

Polyphenole

Pflanzenphenole finden aufgrund ihrer physiologischen und pharmakologischen Eigenschaften seit einigen Jahren zunehmendes Interesse. Epidemiologische Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen der Aufnahme von Phenolen über die Nahrung und einem verminderten Risiko für zahlreiche Krankheiten. Unsere Nahrungsmittel können tatsächlich günstige Effekte auf die Gesundheit und Prävention von Krankheiten haben. Bekannt sind die Zusammenhänge zwischen Ernährung und chronischen Krankheiten wie Adipositas, Herzerkrankungen und Krebs. Über die verschiedenen Gruppen phenolischer Verbindungen, deren Vorkommen, durchschnittliche Aufnahmemengen über die Nahrung sowie deren vielfältige physiologische und pharmakologische Wirkungen informiert der vorliegende Artikel.

Wilfried Andlauer

Aufgaben phenolischer Stoffe in der Pflanze

Noch vor 20 Jahren wurden sekundäre Pflanzenstoffe als physiologisch nutzlose Stoffwechselprodukte, als Abfallprodukte der Pflanze angesehen, da

sie weder am Energiestoffwechsel noch am Baustoffwechsel der Pflanze unmittelbar beteiligt sind. Die Entstehung der Sekundärstoffe in den Pflanzen muss im Zusammenhang mit Abwehrmechanismen gegenüber Tieren, Pilzen und Mikroorganismen gesehen werden. Zur Abwehr wurden zunächst Gerbstoffe gebildet. Später in der Entwicklung der Pflanzen wurden auch spezifische Gift- und Abwehrstoffe wie Polyacetylene, Steroidsaponine oder Sesquiterpenlactone synthetisiert. In diese Wirkstoffklasse gehören auch die phenolischen Phytoalexine, wie die Isoflavone Pisatin und Phaseolin aus der Sojabohne, oder Stilbene wie das Resveratrol aus der Weintraube. So entstand in den Pflanzen ein gewaltiges chemisches Potenzial zum Schutz vor Frassfeinden und Schadorganismen.

Die für die Befruchtung der Pflanze durch Insekten bedeutsame Farbe der Blütenblätter ist neben den Karotinoiden auf die roten und blauen Anthocyane sowie die gelben Flavone und Flavonole zurückzuführen. Die Farben der Früchte, ebenfalls überwiegend phenolische Verbindungen, haben eine Bedeutung für die Verbreitung der Samen durch Tiere, die von diesen Farben angesprochen werden.

Es ist anzunehmen, dass Phenolsäuren und deren Ester sowie Flavonoide vor allem deshalb in den Randschichten der Pflanzen vorkommen, weil sie dort das darunter liegende Gewebe vor UV-Licht und als Antioxidanzien auch vor freien Radikalen schützen (1–3). Zimtsäureester finden auch in Sonnenschutzmitteln Verwendung. Bei intensiver Bestrahlung mit UV-Licht wird in der Pflanze die Bildung entsprechender Schutzstoffe induziert. Die Flavonoidkonzentration in einem Blatt ist auf der lichtzugewandten Seite immer höher als auf der lichtabgewandten Seite.

Struktur und Einteilung phenolischer Verbindungen

Phenolische Verbindungen, auch als Polyphenole oder Pflanzenphenole bezeichnet, sind im Pflanzenreich weit verbreitet und eine ausserordentlich heterogene Stoffklasse. Pflanzenphenole

kommen in allen höheren Pflanzen und in allen Teilen der Pflanze vor (4).

Weit über 8000 phenolische Verbindungen sind bekannt (5), deren Struktur von den relativ einfachen phenolischen Säuren über die komplexeren Flavonoide bis hin zu den polymeren Tanninen reicht.

Phenole liegen in der Pflanze überwiegend konjugiert mit einem oder mehreren Zuckermolekülen vor, man spricht von Glykosiden. Die gebundenen Zucker können Mono-, Di- und sogar Oligosaccharide sein. Am häufigsten finden sich jedoch Glykoside der Glukose.

Nach Harborne lassen sich die Polyphenole aufgrund ihrer chemischen Struktur in Phenolcarbonsäuren mit C6-C1- oder C6-C3-Grundgerüst, in Flavonoide mit einem C6-C3-C6-Gerüst sowie in Stilbene mit einer C6-C2-C6-Struktur einteilen (*Abbildung 1* [6]).

