

Einführung in die Sekundären Pflanzenstoffe

Edith De Battista, Dipl. phil. II in Molekularbiologie, NDS in Humanernährung ETHZ; Juni 2024

Zusammenfassung

Sekundäre Pflanzenstoffe stellen einen wichtigen Teil der pflanzlichen Überlebensstrategien dar, die sich über Jahrtausende der Evolution entwickelt haben. Aufgrund der ständig ändernden Umweltbedingungen ist ein Arsenal an strukturell und funktionell vielfältigen Schutz- und Kommunikationsstoffen entstanden, die der Mensch für sich zu Nutzen gemacht hat. Er nimmt sie über eine abwechslungsreiche pflanzliche Ernährung auf und profitiert von einem gesundheitlichen Schutz, der über komplexe Wirkungsmechanismen so manche Vorstellung sprengt.

Dieser Beitrag möchte die faszinierende Welt der Sekundären Pflanzenstoffe näherbringen und dafür begeistern.

Einleitung

Lebensmittel pflanzlichen Ursprungs enthalten Hunderttausende von Inhaltsstoffen. Diese nehmen wir im Kontext einer natürlichen und vielfältig zubereiteten, farbigen, sortenreichen und alle Sinne ansprechenden Kost zu uns.

Eine unter Laien eher weniger bekannte Gruppe pflanzensynthetisierter Verbindungen unüber-

Sekundäre Pflanzenstoffe spielen eine unentbehrliche Rolle in der Sicherung des Überlebens einer Art.

schaubarer Vielfalt stellen die **Sekundären Pflanzenstoffe**, kurz Sekundärstoffe oder Sekundärmetaboliten, dar. Sie entstehen als Produkt des pflanzlichen Stoffwechsels, ausgehend von **Primärstoffen** wie Kohlenhydraten, Fetten und Aminosäuren. Primärstoffe bilden im Vergleich zu den Sekundären Pflanzenstoffen das molekulare Grundgerüst der Pflanze, was sie unmittelbar lebensnotwendig macht. Demgegenüber sind Sekundäre Pflanzenstoffe aus einer sehr engen Wechselwirkung der Pflanze mit der Umwelt hervorgegangen. Sie spielen eine unentbehrliche Rolle in der Sicherung des Überlebens einer Art. Dies geschieht im Laufe der Evolution durch stetige Anpassung und optimierte Zurechtfindung

unter sich ständig verändernden Umweltbedingungen.

Im Pflanzenreich sind Sekundäre Pflanzenstoffe sehr unterschiedlich vertreten. Deren genaue Zusammensetzung folgt aus vielen Einflussfaktoren. Diese ergeben sich – nebst der spezifisch genetischen Veranlagung der Pflanze – wiederum aus einer wechselseitigen Beziehung der Pflanze mit der nahen Umwelt. Von diesen pflanzenspezifischen Sekundärstoffen sollen je nach Literaturquelle 100'000 bis weit über 200'000 verschiedene Formen bekannt sein, wobei die tatsächliche Zahl möglicherweise viel höher ausfällt.

Von der Pflanze für die Pflanze

Sekundäre Pflanzenstoffe werden von der Pflanze für die Pflanze gebildet. Die Bedeutung dieser Stoffe geht weit über die Grundbedürfnisse und unmittelbaren Lebensprozesse der Pflanze hinaus, und deren Bildung ist unter realen Bedingungen von grosser Wichtigkeit. Sie dienen namentlich dazu, inter- und intraspezifische Beziehungen – unter anderem sogenannte **Symbiosen** – zwischen Pflanzen und anderen Organismen herzustellen und biochemische und molekulare Stoffwechselprozesse der Pflanze an die Umweltbedingungen anzupassen. Konkret handelt es sich beispielsweise um Boten-, Signal- und Lockstoffe, die Interaktionen mit Bestäubern sowie andere faszinierende Beziehungen zur

Sicherung des Fortbestandes ermöglichen. Als chemische Abwehrstoffe dienen sie der Abschreckung, Schädigung und sogar Abtötung konkurrierender oder schädlicher Organismen und Fressfeinde. Als UV-Filter absorbieren sie Strahlung aus dem kurzwelligen ultravioletten Bereich und wirken zellschützend.

