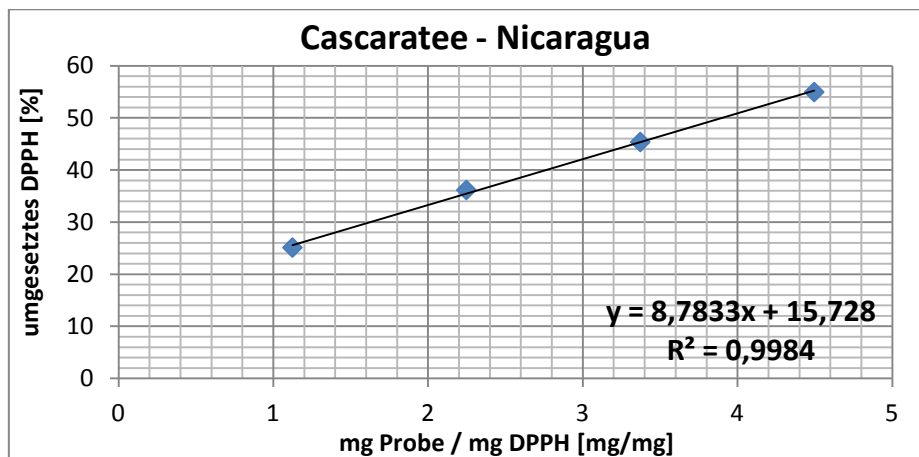


Diagramm 43: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Cascaratee für die Bestimmung des EC<sub>50</sub>-Wertes

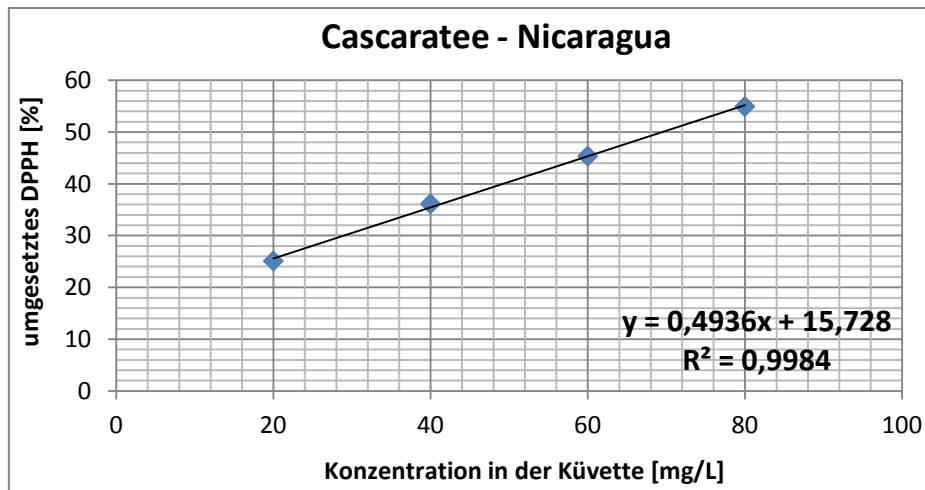


Diagramm 44: Umgesetztes DPPH [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Cascaratee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der jeweiligen Geradengleichung wurden dann die Werte in Tabelle 74 errechnet.

Tabelle 74: Errechnete Ergebnisse der Cascara aus dem DPPH-Versuch

<b>EC<sub>50</sub> [g Probe/g DPPH]</b>	<b>5,70</b>
<b>TE [mg/g]</b>	<b>25,82</b>
<b>TE [mmol/g]</b>	<b>0,10</b>
<b>IC<sub>50</sub> [mg/L]</b>	<b>101,50</b>

### 4.2.3 Zusammenfassung der Bestimmung der antioxidativen Aktivität mittels DPPH-Methode

Zwecks besserer Vergleichbarkeit sind unten stehend alle Ergebnisse der Radikalfängeranalyse der Kaffeesorten und der Cascara länderspezifisch aufgelistet.

#### Kaffee

In der nachstehenden Tabelle 75 sind die errechneten Ergebnisse des DPPH-Versuchs entsprechend der Zubereitungsart zusammengefasst und in den Diagrammen 45 und 46 graphisch dargestellt.

Tabelle 75: Arabicakaffeebohnen aus Nicaragua

Nicaragua	EC <sub>50</sub> [g Probe/ g DPPH]	TE [mg/g]	TE [mmol/g]	IC <sub>50</sub> [mg/L]
Röstkaffee	3,46	42,50	0,17	58,91
Rohkaffee	2,12	69,57	0,28	35,99
Espresso	3,50	42,02	0,17	57,91
Filterkaffee	3,99	36,93	0,15	65,44

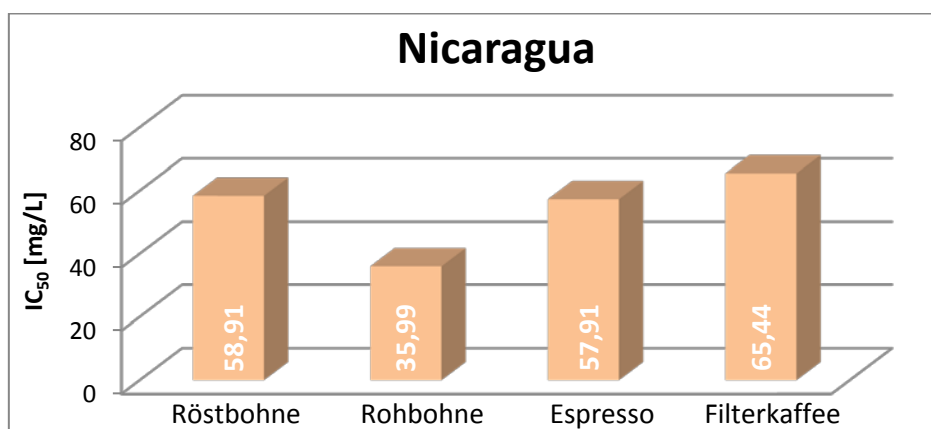


Diagramm 45: Vergleich der IC<sub>50</sub>-Werte der Nicaraguabohne

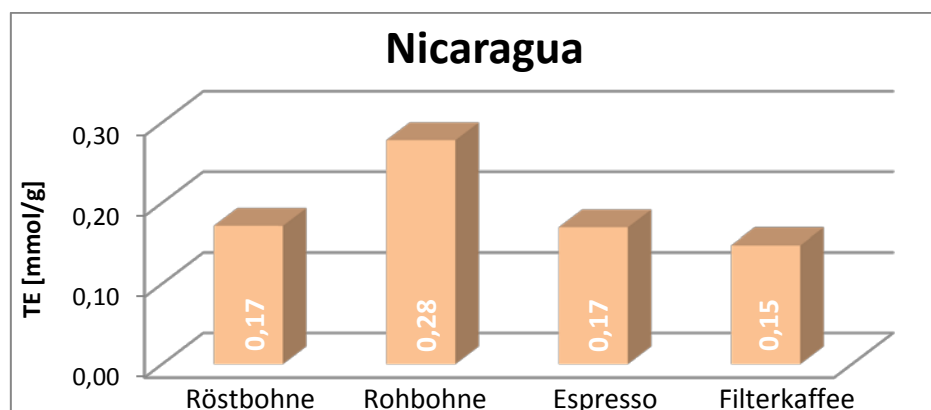


Diagramm 46: Vergleich der TE-Wert der Nicaraguabohne



In der nachstehenden Tabelle 76 sind die errechneten Ergebnisse des DPPH-Versuchs entsprechend der Zubereitungsart zusammengefasst und in den Diagrammen 47 und 48 graphisch dargestellt.

Tabelle 76: Arabicabohnen aus Brasilien

<b>Brasilien</b>	<b>EC<sub>50</sub> [g Probe/ g DPPH]</b>	<b>TE [mg/g]</b>	<b>TE [mmol/g]</b>	<b>IC<sub>50</sub> [mg/L]</b>
<b>Röstkaffee</b>	3,53	41,71	0,17	60,04
<b>Rohkaffee</b>	2,26	65,06	0,26	38,49
<b>Espresso</b>	3,54	41,62	0,17	58,51
<b>Filterkaffee</b>	4,02	36,65	0,15	66,44

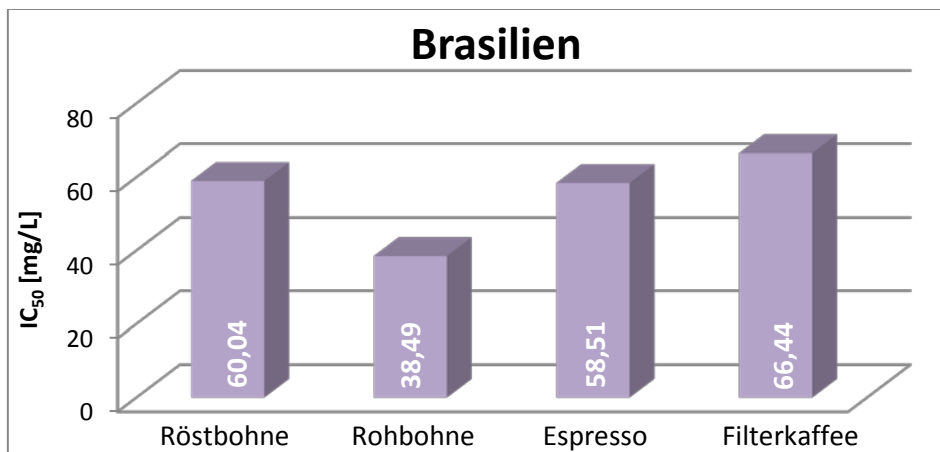


Diagramm 47: Vergleich der IC<sub>50</sub>-Werte der Brasilienbohne

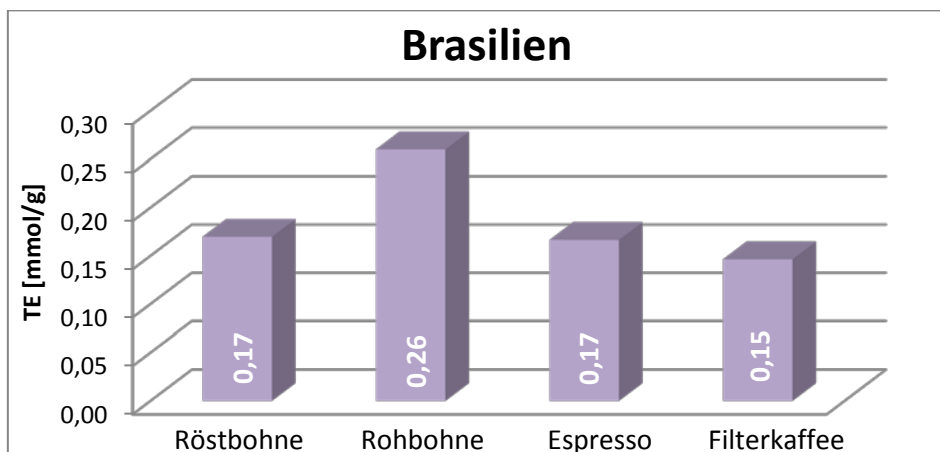


Diagramm 48: Vergleich der TE-Werte der Brasilienbohne

In der nachstehenden Tabelle 77 sind die errechneten Ergebnisse des DPPH-Versuchs entsprechend der Zubereitungsart zusammengefasst und in den Diagrammen 49 und 50 graphisch dargestellt.

Tabelle 77: Arabicabohnen aus Äthiopien

Äthiopien	EC <sub>50</sub> [g Probe/ g DPPH]	TE [mg/g]	TE [mmol/g]	IC <sub>50</sub> [mg/L]
Röstkaffee	2,07	71,28	0,28	35,13
Rohkaffee	1,96	75,26	0,30	33,27
Espresso	2,57	57,19	0,23	42,52
Filterkaffee	3,62	40,72	0,16	59,42

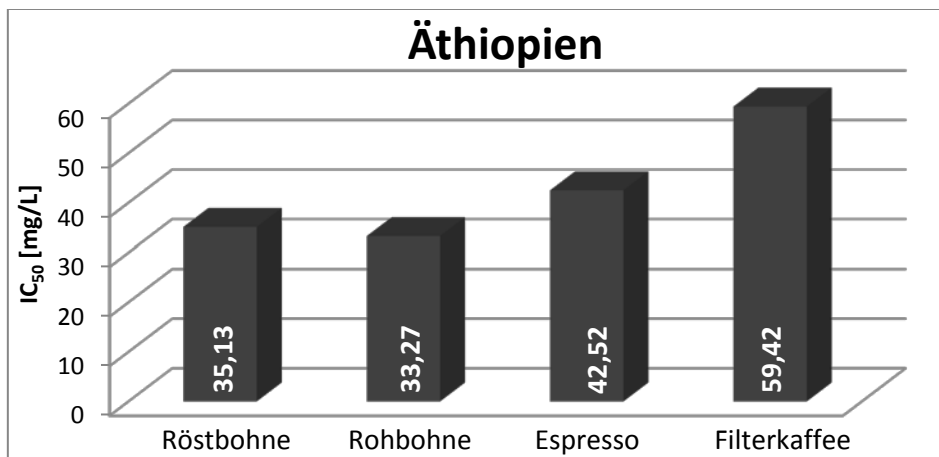


Diagramm 49: Vergleich der IC<sub>50</sub>-Werte der Äthiopiensbohne

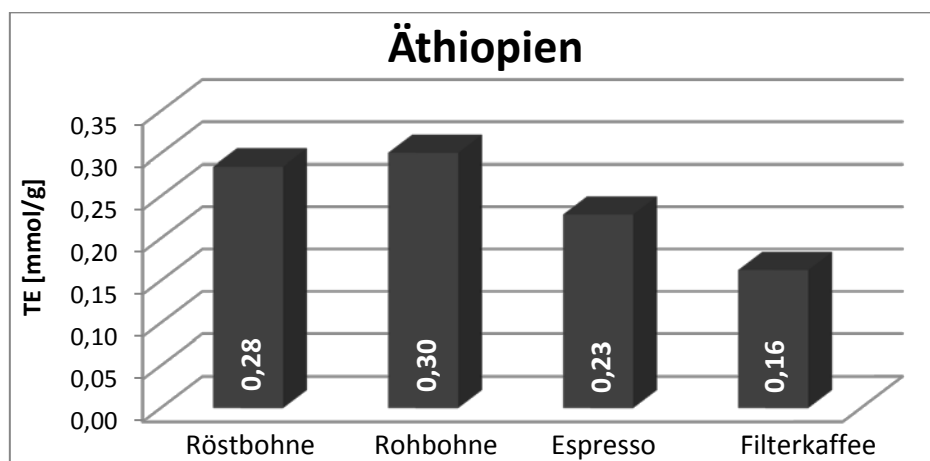


Diagramm 50: Vergleich der TE-Werte der Äthiopiensbohne

In der nachstehenden Tabelle 78 sind die errechneten Ergebnisse des DPPH-Versuchs entsprechend der Zubereitungsart zusammengefasst und in den Diagrammen 51 und 52 graphisch dargestellt.

Tabelle 78: Robustabohnen aus Ecuador

<i>Ecuador</i>	EC <sub>50</sub> [g Probe/ g DPPH]	TE [mg/g]	TE [mmol/g]	IC <sub>50</sub> [mg/L]
<b>Röstkaffee</b>	1,93	76,15	0,30	34,41
<b>Rohkaffee</b>	1,42	103,53	0,41	25,31
<b>Espresso</b>	2,51	58,70	0,23	41,48
<b>Filterkaffee</b>	3,33	44,18	0,18	54,82

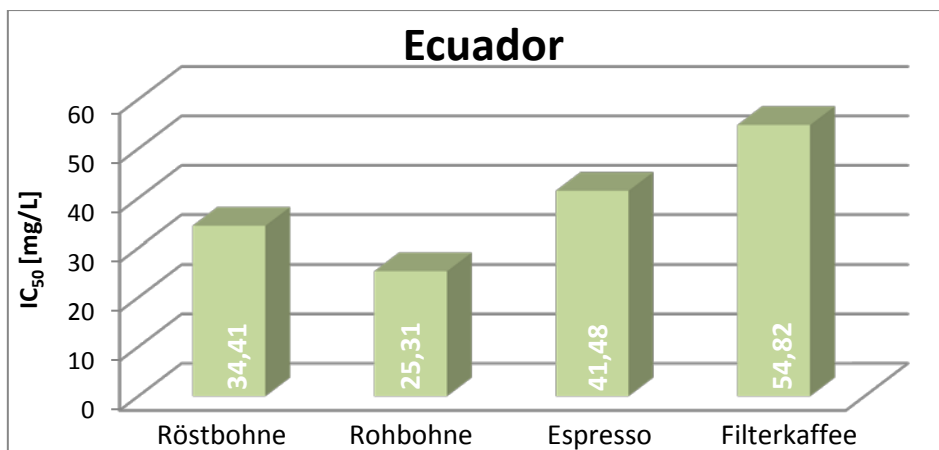


Diagramm 51: Vergleich der IC<sub>50</sub>-Werte der Ecuadorbohne

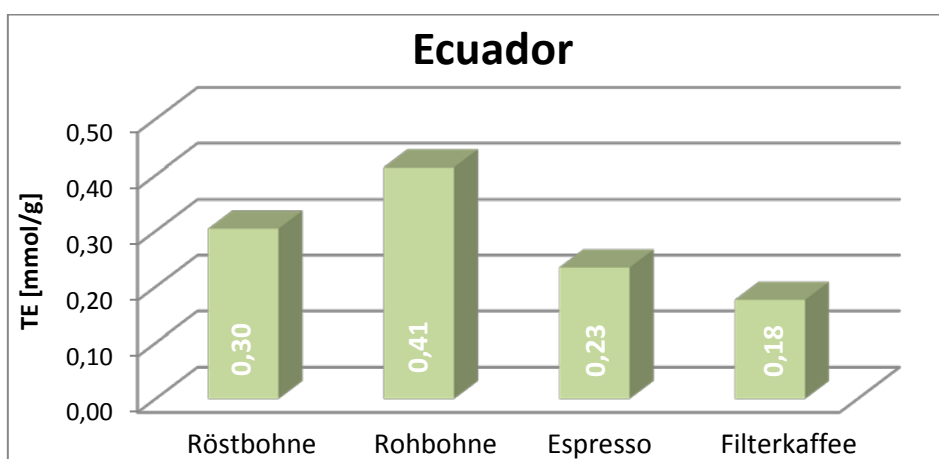


Diagramm 52: Vergleich der TE-Werte der Ecuadorbohne

## Cascara

In der nachstehenden Tabelle 79 sind die errechneten Ergebnisse des DPPH-Versuchs entsprechend der Zubereitungsart zusammengefasst und in den Diagrammen 51 und 52 graphisch dargestellt.