Phenolische Säuren

Die bedeutendsten phenolischen Säuren sind die Hydroxymizsäuren (p-Cumar-, Kaffee- und Ferulasäure, *Abbildung 2*). Hydroxymizsäuren und auch die etwas einfacher gebauten Benzoesäurederivate (*Abbildung 3*) liegen in der Pflanze überwiegend als Ester oder glykosidisch gebunden vor (7).

Flavonoide

Zu den häufigsten Vertretern der Flavonoide, einer Gruppe von mehr als 5000 Verbindungen (8), zählen die Glykoside der Flavonole Quercetin, Kaempferol und Myricetin (*Abbildung 4*). Das in Früchten und Gemüse am weitesten verbreitete Flavonol-Glykosid ist das Rutin (Quercetin-rhamno-glucosid). Hauptflavonoidquellen der Nahrung sind Früchte und Gemüse, aber auch Getränke wie Tee und Rotwein (*Tabelle 1*).

Die Flavonoide Catechin, Epicatechin und Gallocatechin, die monomeren Bausteine der kondensierten Tannine, liegen im Wein und besonders im grünen Tee auch als freie Verbindungen und als Gallussäureester vor.

Zu den wasserlöslichen Pflanzenfarbstoffen gehören die Anthocyane, die glykosyliert oder mit anderen Flavonoiden kondensiert vorliegen und

Tabelle 1: Phenolgehalte ausgewählter Getränke in mg/l (nach 22, 99)

| | |
|-------------|------------------|
| Tee | 750–1100 |
| Kaffee | 1350–3700 |
| Wein, weiss | 200–300 |
| rot | 1000–4000 (6500) |
| Bier | 60–100 |

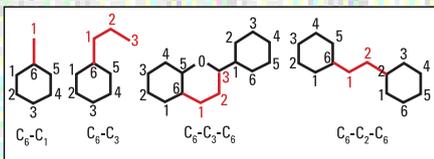


Abbildung 1: Klassifizierung der Phenole nach Harborne (6)

verantwortlich für die Farbe des Rotweins sind.

Unter physiologischen Gesichtspunkten bedeutende Vertreter der Flavonoide sind die Isoflavone. Sie kommen in hohen Konzentrationen in Sojabohnen vor (9, 10), finden sich in geringeren Mengen aber auch in anderen Leguminosen, wie Erbsen, Bohnen, Linsen und Erdnüssen (11).

Stilbene

Resveratrol (Abbildung 5) und seine Glykoside kommen vorwiegend in Wein, Erdnüssen und einigen Arzneipflanzen vor (12–16). Hauptquelle unserer Nahrung ist der Rotwein, der wesentlich höhere Gehalte aufweist als weisser oder Rosé-Wein (17). Resveratrol wirkt in Pflanzen als Phytoalexin (eine Art pflanzliches Antibiotikum), das vor Pilzinfektionen schützt (18).

Phenolgehalte in Pflanzen und Lebensmitteln

Weit verbreitete Pflanzenphenole sind die Flavonole (Quercetin, Kaempferol, Myricetin), die in nahezu allen Früchten und Gemüse vorkommen. In frischem Gemüse wie Zwiebeln, Kohlrabi, Broccoli und Bohnen finden sich hohe Konzentrationen an Quercetin (30–486 mg/kg). Kaempferol wurde in Kohlrabi, Endiviensalat und Rügen nachgewiesen (31–218 mg/kg). Generell sind die Konzentrationen in verarbeiteten Lebensmitteln geringer als in frischen Produkten (19). Der Flavonolgehalt in Tee und Wein ist bemerkenswert hoch (20). Tabelle 1 zeigt die Phenolgehalte für ausgewählte Getränke. Grüner Tee kann in der Trockenmasse über 30 Prozent Polyphenole enthal-