Noch andere fördern die Temperaturanpassung, regulieren die Verdunstung und begünstigen die Trockenheitsbeständigkeit, wirken als Entgiftungsmittel, verantworten Sporenbildung und Samenkeimung, wirken auf Stammzellen ein, beeinflussen Wachstum und Energiehaushalt der Pflanze, regulieren genetische Vorgänge oder beeinflussen diejenigen benachbarter Pflanzen. Die **Wirkmechanismen** sind derart vielfältig, dass die nähere Erkenntnis davon einen tiefen Einblick in die Komplexität der Evolutionsbiologie ermöglicht. (Abraham, 2019: 11f; Bauer, 2020).

Besonders eindrücklich sind Beziehungen, die unter unseren Füßen, in der verborgenen Welt des Untergrunds, stattfinden. Hier spielen Sekundäre Pflanzenstoffe auf verschiedenen Ebenen Schlüsselrollen in der Konsolidierung ebensolcher gezielten und profitablen Gemeinschaften. Faszinierend ist dabei die Rolle der Sekundären Pflanzenstoffe bei der Etablierung von **Arbuskulären Mykorrhiza-Pilzen**. Der Name mag kompliziert klingen, aber Vertreter von Mykorrhiza-Pilzen sind alte Bekannte, die uns beim Spaziergang im Wald begegnen. Zu ihnen zählen der Fliegenpilz, die Morchel oder der Steinpilz. Die meisten Mykorrhiza-Pilze leben aber komplett unterirdisch. Sie kommen fast überall vor, wo es Boden und Pflanzen gibt, und können riesige Flächen von bis zu mehreren Hektaren kolonisieren. Ihre Besonderheit ist, dass sie eine enge Beziehung zu Pflanzen eingehen, eine sogenannte Endosymbiose, wie beispielsweise bei den Wildobstarten Sanddorn und Ölweide.

Das fädige Geflecht, aus dem der Pilz unter dem Boden besteht, umarmt die Pflanzenwurzeln innig und wächst sogar als Untermieter in sie hinein. (Abbildung 1). Dort bilden sie eine vielverzweigte Struktur, die einem Bäumchen, einem sogenannten «Arbuskel», gleicht. Doch der Pilz

hat kein Interesse, der Pflanze von ihren Wurzeln her zu schaden. Sie haben beide etwas viel Besseres für sich entdeckt: die **Mykorrhiza-Symbiose**.



Abbildung 1: Mykorrhiza-Pilz

In jeder Wurzel befinden sich Tausende von Zellen, die mit Arbuskeln besetzt sind und den effizienten Austausch von Nährstoffen und Wasser zwischen den Beteiligten ermöglichen. Da das Pilzgeflecht noch viel dünner als selbst die feinsten Wurzelhärchen ist, werden für die Pflanze neue Nährstoffquellen erschlossen. Im Gegenzug wird der Pilz mit dem Zucker aus der Photosynthese bezahlt.

Wildobst, das unter natürlichen, nicht idealisierten Bedingungen wächst und gedeiht, repräsentiert ein enormes Potenzial für die Bildung Sekundärer Pflanzenstoffe.

Für die Ökosysteme jenseits unserer Äcker ist das Pilznetzwerk aber noch vielmehr als eine reine Handelsbeziehung. Es ist ein **soziales Netzwerk**, über das Pflanzen untereinander und mit anderen Organismen kommunizieren und sich gegenseitig mit Nährstoffen versorgen können. Im

