

# Fundort Pflanzenzelle

## Einführung in Vorkommen, Eigenschaften und Wirkungsweise sekundärer Pflanzenstoffe

### Found in the Plant Cell

### Introduction to Occurrence, Characteristics and Mechanisms of Action of Phytochemicals

**Autor**
**B. Watzl**
**Institut**

Max-Rubner-Institut, Karlsruhe

**Schlüsselwörter**

- Historie
- Klassifizierung
- Strukturvielfalt
- Essenzialität
- epidemiologische Evidenz
- Risikominderung
- botanische Vielfalt

**Keywords**

- history
- classification
- structural variety
- essentiality
- epidemiological evidence
- risk reduction
- botanical variety

**Zusammenfassung**

Sekundäre Pflanzenstoffe werden seit etwa 20 Jahren intensiv erforscht. Inzwischen liegen überzeugende Daten aus epidemiologischen Studien vor, die das gesundheitsfördernde Potenzial dieser Verbindungen belegen. Eine hohe Aufnahme pflanzlicher Lebensmittel geht mit einer Risikominderung u. a. für Krebs und Herz-Kreislauf-Erkrankungen einher. Dies gilt sowohl für Obst und Gemüse als auch für Vollkornprodukte, Hülsenfrüchte und Nüsse. Insgesamt ist erst ein kleiner Teil aller relevanten sekundären Pflanzenstoffe identifiziert. Interventions- und epidemiologische Studien ermöglichen zwar eine gesundheitliche Bewertung einiger Verbindungen. Empfehlungen für die Zufuhr einzelner sekundärer Pflanzenstoffe gibt es jedoch nicht. Vielmehr verstärken sich die protektiven Effekte mit der Vielfalt der aufgenommenen Verbindungen. Deshalb gilt die Empfehlung, viele verschiedene pflanzliche Lebensmittel in den Speiseplan einzubauen und möglichst das gesamte Spektrum sekundärer Pflanzenstoffe zu nutzen.

**Abstract**

Phytochemicals have been the subject of intense research for some 20 years now. In the meantime, convincing data from epidemiological studies have shown the health promoting potential of these compounds. A high intake of plant foods is accompanied by a risk reduction for cancer and cardiovascular disorders, among others. This is the case for fruit and vegetables as well as for wholegrain products, legumes, and nuts. Altogether, only a small proportion of all relevant phytochemicals have been identified. Intervention studies and epidemiological studies enable assessing some compounds in terms of their health benefits, but no recommendations exist for the intake of individual phytochemicals. Rather, the protective effects increase in parallel with the variety of compounds ingested. Therefore a recommendation exists to include as many plant foods into the diet as possible, so as to exploit the entire range of phytochemicals, if possible.

**Bibliografie**

**DOI** <http://dx.doi.org/10.1055/s-0030-1265995>  
 Aktuell Ernährungsmed 2011; 36, Supplement 1: S2–S5  
 © Georg Thieme Verlag KG  
 Stuttgart · New York ·  
 ISSN 1862-0736

**Korrespondenzadresse**

**Prof. Dr. Bernhard Watzl**  
 Max-Rubner-Institut  
 Haid-und Neu-Straße 9  
 76131 Karlsruhe  
 Tel.: 0721/6625401  
 Bernhard.Watzl@mri.bund.de

Obwohl sekundäre Pflanzenstoffe schon immer Bestandteile der täglichen Nahrung waren, sind sie erst seit kurzer Zeit Gegenstand der Forschung. Noch vor wenigen Jahren galten sie als gesundheitlich unbedeutend oder sogar antinutritiv. Heute ist ihr gesundheitsförderndes Potenzial unbestritten. Wie kam es zu diesem Paradigmenwechsel und welchen Stellenwert haben diese Substanzen heute im Gesamtkontext Ernährung und Lebensmittel?