Tabelle 79: Cascara aus Nicaragua

<b>Cascara</b>	<b>EC<sub>50</sub> [g Probe/ g DPPH]</b>	<b>TE [mg/g]</b>	<b>TE [mmol/g]</b>	<b>IC<sub>50</sub> [mg/L]</b>
<b>Cascaraextrakt</b>	3,90	37,74	0,15	69,43
<b>Cascaratee</b>	5,70	25,82	0,10	101,50

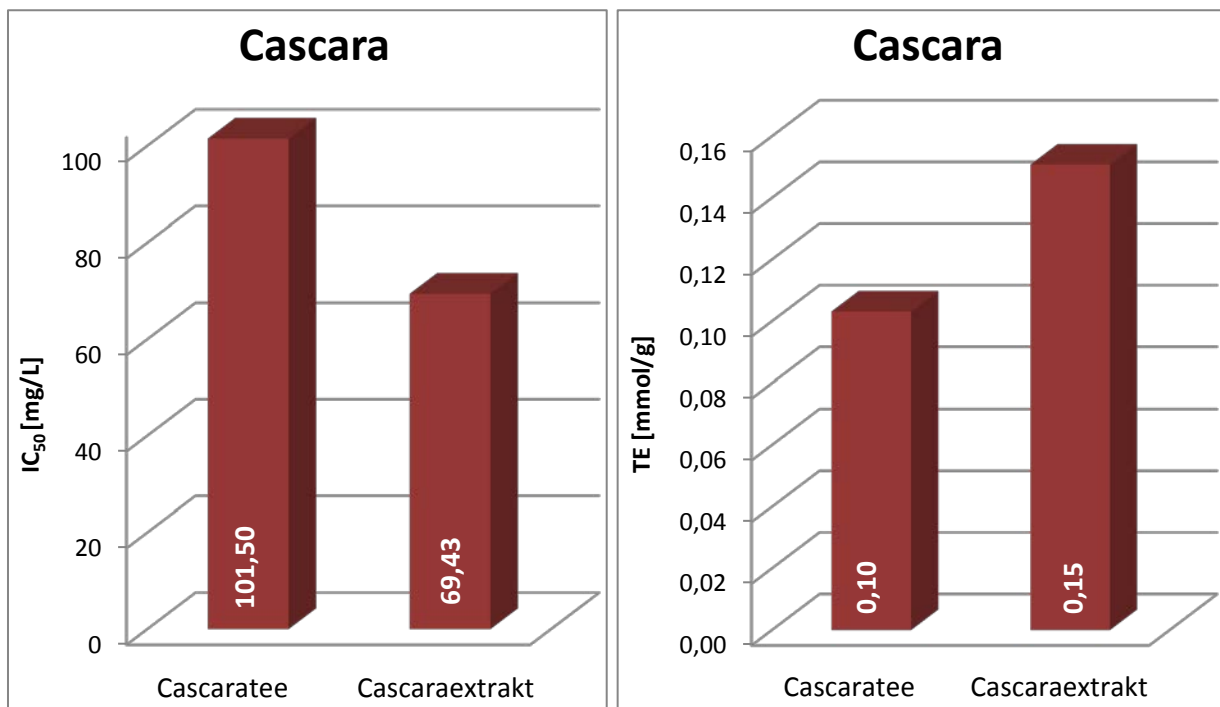


Diagramm 53 und 54: Vergleich der IC<sub>50</sub>- und TE-Werte der Cascara

### 4.3 Antioxidative Aktivität mittels ABTS

Im Folgenden werden mittels ABTS-Methode die antioxidative Aktivität der einzelnen Kaffeebohnsorten und der Cascara bzw. deren Heißgetränke bestimmt.

#### Trolox-Kalibrationsgerade

Für die Darstellung der Ergebnisse der Radikalfängerkapazität muss eine Trolox-Kalibrationsgerade erstellt werden, um die Resultate vergleichbar präsentieren zu können. Die für die Gerade gemessenen Extinktionswerte und die dazugehörigen Konzentrationen sind der Tabelle 80 und dem Diagramm 55 zu entnehmen.

Die Absorption der hergestellten ABTS-Lösung wird vor der Inkubation mit der Probe gemessen und zur Berechnung herangezogen. Sie betrug **0,77968**.

Tabelle 80: Extinktionswerte der Trolox-Gerade für die Bestimmung der antioxidativen Aktivität

C [g/L]	Extinktion	C <sub>Trolox</sub> Küvette [mg/L]	restl. ABTS [%]	umgesetztes ABTS [%]
0,05	0,30969	5	47,6	52,4
0,04	0,37791	4	58,1	41,9
0,03	0,43907	3	67,4	32,6
0,02	0,49991	2	76,8	23,2
0,01	0,56003	1	86,0	14,0

Mit diesen Daten wurde folgende Gerade erstellt:

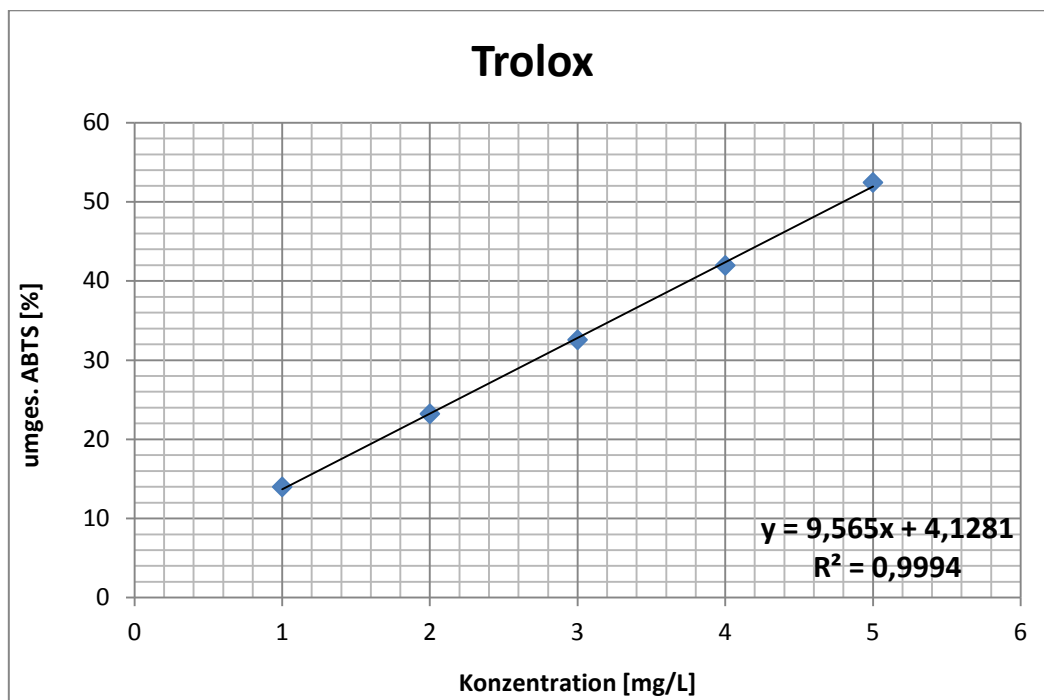


Diagramm 55 : Absorption in Abhängigkeit der Probenkonzentration von Trolox [mg/L] nach der ABTS-Methode

Zur Berechnung des IC<sub>50</sub>-Wertes wird in die Geradengleichung des Diagrammes 55 für den Ordinatenwert 50 eingesetzt und nach dem Abszissenwert umgeformt. Das Ergebnis der antioxidativen Aktivität von Trolox nach der ABTS-Methode lautet:

$$IC_{50} \quad 4,80 \text{ mg/L}$$

### 4.3.1 Kaffee

Es werden wie bei der DPPH-Methode vier Verdünnungen der jeweiligen Proben hergestellt und die Absorptionen photometrisch bestimmt. Anschließend werden aus den erhaltenen Werten, wie bei der Auswertung der vorherigen Methode, die effektive Probenkonzentration und der IC<sub>50</sub>-Wert berechnet.

#### 4.3.1.1 Arabicabohnen aus Nicaragua

In Tabelle 81 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 56 erstellt.

Tabelle 81: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Rohkaffees

C <sub>Proben</sub> [g/L]	Extinktion	C <sub>Küvette</sub> [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,060	0,28665	60	36,8	63,2
0,040	0,39685	40	50,9	49,1
0,020	0,50768	20	65,1	34,9
0,010	0,56161	10	72,0	28,0

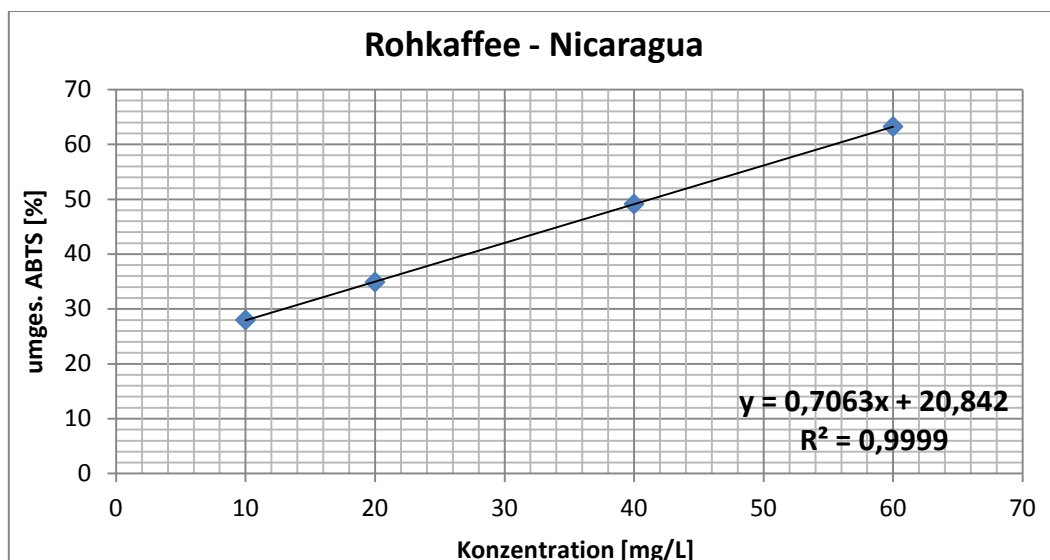


Diagramm 56: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des IC<sub>50</sub>-Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 56 wurden dann die Werte in Tabelle 82 errechnet.

Tabelle 82: Errechnete Ergebnisse der Nicaraguabohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	116,17
TE [mmol/g]	0,46
IC <sub>50</sub> [mg/L]	41,28

In Tabelle 83 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 57 erstellt.

Tabelle 83: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Röstkaffees

C <sub>Proben</sub> [g/L]	Extinktion	C <sub>Küvette</sub> [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,060	0,34261	60,00	43,9	56,1
0,040	0,43107	40,00	55,3	44,7
0,020	0,52282	20,00	67,1	32,9
0,010	0,56999	10,00	73,1	26,9

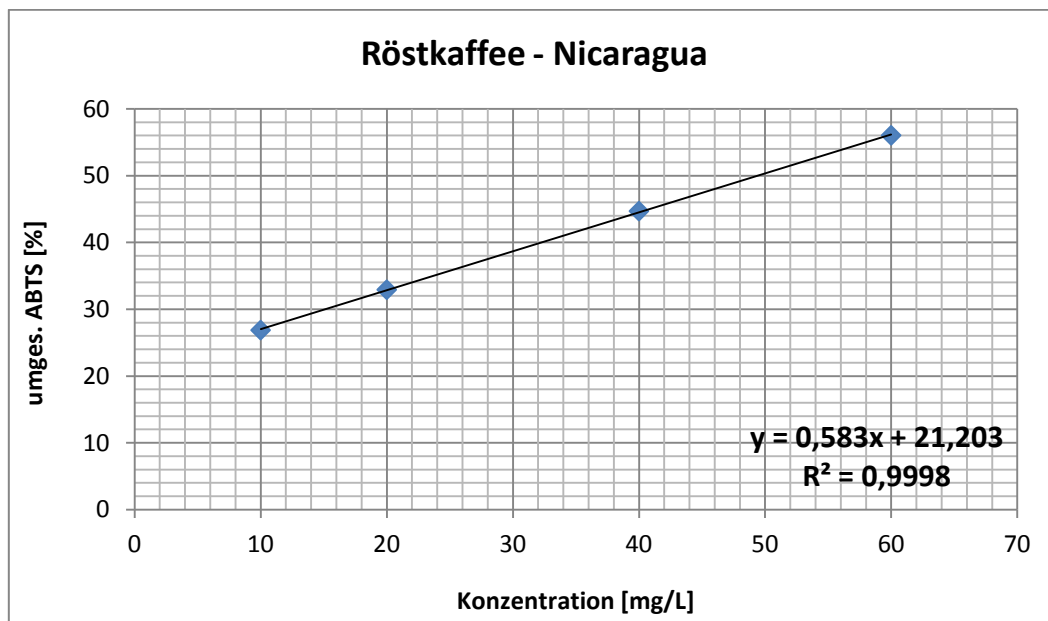


Diagramm 57: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des IC<sub>50</sub>-Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 57 wurden dann die Werte in Tabelle 84 errechnet.

Tabelle 84: Errechnete Ergebnisse der Nicaraguabohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	97,10
TE [mmol/g]	0,39
IC <sub>50</sub> [mg/L]	49,39

In Tabelle 85 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 58 erstellt.

Tabelle 85: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Filterkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,100	0,20093	100	25,8	74,2
0,060	0,36945	60	47,4	52,6
0,024	0,52736	24	67,6	32,4
0,010	0,58956	10	75,6	24,4

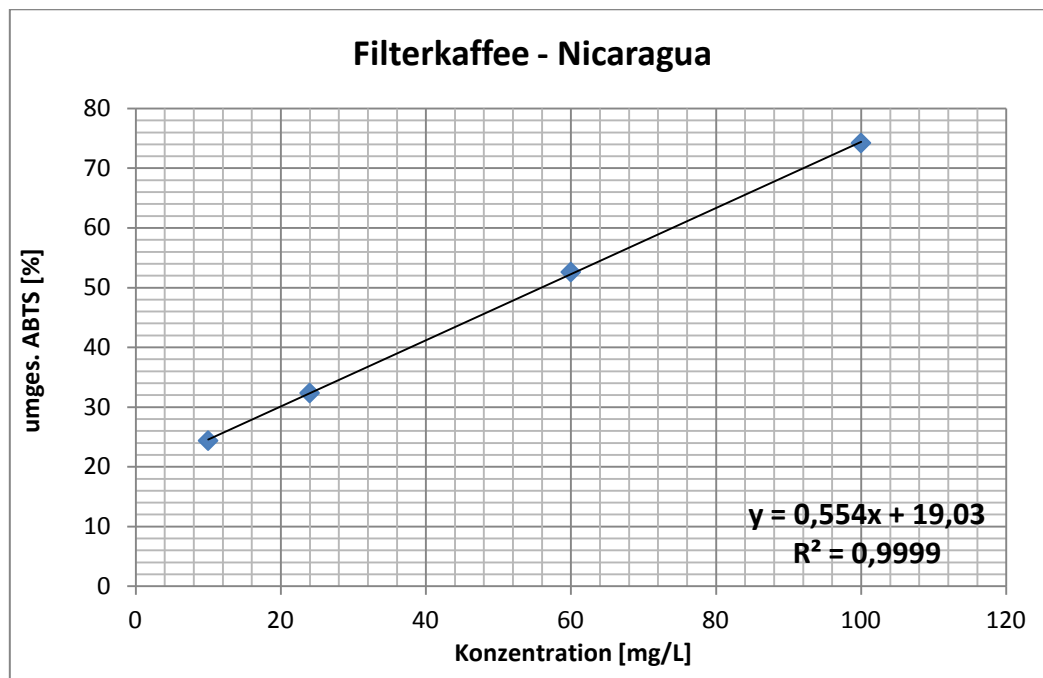


Diagramm 58: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 58 wurden dann die Werte in Tabelle 86 errechnet.

Tabelle 86: Errechnete Ergebnisse der Nicaraguabohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	85,79
TE [mmol/g]	0,34
$IC_{50}$ [mg/L]	55,90



In Tabelle 87 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 59 erstellt.

Tabelle 87: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Espressos

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,100	0,21181	100	27,2	72,8
0,060	0,35989	60	46,2	53,8
0,024	0,50111	24	64,3	35,7
0,010	0,55156	10	70,7	29,3

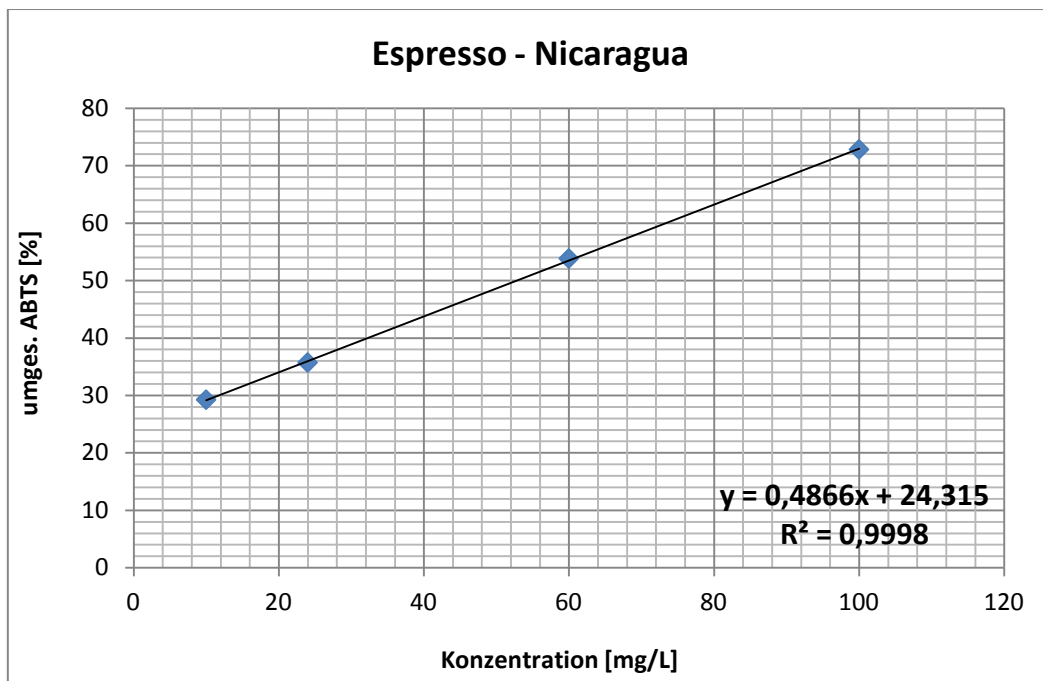


Diagramm 59: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 59 wurden dann die Werte in Tabelle 88 errechnet.

Tabelle 88: Errechnete Ergebnisse der Nicaraguabohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	90,86
TE [mmol/g]	0,36
$IC_{50}$ [mg/L]	52,78

### 4.3.1.2 Arabicabohnen aus Brasilien

In Tabelle 89 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 60 erstellt.