Wald ist dieses Sozialsystem besonders wichtig. Im Unterholz ist es dunkel und viele Jungbäume, Sträucher und Wildkräuter könnten gar nicht überleben, wenn sie nicht am pilzigen „**Wood Wide Web**“, angeschlossen wären. Nebst dem Austausch von Nährstoffen und Wasser werden ebenso chemische Warnstoffe über das Pilznetzwerk entlassen. Diese lassen sich am besten mit «Angtschweiss» vergleichen, was benachbarte und weiter gelegenen Pflanzen informiert, damit diese ihrerseits ihre Verteidigung hochfahren (Bieri, 2021: 48).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Pflanzen über die Bildung von Sekundären Pflanzenstoffen imstande sind, die ihnen umliegenden Eigenschaften in Boden und Luft im

Sinne der evolutionsbiologischen Überlebenssicherung für sich zu optimieren. Aufgrund der sich ständig ändernden Umweltbedingungen ist es nicht verwunderlich, dass sich im Laufe der Zeit ein enormes Kommunikations-, Waffen- und Schutzarsenal an strukturell und funktionell vielfältigen Stoffen entwickelt hat. Durch intensive Wechselwirkung mit der Umwelt wird es sich immerfort verändern und anpassen.

In dieser Hinsicht repräsentiert **Wildobst**, das unter natürlichen, nicht idealisierten Bedingungen wächst und gedeiht, ein enormes Potenzial für die Bildung Sekundärer Pflanzenstoffe.

Bedeutung der Sekundären Pflanzenstoffe in der menschlichen Ernährung

Der menschliche Körper hat gelernt, diese chemische Fülle an Sekundären Pflanzenstoffen für den eigenen Stoffwechsel zu nutzen. Sekundäre Pflanzenstoffe sind in der Regel die Wirkstoffe in Gewürz- und Arzneipflanzen, die für die gesundheitsförderlichen und, dosisabhängig, pflanzentherapeutischen Eigenschaften verantwortlich sind. So ist die Bedeutung von Pflanzen in der alten Medizin seit den Anfängen der menschlichen Zivilisation bekannt. Viele alte Völker haben auf der Basis von Ursache-Wirkungs-Beobachtungen Pflanzen und Pflanzenprodukte für medizinisch-pharmakologische Zwecke verwendet. Heute werden Sekundäre Pflanzenstoffe daher auch als «**Nutraeutika**» oder im Englischen «**nutraceuticals**» bezeichnet. Der Name kombiniert die Begriffe «**nutrient**» und «**pharmaceutical**» und weist auf die pharmakologische Wirksamkeit, hervorgehend aus Inhaltsstoffen natürlicher Nahrungsmitteln, hin.

Zu den eindrucklichsten Überlieferungen zählt sicherlich der «**Papyrus Ebers**» (Abbildung 2), ein medizinisches Pergament aus dem alten Ägypten, das die längste und einzig komplett überlieferte Buchrolle zur Heilkunde Altägyptens darstellen soll.

Der hieroglyphischen Aufschlüsselung zufolge soll es unter anderem ein grosses Spektrum an Anweisungen für die Zubereitung von pflanzlichen Heilmitteln enthalten, beispielsweise auch in gynäkologischer Hinsicht. Heute wissen wir, dass es sich damals bei gynäkologischen Zubereitungen um phytoöstrogenhaltige Pflanzen und Pflanzenteile gehandelt haben muss.