Die Historie der sekundären Pflanzenstoffe lässt sich anhand von Meilensteinen der ernährungswissenschaftlichen Forschung verdeutlichen. In der Zeit um 1900 ging es primär um den Energiegehalt der Nahrung; als optimal galten Lebensmittel, die möglichst viele Kalorien lieferten. In

den Jahren 1920–1940 entwickelte sich ein wissenschaftliches Verständnis dafür, dass neben der Energie auch essenzielle Mikronährstoffe wie Vitamine über den Gesundheitswert der Ernährung entscheiden. Mit Cobalamin wurde 1948 das letzte Vitamin identifiziert; später kamen keine weiteren Stoffe mehr dazu, die als essenziell eingestuft wurden.

Etwa seit 1990 beschäftigt sich die Ernährungsforschung vermehrt mit sekundären Pflanzenstoffen. Damit ist diese Substanzgruppe für die Ernährungswissenschaft und -medizin ein relativ neues Thema. Der Physiologe und Nobelpreisträger Albrecht Kossel gehörte zu den ersten Wissenschaftlern, die diese Stoffe chemisch charakterisierten. Er prägte den Begriff „sekundäre Pflan-

zenstoffe“ im Jahr 1891. Damit weckte er das Verständnis für die Mikrokomponenten pflanzlicher Lebensmittel. Kossel wählte den Begriff „sekundäre Pflanzenstoffe“, um den Gegensatz zum Primärstoffwechsel der Makronährstoffe Eiweiß, Kohlenhydrate und Fette zu verdeutlichen. Der Begriff ist zwar nicht optimal, setzte sich aber in den 80er- und 90er-Jahren in den deutschsprachigen Ländern durch. Der im englischen Sprachraum übliche Begriff „phytochemicals“, übersetzt Phytochemikalien, eignet sich für Deutschland nicht, weil das Gros der Bevölkerung ihn eher mit Pflanzenschutzmitteln als mit gesundheitlich wertvollen Inhaltsstoffen assoziieren würde.

## Meilensteine der Forschung

Bereits in der 1. Hälfte des letzten Jahrhunderts zweifelten einige Mediziner daran, ob die bislang bekannten und als wichtig erachteten Stoffe in der Nahrung tatsächlich alles liefern, was den Menschen gesund erhält. Werner Kollath bspw. befasste sich mit dem Vollwert der Nahrung sowie mit Qualitätseinbußen durch die Verarbeitung. 1941 berichtete er in seinem Buch „Die Ordnung unserer Nahrung“ von gesundheitsfördernden Stoffen, die nicht zu den Vitaminen zählen.

Parallel dazu fanden in den 30er- und 40er-Jahren viele Forschungsaktivitäten statt, die sich dem Bereich sekundäre Pflanzenstoffe zuordnen lassen. Einen Markstein setzte der Nobelpreisträger Albert von Szent-Györgyi, der erstmals Vitamin C und seine Wirkungen beschrieben hatte. Er war der Meinung, dass in Lebensmitteln noch weitere Stoffe aus der Gruppe der Flavonoide enthalten sind und schrieb ihnen in einer Nature-Publikation von 1936 Vitaminstatus zu [1]. Er nannte sie Vitamin P, wobei „P“ für Permeability steht. Hintergrund waren Szent-Györgyis Nachweise, dass Flavonoide die Durchlässigkeit von Blutgefäßen beeinflussen.

Eine interessante Publikation erschien 1959 in der Ernährungs-Umschau von A. Winter [2], einem Wissenschaftler der Firma Madaus. Er befasste sich in dem Übersichtsartikel „Zur Bedeutung pharmakologischer Gesichtspunkte in der menschlichen Ernährung“ ausführlich mit der antibakteriellen Wirkung von Sulfiden und Saponinen, und berichtete bereits über Phenolsäuren, etwa Ferulasäure in Vollkornprodukten. Auch er war überzeugt davon, dass diese Stoffe gesundheitsrelevant sind.

In den 70er-Jahren veröffentlichte Karl Herrmann vom Institut für Lebensmittelchemie der Universität Hannover viele Arbeiten über das Vorkommen und die Bedeutung von Flavonen, Flavonolen und Flavanonen in Lebensmitteln [3]. Mit Flavonoiden beschäftigte sich auch Joachim Kühnau, Physiologe an der Universität Hamburg, und in den Jahren 1958–1960 Präsident der Deutschen Gesellschaft für Ernährung. Er bezeichnete sie als semiesenzielle Pflanzenstoffe und war einer der ersten Wissenschaftler, der die Flavonoidaufnahme mit der gemischten Kost quantifizierte. Er schätzte die Aufnahme auf 1 g/d. Bis heute beziehen sich Wissenschaftler auf diese Einschätzung aus dem Jahr 1976 [4,5].