Tabelle 89: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Rohkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,060	0,29401	60,00	37,7	62,3
0,040	0,42037	40,00	53,9	46,1
0,020	0,54082	20,00	69,4	30,6
0,010	0,60732	10,00	77,9	22,1

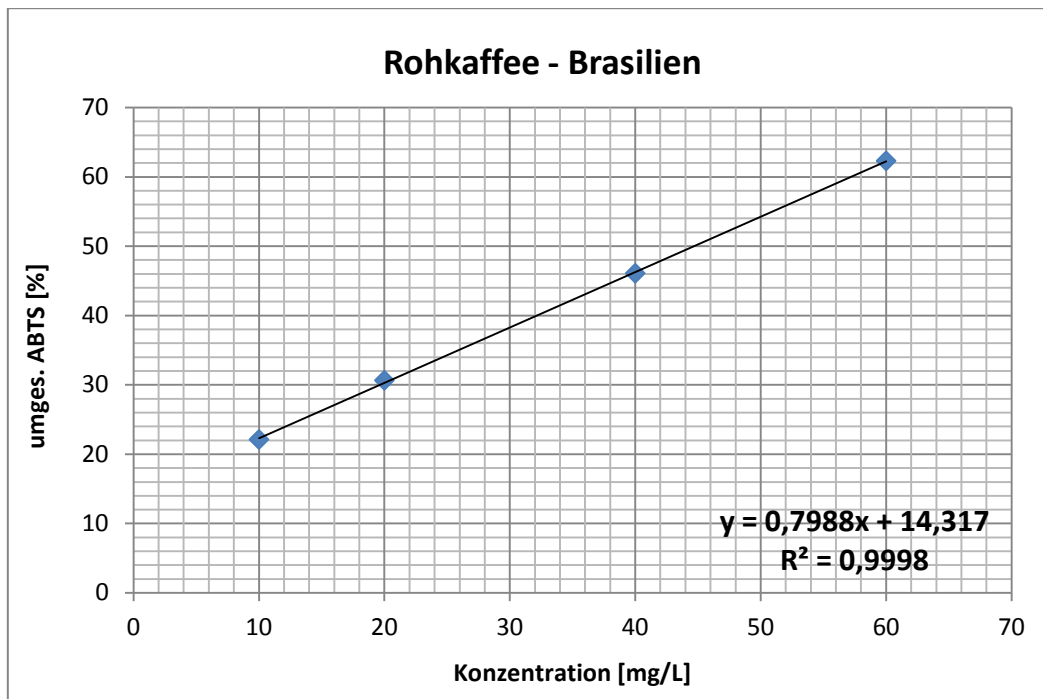


Diagramm 60: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 60 wurden dann die Werte in Tabelle 90 errechnet.

Tabelle 90: Errechnete Ergebnisse der Brasilienbohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	107,36
TE [mmol/g]	0,43
$IC_{50}$ [mg/L]	44,67

In Tabelle 91 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 61 erstellt.

Tabelle 91: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Röstkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,060	0,34012	60,00	43,6	56,4
0,040	0,46947	40,00	60,2	39,8
0,020	0,59968	20,00	76,9	23,1
0,010	0,66861	10,00	85,8	14,2

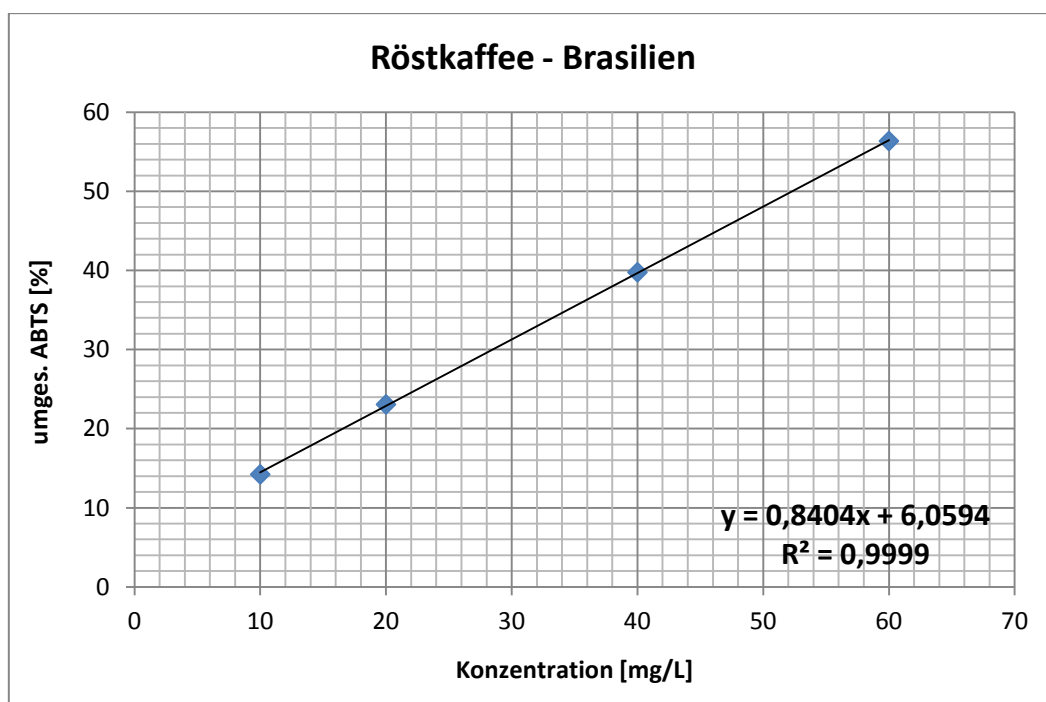


Diagramm 61: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 61 wurden dann die Werte in Tabelle 92 errechnet.

Tabelle 92: Errechnete Ergebnisse der Brasilienbohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	91,72
TE [mmol/g]	0,37
$IC_{50}$ [mg/L]	52,29

In Tabelle 93 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 62 erstellt.

Tabelle 93: *Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Filterkaffees*

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,100	0,22131	100	28,4	71,6
0,060	0,38615	60	49,5	50,5
0,024	0,54956	24	70,5	29,5
0,010	0,61531	10	78,9	21,1

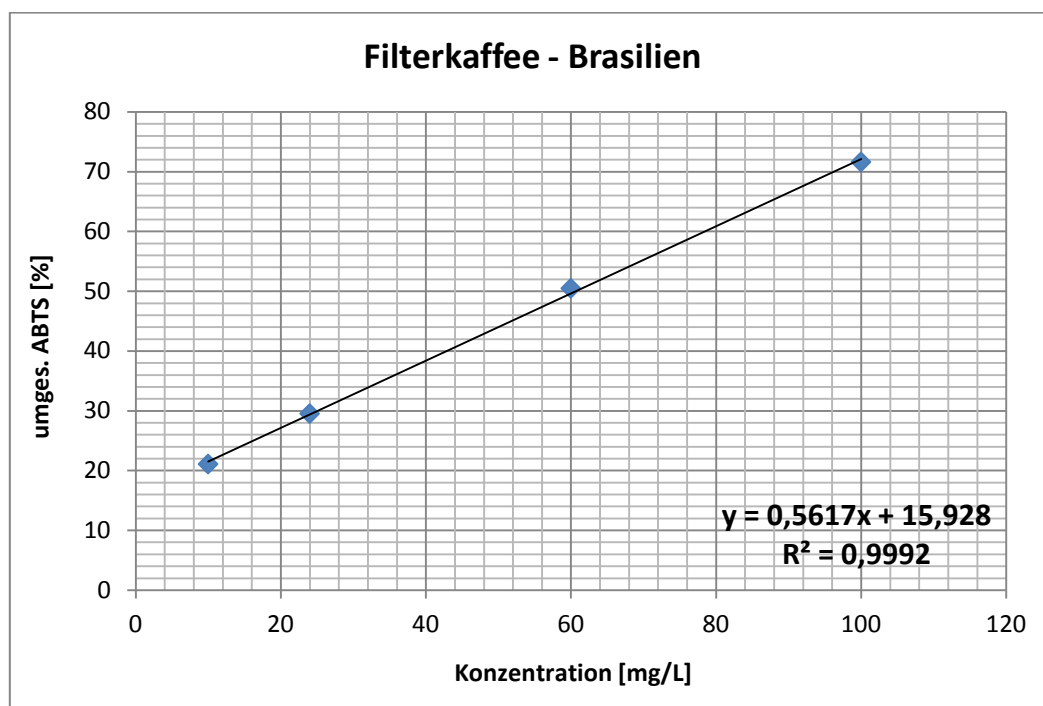


Diagramm 62: *Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes*

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 62 wurden dann die Werte in Tabelle 94 errechnet.

Tabelle 94: *Errechnete Ergebnisse der Brasilienbohne aus dem ABTS-Versuch*

TE [mg/g]	79,06
TE [mmol/g]	0,32
$IC_{50}$ [mg/L]	60,66

In Tabelle 95 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 63 erstellt.

Tabelle 95: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Esspressos

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,100	0,22097	100	28,3	71,7
0,060	0,37028	60	47,5	52,5
0,024	0,52034	24	66,7	33,3
0,010	0,57003	10	73,1	26,9

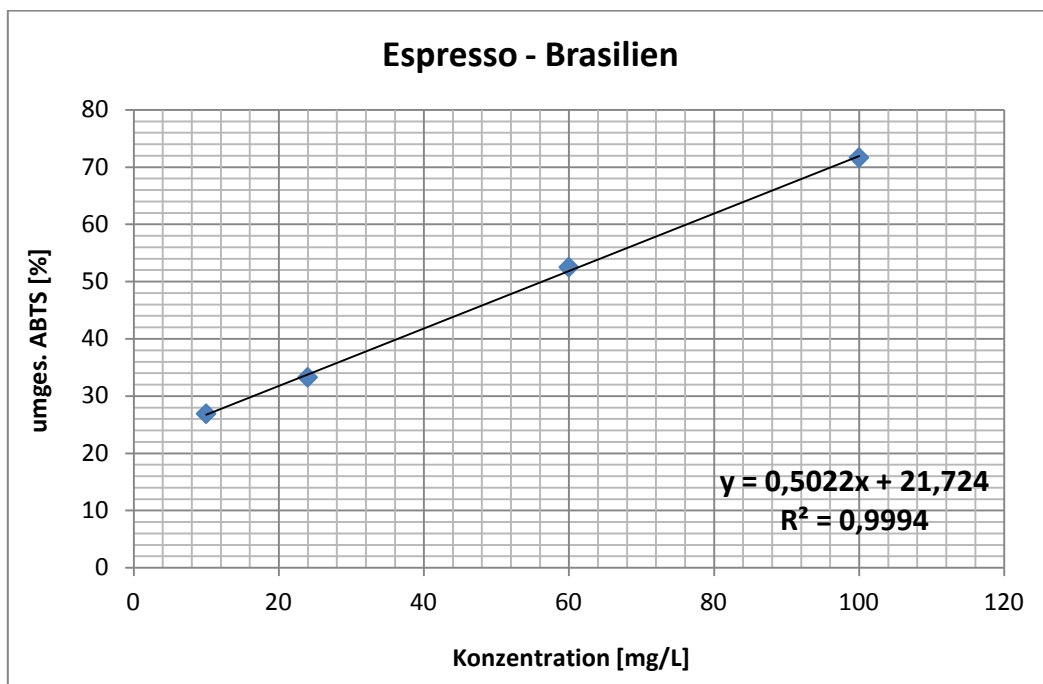


Diagramm 63: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 63 wurden dann die Werte in Tabelle 96 errechnet.

Tabelle 96: Errechnete Ergebnisse der Brasilienbohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	85,18
TE [mmol/g]	0,34
$IC_{50}$ [mg/L]	56,30

### 4.3.1.3 Arabicabohnen aus Äthiopien

In Tabelle 97 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 64 erstellt.

Tabelle 97: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Rohkaffees

C <sub>Proben</sub> [g/L]	Extinktion	C <sub>Küvette</sub> [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,060	0,26916	60,00	34,5	65,5
0,040	0,39337	40,00	50,5	49,5
0,020	0,51179	20,00	65,6	34,4
0,010	0,56966	10,00	73,1	26,9

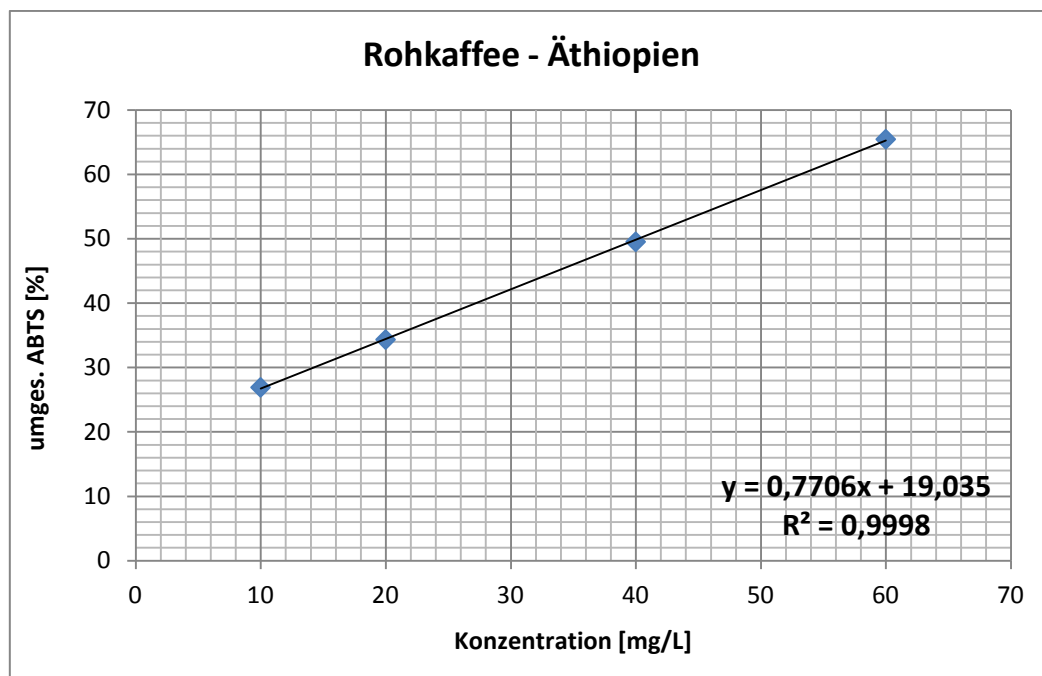


Diagramm 64: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des IC<sub>50</sub>-Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 64 wurden dann die Werte in Tabelle 98 errechnet.

Tabelle 98: Errechnete Ergebnisse der Äthiopenbohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	119,36
TE [mmol/g]	0,48
IC <sub>50</sub> [mg/L]	40,18

In Tabelle 99 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 65 erstellt.

Tabelle 99: *Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Röstkaffees*

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,060	0,29656	60,00	38,0	62,0
0,040	0,40745	40,00	52,3	47,7
0,020	0,51458	20,00	66,0	34,0
0,010	0,57165	10,00	73,3	26,7

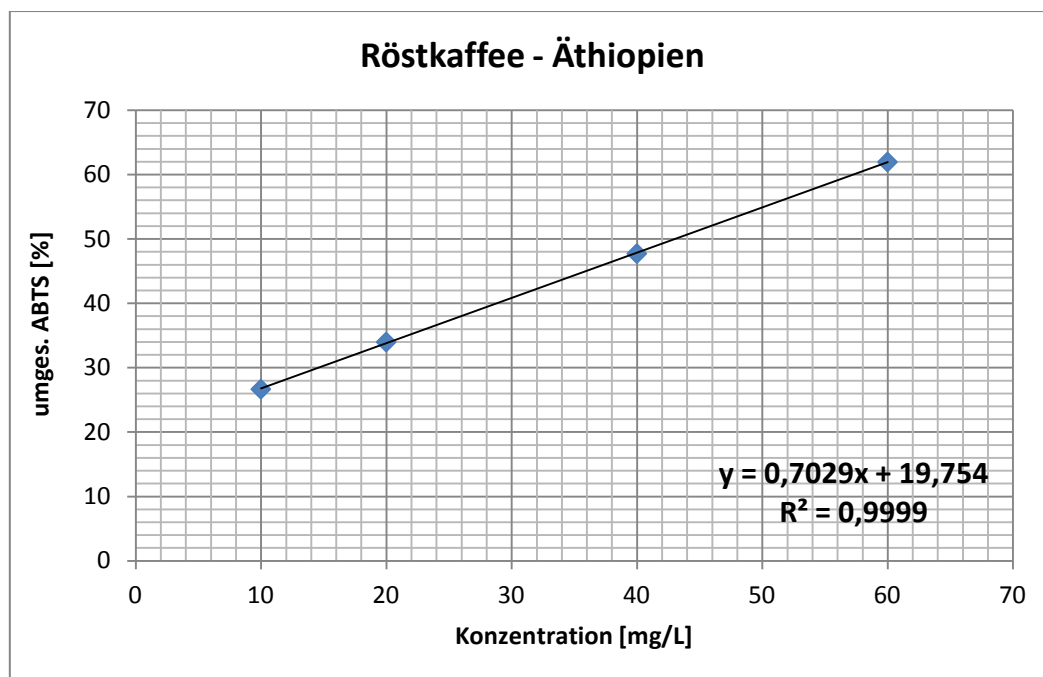


Diagramm 65: *Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes*

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 65 wurden dann die Werte in Tabelle 100 errechnet.

Tabelle 100: *Errechnete Ergebnisse der Äthiopenbohne aus dem ABTS-Versuch*

TE [mg/g]	111,45
TE [mmol/g]	0,45
$IC_{50}$ [mg/L]	43,03

In Tabelle 101 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 66 erstellt.

Tabelle 101: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Filterkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,100	0,20093	100	25,8	74,2
0,060	0,34605	60	44,4	55,6
0,024	0,48036	24	61,6	38,4
0,010	0,54056	10	69,3	30,7

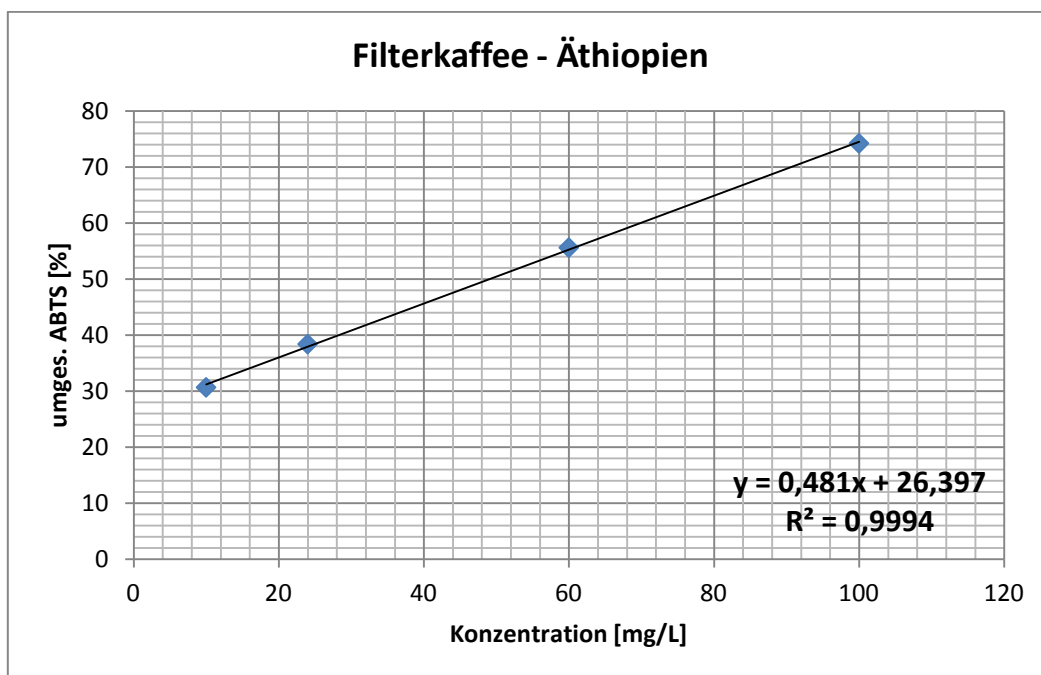


Diagramm 66: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 66 wurden dann die Werte in Tabelle 102 errechnet.

