

Seit den 1990er Jahren wächst die Nachfrage nach ökologisch erzeugten Lebensmitteln pro Jahr um ca. 20 %. Verbraucher bringen ökologisch hergestellte Produkte mit einer geringeren Belastung an Pestiziden sowie höheren Gehalten gesundheitsfördernder Inhaltsstoffe (z. B. Vitaminen und sekundären Pflanzenstoffen) in Verbindung. Eine hohe Zufuhr von sekundären Pflanzenstoffen geht mit einem signifikant verringerten Risiko beispielsweise für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebs einher.

Polyphenol- und Carotinoidgehalt in Äpfeln und Karotten aus ökologischem und konventionellem Anbau



M. Sc. Berenike A. Stracke¹,
Max Rubner-Institut
Institut für Physiologie
und Biochemie
der Ernährung
E-Mail: berenike.stracke@mri.bund.de

Max Rubner-Institut
¹Institut für Physiologie
und Biochemie der
Ernährung
²Institut für Sicherheit
und Qualität von Obst und
Gemüse

Interessenkonflikt
Die Autoren erklären,
dass kein Interessen-
konflikt im Sinne der
Richtlinien des Inter-
national Committee
of Medical Journal
Editors besteht.

Einleitung

Unter sekundären Pflanzenstoffen (SPS) werden mehrere 100 000 Verbindungen zusammengefasst. Aufgrund ihrer strukturellen Heterogenität werden sie in verschiedene Untergruppen eingeteilt, u. a. in Phenolsäuren, Flavonoide, Carotinoide, Saponine, Glucosinolate und Monoterpene.

SPS gehören zum natürlichen Abwehrsystem der Pflanze. Sie schützen die Pflanzen vor verschiedenen abiotischen (z. B. Düngung, Wetter, Sonneneinstrahlung, Temperatur, Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit) und biotischen (z. B. Infektionen durch Mikroorganismen und Insektenbefall) Stressfaktoren [1]. Wenn Pflanzen diesen Stressfaktoren ausgesetzt sind, bilden sie vermehrt SPS. Darüber hinaus kann die Konzentration der SPS durch Standortfaktoren (Bodenqualität und Klima), Sorte und Reifegrad beeinflusst werden. Die Stickstoffdüngung/-verfügbarkeit beeinflusst ebenfalls den SPS-Gehalt. So konnte gezeigt werden, dass eine erhöhte Stickstoffdüngung die Bildung von Flavonoiden negativ beeinflusst [2, 3]. Daher kann die Anbauweise den SPS-Gehalt pflanzlicher Lebensmittel modulieren [4].

Im Apfel kommen vorwiegend Phenolsäuren – mit dem Hauptpolyphenol

Chlorogensäure (◆Abbildung 1) – und Flavonoide vor. Flavonolglykoside des Quercetins finden sich hauptsächlich in der Schale, Flavan-3-ole (Epicatechin, Catechin, Procyanidine) sind ebenfalls in der Schale, aber auch im Kerngehäuse und im Parenchym enthalten. Chlorogensäure sowie die Phloretinylglykoside kommen im Kerngehäuse und im Fruchtfleisch vor. Äpfel enthalten bis zu 2 g/kg Polyphenole, wobei die Sorte einen großen Einfluss auf den SPS-Gehalt hat [5].

Das Hauptcarotinoid der Karotte ist β -Carotin (◆Abbildung 2), gefolgt von α -Carotin und Lutein. Mit sortenabhängigen Schwankungen liegt der Carotinoidgehalt in Karotten bei durchschnittlich 300 $\mu\text{g/g}$ [6].

In Deutschland liegt die durchschnittliche Aufnahme an Phenolsäuren bei 200 mg und an Flavonoiden bei 54 mg pro Tag [7]. Äpfel sind neben Tee und dunkler Schokolade die Hauptquelle für Polyphenole. Die durchschnittliche Carotinoidzufuhr liegt in Deutschland bei ca. 5,3 mg pro Tag [8]. Neben β -Carotin wird vor allem Lycopin mit der Nahrung aufgenommen. Die Hauptquelle dieser Carotinoide sind Karotten und Tomaten.