Tabelle 2: Phenolgehalte phenolreicher Lebensmittel in mg/100 g Trockenmasse, Gemüse und Früchte in mg/100 g (nach 10, 30, 99)

| | | | |
|----------------------|-----------|--------------|----------|
| Getreide | | | |
| Roggen | 1200–1500 | Hirse | 590–1060 |
| Nüsse | | | |
| Walnuss | 740 | Pecannuss | 200 |
| Hülsenfrüchte | | | |
| Bohne | 35–280 | Kichererbse | 80–230 |
| Erbsen | 380–1700 | Soja | 1260 |
| Gemüse | | | |
| Rosenkohl | 5–15 | Kohl | 25 |
| Zwiebel | 100–2000 | Lauch | 20–40 |
| Petersilie | 55–180 | Sellerie | 95 |
| Früchte | | | |
| Apfel | 25–300 | Kirsche | 550 |
| Blaubeere | 135–280 | Preiselbeere | 75–245 |
| Weintraube | 50–490 | Pflaume | 4–225 |
| Grapefruit | 50 | Orange | 10–150 |
| Johannisbeere rot | 15–20 | schwarz | 140–1200 |

ten, wobei die Catechine dominieren. Im gebrühten Tee macht Epigallocatechingallat über die Hälfte der Gesamtcatechine aus (21).

Ein hoher Flavonidgehalt wurde auch in schweren Rotweinen (Chianti, Rioja, Bordeaux) festgestellt (22, 23). Im Gegensatz dazu enthält Weisswein herstellungsbedingt relativ wenig Phenole (24).

Phenolische Säuren wurden in größeren Mengen in Früchten, Gemüse und Getreide bestätigt (25, 26). Ihr Anteil in Getreide kann bis zu 500 mg/kg ausmachen (27).

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Gesamtphenolgehalte einiger phenolreicher Pflanzen. Die Gehalte zahlreicher Lebensmittel können auch online von der «USDA National Nutrient Database for Standard Reference» (www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp) abgerufen werden.

Einfluss der Lebensmittelverarbeitung auf den Phenolgehalt

Pflanzenphenole sind reaktive Lebensmittelbestandteile, deren Konzentration und Struktur bei Verarbeitungsprozessen empfindlich verändert werden können. Bereits bei der Le-

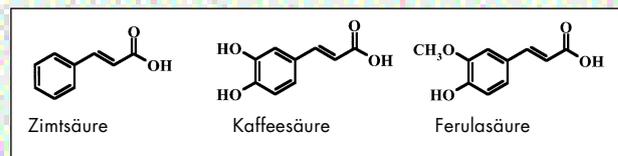


Abbildung 2: Zimtsäure und Hydroxymethylsäuren

bensmittellagerung können erhebliche Verluste an Phenolen auftreten. So führt eine zweiwöchige Lagerung von Blattsalat (Lollo rosso) bei 5 °C zu einer Verminderung der Konzentration des roten Blattfarbstoffes Cyanidin-3-malonylglucosid von über 30 Prozent (25).

Nach der Essigherstellung aus Rot-, Weiss- und Apfelweinen sind die charakteristischen Pflanzenphenole in den Essigen zwar noch nachweisbar, aber ihre Konzentration ist ebenso wie der Gesamtphenolgehalt der Essige gegenüber den Weinen um bis zu 40 Prozent vermindert (28).

Die relativ stabilen Isoflavone sind die

Tabelle 3: Isoflavongehalt verarbeiteter Sojaprodukte in mg/kg (nach 10)

| | |
|----------------------|------|
| Sojabohne | 1636 |
| Soja, geröstet | 1625 |
| Tempeh (fermentiert) | 625 |
| Tofu (TM 20–25%) | 337 |

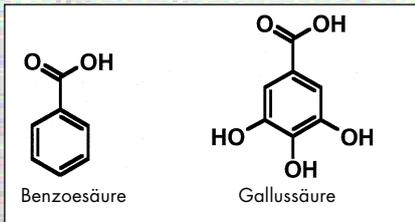


Abbildung 3: Benzoessäure und Hydroxybenzoessäure

Hauptflavonoide der Sojabohne. Der Isoflavon Gehalt bei der Sojaverarbeitung ändert sich kaum, sofern der unterschiedliche Wassergehalt der Produkte berücksichtigt wird (Tabelle 3) (10). Es sind jedoch dramatische Veränderungen in der Isoflavonzusammensetzung erkennbar. Dominierende Verbindungen in der Sojabohne sind die Glukoside und die Malonylglukoside. Letztere werden beim Röstprozess zu den Acetylglukosiden decarboxyliert. Die Glukoside der Isoflavone werden während der Tempeh-Fermentation enzymatisch durch bakterielle Glykosidasen zu den Aglykonen gespalten.