Tabelle 102: Errechnete Ergebnisse der Nicaraguabohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	97,73
TE [mmol/g]	0,39
$IC_{50}$ [mg/L]	49,07



In Tabelle 103 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 67 erstellt.

Tabelle 103: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Essentos

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,100	0,20003	100	25,7	74,3
0,060	0,33889	60	43,5	56,5
0,024	0,45956	24	58,9	41,1
0,010	0,51211	10	65,7	34,3

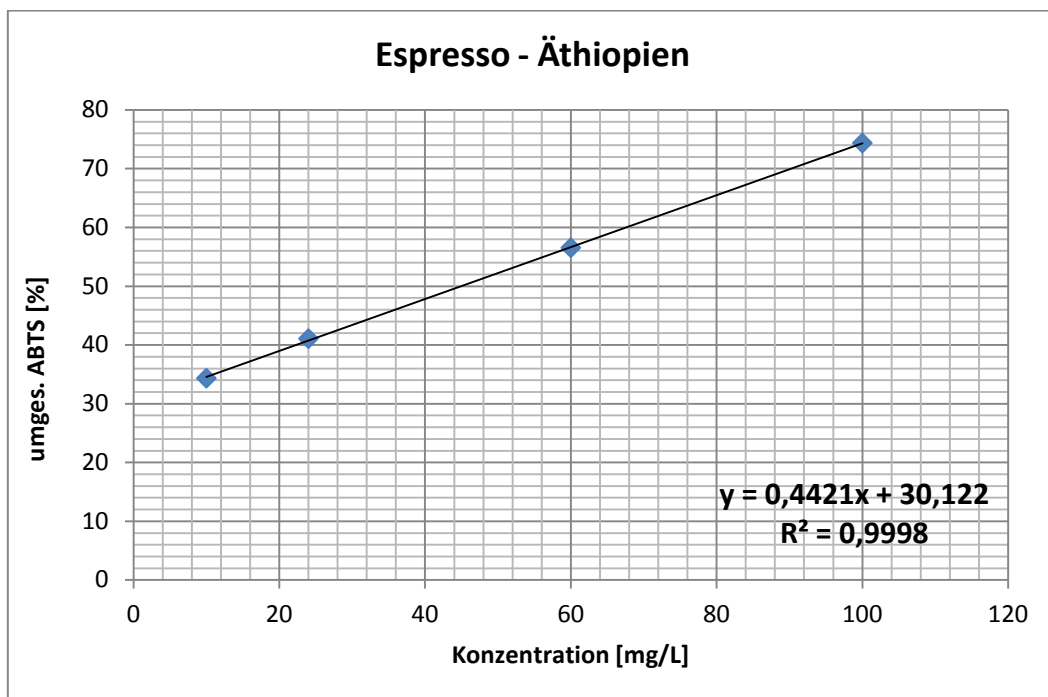


Diagramm 67: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 67 wurden dann die Werte in Tabelle 104 errechnet.

Tabelle 104: Errechnete Ergebnisse der Äthiopiensbohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	106,66
TE [mmol/g]	0,43
$IC_{50}$ [mg/L]	44,96

#### 4.3.1.4 Robustabohnen aus Ecuador

In Tabelle 105 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 68 erstellt.

Tabelle 105: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Rohkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,04	0,29994	40	38,5	61,5
0,03	0,38156	30	48,9	51,1
0,02	0,46237	20	59,3	40,7
0,01	0,54154	10	69,5	30,5

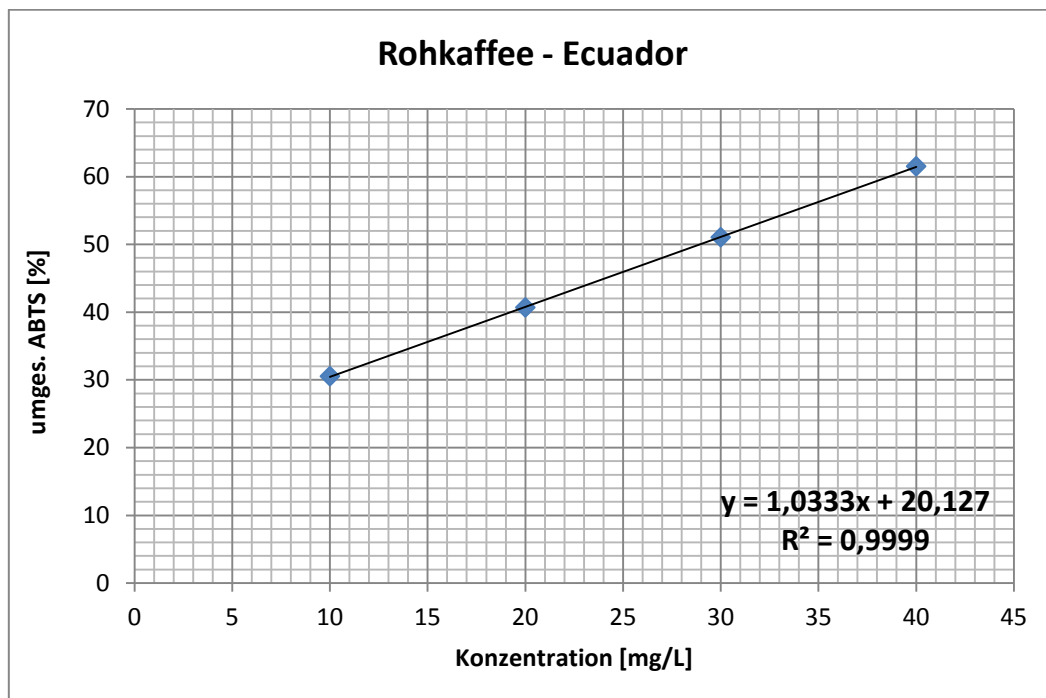


Diagramm 68: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Rohkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 68 wurden dann die Werte in Tabelle 106 errechnet.

Tabelle 106: Errechnete Ergebnisse der Robustabohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	165,89
TE [mmol/g]	0,66
$IC_{50}$ [mg/L]	28,91

In Tabelle 107 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 69 erstellt.

Tabelle 107: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Röstkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,04	0,32357	40	41,5	58,5
0,03	0,40135	30	51,5	48,5
0,02	0,48951	20	62,8	37,2
0,01	0,56996	10	73,1	26,9

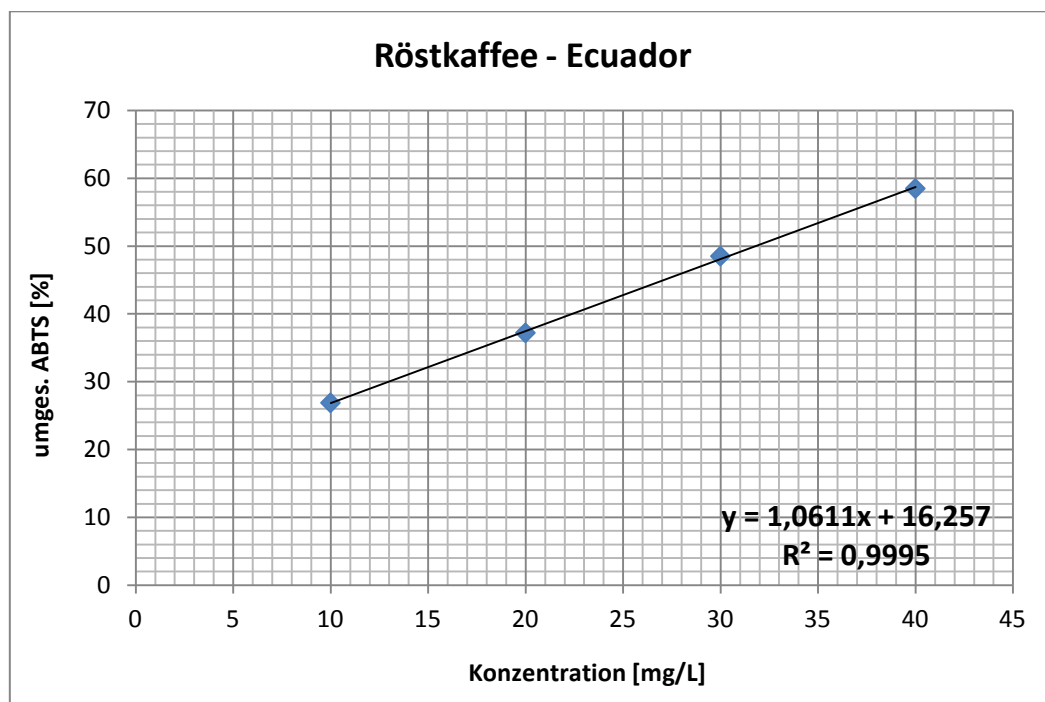


Diagramm 69: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Röstkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 69 wurden dann die Werte in Tabelle 108 errechnet.

Tabelle 108: Errechnete Ergebnisse der Robustabohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	150,81
TE [mmol/g]	0,60
$IC_{50}$ [mg/L]	31,80

In Tabelle 109 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 70 erstellt.

Tabelle 109: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Filterkaffees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,080	0,22181	80	28,4	71,6
0,060	0,33823	60	43,4	56,6
0,024	0,53389	24	68,5	31,5
0,010	0,61991	10	79,5	20,5

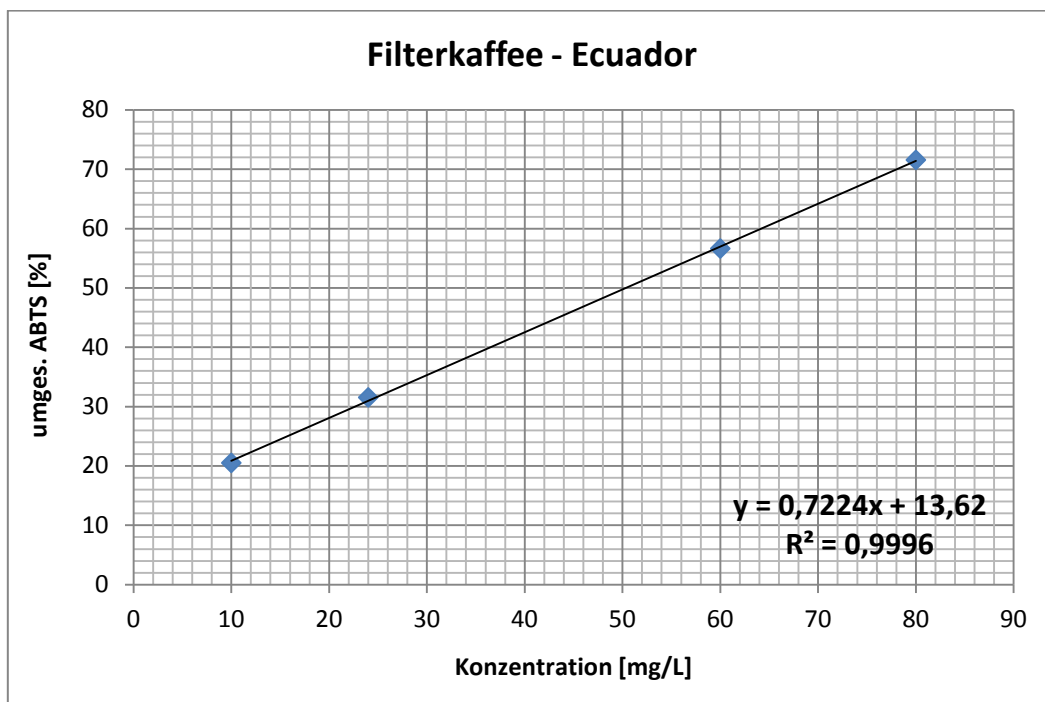


Diagramm 70: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Filterkaffee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 70 wurden dann die Werte in Tabelle 110 errechnet.

Tabelle 110: Errechnete Ergebnisse der Robustabohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	95,24
TE [mmol/g]	0,38
$IC_{50}$ [mg/L]	50,36

In Tabelle 111 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 71 erstellt.

Tabelle 111: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Esspressos

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,100	0,20003	100	25,7	74,3
0,060	0,32889	60	42,2	57,8
0,024	0,42956	24	55,1	44,9
0,010	0,47211	10	60,6	39,4

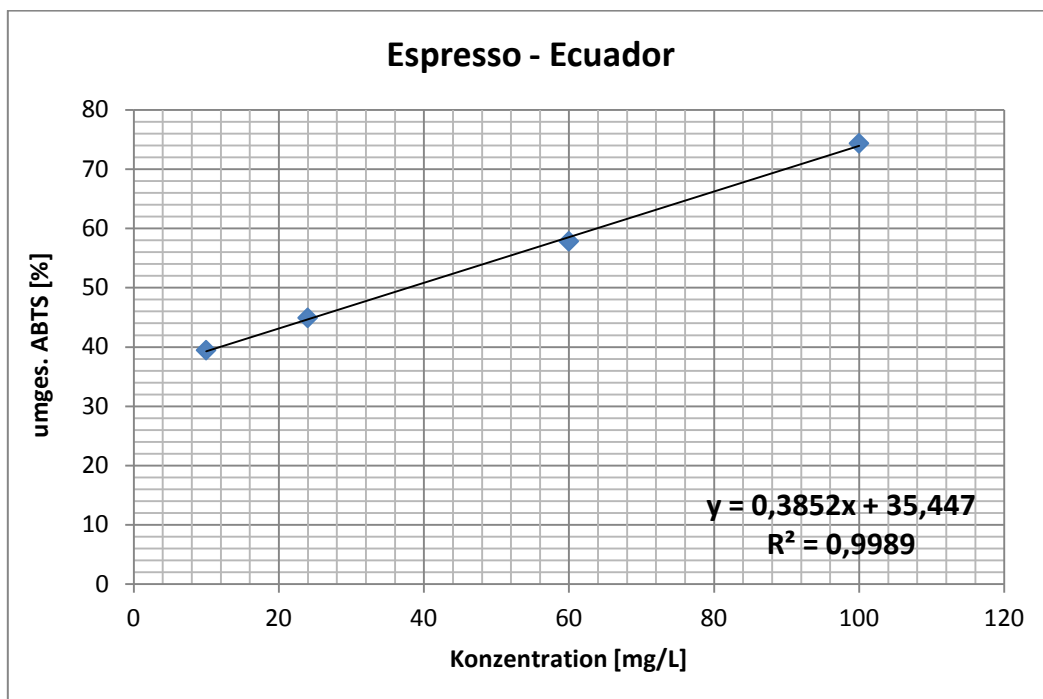


Diagramm 71: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Espresso für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 71 wurden dann die Werte in Tabelle 112 errechnet.

Tabelle 112: Errechnete Ergebnisse der Robustabohne aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	126,94
TE [mmol/g]	0,51
$IC_{50}$ [mg/L]	37,78

### 4.3.2 Cascara

Es werden wie bei der DPPH-Methode vier Verdünnungen der jeweiligen Proben hergestellt und die Absorptionen photometrisch bestimmt. Anschließend werden aus den erhaltenen Werten, wie bei der Auswertung der vorherigen Methode die effektive Probenkonzentration und der IC<sub>50</sub>-Wert berechnet.

#### Cascaraextrakt aus Nicaragua

In Tabelle 113 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 72 erstellt.

Tabelle 113: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Cascaraextraktes

C <sub>Proben</sub> [g/L]	Extinktion	C <sub>Küvette</sub> [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,06	0,31521	60,00	40,4	59,6
0,04	0,41982	40,00	53,8	46,2
0,02	0,52262	20,00	67,0	33,0
0,01	0,56991	10,00	73,1	26,9

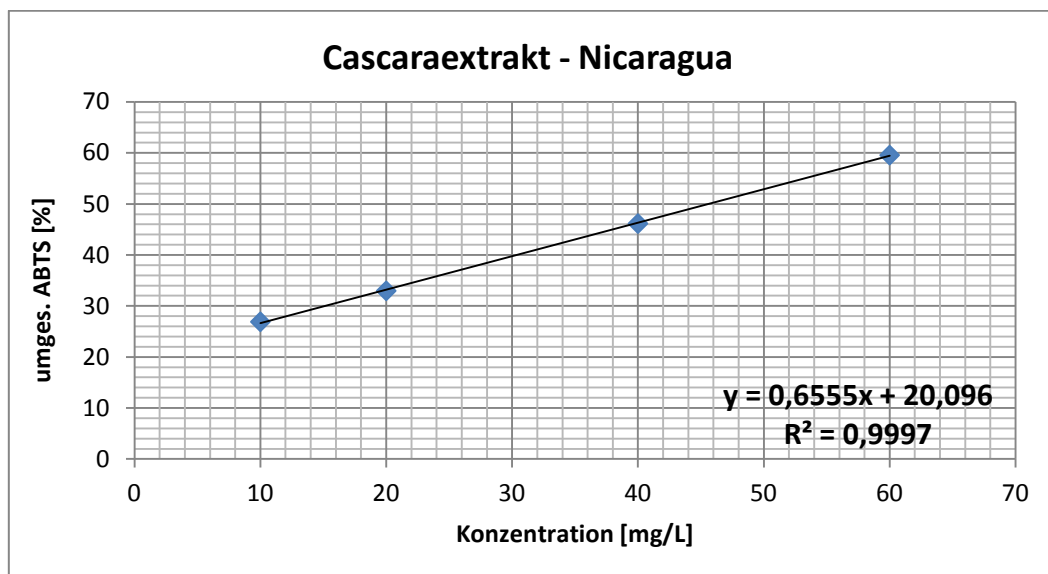


Diagramm 72: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Cascaraextrakt für die Bestimmung des IC<sub>50</sub>-Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 72 wurden dann die Werte in Tabelle 114 errechnet.

Tabelle 114: Errechnete Ergebnisse der Cascara aus dem ABTS-Versuch

TE [mg/g]	105,13
TE [mmol/g]	0,42
IC <sub>50</sub> [mg/L]	45,62

### Cascaratee aus Nicaragua

In Tabelle 115 sind die gemessenen Extinktionen sowie die dazugehörigen Konzentrationen und die daraus errechneten Werte zusammengefasst. Mit diesen Daten wurde anschließend das Diagramm 73 erstellt.