Auch in den USA befassten sich in den 70er-Jahren einige Forscher mit sekundären Pflanzenstoffen. Lee Wattenberg bspw. untersuchte die antikanzerogenen Wirkungen von Isothiocyanaten in tierexperimentellen Systemen [6]. Zwei bahnbrechende Publikationen für das Verständnis und die Wahrnehmung sekundärer Pflanzenstoffe erschienen 1991 von John D. Potter und Kristi A. Steinmetz [7,8]. Der 1. Teil gab einen Überblick über die epidemiologische Evidenz, inwiefern eine hohe Aufnahme von Obst

| Hauptgruppen der SPS |                                     |
|----------------------|-------------------------------------|
| Gruppe               | Anzahl unterschiedlicher Strukturen |
| Karotinoide          | > 700                               |
| Saponine             | nicht bekannt                       |
| Phytosterine         | > 100                               |
| Glucosinolate        | > 120                               |
| Flavonoide           | > 6500                              |
| Phenolsäuren         | nicht bekannt                       |
| Protease-Inhibitoren | nicht bekannt                       |
| Phytoöstrogene       |                                     |
| – Isoflavonoide      | > 870                               |
| – Lignane            | nicht bekannt                       |
| Monoterpene          | nicht bekannt                       |
| Sulfide              | nicht bekannt                       |

**Abb. 1** Viele sekundäre Pflanzenstoffe (SPS) sind noch unerforschtes Terrain.

und Gemüse mit einem verringerten Krebsrisiko einhergeht. Der 2. Teil der Publikation beschäftigte sich mit den Stoffklassen, die heute zu den sekundären Pflanzenstoffen zählen, und beschrieb deren Effekte und mögliche Mechanismen, die das verringerte Krebsrisiko bei hoher Obst- und Gemüseaufnahme erklären. 1995 erschien das wissenschaftliche Standardwerk „Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln“ (Bernhard Watzl und Claus Leitzmann), das die gesamte damals vorhandene Literatur über die verschiedenen Gruppen sekundärer Pflanzenstoffe mit ihren Wirkungen und die epidemiologische Evidenz systematisch zusammenfasste [9].

## Unbekannte Vielfalt

Die Klassifizierung der sekundären Pflanzenstoffe erfolgt üblicherweise in folgende Hauptgruppen: Karotinoide, Saponine, Phytosterine, Glucosinolate, Flavonoide, Phenolsäuren, Protease-Inhibitoren, Phytoöstrogene (Isoflavonoide und Lignane), Monoterpene und Sulfide (● **Abb. 1**).

Bei mindestens 250 000 höheren verschiedenen Pflanzen weltweit kann man davon ausgehen, dass es mindestens genauso viele sekundäre Pflanzenstoffe gibt. Der Mensch nutzt aber nur einen Bruchteil für seine Ernährung: 30 Nahrungspflanzen machen 90% des weltweiten Kalorienverbrauchs aus – und auf diese kleine Anzahl an Pflanzen beschränken sich die Forschungen.

Zwar konnten für einige Stoffgruppen viele verschiedene Strukturen identifiziert werden, etwa bei Flavonoiden und Karotinoiden. Bei den meisten Gruppen sekundärer Pflanzenstoffe ist es jedoch vollkommen unklar, in welcher Vielfalt sie in Lebensmitteln vorkommen. Insgesamt ist bislang nur ein kleiner Teil aller relevanten Verbindungen bekannt. Das zeigt das Beispiel von 2 Substanzen, auf die Wissenschaftler erst in den letzten Jahren aufmerksam wurden: Falcarinol aus Karotten und Pterostilben aus Heidelbeeren. Tierexperimenten zufolge hängt der protektive Effekt von Karotten bei Dickdarmkrebs weniger mit Betakarotin, sondern vielmehr mit Falcarinol zusammen [11]. Auch Pterostilben in Heidelbeeren besitzt antikanzerogene Effekte [12].