Aber auch die Verarbeitung von Lebensmitteln im Haushalt, wie etwa das Kochen von Gemüse, führt zu merklichen Veränderungen im Phenolgehalt. Durch Kochen verlieren Karotten über 60 Prozent ihrer Chlorogensäure (29). Vergleichbare Ergebnisse wurden auch für andere Pflanzenphenole aus diversen Gemüsesorten bestätigt.

Zufuhr sekundärer Pflanzenstoffe über die Nahrung

Die tägliche Aufnahme sekundärer Pflanzenstoffe ist selbstverständlich stark abhängig von den Ernährungsgewohnheiten. Zur Aufnahme sekundärer Pflanzenstoffe über die Nahrung gibt es lediglich einige Abschätzungen. Kühnau geht von einer täglichen Aufnahme von etwa 1 g aus (30), Ames et al. schätzen die Aufnahme sekundärer Pflanzenstoffe auf über 1,5 g (31). In den Niederlanden wurde die tägliche Aufnahme von Flavonolen (nur eine von vielen Phenolklassen berücksichtigt!) vor allem aus Äpfeln, Zwiebeln und schwarzem Tee, auf 23 mg (32), in Finnland sogar nur auf etwas über

3 mg geschätzt (33). Kühnau und Ames et al. gehen bei ihren Abschätzungen nicht nur vom essbaren Anteil, sondern von der gesamten Pflanze aus, weshalb Zahlen von 1 g und mehr als obere und die Angaben zur Flavonol-Aufnahme als unterer Schätzwert angesehen werden können. Die aktuellste und den tatsächlichen Verhältnissen am nächsten kommende Abschätzung stammt ebenfalls aus den Niederlanden und liegt bei 280–540 mg pro Tag (34).

Von diesem Durchschnittswert weichen starke Teetrinker erheblich ab. Diese können aufgrund der sehr hohen Phenol-Gehalte von grünem Tee täglich leicht über 5 g an Phenolen, vor allem Catechine, aufnehmen (35). Dasselbe gilt für Weintrinker, insbesondere wenn Rotwein getrunken wird. Ausgehend von einem durchschnittlichen Weinkonsum von 180 ml pro Person und Tag (36), werden täglich ausschließlich durch Weisswein etwa 44 mg, durch Rotwein sogar über 400 mg zugeführt (37).

In unserem Körper kommt jedoch noch lange nicht alles an, was verzehrt wird, und falls ein Pflanzenphenol tatsächlich aufgenommen wird, erreicht es den Organismus häufig in einer anderen Form als der in der Pflanze vorliegenden.

Aufnahme und Metabolismus von Pflanzenphenolen

Erst seit für Pflanzeninhaltsstoffe erwünschte physiologische Wirkungen beschrieben wurden, beschäftigt man sich intensiver mit ihrem Schicksal im Säugerorganismus. Ein fundiertes Wissen über die Aufnahme und den Metabolismus von Pflanzenphenolen ist eine Grundvoraussetzung zur Beurteilung ihrer Wirkungen.

Basierend auf tierexperimentellen Studien schloss Kühnau (30), dass nur Aglykone in der Lage sind, die Darmwand zu passieren. Da keine β -Glykosid-spaltenden Enzyme in das Darm-lumen sezerniert werden oder in der Darmwand vorhanden sind (30, 38), wurde eine Aufnahme von Phenolen erst nach einer Hydrolyse durch Mikroorganismen im Kolon für möglich gehalten (39–41). Erst in den letzten Jahren konnte gezeigt werden, dass auch der Säugerorganismus in der

Tabelle 4: Absorptionsraten von Pflanzenphenolen in einem isoliert perfundierten Rattendünndarm

(nach 100–102)

Die Phenole sind nach zunehmender Polarität geordnet.

| | |
|---------------------|------|
| Genistein | 37% |
| Resveratrol | 21% |
| Genistin | 15% |
| Rutin | 10% |
| Cyanidin-3-glucosid | 2,8% |