Epidemiologische Studien belegen, dass eine hohe Zufuhr an Obst und Gemüse,



Dr. Corinna E. Rüfer²



Prof. Dr. Bernhard Watzl¹



Äpfel sind neben Tee und dunkler Schokolade die Hauptquelle für Polyphenole

welche reich an SPS sind, das Risiko, an verschiedenen Zivilisationskrankheiten zu erkranken, reduzieren [9]. SPS weisen antioxidative Eigenschaften auf und sind in der Lage, freie Radikale abzufangen. Freie Radikale können Schädigungen der DNA hervorrufen, Proteine denaturieren, Enzyme inaktivieren und Lipide oxidativ modifizieren. In Verbindung mit der Bildung von freien Radikalen werden akute chronische Erkrankungen sowie Alterungsprozesse diskutiert [10].

Ob die Anbauweise (ökologisch/konventionell) den SPS-Gehalt beeinflusst, ist bis heute unzureichend erforscht. Eine in der Schweiz durchgeführte Studie konnte zeigen, dass Bio-Äpfel (Sorte „Golden Delicious“) 18–23 % höhere Gehalte an Polyphenolen aufwiesen als konventionell erzeugte Äpfel [11]. Eine Tendenz zu höheren Polyphenolgehalten in Äpfeln aus ökologischer Erzeugung wurde in einer weiteren Untersuchung von Äpfeln der Sorte „Golden Delicious“ gefunden [12]. Im Gegensatz dazu sind Studien publiziert, die keine Unterschiede zwischen ökologisch und konventionell erzeugten Äpfeln hinsichtlich des Polyphenolgehaltes zeigen [13, 14]. Ein ähnliches Bild findet sich bei Untersuchungen der Carotinoidgehalte von pflanzlichen Lebensmitteln aus ökologischem und konventionellem Anbau: Ein höherer Carotinoidgehalt konnte in ökologisch erzeugten Karotten bestimmt werden [15]. Im Gegensatz dazu stehen Studien, die keinen Einfluss der Anbauweise [16]

und solche, die im konventionellen Anbau höhere Carotinoidgehalte zeigen konnten [17, 18]. Die bis heute publizierten Studien weisen somit widersprüchliche Ergebnisse auf und lassen noch keine abschließende Beurteilung zu. Das liegt daran, dass Studien fehlen, die von einem vergleichbaren Versuchsgut ausgehen (gleiche Sorte, Klima, Anbaujahr etc.). Dies ist bisher nur bei wenigen der veröffentlichten Studien gewährleistet.

Daher war das Ziel der vorliegenden Arbeit, den Einfluss der Anbauweise (ökologisch/konventionell) auf die Polyphenol- und Carotinoidgehalte in Äpfeln (*Malus domestica* Bork., Sorte „Elstar“) bzw. Karotten (*Daucus carota* L., Sorten „Nerac“ und „Narbonne“) in vergleichbarem Versuchsgut zu untersuchen.

Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Apfel- (Sorte „Elstar“; 5 Standorte; jeweils ökologisch und konventionell) und Karottenproben (Sorten „Narbonne“ und „Nerac“; 1–4 Standorte jeweils ökologisch und konventionell) untersucht. Alle hier

untersuchten pflanzlichen Lebensmittel (ökologischer und konventioneller Anbau) wurden unter vergleichbaren Bedingungen (Sorte, Klima, Boden) angebaut. Die Apfel- und Karottenproben wurden von ausgewählten ökologisch und konventionell wirtschaftenden Anbaubetrieben in Norddeutschland zur Verfügung gestellt. Die Distanz zwischen den Standorten lag zwischen 3 und 40 km. Die Untersuchungen umfassten zwei Erntejahre (2004 und 2005). Die Isolierung der Polyphenole und Carotinoide der Apfel- und Karottenproben erfolgte mittels einer Flüssig-Extraktion aus dem Probenmaterial. Für die Polyphenole wurde als Extraktionsmittel Methanol und für die