Tabelle 115: Extinktionen, effektive Probenkonzentrationen und umgesetztes ABTS des Cascaratees

$C_{\text{Proben}}$ [g/L]	Extinktion	$C_{\text{Küvette}}$ [mg/L]	Rest ABTS [%]	Umgesetztes ABTS [%]
0,12	0,24640	120	31,6	68,4
0,08	0,37033	80	47,5	52,5
0,04	0,50023	40	64,2	35,8
0,01	0,59956	10	76,9	23,1

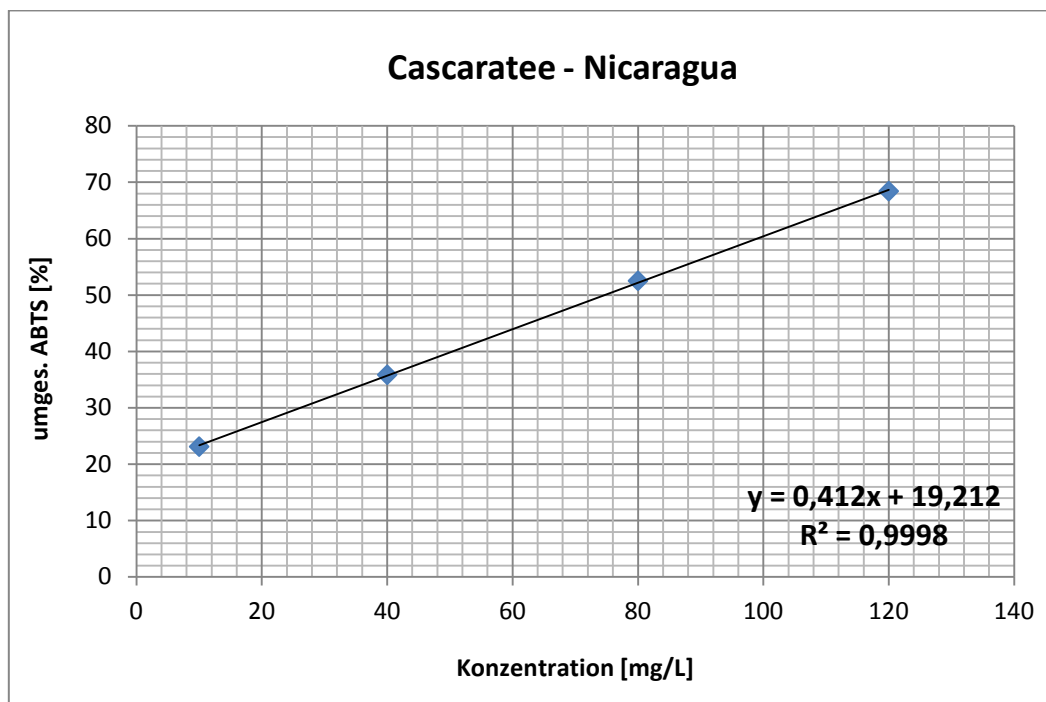


Diagramm 73: Umgesetztes ABTS [%] in Abhängigkeit der Probenkonzentration vom Cascaratee für die Bestimmung des  $IC_{50}$ -Wertes

Mittels der Geradengleichung aus dem Diagramm 73 wurden dann die Werte in Tabelle 116 errechnet.

Tabelle 116: Errechnete Ergebnisse der Cascara aus dem ABTS-Versuch

<b>TE [mg/g]</b>	<b>64,17</b>
<b>TE [mmol/g]</b>	<b>0,26</b>
<b><math>IC_{50}</math> [mg/L]</b>	<b>74,73</b>

### 4.3.3 Zusammenfassung der Bestimmung der antioxidativen Aktivität mittels ABTS-Methode

Zwecks besserer Vergleichbarkeit sind unten stehend alle Ergebnisse der Radikalfängeranalyse der Kaffeesorten und der Cascara länderspezifisch aufgelistet.

#### Kaffee

In der nachstehenden Tabelle 117 sind die errechneten Ergebnisse des ABTS-Versuchs entsprechend der Zubereitungsart zusammengefasst und in den Diagrammen 74 und 75 graphisch dargestellt.

Tabelle 117: Arabicakaffeebohnen aus Nicaragua

Nicaragua	IC <sub>50</sub> [mg/L]	TE [mg/g]	TE [mmol/g]
Röstkaffee	49,39	97,10	0,39
Rohkaffee	41,28	116,17	0,46
Filterkaffee	55,90	85,79	0,34
Espresso	52,78	90,86	0,36

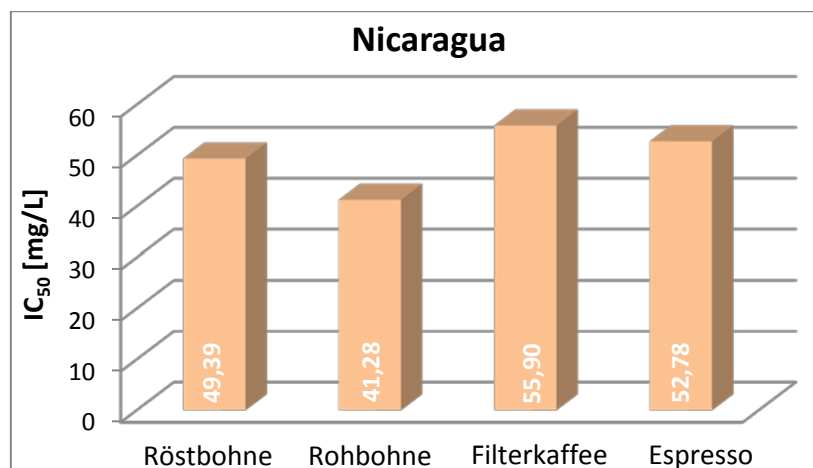


Diagramm 74: Vergleich der IC<sub>50</sub>-Werte der Nicaraguabohne

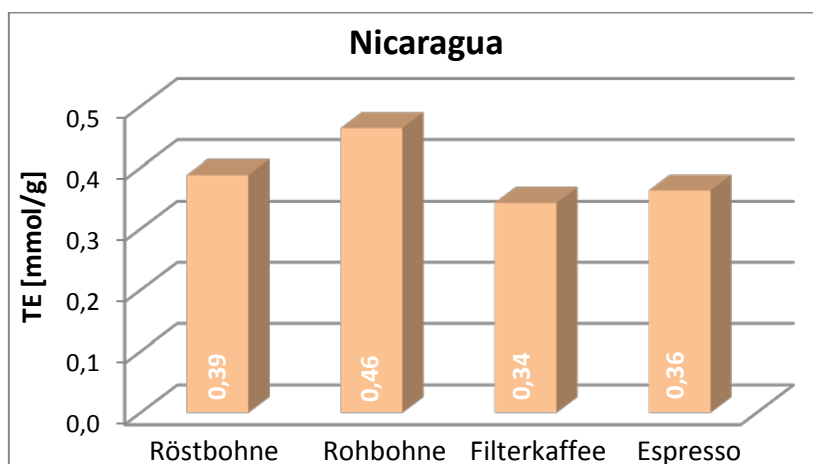


Diagramm 75: Vergleich der TE-Werte der Nicaraguabohne



In der nachstehenden Tabelle 118 sind die errechneten Ergebnisse des ABTS-Versuchs entsprechend der Zubereitungsart zusammengefasst und in den Diagrammen 76 und 77 graphisch dargestellt.

Tabelle 118: Arabicakaffeebohnen aus Brasilien

<b>Brasilien</b>	<b>IC<sub>50</sub> [mg/L]</b>	<b>TE [mg/g]</b>	<b>TE [mmol/g]</b>
<b>Röstkaffee</b>	52,29	91,72	0,37
<b>Rohkaffee</b>	44,67	107,36	0,43
<b>Filterkaffee</b>	60,66	79,06	0,32
<b>Espresso</b>	56,30	85,18	0,34

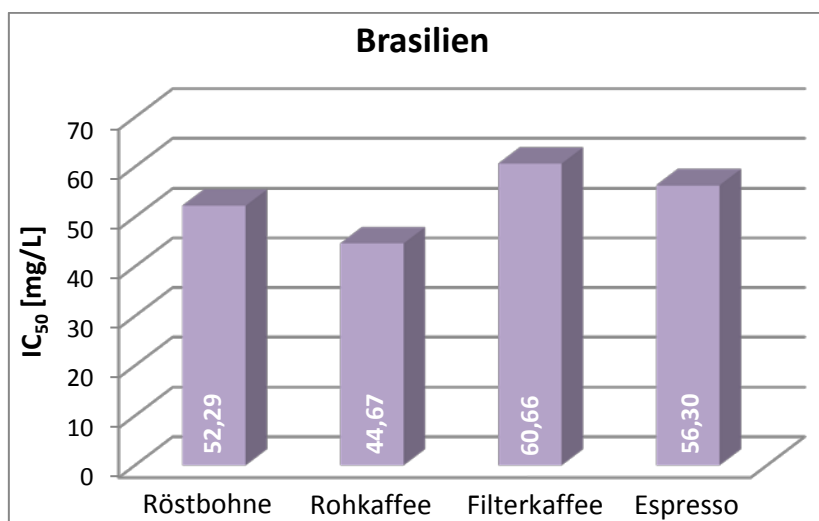


Diagramm 76: Vergleich der IC<sub>50</sub>-Werte der Brasilienbohne

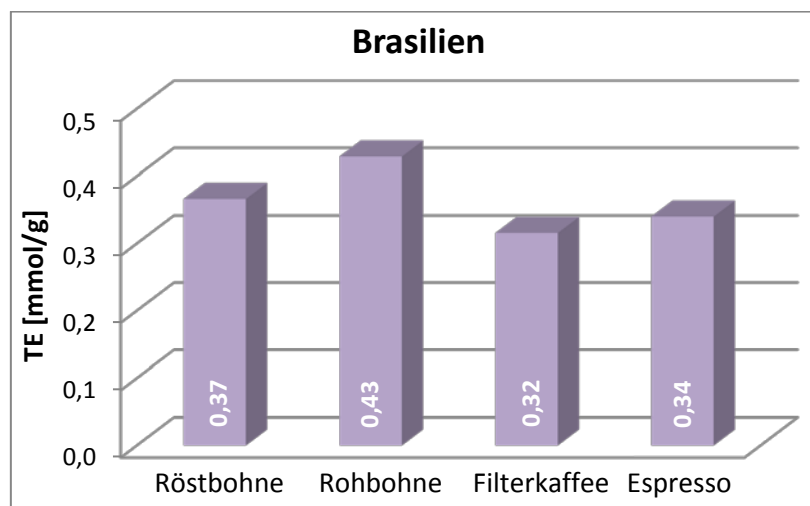


Diagramm 77: Vergleich der TE-Werte der Brasilienbohne

In der nachstehenden Tabelle 119 sind die errechneten Ergebnisse des ABTS-Versuchs entsprechend der Zubereitungsart zusammengefasst und in den Diagrammen 78 und 79 graphisch dargestellt.

Tabelle 119: Arabicakaffeebohnen aus Äthiopien

Äthiopien	IC <sub>50</sub> [mg/L]	TE [mg/g]	TE [mmol/g]
Röstkaffee	43,03	111,45	0,45
Rohkaffee	40,18	119,36	0,48
Filterkaffee	49,07	97,73	0,39
Espresso	44,96	106,66	0,43

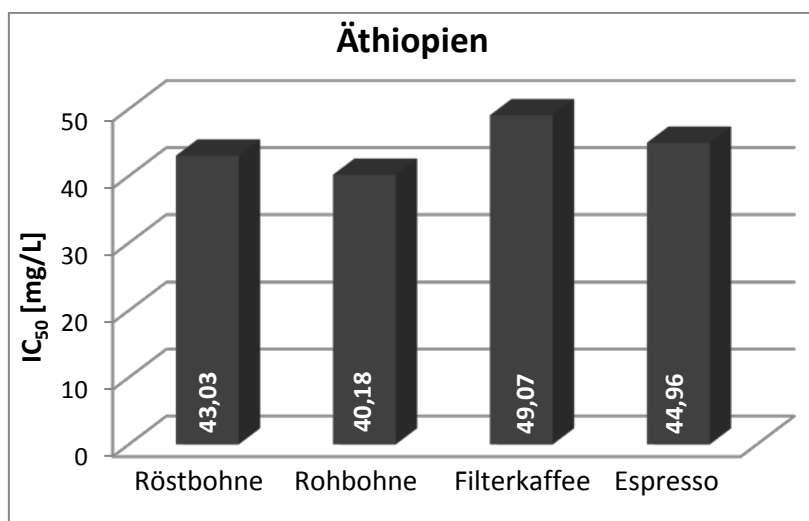


Diagramm 78: Vergleich der IC<sub>50</sub>-Werte der Äthiopienbohne

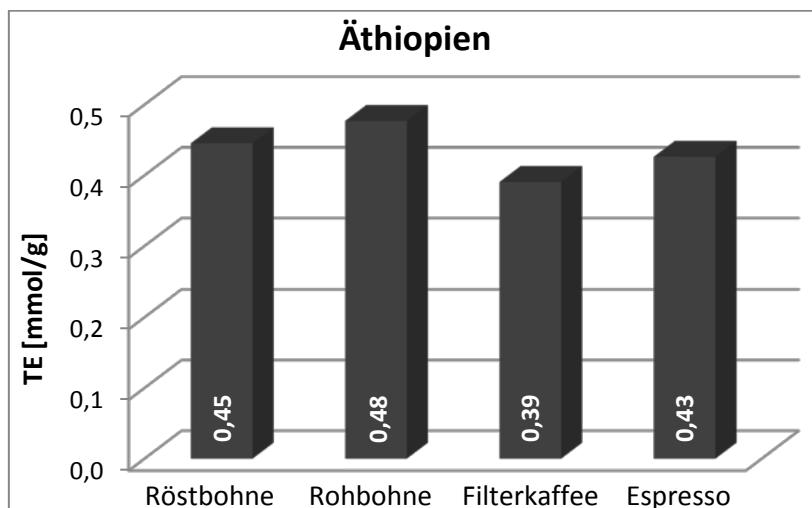


Diagramm 79: Vergleich der TE-Werte der Äthiopienbohne

In der nachstehenden Tabelle 120 sind die errechneten Ergebnisse des ABTS-Versuchs entsprechend der Zubereitungsart zusammengefasst und in den Diagrammen 80 und 81 graphisch dargestellt.

Tabelle 120: Robustakaffeebohnen aus Ecuador

<i>Ecuador</i>	IC <sub>50</sub> [mg/L]	TE [mg/g]	TE [mmol/g]
<b>Röstkaffee</b>	31,80	150,81	0,60
<b>Rohkaffee</b>	28,91	165,89	0,66
<b>Filterkaffee</b>	50,36	95,24	0,38
<b>Espresso</b>	37,78	126,94	0,51

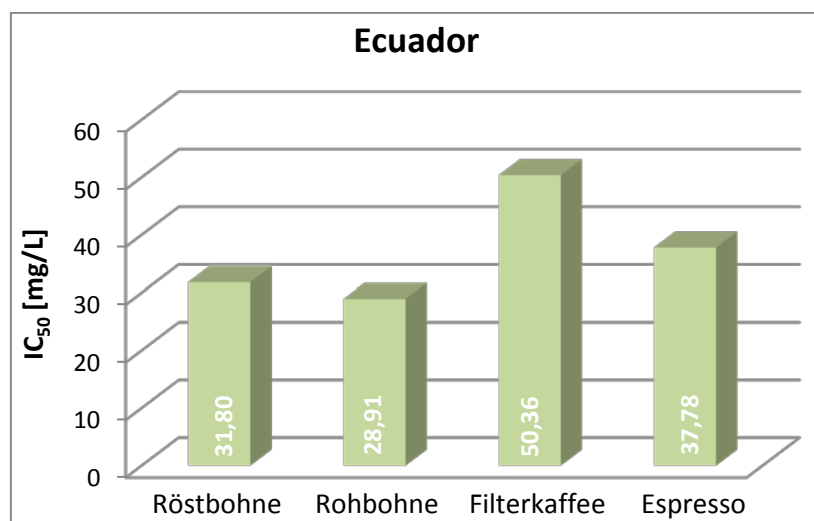


Diagramm 80: Vergleich der IC<sub>50</sub>-Werte der Ecuadorbohne

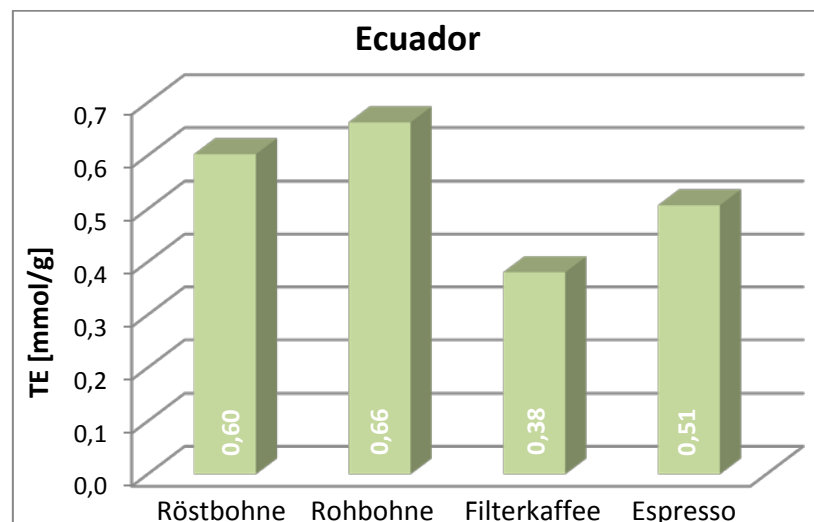


Diagramm 81: Vergleich der TE-Werte der Ecuadorbohne

## Cascara

In der nachstehenden Tabelle 121 sind die errechneten Ergebnisse des ABTS-Versuchs entsprechend der Zubereitungsart zusammengefasst und in den Diagrammen 82 und 83 graphisch dargestellt.

Tabelle 121: Cascara aus Nicaragua

Cascara	IC <sub>50</sub> [mg/L]	TE [mg/g]	TE [mmol/g]
Cascaraextrakt	45,62	105,13	0,42
Cascaratee	74,73	64,17	0,26

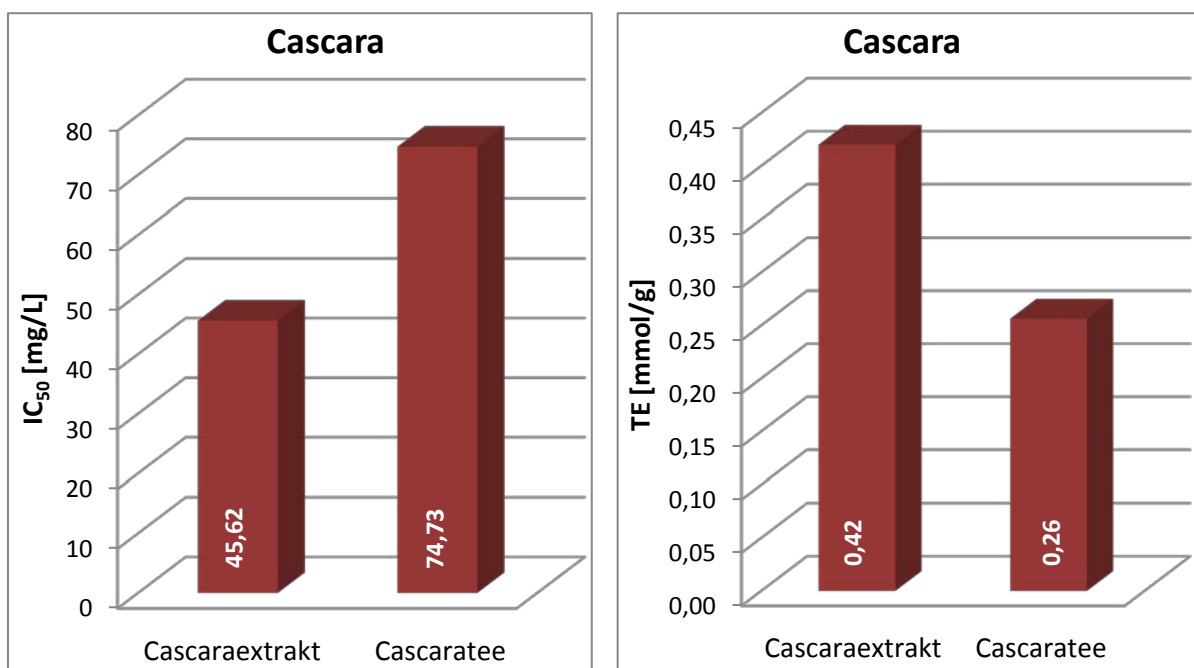


Diagramm 82 und 83: Vergleich der IC<sub>50</sub>- und TE-Werte der Cascara

## **5. Diskussion**

---

In der vorliegenden Arbeit wurden Gehaltsanalysen der Gesamtpolyphenole sowie die Bestimmung der antioxidativen Aktivität von Kaffee (Nicaragua, Brasilien, Äthiopien und Ecuador) und Cascara (Nicaragua) nach unterschiedlichen Methoden durchgeführt. Untersucht wurden einerseits Extrakte aus grünen und gerösteten Kaffeebohnen sowie das getrocknete Fruchtfleisch der Kaffeekirsche (Cascara) als auch verschiedene Heißgetränke (Filterkaffee, Espresso, Teegetränk) der jeweiligen Proben.