Die Forschungsergebnisse zu sekundären Pflanzenstoffen könnten auch das klassische Konzept der Essenzialität beeinflussen. Es geht davon aus, dass der Mensch essenzielle Stoffe in ausreichender Menge von außen zuführen muss, um zu überleben. Heute ist es unbestritten, dass eine hohe Aufnahme sekundärer

Pflanzenstoffe das Risiko für bestimmte Krankheiten senken kann. Vor diesem Hintergrund befassen sich einige Wissenschaftler mit der Frage, ob bestimmte sekundäre Pflanzenstoffe ebenfalls den Status „essenziell“ erhalten sollten [13].

### Alle pflanzlichen Lebensmittel nutzen

Die intensive Erforschung sekundärer Pflanzenstoffe seit 20 Jahren basiert auf der epidemiologischen Evidenz, dass eine hohe Aufnahme von Obst und Gemüse mit einem verringerten Krankheitsrisiko einhergeht. Dieser Zusammenhang gilt nicht nur für Krebs und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, sondern auch für Adipositas, rheumatoide Arthritis, Asthma, Osteoporose, neurologische Erkrankungen und die Makuladegeneration.

Für Herz-Kreislauf-Erkrankungen besteht eine inverse Korrelation mit der täglich konsumierten Menge an Obst und Gemüse: Pro Portion sinkt das Risiko um 4%, mit den empfohlenen 5 Portionen pro Tag lässt sich das Risiko um 20% mindern, und noch höhere Zufuhrmengen scheinen weitere positive Effekte zu bewirken [14].

Sekundäre Pflanzenstoffe werden meist in Verbindung mit Obst und Gemüse genannt. Diese beiden Lebensmittelgruppen sind zwar eine wichtige, aber nicht die einzige Quelle für sekundäre Pflanzenstoffe. Die Fokussierung erklärt sich durch die Vielzahl epidemiologischer Studien zu Obst und Gemüse, die bislang den Zusammenhang zwischen der Aufnahmemenge und dem Risiko für verschiedene Krankheiten untersuchten. In den 90er-Jahren gab es keine Datenlage, die eine vergleichbare systematische Auswertung der epidemiologischen Evidenz zu anderen pflanzlichen Lebensmitteln erlaubt hätte. Erst seit etwa 10 Jahren ist das Spektrum epidemiologischer Studien breiter geworden. Heute gibt es Daten zum Zusammenhang zwischen dem Vollkornverzehr und dem Risiko für bestimmte Krankheiten: Eine hohe Aufnahme an Vollkornprodukten geht mit einem verringerten, eine hohe Aufnahme an Auszugsmehlprodukten mit einem signifikant erhöhten Diabetesrisiko einher [15].

Alle pflanzlichen Lebensmittel sind wichtige Quellen für sekundäre Pflanzenstoffe. Eine unterschätzte Gruppe sind die Hülsenfrüchte, die große Mengen an bestimmten Flavonoiden enthalten. Auch für Nüsse ist die Evidenzlage mittlerweile gut.

### Gehaltvolle Randschichten

Wie hoch die Zufuhr der einzelnen Klassen an sekundären Pflanzenstoffen ist, hängt von der Gesamtaufnahme pflanzlicher Lebensmittel ab. Die Phytosterinzufuhr steigt bspw. mit dem Konsum an Nüssen oder Pflanzenölen; sie liegt mit 170–440 g/d relativ hoch. Bei Flavonoiden schwanken die Ergebnisse: Der Ernährungsbericht 2008 nennt eine tägliche Zufuhr von etwa 190 mg/d [16].

Neben der Höhe der Zufuhr spielt die Bioverfügbarkeit eine wichtige Rolle. Manche In-vitro-Ergebnisse haben mit unphysiologischen Konzentrationen sekundärer Pflanzenstoffe Effekte an Zelllinien oder humanen Blutzellen nachgewiesen. Sie haben jedoch keine Aussagekraft, weil diese Stoffe beim Menschen in dieser Konzentration sowie in dieser Struktur nie vorliegen. Daher sind weitere Kenntnisse zur Bioverfügbarkeit notwendig.