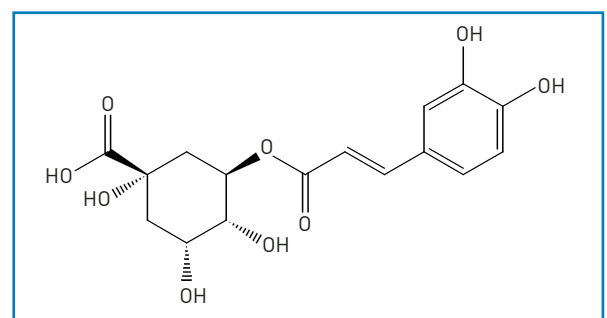


Abb. 1: Strukturformel der Phenolsäure Chlorogensäure

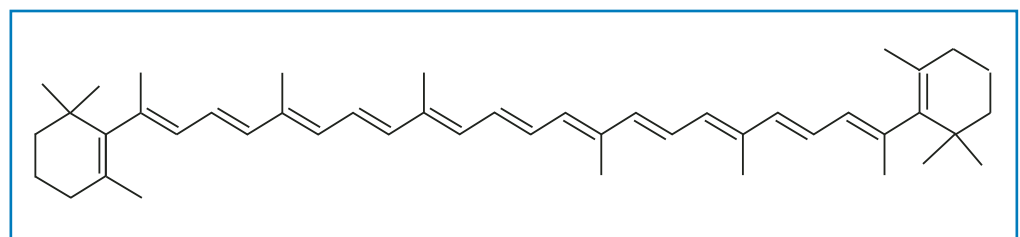


Abb. 2: Strukturformel des Carotinoids β -Carotin

Carotinoide Hexan/Dichlormethan verwendet. Mittels HPLC/DAD/MS (Hochleistungsflüssigkeitschromatogramm/Dioden-Array Detektion/Massenspektrometrie) wurden die enthaltenen Polyphenole und Carotinoide identifiziert und mengenmäßig bestimmt.

In den untersuchten Äpfeln konnten folgende Phenolsäuren und Flavonoide nachgewiesen werden: Chlorigensäure, 4-Kaffeeoylchinasäure, 3-Phloretin-2'-Xyloglucosid, Phloretin-2'-Glucosid, Catechin, Epicatechin, Procyanidin B1, Procyanidin B2, Quercetin-3-Galactosid, Quercetin-3-Glucosid, Quercetin-3-Xylosid, Quercetin-3-Arabinosid und Quercetin-3-Rhamnosid. Bei den Carotinoiden wurden α - und β -Carotin sowie Lutetin quantifiziert.

Eine detaillierte Beschreibung der Methoden findet sich in bereits publizierten Studien [12, 19, 20].

Ergebnisse

Äpfel

Bei der Bestimmung der Polyphenolgehalte wurden standortabhängige Anbauunterschiede gefunden. Die

Äpfel zeigten im Erntejahr 2004 in allen vier untersuchten Standorten statistisch signifikante Unterschiede. Bei zwei Standorten wiesen die Äpfel aus biologischem Anbau und bei den anderen beiden Standorten die konventionell erzeugten Äpfel statistisch signifikant höhere Polyphenolgehalte auf (◆Abbildung 3). Im Erntejahr 2005 konnten bei zwei Standorten höhere Gehalte in den ökologisch erzeugten Äpfeln bestimmt werden. Die beiden anderen Standorte wiesen keine statistisch signifikanten Unterschiede auf.

Zwischen den beiden Erntejahren 2004 und 2005 traten statistisch signifikante Unterschiede auf. Das Erntejahr 2005 zeigte dabei höhere Polyphenolgehalte als das Erntejahr 2004 ($564 \pm 144 \mu\text{g/g}$ vs. $881 \pm 152 \mu\text{g/g}$) (◆Abbildung 3).