### **5.1 Extraktion und Heißgetränkherstellung**

Bei der Wahl des Extraktionsmittels und des Verhältnisses von Methanol zu Wasser wurde auf externe Literatur und deren Ergebnisse zurückgegriffen. Eine Recherche zeigte, dass, wie im Artikel „Antioxidant activity of green coffee conserves“ von Naidu M. & Jagadeesh D. (2005) zu sehen ist, ein Mischungsverhältnis von 60% Methanol zu 40% Wasser, die höchste Ausbeute an Gesamtpolyphenolen beim Extrahieren bringt. Daher wurde für den Extraktionsprozess auf die Methodik von Naidu M., et al. zurückgegriffen. Dabei wurden die gemahlten Proben in der Extraktionslösung zwei Stunden lang bei 60°C im Schüttelbad behandelt und anschließend, um eine für die Spektroskopie verfälschende Trübung zu vermeiden, zentrifugiert. Die so hergestellten Extrakte wurden stets kühl und dunkel gelagert.

Es wurden zusätzlich aus jeder gerösteten Bohnensorte nach der Zerkleinerung maschinell ein Espresso und ein Filterkaffee hergestellt. Die Espreschi wurden mit einer handelsüblichen Espresso-Maschine (Dalla Corte Evolution 2003) erzeugt. Die Filterkaffees wurden manuell über einen Filter und einen Trichter produziert. Dasselbe gilt auch für den Kaffeekirschentee. Dieser wurde ebenfalls in einem Filter vorgelegt und mit heißem destilliertem Wasser übergossen.

### **5.2 Gesamtpolyphenolgehalt**

Der Gesamtpolyphenolgehalt wurde mit Hilfe der Folin-Ciocalteu-Methode bestimmt. Dabei oxidiert das Folin-Ciocalteu-Reagenz phenolische Hydroxylgruppen unter Bildung eines intensiv blauen Farbstoffes, dessen Intensität anschließend photometrisch gemessen wird.

#### **Kaffee**

Der Vergleich zwischen den einzelnen Bohnensorten zeigt klar, dass die Sorte Robusta gegenüber den Arabicabohnen den größten Gehalt an Gesamtpolyphenolen hat. Nach der Röstung wurde bei allen Sorten eine Abnahme des Gesamtpolyphenolgehaltes mit dem erwähnten Trend zu Robusta hin festgestellt. Die Ursache für die Gehaltsabnahme liegt in der Umlagerung bzw. Reduktion von Stoffen während des Röstprozesses. Dies wird mit hoher Wahrscheinlichkeit von der Maillardreaktion herrühren, da es dabei zur Zersetzung einiger Stoffklassen unter der Bildung flüchtigerer Geschmacks- und Aromastoffe kommt. Die Resultate decken sich mit den Ergebnissen der Arbeit von Vignoli A., et al. (2010).

Dies war voraussehbar, da Robustabohnen widerstandsfähiger sind und schon in früheren Wachstumsphasen mit dem Aufbau von Sekundärstoffwechselprodukten, wie Polyphenolen, beginnen. Diese Sorte wächst auch unter härteren Klimabedingungen und rüstet sich deswegen durch einen größeren Vorrat an Schutzstoffen. Dennoch wird sie als Reinsorte vom Kunden aufgrund des säuerlichen und bitteren Geschmacks weniger bevorzugt und dient hauptsächlich der Erhaltung einer organoleptischen Qualität in Kaffeebohnenmischungen.

Unten stehend folgen nach Herkunftsländern gegenübergestellt bohnen-spezifische Vergleiche der Kaffeesorten:

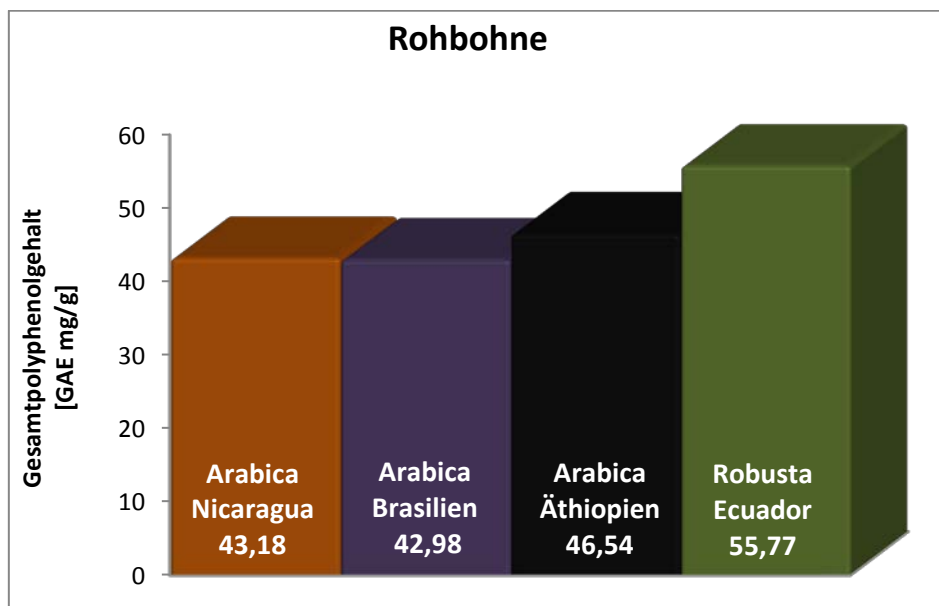


Diagramm 84: Vergleich der einzelnen Rohbohnen-sorten in Bezug auf deren Gesamtpolyphenolgehalt und Herkunftsland

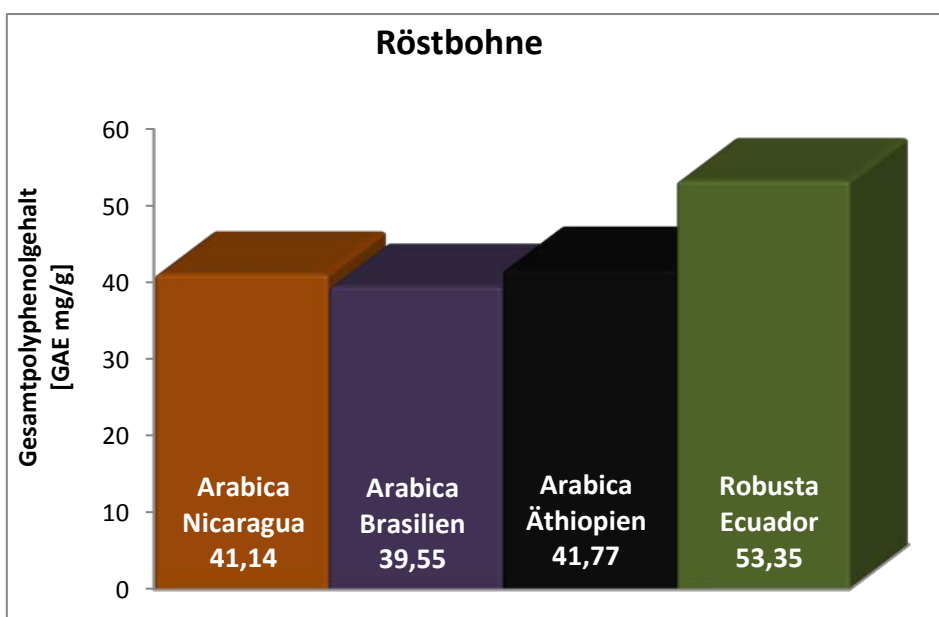


Diagramm 85: Vergleich der einzelnen Röstbohnen-sorten in Bezug auf deren Gesamtpolyphenolgehalt und Herkunftsland

Der Vergleich der einzelnen Arabicabohnen untereinander zeigt, dass die Bohnen im rohen und gerösteten Zustand aus Äthiopien den höchsten Gesamtpolyphenolgehalt besitzen, gefolgt von Nicaragua und Brasilien.

Der Trend im Gesamtpolyphenolgehalt ist auch nach der Produktion von Heißgetränken erkennbar. Die Gegenüberstellung zeigt, dass auch hier der Robusta, zwar mit geringerem Unterschied, aber dennoch klar ersichtlich, den höchsten Gesamtpolyphenolgehalt hat und dass die Arabicabohnen tendenziell auch in den Kaffeegetränken dieselben Verhältnisse bezüglich der GAE-Werte wie die Kaffeebohnen aufweisen.

Der Vergleich der Zubereitungsarten legt die Vermutung nahe, dass beim Espresso, der höhere Gesamtpolyphenolgehalte aufweist, durch den erhöhten Druck, die höhere Temperatur und die längere Einwirkzeit des Wasserdampfes bei der Herstellung mehr Polyphenole herausgelöst werden können. Gestützt wird diese Annahme durch die Tatsache, dass länder- und sortenunabhängig die GAE-Werte beim Espresso größer sind.

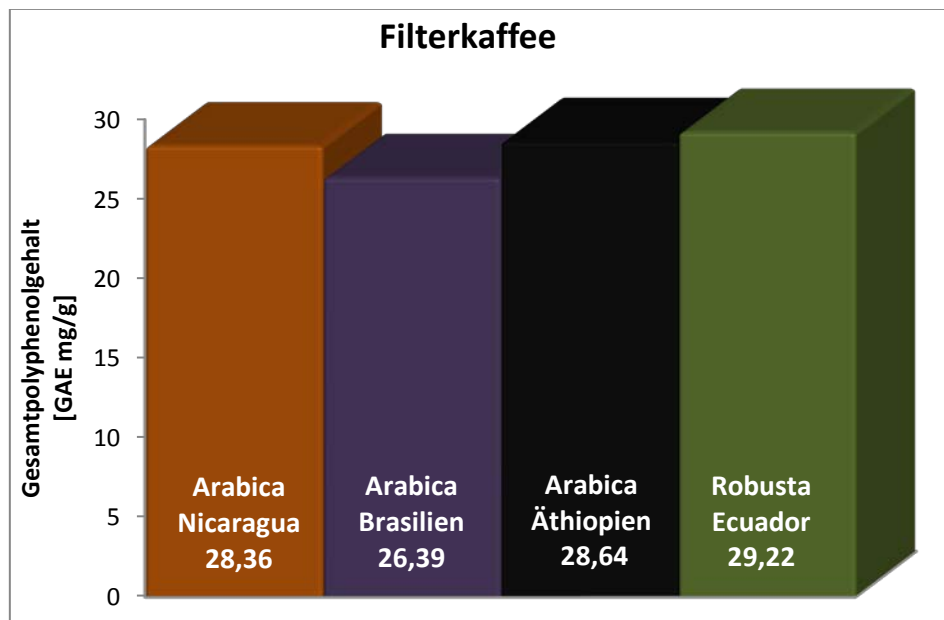


Diagramm 86: Vergleich der einzelnen Filterkaffeessorten in Bezug auf deren Gesamtpolyphenolgehalt und Herkunftsland

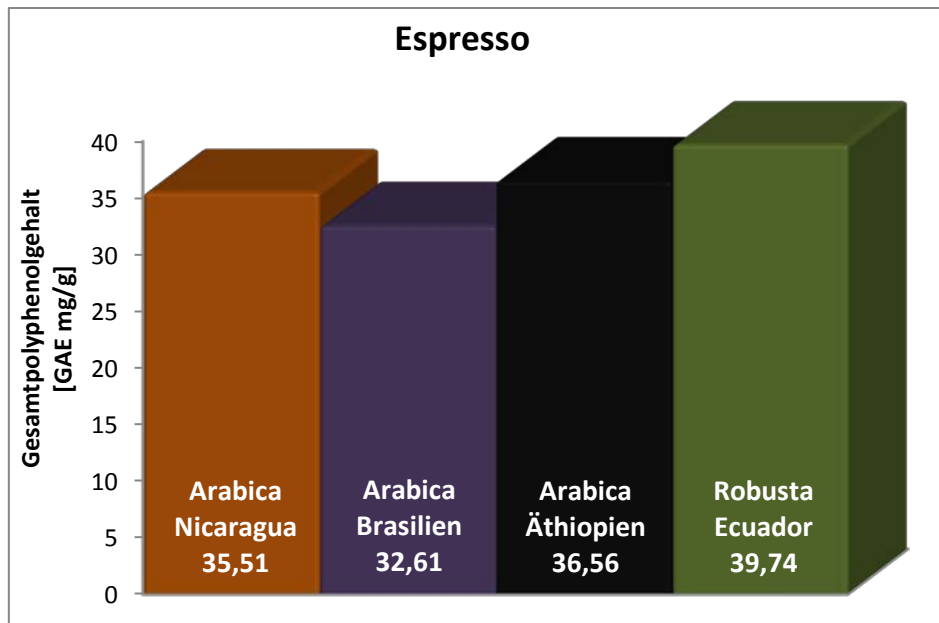


Diagramm 87: Vergleich der einzelnen Espressosorten in Bezug auf deren Gesamtpolyphenolgehalt und Herkunftsland

Der Grund für die höheren Gesamtpolyphenolgehalte der Extrakte der Röstbohnen im Vergleich zu denen der Filterkaffees und der Espressi liegt an der weitaus längeren Einwirkzeit und der Intensivierung des Kontaktes zwischen Extraktionsmittel und Probe durch den direkten Aufarbeitungsprozess. Das Lösungsmittel selbst weist durch das Verhältnis zwischen Wasser und Methanol ein höheres Lösepotential als Wasser alleine auf. Diese Tendenz deckt sich auch mit den Ergebnissen von Perez-Martinez M., et al., (2010), wobei Werte von 55 GAE (mg/g) für den Espresso und 45 GAE (mg/g) für den Filterkaffee bestimmt wurden. In der Veröffentlichung von Hecimovic I., et al., (2011) wurde ebenfalls ein Wert von 42,37 GAE (mg/g) für den Robustakaffee ermittelt.

## Cascara

Die Cascara, die gemahlen in einem Filter vorgelegt und mit destilliertem heißem Wasser übergossen wurde, enthielt im Vergleich zum Methanol/Wasser-Extrakt einen geringeren Anteil an Gesamtpolyphenolen. Zur Herstellung des Cascaraextraktes wurde die getrocknete Schale zwei Stunden lang in einer wässrigen Methanollösung im Schüttler bei 60°C behandelt. Der niedrigere GAE-Wert des Tees liegt an der kürzeren Einwirkzeit und der Wahl des Extraktionsmittels. Während es beim Tee destilliertes erhitztes Wasser ist, ist es beim Extrakt wässriges Methanol. Damit und die durch das Schütteln bedingte Intensivierung der Phasenkontakte lassen sich mehr Polyphenole aus der getrockneten Schale extrahieren.



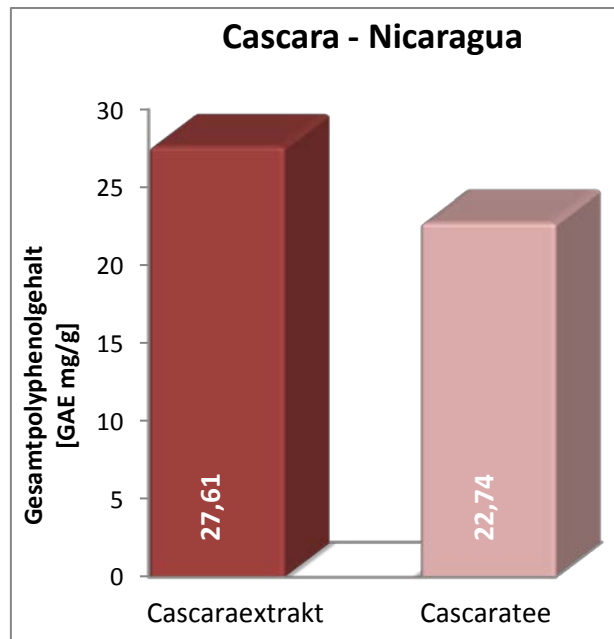


Diagramm 88: Vergleich des Fruchtfleischzustandes bezüglich dessen Gesamtpolyphenolgehaltes

Im Vergleich mit den Kaffeebohnenextrakten weist die Cascara einen deutlich geringeren Gesamtpolyphenolgehalt auf. Dies gilt auch für die Gegenüberstellung der Heißgetränke.

### **5.3 Bestimmung der antioxidativen Aktivität**

Die antioxidative Aktivität wird mittels der Abnahme eines stabilen Radikals, welches die Analytlösung färbt, photometrisch gemessen. Es wurden zwei Methoden (DPPH- bzw. ABTS-Methode), die sich lediglich durch das angewendete Radikal unterscheiden, angewendet.

#### **5.3.1 DPPH-Methode**

Bei dieser Methode wird die Abnahme des zugeführten DPPH-Radikals, verursacht durch die antioxidativen Inhaltsstoffe der Probensubstanz, photometrisch erfasst. Die deutlich violette Färbung des DPPH-Radikals hängt mit dem ungepaarten Elektron am N-Atom zusammen und nimmt mit der Zugabe eines Antioxidans, an dessen H-Atom es sich bindet, ab. Dadurch ändert sich die Farbe von Violett auf Gelb.

#### **Kaffee**

Der Vergleich der Werte innerhalb der einzelnen Bohnensorten zeigt, dass die Zubereitung, wie schon beim Gesamtpolyphenolgehalt, einen erheblichen Einfluss auf die gewonnenen Werte hat. So zeigt sich hier eine Analogie zwischen dem Gesamtpolyphenolgehalt und der antioxidativen Aktivität. Der Trend, der bei den GAE-Werten zu sehen war, ist hier derselbe, was nahe legt, dass die antioxidative Aktivität vom Gesamtpolyphenolgehalt abhängt und maßgeblich von ihm bestimmt wird.

Diese Korrelation zeigt sich vor allem bei den Extrakten. Auch hier ist deutlich zu sehen, dass die grüne Bohne die besten Radikalfängereigenschaften hat.

Innerhalb der ungerösteten Bohnen hebt sich die Sorte Robusta eindeutig von der Arabica ab. Vergleicht man die Arabicabohnen untereinander, so ist wie beim Gesamtpolyphenolgehalt, die Bohne aus Äthiopien gefolgt von Nicaragua und Brasilien, die mit der größten Radikalfängereigenschaft.

Die Röstbohnen, bei denen sich teilweise durch den Röstvorgang Polyphenole in Aroma- und Farbstoffe umlagern, zeigen die gleiche Tendenz. Sie besitzen bei der Gegenüberstellung zu den ungerösteten Bohnen eine geringere antioxidative Aktivität mit herkunftsabhängig dergleichen Trends.