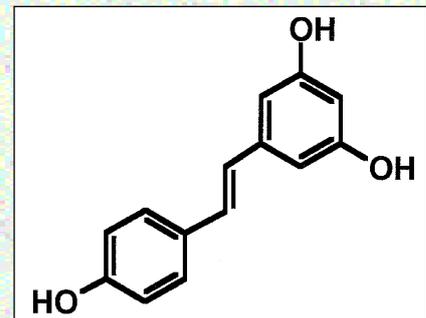


Abbildung 5: Strukturformel von Resveratrol

Lage ist, β -Glykoside zu spalten (42, 43). Mit einem Ex-vivo-Organmodell konnte ausserdem belegt werden, dass eine Glykosid-Spaltung nicht Voraussetzung für die Aufnahme im Darm ist (44–46). Der Nachweis intakter Glykoside von Phloretin und Quercetin im Blut von Probanden bestätigt dies (47).

Die Ergebnisse aus Phenol-Aufnahmestudien waren zunächst widersprüchlich. So wurde nach oraler Gabe von Quercetin (4 g) an gesunde Menschen die verabreichte Substanz weder im Plasma noch im Urin gefunden (48). Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse aus Versuchen mit gesunden Probanden nach Ileostomie, die nach oraler Gabe 24 Prozent des angebotenen Quercetins und 17 Prozent des Glykosids Rutin aufnahmen (49). Überraschenderweise wurden in dieser Versuchsreihe Quercetin-Glukoside aus Zwiebeln (52%) am besten aufgenommen. Der Zuckerrest scheint grossen Einfluss auf die Absorption der Flavonoide zu haben. Die bessere Aufnahme der Glukoside gegenüber dem Aglykon beziehungsweise dem Rutinosid wird durch einen aktiven Transport von Quercetin-Glukosiden über den natriumabhängigen Glukose-Kotransporter (SGLT1) erklärt (50). In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass das 3-Glukosid

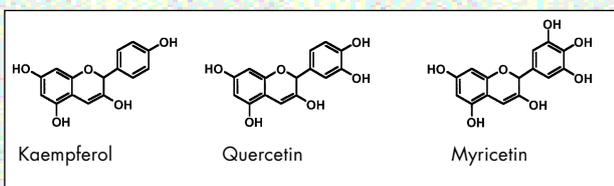


Abbildung 4: Strukturformeln bedeutender Flavonole

ebenso wie das 4'-Glukosid sehr gut und schnell aufgenommen wird (51).

Generell lässt sich feststellen, dass die Hauptmetaboliten der Phenole im Blut Glucuronide sind (52, 53). Lediglich Anthocyane und Catechine werden in grösserem Umfang unverändert aufgenommen. Flavonoide werden, mit Ausnahme einiger Glukoside (49), passiv durch Diffusion aufgenommen, wobei unpolare Phenole besser absorbiert werden als polare (Tabelle 4).

Phenolische Säuren, wie zum Beispiel die Ferulasäure, werden in einer Humanstudie aus Tomaten zu etwa 25 Prozent aufgenommen (54). Hauptmetabolit dieser phenolischen Säure ist wie bei den Flavonoiden das Glucuronid-Konjugat. Die Aufnahme von Kaffeesäure und Chlorogensäure (Ester der Kaffeesäure mit der Chinasäure) durch den Menschen wird ebenfalls beschrieben (55).

Einfluss anderer Lebensmittelinhaltsstoffe auf die Phenolaufnahme

Die Aufnahme von Pflanzenphenolen kann von anderen Lebensmittelinhaltsstoffen abhängen. So ist die Aufnahme von Tofu-Isoflavonen in einem Dünndarmmodell mit etwa 8 Prozent weit geringer als die Aufnahme dieser Phenole aus gepufferter wässriger Lösung (ca. 15%) (46).

Im Gegensatz dazu nimmt die Aufnahme von Genistin aus Soja im Dünndarmmodell bei simultaner Gabe von Phloridzin, einem phenolischen Apfelinhaltsstoff, dramatisch zu (56). Ausserdem wird in Aufnahmestudien mit Genistin ohne Phloridzin wesentlich weniger glucuronidiertes, dafür mehr freies Genistein absorbiert. Da Genistein-Glucuronid biologisch weniger aktiv ist als freies Genistein, wird durch Phloridzin nicht nur die gesamt aufgenommene Isoflavon-Menge erhöht, sondern auch deren biologische Aktivität. Die Kombination sekundärer Pflanzenstoffe könnte daher ein Erfolg versprechender Ansatz zur Herstellung funktioneller Lebensmittel sein.