Karotten

Bei den untersuchten Karottenproben zeigte sich ein ähnliches Bild. Auch hier traten standortabhängige Unterschiede im Carotinoidgehalt der Proben auf. Bei der Sorte „Narbonne“ konnten in beiden Erntejahren (2004 und 2005) keine statistisch

signifikanten Unterschiede bestimmt werden (◆Abbildung 4). Bei der Sorte „Nerac“ wurden 2004 bei zwei der untersuchten Standorte mit konventioneller Anbauweise höhere Gehalte und bei einem Standort keine signifikanten Unterschiede gefunden. 2005 traten in einem der vier Standorte statistisch signifikante Unterschiede auf. Hier wiesen die Karotten aus ökologischem Anbau höhere Carotinoidgehalte auf als die konventionell erzeugten (◆Abbildung 5). Darüber hinaus wurden statistisch signifikante Sortenunterschiede zwischen den Sorten „Nerac“ und „Narbonne“ im Erntejahr 2005 gefunden. „Narbonne“ wies dabei statistisch signifikant höhere Carotinoidgehalte auf als „Nerac“ ($156 \pm 13 \mu\text{g/g}$ vs. $140 \pm 14 \mu\text{g/g}$).

Diskussion

Zusammengefasst über alle Standorte unterschieden sich die SPS-Gehalte der untersuchten Äpfel und Karotten nicht nennenswert zwischen der konventionellen und ökologischen Anbauweise. Dies stimmt mit verfügbaren Literaturdaten überein. Bei Untersuchungen verschiedener Obst- und Gemüsearten hatte ebenfalls die Anbauweise keinen Einfluss auf den SPS-Gehalt [13, 14, 16]. Für die einzelnen Standorte konnten jedoch statistisch signifikante Unterschiede gezeigt werden (◆Abbildungen 3, 4, 5). Teilweise wiesen die untersuchten ökologisch angebauten Lebensmittel, teilweise aber auch die konventionellen Produkte höhere SPS-Gehalte auf. In der Literatur finden sich Daten, die höhere SPS-Gehalte in ökologisch angebauten Äpfeln, Karotten und Paprika im Vergleich zu konventionellen aufzeigen [11, 12, 15]. Ein höherer SPS-Gehalt in pflanzlichen Lebensmitteln könnte dadurch erklärt werden, dass im ökologischen Anbau die Stickstoffdüngung/-verfügbarkeit für die Pflanzen limitiert ist. Bei limitierter Stickstoffverfügbarkeit bilden Pflanzen vorwiegend kohlenstoffhaltige Substanzen, z. B. Stärke, Cellulose und nicht stickstoffhaltige SPS, wie Polyphenole und

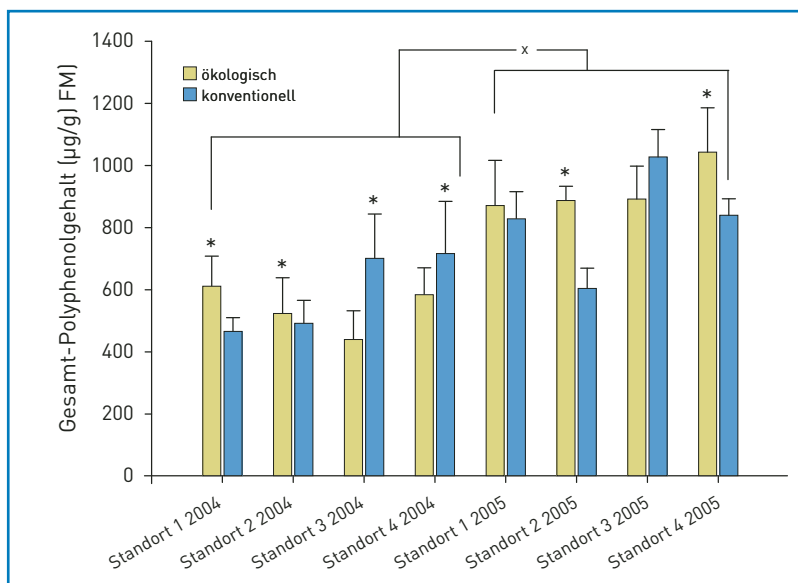


Abb. 3: Gesamt-Polyphenolgehalt der Apfelproben (Sorte „Elstar“, FM = Frischmasse), * $p < 0,05$ $x_p < 0,05$ vs. 2004. Der Gesamt-Polyphenolgehalt entspricht der Summe aller gemessenen Phenolsäuren (Hydroxyzimtsäuren) und Flavonoide (Flavan-3-ole, Flavonole, Dihydrochalkone).