Stellt man die TE-Werte der Heißgetränke gegenüber, so ist auch hier die Analogie zum Gesamtpolyphenolgehalt gegeben. Der Espresso, der zubereitungsbedingt mehr Polyphenole besitzt als der Filterkaffee, hat auch durchwegs eine höhere antioxidative Aktivität als dieser. Nach Sorten aufgeschlüsselt, zeigt auch hier die Sorte Robusta die höchste Radikalfängereigenschaft. Der länderspezifische Arabicabohnenvergleich weist den durchwegs gleichen Trend zu Äthiopien hin.

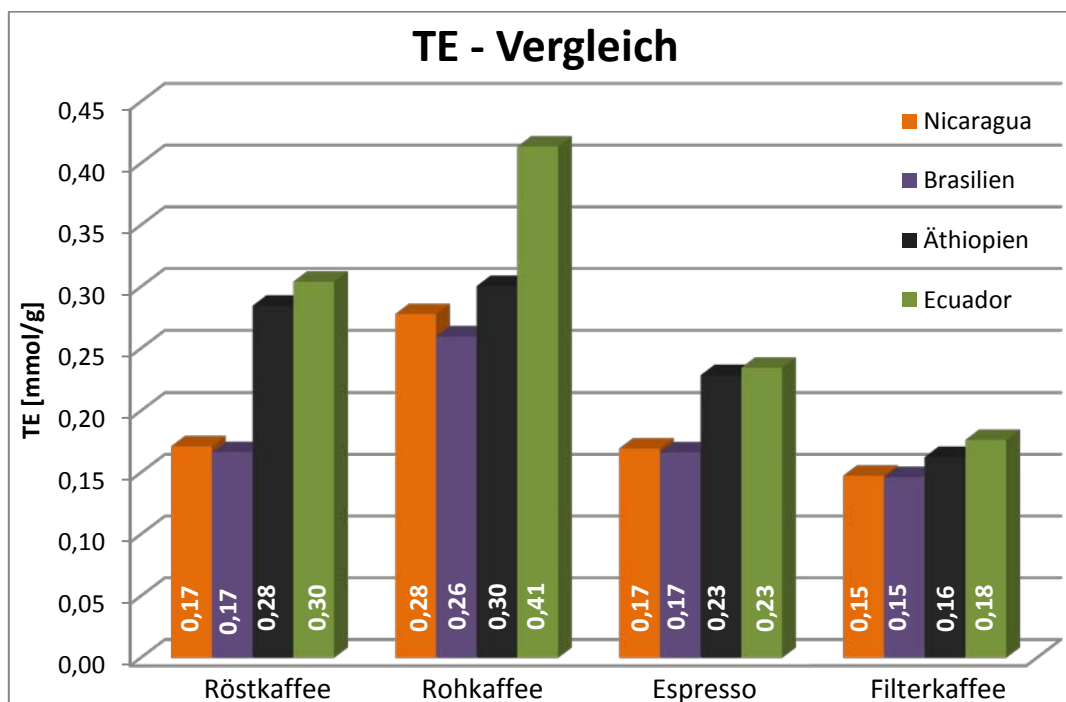


Diagramm 89: Herkunfts- und bohnen-spezifischer Vergleich der TE-Werte

Wie in der Arbeit von Sathisha D., et al. (2011) zu sehen ist, liegen die ermittelten Werte in der Nähe der Literaturwerte. Diese Forschungsgruppe erhielt für einen Arabicabohnenextrakt einen Wert von 0,40 IC<sub>50</sub> [mg/ml]. Die errechneten Werte hier liegen zwischen 0,3441 und 0,5896 TE.

## Cascara

Zur Herstellung des Tees wurde die Cascara gemahlen in einem Filter vorgelegt und mit destilliertem heißem Wasser übergossen. Der Extrakt hingegen wurde mittels einer wässrigen Methanollösung im Schüttler bei 60°C produziert. Wie schon bei der Bestimmung des Gesamtpolyphenolgehaltes hat die Herstellungsart einen erheblichen Einfluss auf Inhaltsstoffe bzw. die antioxidative Aktivität. Die Analogie zeigt sich beim Vergleich der GAE- und TE-Werte. Auch hier zeigt der Cascaraextrakt eine deutlich höhere Radikalfängereigenschaft als der zubereitete Tee, welches mit dem Gesamtpolyphenolgehalt korreliert. Der niedrigere Wert des Tees wird auch bei dieser Analyse an der kürzeren Einwirkzeit und der Wahl des Extraktionsmittels liegen. Der Extraktionsprozess selbst scheint ebenfalls durch die intensivere Vermischung der Komponenten mehr Inhaltsstoffe herauszulösen als durch das reine Aufgießen mit heißem Wasser und nachfolgendem Filtrieren.

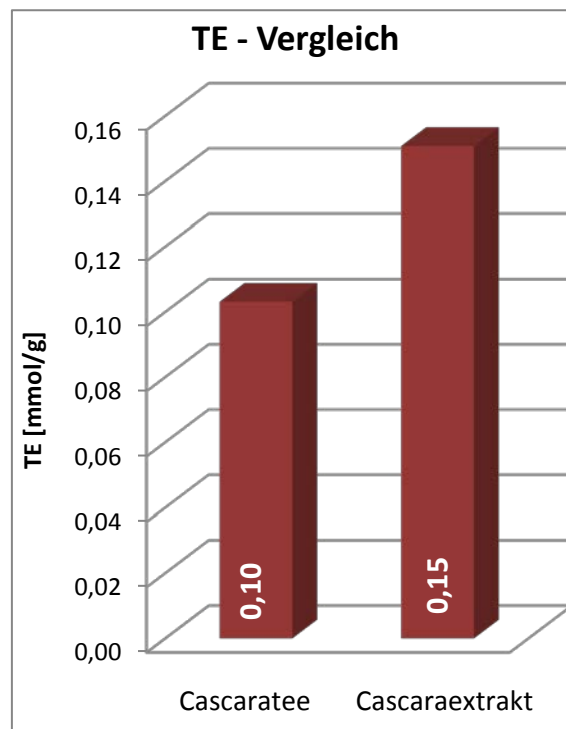


Diagramm 90: Vergleich der TE-Werte

Im Vergleich mit den Kaffeebohnenextrakten weist die Cascara eine geringere antioxidative Aktivität auf. Dies gilt auch für die Gegenüberstellung der Heißgetränke.

### 5.3.2 ABTS-Methode

Bei dieser Methode entsteht in einer oxidativen Lösung das stabile ABTS-Radikalkation, welches die Lösung grün färbt. Durch Zugabe eines Antioxidans (Proben) wird die Lösung entfärbt und quantitativ mittels Photometer bestimmt.

## Kaffee

Die Ermittlung der antioxidativen Aktivität über die ABTS-Methode zeigt die gleichen Korrelationen, wie bei der DPPH-Methode.

Auch hier hat die Robustabohne relativ zur Arabicabohne unabhängig von der Zubereitung die höchste Aktivität. Der Vergleich der Zubereitung zeigt, dass die Lösungen, die durch den Extraktionsprozess gewonnen wurden, die höchste antioxidative Aktivität aufweisen. Stellt man die Extrakte der Röstbohne mit der der Rohbohne gegenüber, so besitzt Letztere die höhere Radikalfängereigenschaft.

Werden nur Filterkaffee und Espresso verglichen, zeigt der Espresso durchwegs eine höhere Aktivität. Durch diesen Vergleich zeigt sich, dass beim Espresso, der auch die höheren Gesamtpolyphenolgehalte aufweist, durch den erhöhten Druck, die höhere Temperatur und die längere Einwirkzeit des Wasserdampfes bei der Herstellung, mehr Polyphenole herausgelöst werden können, und damit die deutlich höhere Radikalfängereigenschaft erklärt werden kann.

Beim Gegenüberstellen der Arabicabohnen hat auch hier die äthiopische Bohne, die vergleichsweise höchste antioxidative Aktivität.

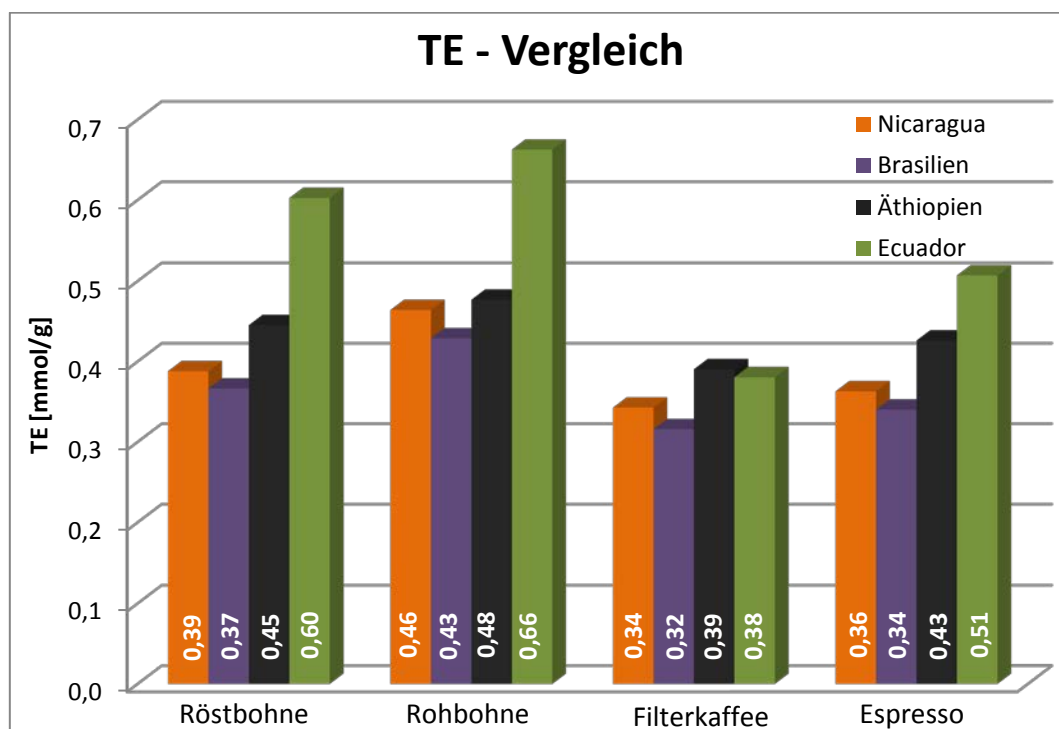


Diagramm 91: Vergleich der Zubereitung und der Herkunftsländer anhand TE - Werte

Der Vergleich mit der Arbeit von Perez-Martinez M., et al., (2010) zeigt ähnliche Werte, wobei für den Espresso 0,315 TE [mmol/g] und für den Filterkaffee 0,334 TE [mmol/g] bestimmt wurden.

Wie unten stehend zu erkennen ist, zeigt sich eine Beziehung zwischen dem Gesamtpolyphenolgehalt und der antioxidativen Aktivität. Beide sind direkt proportional zueinander und zeigen eine Linearität auf.

Im folgenden Diagramm werden am Beispiel des Espressos die GAE- und DPPH-Werte in Relation gesetzt.

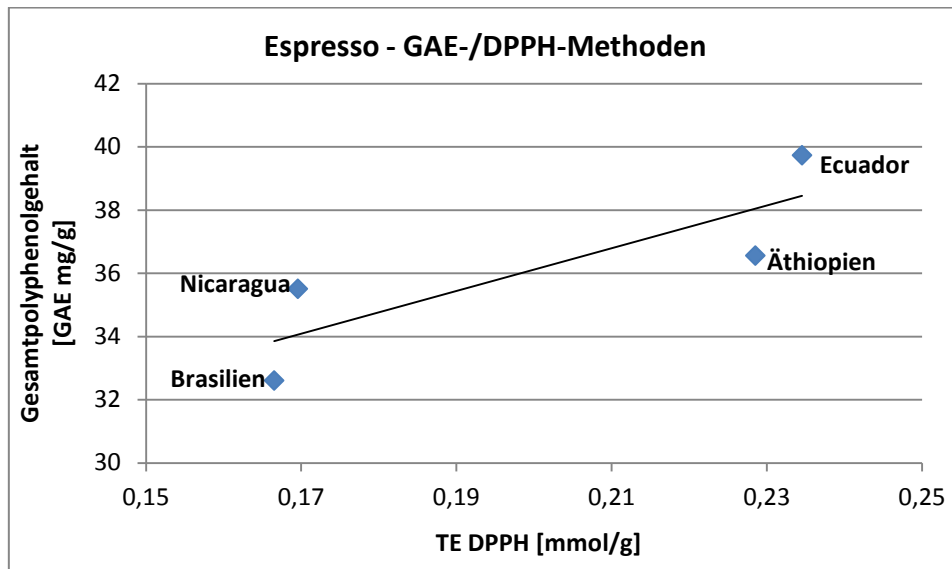


Diagramm 92: Gegenüberstellung der TE-Werte der DPPH-Methode und der GAE-Werte des Espressos

Im Diagramm 93 werden die GAE-Werte in Bezug zu den Ergebnissen des ABTS-Versuches gestellt. Auch hier zeigt sich eine direkte Korrelation.

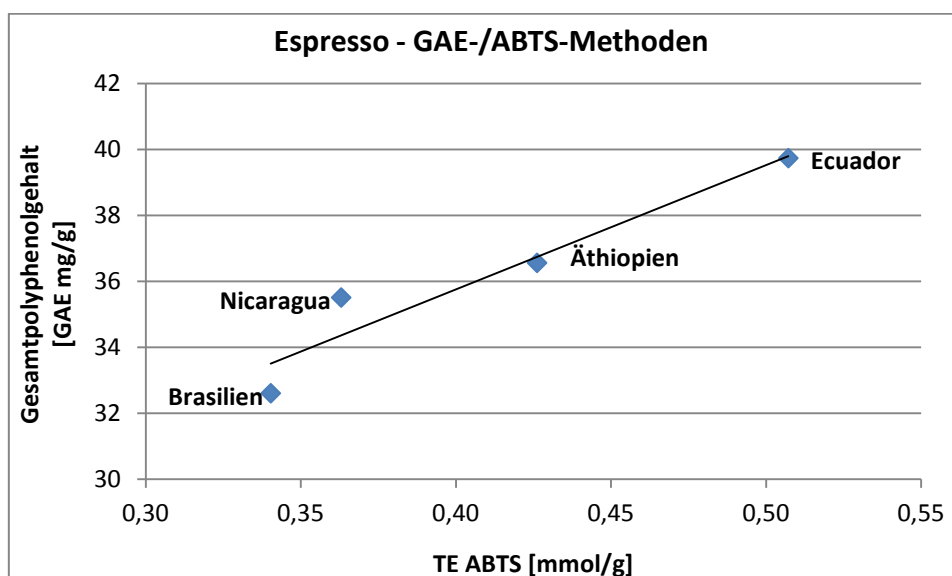


Diagramm 93: Gegenüberstellung der TE-Werte der ABTS-Methode und der GAE-Werte des Espressos

Im Diagramm 94 werden beide Messmethoden für die antioxidative Aktivität aufgetragen. Dabei ist zu sehen, dass sich die Werte selbst analysebedingt unterscheiden, aber der Trend und die Korrelation fortsetzen.

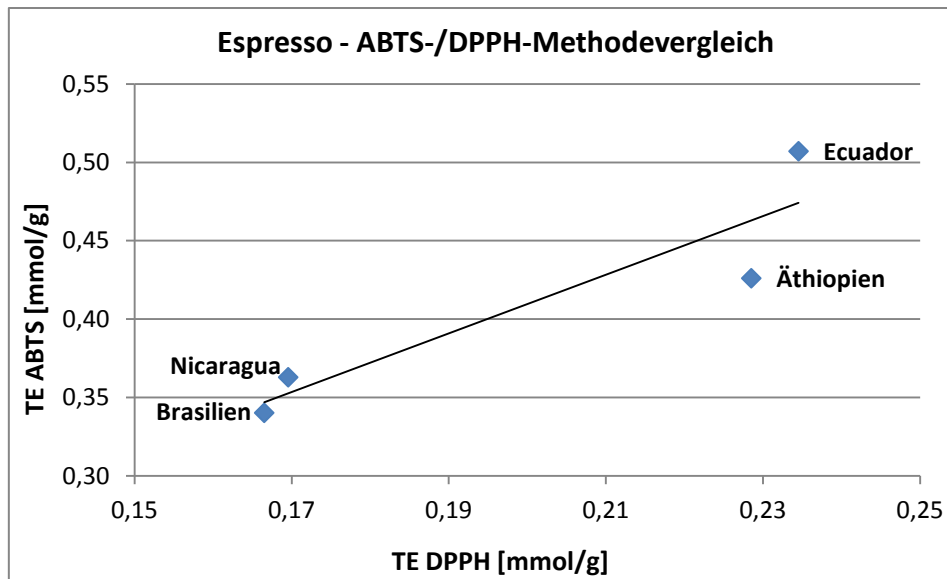


Diagramm 94: Gegenüberstellung der TE-Werte der Röstbohnen der ABTS- und der DPPH-Methode

### Cascara

Dem Trend des DPPH-Versuchs folgend zeigt sich auch hier deutlich, dass der Cascaraextrakt eine höhere antioxidative Aktivität hat als der zubereitete Tee. Dies deckt sich mit dem Gesamtpolyphenolgehalt, der ebenfalls beim Extrakt höher war. Der Grund dafür ist das Extraktionsmittel und die intensivere Durchmischung der Komponenten im Schüttler.

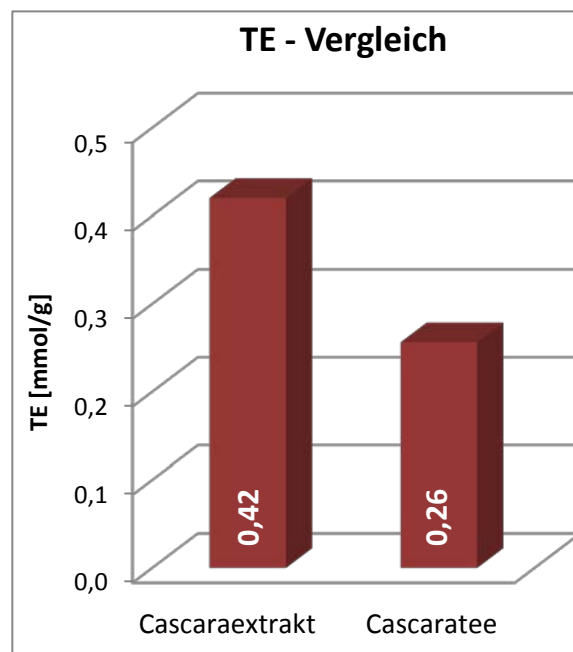


Diagramm 95: Vergleich der der TE- Werte

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Cascara im Vergleich zur Kaffeebohne sowohl weniger antioxidative Aktivität als auch einen geringeren Gesamtpolyphenolgehalt aufweist. Deutlich zu erkennen ist auch, dass diese Größen direkt miteinander korrelieren.

## 6. Zusammenfassung

---

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den im Kaffee und der Cascara vorkommenden Wirkstoffen, die einen physiologisch positiven Effekt auf die menschliche Gesundheit aufweisen. Hierfür wurden der Gesamtpolyphenolgehalt sowie die antioxidative Aktivität von Kaffee, Cascara und deren Produkte bestimmt.