Phytoöstrogene sind pflanzliche Hormone aus

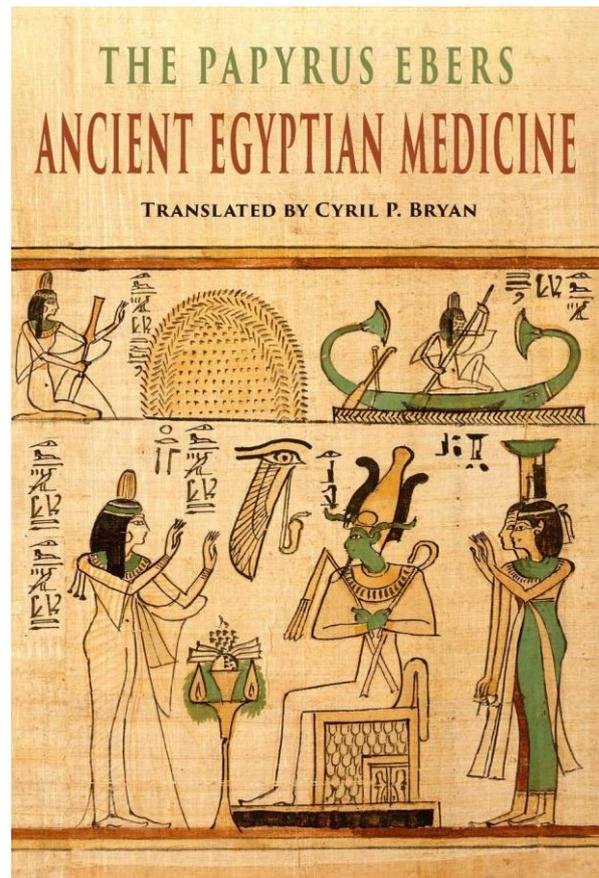


Abbildung 2: Papyrus Ebers, 16. Jh. vor Christus

der Familie der Polyphenole wie sie beispielweise in Vollkornprodukten, Hülsenfrüchten, Ölsamen (z.B. Lein-, Sesam- und Rapssamen) oder in Hopfen vorkommen. Aufgrund ihrer strukturellen Ähnlichkeit zum menschlichen Sexualhormon Östrogen, steuern sie im menschlichen Körper Östrogenandockstellen an. Dadurch wird eine sanfte antiöstrogene und unter anderem vermutlich leicht ovulationshemmende Wirkung entfaltet, die zur **Empfängnisverhütung** genutzt wurde. Ähnliches ist aus dem alten Griechenland und Rom dokumentiert. Heute finden wir im Fachhandel entsprechende pflanzentherapeutische Präparate, die beispielsweise zur Linderung von menstruellen und menopausalen Beschwerden Einsatz finden.

Das eindruckliche **Wirkungsspektrum der Sekundären Pflanzenstoffe** erschöpft sich kaum darin, das Hormonsystem zu beeinflussen und sprengt wahrlich jegliche Vorstellung. Es reicht von antibiotisch, antioxidativ, entzündungshemmend, immunmodulierend, gefässerweiternd und blutdrucknormalisierend, herz- und gefässschützend, cholesterin- und blutzuckerregulierend bis hin zu antikanzerogen (krebshemmend), um einige Eigenschaften zu nennen (Agrawal, 2023).

Die Mehrzahl dieser erfassten **Wirkmechanismen** stammen heute von Laborstudien am Zellgewebe und experimentellen Untersuchungen am Tiermodell. Gleichzeitig liegen zum Einfluss von Sekundären Pflanzenstoffen auf das Risiko für die Entstehung verschiedener Krankheiten beim Menschen auch Ergebnisse aus Humanstudien vor, sogenannte Beobachtungsstudien. Es ist heute somit generell zwar möglich, die wissenschaftliche Datenlage für eine schützende Wirkung von Sekundären Pflanzenstoffen beim Menschen zu bewerten. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Daten aus Beobachtungsstudien auf der Zufuhr von Sekundären Pflanzenstoffen über herkömmliche Lebensmittel beruhen. Die beobachteten schützenden Effekte werden möglicherweise

Wer profitieren möchte, führt Sekundäre Pflanzenstoffe im Kontext einer natürlichen und vielfältig zubereiteten, **kultur- und wildsortenreichen** sowie alle Sinne ansprechenden pflanzlichen Kost zu.

durch das gesamte Spektrum der in der Ernährung vorhandenen Inhaltsstoffe im Zusammenspiel ausgelöst. Zudem wird auch eine Mitbeeinflussung durch **Lebensstilfaktoren** diskutiert. Es gibt wenige Daten aus experimentellen Humanstudien mit isolierten Sekundären Pflanzenstoffen. Auch diese Art von Studien bekräftigt allerdings die Einsicht, dass Sekundäre Pflanzenstoffe Teil eines Stoffgemisches sind und als solche vermutlich im Verbund wirken. Letztlich bleibt es bei der Aussage, dass der vermehrte Konsum von pflanzlichen Lebensmitteln einen nachweisbaren gesundheitsschützenden Effekt besitzt. Wer profitieren möchte, führt Sekundäre Pflanzenstoffe im Kontext einer natürlichen und vielfältig zubereiteten, **kultur- und wildsortenreichen** sowie alle Sinne ansprechenden pflanzlichen Kost zu.