Terpenoide (z. B. Carotinoide) [21]. Dabei ist die Stickstoffkonzentration der ausgebrachten Düngung nicht unbedingt der entscheidende Faktor. Vielmehr scheint die Verfügbarkeit des Stickstoffs einen bedeutenden Einfluss zu haben. Im konventionellen Anbau erfolgt die Stickstoffdüngung über leicht lösliche Mineraldünger. Im ökologischen Anbau wird dagegen Stickstoff nur in organisch gebundener Form ausgebracht, welcher zunächst im Boden in anorganisches Nitrat oder Ammonium umgewandelt (mineralisiert) werden muss, bevor er von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Daher ist die Stickstoffverfügbarkeit im ökologischen Anbau oft schlechter als bei konventioneller Produktionsweise [22].

Darüber hinaus beeinflusst die Stickstoffverfügbarkeit die Enzymaktivitäten im Polyphenolbiosyntheseweg. Durch einen Stickstoffmangel kann die Aktivität dieser Enzyme erhöht werden. BONGUE-BARTELSMAN und PHILIPS konnten zeigen, dass Stickstoffmangel den Flavonoidgehalt in Tomatenblättern durch eine Veränderung in der mRNA-Expression von Chalconsynthase, Chalconisomerase und Dihydroflavonol-4-Reduktase modulierte [2].

Neben der Stickstoffverfügbarkeit beeinflusst der Einsatz von synthetischen Pestiziden möglicherweise den SPS-Gehalt in Öko-Produkten. Im Öko-Anbau sind diese Verbindungen untersagt. Die Pflanzen sind daher erhöhtem biotischem Stress im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft ausgesetzt und bilden aus diesem Grund möglicherweise mehr SPS aus [23]. Darüber hinaus beeinflussen manche Pestizide direkt die Polyphenolbiosynthese. So hemmt beispielsweise das Herbizid Glyphosphat spezifische Enzyme des Polyphenolbiosynthesewegs, was in einer geringeren Bildung/Konzentration an Polyphenolen in den Pflanzen resultiert [23].

In der vorliegenden Arbeit traten sowohl statistisch signifikante Jahrgangsunterschiede (◆ Abbildung 3)

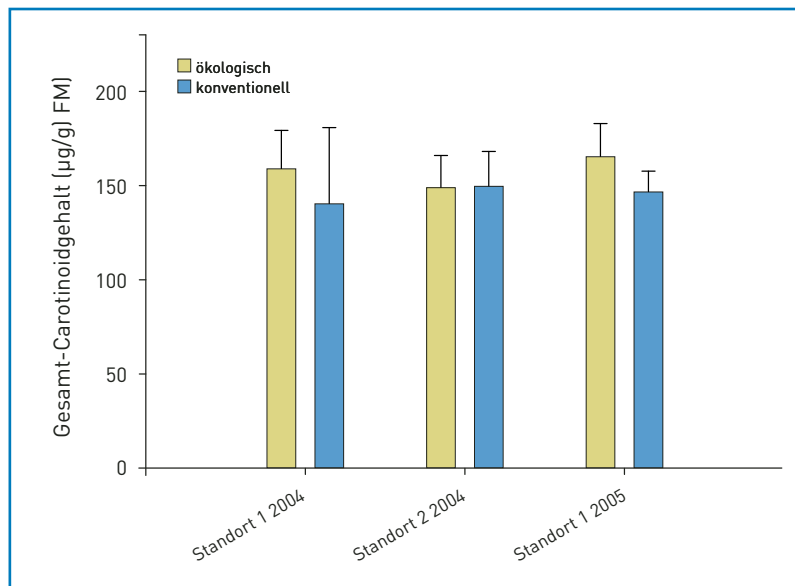


Abb. 4: Carotinoidgehalt der Karotten-Sorte „Narbonne“; FM = Frischmasse. Der Gesamt-Carotinoidgehalt entspricht der Summe aller gemessenen Carotinoide (α -, β -Carotin und Lutein).