Die Kaffeebohnen der Sorte Arabica (*Coffea arabica*) stammten aus Nicaragua, Brasilien und Äthiopien. Die Sorte Robusta (*Coffea canephora*) wurde aus Ecuador bezogen. Zur Gewinnung der Polyphenole wurden sowohl aus den ungerösteten grünen als auch den gerösteten Bohnen Extrakte hergestellt. Dafür wurden sie nach der Vermahlung zwei Stunden lang in einer 60% wässrigen Methanollösung bei 60°C behandelt. Aus den gerösteten Bohnen wurden zusätzlich maschinell Espresso und Filterkaffees produziert.

Die Cascara bzw. Kaffeekirsche aus Nicaragua wurde nach der Zerkleinerung demselben Extraktionsprozess wie dem der Kaffeebohnen unterzogen. Neben dem so hergestellten Extrakt wurde noch ein Teegetränk mittels Aufgießen mit heißem destilliertem Wasser in einem Filter produziert.

Die erhaltenen Lösungen (Extrakte und Heißgetränke) wurden sowohl für die Bestimmung des Gesamtpolyphenolgehaltes als auch für die der antioxidativen Aktivität herangezogen.

Der Gesamtpolyphenolgehalt wurde mit Hilfe der Folin-Ciocalteu-Methode bestimmt. Dabei bildet sich durch die Oxidation phenolischer Hydroxylgruppen mittels des Folin-Ciocalteu-Reagenzes ein blauer Farbstoff, dessen Intensität photometrisch gemessen wurde. Die Extrakte der grünen Rohbohnen weisen herkunftsunabhängig die höchsten Gesamtpolyphenolgehalte (29,22 - 55,77 GAE [mg/g]) auf. Dabei zeigen die Kaffeebohnen aus Ecuador der Sorte Robusta mit 55,77 GAE [mg/g] den höchsten Wert, gefolgt von den Bohnen aus Äthiopien mit 46,54 GAE [mg/g], den Bohnen aus Nicaragua mit 43,18 GAE [mg/g] und den Bohnen aus Brasilien mit 42,98 GAE [mg/g]. Der Extrakt der gerösteten Bohnen weist einen Gesamtpolyphenolgehalt von 39,55 bis 53,35 GAE [mg/g] auf. Den höchsten Gehalt hat auch hier die Sorte Robusta absteigend gefolgt von den Arabica-Bohnen aus Äthiopien, Nicaragua und Brasilien. Vergleicht man die Heißgetränke untereinander, so zeigt sich in der gleichen Reihenfolge der Herkunftsländer, dass der Espresso (32,61 - 39,71 GAE [mg/g]) mehr Polyphenole aufweist als der Filterkaffee (26,39 - 29,22 GAE [mg/g]).

Der Cascaraextrakt weist mit 27,61 GAE [mg/g] im Vergleich zum Cascaratee mit 22,74 GAE [mg/g] einen deutlich höheren Wert für den Gesamtpolyphenolgehalt auf. Die Cascaraprobe zeigt in der Gegenüberstellung mit den Kaffeebohnen durchwegs einen geringeren Gehalt an Gesamtpolyphenolen.

Die Bestimmung der antioxidativen Aktivität erfolgte nach der DPPH- und der ABTS-Methode. In beiden Methoden werden die Radikalfängereigenschaften bestimmt. Bei der DPPH-Methode wird das freie Radikal 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl, welches sich in methanolischer Lösung befindet, genutzt und von den in den Proben vorhandenen Antioxidantien abgefangen. Die entstehende Färbung wird photometrisch erfasst und genutzt um die mittlere effektive Konzentration ( $EC_{50}$ ), die mittlere inhibitorische Konzentration ( $IC_{50}$ ) sowie die Trolox-Äquivalente (TE) zu errechnen.

Bei der ABTS-Methode hingegen wird zuerst das Radikalkation Diammonium-2,2'-azino-di-(3-ethylbenzthiazolin)-6-sulfonat in einer wässrigen oxidativen Lösung hergestellt und anschließend mit der Probe versetzt. Die Abnahme der Konzentration des Radikals durch die antioxidative Wirkung des Analyten wird photometrisch detektiert. Der  $IC_{50}$ -Wert und der TE-Wert werden dabei als Vergleichswerte herangezogen. Beide Methoden zeigen bezüglich der relativen Werte zueinander die gleichen Trends. Der Rohbohnenextrakt hat herkunftsunabhängig sowohl nach der DPPH- als auch nach der ABTS-Methode die höchste antioxidative Aktivität (DPPH: 0,26-0,41 TE [mmol/g]; ABTS: 0,43-0,66 TE [mmol/g]). Die Sorte Robusta (Ecuador) wies, absteigend gefolgt von den Arabicabohnen (Äthiopien, Nicaragua und Brasilien) die größte Radikalfängereigenschaft auf. Der Röstbohnenextrakt zeigte im Vergleich zum Rohbohnenextrakt einen geringeren (DPPH: 0,17-0,30 TE [mmol/g]; ABTS: 0,37-0,60 TE [mmol/g]) und im Vergleich zu den Heißgetränken einen höheren Wert. Auch hier hat die Bohne der Sorte Robusta die höchste antioxidative Aktivität und zeigt dieselbe bereits erwähnte Reihenfolge bei den Arabicabohnen.

Beim Vergleich der Kaffeegetränke weist Espresso (DPPH: 0,17-0,23 TE [mmol/g]; ABTS: 0,34-0,51 TE [mmol/g]) gegenüber Filterkaffee (DPPH: 0,15-0,18 TE [mmol/g]; ABTS: 0,32-0,39 TE [mmol/g]) höhere antioxidative Aktivitäten auf.

Der Cascaraextrakt (DPPH: 0,15 TE [mmol/g]; ABTS: 0,42 TE [mmol/g]) zeigt im Vergleich zum Cascaratee (DPPH: 0,10 TE [mmol/g]; ABTS: 0,26 TE [mmol/g]) einen deutlich höheren Wert für die antioxidative Aktivität. Die Cascaraprobe weisen in der Gegenüberstellung mit den Kaffeebohnen durchwegs geringere Radikalfänger-Eigenschaften auf.

Aus den durchgeführten Analysen und den damit errechneten Werten kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass beim Kaffee und der Cascara der Gesamtpolyphenolgehalt mit der antioxidativen Aktivität korreliert. Je höher der Gehalt an extrahierbaren Polyphenolen ist, desto höher ist auch die antioxidative Aktivität. Beim Genuss der Produkte ist zu bedenken, dass die Zubereitungsart einen erheblichen Einfluss auf die Wirkung ausübt. Es hat sich gezeigt, dass der Espresso durchwegs einen höheren Gesamtpolyphenolgehalt aufweist und damit verbunden auch eine höhere antioxidative Aktivität. Ernährungsphysiologisch ist zu sagen, dass der Kaffee und seine Produkte nicht nur zu den Genussmitteln zählen, sondern auch für den Körper gesundheitsfördernden Eigenschaften aufweisen.



## 7. Literaturverzeichnis

---

[1] Chadwick, R.; Henson, S.; Moseley, B.; Koenen, G. & Liakopoulos, M. (2004): *Functional Foods*. Springer-Verlag 20.

[2] Manach, C.; Scalbert, A.; Morand, C.; Rémésy, C. & Jiménez, L. P. (2004): *Polyphenols: food sources and bioavailability*. The American Journal of Clinical Nutrition, S. 727-747.

[3] Belitz, H. D.; Grosch, W. & Schieberle, P. (2008): *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. Springer Verlag.

[4] Kübler, 1989. (Abbildung)

[5] Watzl, B. & Leitzmann, C. (2005): *Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln*. Hippokrates Verlag.

[6] Eisenbrand, G. & Schreier, P. (1995): *Römpp Lexikon Lebensmittelchemie*. Thieme Verlag.

[7] Cheynier, 2005. (Abbildung)

[8] Ding, E.; Hutfless, S.; Ding, X. & Girotra, S. (2006): *Chocolate and prevention of cardiovascular disease: A systematic review*. Nutrition & Metabolism, 3.

[9] Ding, Hutfless, Ding & Girotra, 2006.

[10] Cheynier, V. (2005): *Polyphenols in foods are more complex than often thought*. The American Journal of Clinical Nutrition, 81, S. 223-229.

[11] Pfeifer, W. (1995): *Etymologisches Wörterbuch des Deutschen*, S. 607.

[12] Rebelo, F., 2005. (Abbildung)

[13] Rolf, B. & Hoffmann, S. (2007): *Die Welt des Kaffees*.

[14] *Dallmayr, A., 2012. (Abbildung)*

[15] Kaiser, St.; Melle, I. & Becker, H.J. (1997): *Zur Chemie des Kaffees*, Praxis der Naturwissenschaften – Chemie, 6, S. 17–22.

[16] Rimbach, G.; Möhring, J. & Erbersdobler H. (2010): *Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger*. Springer, S. 291.

- [17] Green, G., 2010. (Abbildung)
- [18] Florian von Heintze (2006): Pflanzen und Umwelt, S. 262-263.
- [19] Becker, M., (2002): Kaffee-Konzentration, S. 40-47.
- [20] Belitz, H., Grosch W. & Schieberle P. (2001): Lehrbuch Der Lebensmittelchemie, S. 926-238.
- [21] Massimo, F., (2004): *Composition and properties of Indonesian palm civet coffee (Kopi Luwak) and Ethiopian civet coffee*. Food Research International, 37, 9, S. 901–912.
- [22] Frieder, Rotzoll F. & Müller, H., Deutscher Kaffee-Verband e.V. (2004): Kaffeewissen: Vom Anbau bis zum Endprodukt.
- [23] Jansen, G. A. (2006): RÖSTEN von Kaffee – Magie – Kunst – Wissenschaft, S. 14.
- [24] Schwarz St. & Kienreich M. (2008): FAQ Kaffee – Fragen, Antworten, Quintessenzen, S. 59.
- [25] Faszination Kaffee, Herausgeber Deutscher Kaffeeverband (2012), Bucher Verlag, S. 158
- [26] Schwarz, St. & Kienreich, M.: FAQ Kaffee – Fragen, Antworten, Quintessenzen. 2008, S. 36.
- [27] Jansen, G. A. (2006): RÖSTEN von Kaffee – Magie – Kunst – Wissenschaft, S. 15.
- [28] Frieder Rotzoll F. & Müller H., Deutscher Kaffee-Verband e.V. (2004): Kaffeewissen: Vom Anbau bis zum Endprodukt, S. 74.
- [29] Wyatt, J.; Cajochen, C.; Cecco, A.; Ritz-DeCecco, A.; Czeisler, C.A. & Dijk, D.J. (2004): *Low-dose repeated caffeine administration for circadian-phase-dependent performance degradation during extended wakefulness*. SLEEP, 27/3, S. 374–81.
- [30] Bakuradze, T., Boehm, N.; Janzowski, C.; Lang, R.; Hofmann, T.; Stockis J. P.; Albert, F. W.; Stiebitz, H.; Bytof, G.; Lantz, I.; Baum, M. & Eisenbrand, G. (2011): *Antioxidant-rich coffee reduces DNA damage, elevates glutathione status and contributes to weight control: results from an intervention study*. Molecular Nutrition & Food Research, 55/5 S. 793–797.

- [31] Baum, M.; Bellion, P. & Boehm, N. (2008): *Coffee and its mechanisms of cell protection*. Colloque Scientifique International sur le Cafe, 22, S. 48-57.
- [32] Hoelzl, C.; Bichler, J. & Ferk, F. (2006): *Mechanistic aspects of DNA - and cancer - protective effects of coffee*. Colloque Scientifique International sur le Cafe, 21, S. 18-28.
- [33] Wood S. (2005): Decaf coffee raises LDL cholesterol.
- [34] Grobbee, D.; Rimm, E.; Giovannucci E.; Colditz, G.; Stampfer, M. & Willett, W. (1990): *Coffee, caffeine, and cardiovascular disease in men*. The New England Journal of Medicine, 323/15, S.1026–1032.
- [35] Ruiz, G.; Angel, J. & Ames, J. (2008): *Antioxidant activity and protective effects of green and dark coffee components against human low density lipoprotein oxidation*. European Food Research and Technology, 227/4, S. 1017-1024.
- [36] Eun-Young, C.; Jin-Young, J. & Youn-Ok, C. (2010): *Coffee intake can promote activity of antioxidant enzymes with increasing MDA level and decreasing HDL-cholesterol in physically trained rats*. Nutrition Research and Practice, 4/4, S. 283-289.
- [37] Kleemola, P.; Jousilahti, P. & Pietinen, P. (2000): *Coffee Consumption and the Risk of Coronary Heart Disease and Death*
- [38] Augusto, D.; Romina, G.; Licia I. & Giovanni, G. (2012): *Consumption of cocoa, tea and coffee and risk of cardiovascular disease*. European Journal of Internal Medicine, 23/1 S. 15-25.
- [39] Archives of Internal Medicine (2000), 160/22.
- [40] Lane, J. D.; Hwang, A. L. & Feinglos, M. N. (2007): *Kaffee und Zucker? Nein danke!*. Diabetes Care, 13/3.
- [41] Hu, X. (2004): *Kaffeetrinker erkranken seltener an Diabetes*. Annals of Internal Medicine, 140, S. 17.
- [42] Pereira, M. A. (2006): *Mit Kaffee ohne Zucker*. Archives of Internal Medicine, 166, S. 1311.
- [43] Ranheim; Trine; Halvorsen & Bente (2005): *Coffee consumption and human health - beneficial or detrimental? - Mechanisms for effects of coffee consumption on different risk factors for cardiovascular disease and type 2 diabetes mellitus*. Molecular Nutrition & Food Research - 49/3 S. 274-284.

[44] Grandjean, A. C.; Reimers, K. J.; Bannick, K. E. & Haven M. C. (2000): *The Effect of Caffeinated, Non-Caffeinated, Caloric and Non-Caloric Beverages on Hydration*. Journal of the American College of Nutrition, 19/5, S. 591–600.

[45] Jehad, M.; Abdel, M. & Nadia A. (2007): *Effect of different methods of making Arabic coffee on some biochemical parameters and histological changes in the liver*. Journal of Saudi Chemical Society - 11/3 S. 585-598.

[46] Daglia, M.; Papetti, A.; Aceti, C., Sordelli, B.; Gregotti, C. & Gazzani, G. (2008): *Isolation of high molecular weight components and contribution to the protective activity of coffee against lipid peroxidation in a rat liver microsomal system*. Journal of Agricultural and Food Chemistry - 56/24 S.11653-11660.

[47] Arendash, W.; Mori, T.; Cao, C.; Mamcarz, M.; Runfeldt, M.; Dickson, A.; Rezai-Zadeh, K.; Tane, J.; Citron, B. A.; Lin, X.; Echeverria, V. & Potter, H. (2009): *Caffeine Reverses Cognitive Impairment and Decreases Brain Amyloid- $\beta$  Levels in Aged Alzheimer's Disease Mice*. Journal of Alzheimer's Disease, 17/3, S. 661–680.

[48] Cao, C.; Cirrito, J. R.; Lin, X.; Wang, L.; Verges, D. K.; Dickson, A.; Mamcarz, M.; Zhang, C.; Mori, T.; Arendash, G. W.; Holtzman, D. M. & Potter, H. (2009): *Caffeine Suppresses Amyloid- $\beta$  Levels in Plasma and Brain of Alzheimer's Disease Transgenic Mice*. Journal of Alzheimer's Disease, 17/3, S. 681–697.

[49] European cancer Prevention (2007), 16, S. 446–452.

[50] Anticancer research (2007), 27/5B, S. 3489–3495.

[51] Juliano, L. & Griffiths, R. (2004): *A critical review of caffeine withdrawal: empirical validation of symptoms and signs, incidence, severity, and associated features*. Psychopharmacology, 176/1, S. 1-29.

[52] Boekema, P.; Samsom, M.; van Berge Henegouwen, G. P. & Smout, A. J. (1999): *Coffee and gastrointestinal function: facts and fiction. A review*. Scand J Gastroenterol Suppl., 230, S. 35-39.

[53] Leitzmann, C.; Müller, C.; Michel, P.; Brehme, U.; Triebel, T.; Hahn, A. & Laube, H. (2005): Ernährung in Prävention und Therapie. Hippokrates Verlag in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG

[54] Massey & Whiting (1993): *Caffeine, urinary calcium, calcium metabolism and bone*. J. Nutr., 123, S. 1611–1614.

- [55] Weaver, C. M.; Proulx, W. R. & Heaney, R. (1999): *Choices for achieving adequate dietary calcium with a vegetarian diet.* Am J Clin Nutr., 70/3, S.543-548.
- [56] Asami, M.; Keiko, H. & Kouhei, H.(2008): *Effect of coffee drinking on urinary mineral excretion in human.* Kenritsu Hiroshima Daigaku Ningenbunkagakubu Kiyo, 3, S. 1-6.
- [57] Halvorsen, B.; Ranheim, T.; Nenseter, S.; Huggett, A. C. & Drevon, C. A. (1998): *Effect of a coffee lipid (cafestol) on cholesterol metabolism in human skin fibroblasts.* The Journal of Lipid Research, 39, S. 901-912.
- [58] Madhava Naidu, M.; Sulochanamma, G.; Sampathu, S. R. & Srinivas, P. (2007): *Studies on extraction and antioxidant potential of green coffee.*
- [59] Leloup, V.; Le Derff, F.; Le Coq, F. & Dossin, E. (2008): *Antioxidative activity of coffee extracts depending on roasting and extraction conditions.*
- [60] Naidu, M. & Jagadeesh, D. (2005): *Antioxidant activity of green coffee conserves.*
- [61] Rocha, B.; Batista, B., Duarte, S. & Marcelo, H. (2009): *Comparison between the antioxidant properties of slurry of the coffee (Coffea Arabica) and coffee beverage.*
- [62] Delgado-Andrade, C.; Rufian-Henares, A. & Morales, J. (2005): *Assessing the Antioxidant Activity of Melanoidins from Coffee Brews by Different Antioxidant Methods.*
- [63] Perez-Martinez, M.; Caemmerer, B.; De Pena, M.; Cid, C. & Kroh, W. (2010): *Influence of Brewing Method and Acidity Regulators on the Antioxidant Capacity of Coffee Brews.*
- [64] Sathisha, D.; Lingaraju, B. & Sham, K. (2011): *Evaluation of antioxidant activity of medicinal plant extracts produced for commercial purpose.*
- [65] Vignoli, A.; Bassoli, G. & Benassi, M. T. (2010): *Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The Influence of Processing Conditions and Raw Material.*
- [66] Gomez-Ruiz, A.; Ames, J. & Leake, D. (2008): *Antioxidant activity and protective effects of green and dark coffee components against human low density lipoprotein oxidation.*
- [67] Parras, P.; Martinez-Tome, M.; Jimenez, A.M. & Murcia, M.A. (2005): *Antioxidant capacity of coffees of several origins brewed following three different procedures.*
- [68] Bakuradze, T. (2010): *Untersuchungen zur antioxidativen Wirksamkeit von Koffeinhaltstoffen/ -extrakten und Kaffeegetränken in vitro und bei Probanden*

[69] Hecimovic, I.; Belscak-Cvitanovic, A.; Horzic, D. & Komes, D. (2011): *Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting*

[70] Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965): *Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents*. American Journal of Enology and Viticulture, 16/3, S. 144-158.

[71] Brand-Williams, W.; Cuvelier, M. E. & Berset, C. (1995): *Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity*. Lebensmittelwissenschaft und –technologie, 28, S. 25-30.

[72] Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Ananth, P.; Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999): *Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay*. Free Radical Biology & Medicine, 26, S. 1231-1237.