Überraschenderweise hat Ethanol als Lösungsvermittler keinen signifikanten Einfluss auf die Aufnahme des roten Pflanzenfarbstoffes Cyanidin-3-glucosid (45). Mit und ohne Ethanol werden lediglich 3–4 Prozent Anthocyan aufgenommen.

Wird grüner oder schwarzer Tee an Probanden verabreicht, kann eine starke Zunahme der antioxidativen Ka-

pazität des Plasmas im Vergleich zu einer Wasser trinkenden Kontrollgruppe beobachtet werden (57). Dieser Effekt tritt nicht auf, wenn Tee gemeinsam mit Milch verabreicht wird. Die Wirkung von Milch wird über eine Reaktion der Milchproteine mit den antioxidativen Teephenolen erklärt.

Kürzlich wurde eine ähnliche Beobachtung auch für Schokolade beschrieben (58). Dunkle Schokolade erhöht die antioxidative Kapazität des Plasmas, während Milchsokolade beziehungsweise dunkle Schokolade gemeinsam mit Milch verzehrt keinen Einfluss zeigt. Auch hier kann der Effekt auf Wechselwirkungen der Kakao-phenole mit dem Milcheiweiss zurückgeführt werden.

Epidemiologie

Epidemiologische Studien der letzten Jahre zeigen deutlich, dass das Risiko für degenerative Krankheiten wie koronare Herzerkrankungen oder Krebs durch eine erhöhte Zufuhr an pflanzlichen Produkten reduziert werden kann (59–62). Für eine Ernährung mit Sojaprodukten, welche reich an Isoflavonen und Lignan sind, konnte ein protektives Potenzial hinsichtlich Brust- und Prostatakrebs erkannt werden (63, 64). Diese Beobachtungen werden bestätigt durch die Tatsache, dass Personen mit Brustkrebs oder hohem Risiko für Brustkrebs geringere Konzentrationen an Pflanzenphenolen (wie Isoflavonen und Lignan) im Urin ausscheiden als Menschen mit niedrigem Risiko für diese hormonabhängigen Krebsarten (65). Epidemiologische Studien lassen auch auf einen Zusammenhang von Teekonsum und einem verminderten Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen schliessen (66–68). Ausserdem wurde beschrieben, dass koronare Herzerkrankungen und Lungenkrebs bei geringer Flavonoid-Aufnahme häufiger auftreten (33), weshalb eine Flavonoid-reiche Nahrung mit Früchten und Gemüse empfohlen wird (69).

Im Jahr 1992 wurde eine hochinteressante Hypothese aufgestellt, das so genannte französische Paradoxon: «Rotwein schützt vor koronaren Herzerkrankungen» (70). Franzosen, die eine vergleichbare Menge an gesättigten Fetten zu sich nehmen, vergleichbare Plasma-Cholesterinspiegel haben und auch sonst ähnliche Risikofaktoren aufweisen wie andere Westeuropäer oder US-Amerikaner, sterben

viel seltener an koronaren Herzerkrankungen. Es konnte gezeigt werden, dass Rotweinkonsum der einzige Ernährungsfaktor war, der negativ mit koronaren Herzerkrankungen korrelierte. In experimentellen Studien wurden die bemerkenswerten Eigenschaften von Rotwein später bestätigt und zugrunde liegende physiologische Mechanismen aufgeklärt (71). In der folgenden Zeit wurden einige Artikel publiziert, welche ähnlich positive Wirkungen auch für Traubensaft und entalkoholisierten Wein beschrieben (72–74). Kontrovers diskutiert wird bisher immer noch die wesentliche Frage, ob Ethanol *per se* (75) oder die nichtalkoholische Fraktion von Wein, hauptsächlich bestehend aus phenolischen Verbindungen, verantwortlich für die protektiven Wirkungen ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass aufgrund der epidemiologischen Studien kaum Zweifel an einer protektiven Wirkung pflanzlicher Lebensmittel bestehen und dass diese Wirkung wesentlich mit den in den Pflanzen vorhandenen phenolischen Pflanzenstoffen zusammenhängt.