Einige Klassen sekundärer Pflanzenstoffe sind relativ gut bioverfügbar. Dazu gehören bestimmte Karotinoide, Glukosinolate, Phytoöstrogene, Monoterpene und Sulfide. Bei den Flavonoiden

| Effekte von sekundären Pflanzenstoffen |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SPS                                    | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| Karotinoide                            | ✓ |   | ✓ |   | ✓ |   |   | ✓ |   |
| Saponine                               | ✓ |   |   |   |   |   |   | ✓ |   |
| Phytosterine                           | ✓ | ✓ |   |   | ✓ |   |   | ✓ |   |
| Glucosinolate                          | ✓ | ✓ |   |   |   |   |   | ✓ |   |
| Flavonoide                             | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |   | ✓ |
| Protease-Inhibitoren                   | ✓ |   | ✓ |   |   |   |   |   | ✓ |
| Monoterpene                            | ✓ | ✓ |   |   |   | ✓ |   | ✓ |   |
| Phytoöstrogene                         | ✓ |   | ✓ |   | ✓ |   |   |   |   |
| Sulfide                                | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |   |

A = antikanzerogen  
 B = antimikrobiell  
 C = antioxidativ  
 D = antithrombotisch  
 E = Immunmodulation  
 F = entzündungshemmend  
 G = Blutdruck-beeinflussend  
 H = Cholesterin-senkend  
 I = Blutglucose-beeinflussend

**Abb. 2** Flavonoide sind eine Gruppe sekundärer Pflanzenstoffe mit einem sehr breiten Wirkungsspektrum.

gibt es sowohl gut als auch sehr schlecht bioverfügbare Vertreter, etwa die Anthozyane. Auch die Verarbeitung spielt eine Rolle. So steigt die Bioverfügbarkeit der Karotinoide, wenn die sie enthaltenden pflanzlichen Lebensmittel erhitzt werden und gleichzeitig Fett als Träger vorhanden ist [10, 16].

Sekundäre Pflanzenstoffe sind in Obst und Gemüse ungleichmäßig verteilt. Der Großteil dieser Stoffe befindet sich zumeist in den Schalen oder äußeren Schichten und Blättern; dort ist die Konzentration wesentlich höher als in inneren Bereichen. Diese ungleichmäßige Verteilung findet sich auch beim Vollkorn. Verarbeitungsschritte wie das Schälen eines Apfels oder das großzügige Entfernen äußerer Blätter senken den Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen. Oft werden Verbraucher aufgrund möglicher Kontaminationen dazu animiert, äußere Randschichten großzügig zu entfernen – dies ist im Hinblick auf den Gehalt sekundärer Pflanzenstoffe kontraproduktiv (● **Abb. 2**).

### Flavonoide

Flavonoide sind die bislang am besten untersuchte Klasse sekundärer Pflanzenstoffe. Sie kommen in vielen Lebensmitteln vor und sind daher relevant in der täglichen Ernährung. Ein Pfund dunkle Kirschen liefert bereits 1 g Anthocyane und sonstige Flavonoide. Wer sich ohne Beeren ernährt und keine Äpfel isst, kann jedoch auch nur wenige Milligramm Flavonoide aus bestimmten Unterklassen aufnehmen. Flavonoide wirken anti-karzinogen, -oxidativ, -thrombotisch, immunomodulierend und antiinflammatorisch [9].

Mittlerweile liegen gute epidemiologische Daten zur Wirkung einer hohen Flavonidaufnahme vor. Bei Lungen-, Brust- und Dickdarmkrebs sowie bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen wurde für einzelne Gruppen an Flavonoiden eine inverse Korrelation nachgewiesen (● **Abb. 3**).