Wir nehmen Sekundäre Pflanzenstoffe als **Farb-, Duft- und Aromastoffe** wahr (Abbildung 3). Sie färben Brombeeren und Auberginen kräftig blauviolett, verleihen den Erdbeeren ihr köstlich-

süßes Aroma oder treiben uns beim Zwiebelschneiden die Tränen in die Augen.



Abbildung 3: Farbenfrohe Beeren, dank Sekundären Pflanzenstoffen

Sie werden, abhängig von Esskultur und individuellen Ernährungsgewohnheiten (pflanzlich versus tierisch; einseitig versus vielfältig; natürlich versus hochverarbeitet), in mehr oder weniger kleinen Mengen aufgenommen. Mal abgesehen davon, dass keine empfohlenen Mengen für solch weitaus unerforschte Vielfalt bestehen, sind deren Verdaubarkeit, Verfügbarkeit und dann auch effektive Nutzung im Körper von sehr vielen Variablen beeinflusst.

Man vermutet zudem gerade in Bezug auf die **Wirkungsentfaltung** von Sekundären Pflanzenstoffen individuelle Unterschiede in Abhängigkeit genetischer Faktoren. Diese führen auch innerhalb der gleichen ethnischen Untergruppe zu wesentlichen Variationen in der Verstoffwechslung zu aktiven Stoffen (Augustin, 2000; Tomàs-Barberà, 2014). Gleichzeitig gesellt sich eine ohnehin schon bemerkenswerte Variabilität im Gehalt der Sekundären Pflanzenstoffe im Nahrungsmittel. Dies in Abhängigkeit von Anbau und klimatischen Bedingungen, Stressexposition der Pflanze, Reifegrad zum Erntezeitpunkt und Lagerung, um ein paar Einflussfaktoren zu nennen. Dazu gesellen sich industrielle Verarbeitung, häusliche Zubereitung und, im Falle von fettlöslichen Sekundären Pflanzenstoffen, die Anwesenheit von Fett als Trägersubstanz und die im Körper bereits vorhandenen Konzentrationen. Viele dieser Faktoren unterliegen ihrerseits Vielzahligen Einflussfaktoren.

Ferner werden viele Sekundäre Pflanzenstoffe nicht enzymatisch, sondern von unserer **Mikrobiota** zu aktiven Stoffen überführt. Die Mikrobiota bezeichnet Bakterien und andere Mikroorganismen, die unseren Darm kolonisieren und mit denen wir eine enge Lebensgemeinschaft

eingehen. Ein enormes Mikrogen-Universum in uns, das über eine pflanzlich betonte Ernährungsweise direkt beeinflusst wird. Seinerseits hat es eine weitreichende und bis heute noch wenig verstandene stoffwechselbezogene, neurologische und immunologische Einflussnahme auf den gesamten Körper inne, was die Verwobenheit verschiedener Teilsysteme im Körper verdeutlicht. Eine Komplexität ohne Ende.

Klassifizierung

Sekundäre Pflanzenstoffe werden üblicherweise

gemäss ihrer chemischen Struktur, Funktion und Biosynthese klassifiziert. Da die Einteilung, Zuordnung und Funktion aufgrund der ausserordentlichen und weitaus noch unerforschten Vielfältigkeit von Literaturquelle zu Literaturquelle variieren, ist der Anspruch auf Vollständigkeit und Übersichtlichkeit kaum gegeben.