Wirkungen phenolischer Pflanzenstoffe auf den Säugerorganismus

Die Pflanzenphenole tragen über Farbe und Geschmack wesentlich zur Akzeptanz eines Nahrungsmittels bei. Das wachsende Interesse an den phenolischen sekundären Pflanzenstoffen ist aber in ihren physiologischen und pharmakologischen Eigenschaften begründet. Mit einer gemischten Kost nehmen wir täglich einen Cocktail aus einigen Tausend phenolischen Verbindungen zu uns, welche sich in ihrer Wirkung auch noch gegenseitig beeinflussen können (31).

Orientierend am Artikel von Professor Paul Walter (SZE 1/2004) wird im Folgenden kurz auf physiologische Wirkungen der Phenole eingegangen, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit erheben zu wollen.

Antioxidative Wirkung

Freie Radikale können für die Entstehung von Krebs und Herz-Kreislauf-Erkrankungen mitverantwortlich sein. Zahlreiche phenolische Pflanzenstoffe sind potente Antioxidanzien und damit in der Lage, freie Radikale in Lebensmitteln und im Organismus abzufangen (76). In Untersuchungen mit Rotwein konnte ein schützender Einfluss der Po-

lyphenole auf die Oxidation von Lipoproteinen niedriger Dichte (LDL) nachgewiesen werden (71). Tatsächlich schützen Rotwein-Polyphenole LDL noch in einer 1000fachen Verdünnung besser vor Oxidation als eine vergleichbare Menge an α -Tocopherol (70). Das in roten und weissen Weinen enthaltene Stilben Resveratrol vermindert vermutlich das Risiko für Atherosklerose, indem es oxidative LDL-Schädigungen verhindert (77).

Antithrombotische Wirkung

Die Blutkoagulation wird nicht nur durch metabolische Funktionsstörungen, sondern auch durch die Ernährung mit beeinflusst. Für viele Flavonoide aus Knoblauch, Wein und Traubensaft und auch für Isoflavone aus Soja, für Gingerol aus Ingwer und für Carnosol aus Rosmarin wurde ein Einfluss auf die Blutplättchen-Aggregation beschrieben (78, 79). Die antithrombotische Wirkung wird über eine Hemmung der Cyclooxygenase und der Lipoxygenase erklärt (80).

Entzündungshemmende Wirkung

Eine entzündungshemmende Wirkung wird ebenfalls auf eine der Cyclooxygenasen zurückgeführt, ein Enzym, das die Bildung von Prostaglandinen aus Arachidonsäure katalysiert. Prostaglandine sind für Entzündungssymptome wie zum Beispiel die Erweiterung der Blutgefäße oder eine Erhöhung der Gefässpermeabilität verantwortlich (81). Besonders einige Flavonoide, wie zum Beispiel Rutin, sollen über diesen Mechanismus entzündungshemmend wirken (80, 82).

Blutglukose-regulierende Wirkung

Myricetin, ein Flavonol, das häufig in Früchten und Tee vorkommt, imitiert Insulin in Fettzellen von Ratten, was die Stimulation der Lipogenese und des Glukosetransports anbetrifft (83). Der Einfluss auf die Glukoseaufnahme ist vermutlich durch eine Veränderung der Membranfluidität oder durch Wechselwirkungen von Myricetin mit Membrantransportern bedingt. Myricetin könnte daher therapeutisches Potenzial bei der Behandlung von nicht insulinabhängigem Diabetes mellitus zukommen, indem die Glukoseaufnahme in die Zelle stimuliert wird, ohne dass voll funktionierende Insulinrezeptoren vorhanden sein müssten (83).

Inhibitoren der stärkespaltenden Enzyme wie zum Beispiel Tannine

(Gerbstoffe) beeinflussen die Blutglukosekonzentration, indem sie an Stärke und an Polysaccharid-spaltende Enzyme binden und dadurch die Spaltung der polymeren Kohlenhydrate verlangsamen, was ein langsames Ansteigen des Blutglukosespiegels zur Folge hat.

Cholesterinspiegel-senkende Wirkung

Hohe Cholesterinspiegel werden in ursächlichen Zusammenhang mit der Entwicklung von kardiovaskulären Erkrankungen und Atherosklerose gebracht. Eine Senkung des Cholesterinspiegels erscheint daher in vielen Fällen angebracht. Der Verzehr sojareicher Nahrung soll vor der Entwicklung von Atherosklerose schützen, wobei die cholesterinsenkende Wirkung sowohl den Isoflavonen als auch dem Sojaprotein zugeschrieben wird (84).