Voraussetzung für die Erhebung epidemiologischer Daten ist das Vorhandensein analytischer Daten über die Zufuhr sekundärer Pflanzenstoffe mit der Ernährung. Im Bereich Flavonoide haben sich die Datenbanken in den letzten Jahren sehr gut entwickelt. Wichtig für die gesundheitliche Bewertung von Flavonoiden in

| Epidemiologie: Flavonoide  |                          |
|--|--------------------------|
| • <b>Lungenkrebsrisiko:</b><br>(Flavanone, Proanthocyanidine)<br>Cutler et al. 2008  | <b>25–34% verringert</b> |
| • <b>Brustkrebsrisiko:</b><br>(Flavone, Flavanone, Flavonole)<br>Peterson et al. 2003, Bosetti et al. 2005, Fink et al. 2006 und 2007, Luo et al. 2010 | <b>13–46% verringert</b> |
| • <b>Dickdarmkrebsrisiko:</b><br>(Flavonole, Flavanole, Anthocyane)<br>Theodoratou et al. 2007, Rossi et al. 2010, Kyle et al. 2010                    | <b>20–50% verringert</b> |
| • <b>Herz-Kreislauf-Erkrankungen:</b><br>(Flavanone, Flavonole, Anthocyane)<br>Lagiou et al. 2004, Mursu et al. 2007 und 2008, Hollman et al. 2010     | <b>12–55% verringert</b> |

**Abb. 3** Flavonoide kommen in fast allen Nahrungspflanzen vor. Epidemiologische Daten belegen ihr protektives Potenzial bei Krebs und Herz-Kreislauf-Erkrankungen.

Studien ist der Einsatz isolierter Reinsubstanzen, um einen klaren biologischen Effekt nachzuweisen.

Quercetin gehört zu den intensiv untersuchten Flavonoiden. In einer Konzentration von 730 mg/d wirkte es in verschiedenen Studien blutdrucksenkend [17], und Quercetinglucosid hemmte in einer Interventionsstudie die Plättchenaggregation [18]. Parallel dazu fanden Versuche mit Zwiebelsuppe statt, einer guten Quelle für Quercetinglucosid: Der Genuss der Zwiebelsuppe bewirkte vergleichbare Effekte auf die Plättchenaggregation wie die Einnahme der Reinsubstanz [19].

### Karotinoide und Phytosterine

Zu den gut untersuchten Karotinoiden gehören das Lycopin aus Tomaten und das Betakarotin aus Karotten. Sie wirken antikanzerogen, antioxidativ, immunmodulierend und cholesterinsenkend. Die Supplementierung einzelner Karotinoide in sehr hoher Konzentration führte in einigen Studien zu drastischen Negativeffekten [9].

Phytosterine kommen in Gemüse, Nüssen und Pflanzenöl vor; sie wirken cholesterinsenkend und antikanzerogen. Phytosterinester werden zahlreichen funktionellen Lebensmitteln zur Senkung des Cholesterinspiegels zugesetzt. Für phytosterinangereicherte Lebensmittel liegt ein akzeptierter EFSA Health Claim vor.

### Botanische Vielfalt

Das Beispiel der mit Phytosterinen angereicherten Margarine ist ein Einzelfall, bei dem ein isolierter sekundärer Pflanzenstoff positive Wirkungen zeigt. Mehrere Studien belegen eindeutig: Je größer die botanische Vielfalt pflanzlicher Lebensmittel ist, desto stärker sind die protektiven Effekte [20,21]. So sank bei insgesamt konstanter Verzehrmenge an Gemüse das Risiko für Brustkrebs, wenn eine größere Anzahl an Gemüsearten verzehrt wurde. Es scheint also sinnvoll, viele verschiedene Gruppen sekundärer Pflanzenstoffe mit der Nahrung aufzunehmen. Daher gibt es auch keine Empfehlungen für einzelne Substanzen. Nach heutigem Wissensstand lässt sich das gesundheitsfördernde Potenzial sekundärer Pflanzenstoffe am besten ausschöpfen, indem man

auf eine pflanzlich betonte Ernährung setzt. Dabei gilt es besonders auf eine große Vielfalt an Obst und Gemüse, Vollkornprodukten, Hülsenfrüchten und Nüssen zu achten.

### Interessenkonflikt

Der Autor hat keinen Interessenkonflikt.