Um die Komplexität herunterzubrechen, werden nachfolgend bestimmte Gruppen Sekundärer Pflanzenstoffe exemplarisch kategorisiert. Rot hervorgehoben sind Wildobstarten:

Sekundäre Pflanzenstoffe	Exemplarische Vertreter	z.B. enthalten in ...	Bedeutung für die Pflanze	Mögliche Gesundheitseffekte (vorwiegend Tier- und in-vitro-Versuche)	Einfluss auf die Gesundheit beim Menschen (Beobachtungsstudien)
Flavonoide (Untergruppe der Polyphenole)	Resveratrol Anthocyane Quercetin	Äpfeln, Birnen, Trauben, Kirschen, Zwetschgen, Beerenobst, Kohlgemüse, Auberginen, Kapern, Zwiebelgewächsen (Zwiebeln, Lauch, Knoblauch, Schnittlauch), schwarzem und grünem Tee u.v.m. (weit verbreitet) Wald-Erdbeeren Schwarzem Holunder Blauer Heckenkirsche	Farbstoffe (rot, gelb, blau, violett)	antioxidativ antithrombotisch blutdrucksenkend entzündungshemmend immunmodulierend antibiotisch neurologische Wirkungen (pos. Einfluss auf kognitive Fähigkeiten)	Assoziation mit verringertem Risiko für bestimmte Krebs- und Herz-Kreislauf-Krankheiten
Phenolsäuren (Untergruppe der Polyphenole)	Ellagsäure Ferulasäure	Kaffee, Tee, Getreide, Kohlgemüse, Nüssen, Beerenobst Kornelkirschen Sommerkiwi Baum-Felsenbirnen	Abwehrstoffe gegen Fressfeinde	antioxidativ	Assoziation mit verringertem Risiko für bestimmte Krebskrankheiten
Phytoöstrogene (Untergruppe)	Genistein Daidzein	Getreide, Hülsenfrüchten, Brokkoli, Nüssen /	Pflanzenhormone mit struktureller Ähnlichkeit zum	antioxidativ immunmodulierend	Verbessern Blutgefässfunktion und Blutdruck

Sekundäre Pflanzenstoffe	Exemplarische Vertreter	z.B. enthalten in ...	Bedeutung für die Pflanze	Mögliche Gesundheitseffekte (vorwiegend Tier- und in-vitro-Versuche)	Einfluss auf die Gesundheit beim Menschen (Beobachtungsstudien)
der Polyphenole)	Conmestrol	Samen / Kernen und deren Ölen Hopfensprossen und -früchten Akebienfrüchte (Klettergurke)	weiblichen Sexualhormon Östrogen	hormonmodulierend	In Diskussion: Protective Wirkungen hinsichtlich Krebs- und Herz-Kreislauf-Krankheiten, Knochendichte, klimakterische Beschwerden
Carotinoide	Lycopin Zeaxanthin Lutein Alfa-/Beta-Carotin	Karotten, Tomaten, Kürbis, Peperoni, grünem Gemüse wie Spinat und Grünkohl, Aprikosen, Melonen, Beerenobst, Zitrusfrüchten Roten Holunderbeeren Feigen Kaki Alpenheckenrose-Hagebutten	Farbstoffe (gelb, orange, rot)	antioxidativ immunmodulierend entzündungshemmend	Assoziation mit verringertem Risiko für Herz-Kreislauf-Krankheiten und altersbedingte Augenkrankheiten In Diskussion: Risikosenkung hinsichtlich Krebs, metabolisches Syndrom, Gefäßveränderungen
Glucosinolate	Glucobrassicin	Kohlgemüse, Rettich, Radieschen, Senf, Kresse, Kapern	Abwehrstoffe gegen Fressfeinde oder Pathogene	antioxidativ immunmodulierend	Assoziation mit verringertem Risiko für bestimmte Krebskrankheiten
Sulfide	Allicin	Kohlgemüse und Zwiebelgewächsen (Zwiebeln, Lauch, Knoblauch, Schnittlauch)	Duft- und Aromastoffe	antibiotisch antioxidativ antithrombotisch blutdrucksenkend cholesterinsenkend	Assoziation mit verringertem Risiko für bestimmte Krebskrankheiten
Monoterpene	Menthol Limonen	Minze, Kümmel, Zitrusfrüchten Preiselbeeren Zierquitten (gekocht vielseitig verarbeitbar)	Duft- und Aromastoffe	cholesterinsenkend antikanzerogen	
Saponine	Ursolsäure Diosgenin	Hülsenfrüchten, Getreide, Spargeln, Spinat, Zwiebelgewächsen (Zwiebeln, Lauch,	Bitterstoffe (in wässriger Lösung)	antikanzerogen antibiotisch	