bei den Äpfeln der Sorte „Elstar“ auf als auch statistisch signifikante Sortenunterschiede bei den untersuchten Karotten der Sorten „Nerac“ und „Narbonne“. Dies stimmt mit verfügbaren Literaturdaten überein. Faktoren wie Sorten und Anbaujahr haben einen größeren Einfluss auf den Gehalt an SPS als die Anbauweise (ökologisch/konventionell) [24, 25]. Dies

bestätigen auch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit. Das Anbaujahr (bis zu 35 %) sowie die Sorte beeinflussten den SPS-Gehalt der untersuchten pflanzlichen Lebensmittel stärker als die Anbauweise (10–20 %). Aufgrund dieser Daten ist ein Vergleich von ökologischen und konventionellen Produkten in Bezug auf den SPS-Gehalt der pflanzlichen Lebens-

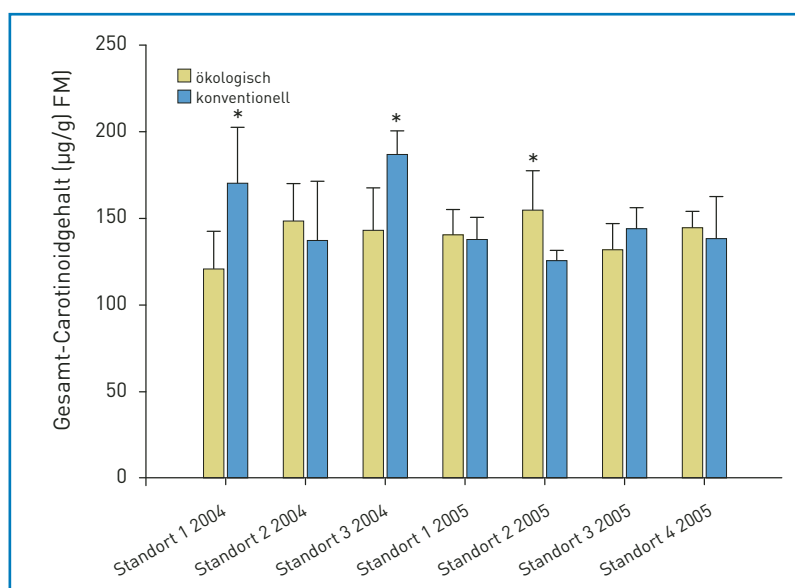


Abb. 5: Carotinoidgehalt der Karotten-Sorte „Nerac“; FM = Frischmasse, * $p < 0,05$. Der Gesamt-Carotinoidgehalt entspricht der Summe aller gemessenen Carotinoide (α -, β -Carotin und Lutein).

Zusammenfassung

Polyphenol- und Carotinoidgehalt in Äpfeln und Karotten aus ökologischem und konventionellem Anbau

Berenike A. Stracke, Corinna E. Rüfer, Bernhard Watzl, Karlsruhe

Qualitativ hochwertige Lebensmittel sind ein entscheidender Faktor für eine gesunde Ernährung. Inwieweit die Anbauweise (ökologisch/konventionell) den Gehalt an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen, z. B. sekundäre Pflanzenstoffe (SPS), beeinflusst, ist nur ansatzweise bekannt.

Daher war das Ziel der vorliegenden Arbeit zu untersuchen, ob die Anbauweise einen Einfluss auf den Gehalt an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen, wie Carotinoiden und Polyphenolen, hat. Hierzu wurden Äpfel (*Malus domestica* Bork., Sorte „Elstar“) und Karotten (*Daucus carota* L., Sorten „Nerac“ und „Narbonne“), die unter vergleichbaren Bedingungen (Boden, Klima) angebaut wurden, über zwei Jahre (2004, 2005) untersucht. Die Anbauweise beeinflusste unabhängig von den Standorten nicht die Konzentration an Carotinoiden und Polyphenolen. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass der Faktor Klima/Wetter (Anbaujahr) einen größeren Einfluss auf den SPS-Gehalt der untersuchten Lebensmittel ausübt als die Anbauweise. Welche funktionellen Wirkungen durch anbaubedingte Unterschiede im SPS-Gehalt im menschlichen Organismus hervorgerufen werden könnten, lässt sich durch Studien allein zum SPS-Gehalt in pflanzlichen Lebensmitteln nicht klären. Dazu sind humane Interventionsstudien erforderlich.