### Literatur

- 1 Rusznayk S, Szent-Györgyi A. Vitamin P: flavonols as vitamins. *Nature* 1936; 138: 27
- 2 Winter AG. Zur Bedeutung pharmakologischer Gesichtspunkte in der menschlichen Ernährung. *Ernährungsumschau* 1959; 6: 135–138
- 3 Herrmann K. Über das Vorkommen und die Bedeutung von Flavonen, Flavonolen und Flavanonen in Lebensmitteln. *Zschr für Lebensmitteluntersuch* 1970; 144: 191–202
- 4 Kühnau J. Die Flavonoide und ihre Rolle in der menschlichen Ernährung: ein Beitrag zur Kenntnis semi-essenzieller Pflanzenstoffe. *Qual Plant – Plant Foods Hum Nutr* 1973; 23: 119–127
- 5 Kühnau J. The flavonoids – a class of semi-essential food components: their role in human nutrition. *Wld Rev Nutr Diet* 1976; 24: 117–191
- 6 Wattenberg LW, Loub WD, Lam LK et al. Dietary constituents altering the responses to chemical carcinogens. *Fed Proc* 1976; 35: 1327–1331
- 7 Steinmetz KA, Potter J. Vegetables, fruit, and cancer. I. Epidemiology. *Cancer Causes Control* 1991; 2: 325–357
- 8 Steinmetz KA, Potter J. Vegetables, fruit, and cancer. II. Mechanisms. *Cancer Causes Control* 1991; 2: 427–442
- 9 Watzl B, Leitzmann C. Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln. 3. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 2005
- 10 Watzl B, Reckemmer G. Einfluss sekundärer Pflanzenstoffe auf die Gesundheit. In: Deutsche Gesellschaft für Ernährung. *Ernährungsbericht* 2004. Bonn: 2004: 325–346
- 11 Christensen LP, Brandt K. Bioactive polyacetylenes in food plants of the Apiaceae family: occurrence, bioactivity and analysis. *J Pharmaceut Biomed Anal* 2006; 41: 683–693
- 12 Suh N, Paul S, Hao X et al. Pterostilbene, an active constituent of blueberries, suppresses aberrant crypt foci formation in the azoxymethane-induced colon carcinogenesis model in rats. *Clin Cancer Res* 2007; 13: 350–355
- 13 Williamson G, Holst B. Dietary reference intake (DRI) value for dietary polyphenols: are we heading in the right direction? *Brit J Nutr* 2008; 99: S55–S58
- 14 Dauchet L, Amouyel P, Hercberg S et al. Fruit and vegetable consumption and risk of coronary heart disease: a meta-analysis of cohort studies. *J Nutr* 2006; 136: 2588–2593
- 15 de Munter JS, Hu FB, Spiegelman D et al. Whole grain, bran, and germ intake and risk of type 2 diabetes: a prospective cohort study and systematic review. *PLoS Med* 2007; 4: e261
- 16 Watzl B. Einfluss sekundärer Pflanzenstoffe auf die Gesundheit. In: Deutsche Gesellschaft für Ernährung. *Ernährungsbericht* 2008. Bonn: 2008: 335–346
- 17 Edwards RL, Lyon T, Litwin SE et al. Quercetin reduces blood pressure in hypertensive subjects. *J Nutr* 2007; 137: 2405–2411
- 18 Hubbard GP, Wolfram S, Lovegrove JA et al. Ingestion of quercetin inhibits platelet aggregation and essential components of the collagen-stimulated activation pathway in humans. *J Thromb Haemost* 2004; 2: 2138–2145
- 19 Hubbard GP, Wolfram S, de Vos R et al. Ingestion of onion soup high in quercetin inhibits platelet aggregation and essential components of the collagen-stimulated activation pathway in man: a pilot study. *Brit J Nutr* 2006; 96: 482–488
- 20 Franceschi S, Favero A, La Vecchia C et al. Influence of food groups and food diversity on breast cancer risk in Italy. *Int J Cancer* 1995; 63: 785–789
- 21 Thompson HJ, Heimendinger J, Diker A et al. Dietary botanical diversity affects the reduction of oxidative biomarkers in women due to high vegetable and fruit intake. *J Nutr* 2006; 136: 2207–2212