Antikarzinogene Wirkung

Phenolische Pflanzenstoffe können vermutlich die Krebsentstehung verlangsamen oder sogar verhindern (85). Die Pflanzenphenole können in verschiedenen Phasen der Krebsentstehung eingreifen:

Phenolische Säuren und Catechine, wie wir sie in hohen Konzentrationen im Tee finden, sind in der Lage, die Bildung von karzinogenen Nitrosaminen aus Vorläuferverbindungen (Precursor-Substanzen, wie zum Beispiel Amine und Nitrit) zu verhindern (86). Teephenole können karzinogene Substanzen auch daran hindern, das Zielgewebe zu erreichen und mit ihm zu reagieren (87). Flavonoide aus Ginseng stimulieren das Immunsystem (z.B. Stimulierung von T-Helferzellen und Beeinflussung der Zytokinbildung), wodurch bereits proliferierende Tumorzellen in ihrer Entwicklung beeinträchtigt werden (88).

Phenole aus Tee und Leguminosen (Soja, Erbsen, Bohnen) können die Onkogenexpression hemmen, indem sie mit Schlüsselenzymen der Signaltransduktion (u.a. Tyrosinkinase) in Wechselwirkung treten (89–92). Als Antioxidanzien können Phenole freie Radikale abfangen und dadurch eine oxidative Schädigung der DNA verhindern.

In letzter Zeit wird immer wieder über eine krebspräventive Wirkung phytoöstrogenen Verbindungen (Lignane, Isoflavone, Stilbene) berichtet (63, 64). Diese schwach östrogenähnlich wirkenden Verbindungen beeinflussen die Bildung, den Metabolismus und die Wirkung von Steroidhormo-

nen (65). So senken Isoflavone den 17- β -Estradiol-Serumspiegel signifikant (93) und beeinflussen Enzyme, wodurch das Tumorstadium nach einer Behandlung vermindert werden (90–92, 94). Isoflavone konkurrieren mit steroidalen Hormonen um endogene Östrogenrezeptoren (95, 96), wodurch die östrogenstimulierte Proliferation von Brustkrebszellen vermindert wird (97, 98).

Bewertung

Trotz zahlreicher Studien zur physiologischen Wirkung sekundärer Pflanzenstoffe sind viele Wirkmechanismen nur teilweise aufgeklärt oder noch gänzlich unbekannt. Die vorstehend beschriebenen Wirkungen der Pflanzenphenole wurden zum grossen Teil in tierexperimentellen Studien oder aus In-vitro-Versuchen gewonnen, weshalb diese Ergebnisse nur eingeschränkt auf den Menschen übertragbar sind. Wird einem sekundären Pflanzenstoff aufgrund von Untersuchungen eine protektive Wirkung zugeschrieben, heisst das nicht, dass eine hohe Zufuhr dieser Substanz (womöglich in isolierter Form) vor einer Erkrankung schützt oder Krankheiten heilen kann. Die Untersuchungsergebnisse lassen lediglich den Schluss zu, dass ein regelmässiger und häufiger Verzehr von Nahrungsmitteln, welche diesen Pflanzenstoff mit protektiver Wirkung enthalten, zu einer Risikominderung führen kann.

Ausblick

In unserer Nahrung gibt es über 8000 Pflanzenphenole, die sich in ihrer biologischen Wirkung und in Aufnahmeprozessen gegenseitig beeinflussen können. Das Thema der phenolischen Pflanzenstoffe bleibt daher eine grosse Herausforderung für Ernährungswissenschaft, Lebensmittelchemie/-technologie und Ernährungsmedizin. Die zahlreichen Studien zu diesem Themenbereich werfen gegenwärtig noch mehr Fragen auf, als sie Antworten geben können. ■

Literatur auf Anfrage bei der Redaktion erhältlich.

Anschrift des Autors:

Priv.-Doz. Dr. Wilfried Andlauer
Haute Ecole Valaisanne
Route du Rawyl 47
1950 Sion
Tel. 027-606 86 37, Fax 027-606 85 15
E-Mail: anw@hevs.ch