Sekundäre Pflanzenstoffe	Exemplarische Vertreter	z.B. enthalten in ...	Bedeutung für die Pflanze	Mögliche Gesundheitseffekte (vorwiegend Tier- und in-vitro-Versuche)	Einfluss auf die Gesundheit beim Menschen (Beobachtungsstudien)
		Knoblauch, Schnittlauch) Akebiefrüchte (Klettergurke) Weissdornbeeren Alpenheckenrose-Hagebutten	schaumbildende Wirkung)		
Phytosterine	Campestrin Beta-Sitosterin Stigmasterin	Nüssen / Samen / Kernen und deren Ölen, Hülsenfrüchten, Getreide, Kohlgemüse, Sprossen, Oliven	Membranbaustoff; Pflanzenhormone, die ähnlich wie Cholesterin aufgebaut sind	cholesterinsenkend	Senken die Cholesterinkonzentration im Blut In Diskussion: Zusammenhang mit Herz-Kreislauf-Krankheiten

Tabelle 1: Übersicht der Deutschen Gesellschaft für Ernährung, ergänzt mit Angaben aus Abraham (2019) und der informativen Plattform «Inforama Wildobst» (<https://ostsinn.ch/inforama-wildobst>)

Literaturverzeichnis

Abraham, L., (2019). **Bioaktive Sekundäre Pflanzenstoffe und ihre Wirkung in Pflanzen und Menschen**. Diplomarbeit an der Karl-Franzens-Universität Graz.

Agrawal, R.S. et al., (2023). **Phytochemicals as bioactive ingredients for functional foods**. Recent Frontiers of Phytochemicals. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19143-5.00028-1>, S. 96

Augustin, S. et al., (2000). **Dietary Intake and Bioavailability of Polyphenols**. The Journal of Nutrition Volume 130, Issue 8, p. 2073S-2085S.

Bieri, A., (2021). **Der Dschungel im Boden**. Ein Bilderbuch über eine der wichtigsten Ressourcen der Menschheit. Werd&Weber Verlag AG.

Bauer, A., (2020). **Primäre und Sekundäre Pflanzenstoffe und deren Wirkung an Beispielen ausgewählter Wildpflanzen**. Diplomarbeit an der Karl-Franzens-Universität Graz.

Francisco A. Tomàs-Barberà et al., (2014). **Ellagic Acid Metabolism by Human Gut Microbiota: Consistent Observation of Three Urolithin Phenotypes in Intervention Trials, Independent of Food Source, Age, and Health Status**. Journal of Agricultural and Food Chemistry 62, 6535-6538.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Mykorrhiza-Pilz; <https://naturwald-akademie.org/forschung/studien/pflanzen-versorgen-mykorrhiza-pilze/>; abgerufen am 08.06.2024

Abbildung 2: Papyrus Ebers; <https://www.desertcart.in/products/278666564-the-papyrus-ebers-ancient-egyptian-medicine>; abgerufen am 09.06.2024

Abbildung 3: Farbenfrohe Beeren, dank Sekundären Pflanzenstoffen; www.pixabay.com/de; abgerufen am 10.06.2024

Tabelle 1: Übersicht der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE), ergänzt mit Ergebnissen aus Abraham (2019); www.dge.de/wissenschaft/fachinformationen/sekundaere-pflanzenstoffe-und-die-gesundheit/; abgerufen am 08.06.2024