Schlüsselwörter: Äpfel, Karotten, sekundäre Pflanzenstoffe, Carotinoide, Polyphenole, ökologisch, konventionell

Summary

Polyphenol and Carotenoid Content of Organically and Conventionally Produced Apples (*Malus domestica* Bork., Elstar Variety) and Carrots (*Daucus carota* L., Narbonne and Nerac Varieties)

Berenike A. Stracke, Corinna E. Rüfer, Bernhard Watzl, Karlsruhe

The nutritional quality of food is an essential factor in a healthy diet. However, it is unclear whether the farming system (organic/conventional) influences the concentrations of bioactive compounds in plant foods. The aim of the present study was therefore to compare the polyphenol and carotenoid contents of organically and conventionally produced apples and carrots. The analysed apples (*Malus domestica* Bork., Elstar variety) and carrots (*Daucus carota* L., Nerac and Narbonne varieties) were grown under comparable conditions over the course of two years (2004 and 2005). The farming system did not influence the concentrations of carotenoids and polyphenols, independent of the farming site. The present results indicate that the farming system has less impact on the contents of carotenoids and polyphenols in apples and carrots than the climate or year of production. However, studies on the phytochemical content of plant foods alone are not able to shed light on the nutritional relevance of organically grown products. To clarify this question, human intervention studies are necessary.

Key words: apples, carrots, secondary plant metabolites, carotenoids, polyphenols, ecological, conventional

Ernährungs Umschau 57 (2010) S. 526–531

mittel nur dann sinnvoll, wenn die oben genannten Faktoren (wie z. B. Sorte, Klima, Anbauregion) berücksichtigt werden. Ein Vergleich von unterschiedlichen Sorten oder unterschiedlichen Anbauregionen hat wenig Sinn. In der vorliegenden Arbeit wurden diese Faktoren berücksichtigt.

Um jedoch letztendlich die ernährungsphysiologische Relevanz von Öko-Produkten im Vergleich zu konventionellen Lebensmitteln beurteilen zu können, sind humane Interventionsstudien dringend erforderlich. Aussagen allein zum SPS-Gehalt in pflanzlichen Lebensmitteln lassen keine Rückschlüsse zu, welche funktionellen Wirkungen mit dem Verzehr von ökologisch erzeugten Lebensmitteln im Vergleich zu konventionell erzeugten im menschlichen Organismus assoziiert sind.

Danksagung

Wir danken Herrn Prof. RAHMANN für die Bereitstellung der Apfel- und Karottenproben sowie allen Projektpartnern des Projekts 020E170/F.1. Dem Bundesprogramm „Ökologischer Landbau“ danken wir für die Finanzierung dieses Projektes.

Literatur

1. Treutter D (2005) Significance of flavonoids in plant resistance and enhancement of their biosynthesis. *Plant Biology* 7: 581–591
2. Bongue-Bartelsman M, Phillips DA (1995) Nitrogen stress regulates gene expression of enzymes in the flavonoid biosynthetic pathway of tomato. *Plant Phys Biochem* 33: 539–546
3. Deell JR, Pranger PK (1993) Postharvest physiological disorders diseases and mineral concentration of organically and conventionally grown McIntosh and Cortland apples. *Can J Plant Sci* 73: 223–230
4. Brandt K, Molgaard JP (2001) Organic agriculture: Does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods? *J Sci Food Agric* 81: 924–931
5. Thielen C, Wil F, Zacharias J et al. (2004) Verteilung von Polyphenolen im Apfel und Vergleich der Frucht mit Apfelsaft. *Deutsch Lebensm Rundsch* 100: 389–398

6. Simon PW, Wolff X (1987) Carotenes in typical and dark orange carrots. *J Agric Food Chem* 35: 1017–1022
7. Radtke J, Linseisen J, Wolfram G (1998) Phenolic acid intake of adults in a Bavarian subgroup of the national food consumption survey. *Z Ernährungswiss* 37: 190–197
8. Pelz R, Schmidt-Faber B, Heseke H (1998) Carotenoid intake in the German National Food Consumption Survey. *Z Ernährungswiss* 37: 319–327
9. Scalbert A, Manach C, Morand C et al. (2005) Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Crit Rev Food Sci Nutr* 45: 287–306
10. Galli F, Piroddi M, Annetti C et al. (2005) Oxidative stress and reactive oxygen species. *Contrib Nephrol* 149: 240–260
11. Weibel FP, Bickel R, Leuthold S, Alföldi T (2000) Are organically grown apples tastier and healthier? A comparative field study using conventional and alternative methods to measure fruit quality. *Acta Hort* 7: 417–427
12. Stracke BA, Rüter CE, Weibel FP et al. (2009) Three-year comparison of the polyphenol content and the antioxidant capacity in organically and conventionally produced apples (*malus domestica* bork., cultivar Golden Delicious). *J Agric Food Chem* 57: 4598–4605
13. Tarozzi A, Marchesi A, Cantelli-Forti G, Hrelia P (2004) Cold-storage affects antioxidant properties of apples in caco-2 cells. *J Nutr* 134: 1105–1109
14. Weibel FP, Widmer A, Treutter D (2004) Systemvergleichsversuch: Integrierte und biologische Apfelproduktion. Teil IV Innere Qualität Gehalt an antioxidativen Stoffen (Pflanzenphenolen). *Schweiz Z Obst-Weinbau* 7: 6–9
15. Leclerc J, Miller ML, Joliet E, Rocquelin G (1991) Vitamin and mineral contents of carrot and celeriac grown under mineral or organic fertilization. *Biol Agric Hortic* 7: 339–348
16. Schuphan W (1974) Nutritional-value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments – results of 12 years experiments with vegetables (1960–1972). *Plant Foods Hum Nutr* 23: 333–358
17. Warman PR, Havard KA (1997) Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown carrots and cabbage. *Agric Ecosyst & Environ* 61: 155–162
18. Lester GE, Eischen F (1996) Beta-carotene content of postharvest orange-fleshed muskmelon fruit: Effect of cultivar, growing location and fruit size. *Plant Foods Hum Nutr* 49: 191–197
19. Stracke BA, Rüter CE, Bub A et al. (2009) Bioavailability and nutritional effects of carotenoids from organically and conventionally produced carrots in healthy men. *Br J Nutr* 101: 1664–1672
20. Briviba K, Stracke BA, Rüter CE et al. (2007) Effect of consumption of organically and conventionally produced apples on antioxidant activity and DNA damage in humans. *J Agric Food Chem* 55: 7716–7721
21. Toor RK, Savage GP, Heeb A (2006) Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *J Food Compos Anal* 19: 20–27
22. Anttonen MJ, Hoppula KI, Nestby R et al. (2006) Influence of fertilization, mulch color, early forcing, fruit order, planting date, shading, growing environment, and genotype on the contents of selected phenolics in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits. *J Agric Food Chem* 54: 2614–2620
23. Duke SO (1990) Overview of herbicide mechanisms of action. *Environ Health Perspect* 87: 263–271
24. Anttonen MJ, Karjalainen RO (2006) High-performance liquid chromatography analysis of black currant (*Ribes nigrum* L.) fruit phenolics grown either conventionally and organically. *J Agric Food Chem* 54: 7530–7538
25. Hajslova J, Schulzova V, Slanina P et al. (2005) Quality of organically and conventionally grown potatoes: Four-year study of micronutrients, metals, secondary metabolism, enzymic browning and organoleptic properties. *Food Addit Contam* 22: 514–534