

# Gesund durch bioaktive Substanzen im Gemüse

## MANAGEMENT UND MODELLIERUNG

### ENTLANG DER PRODUKTIONS- UND DISTRIBUTIONSKETTE

Dass Gemüse gesund ist,  
 ist hinlänglich bekannt.  
 Aber es sind nicht nur  
 die Vitamine, sondern auch  
 die so genannten bioaktiven  
 Substanzen – gesundheits-  
 fördernde Wirkstoffe ohne  
 Nährstoffcharakter –,  
 die Gemüse so wertvoll  
 für die Ernährung machen.  
 Doch die Messungen ergeben:  
 Brokkoli ist  
 nicht gleich Brokkoli.  
 Art und Menge der bioaktiven  
 Substanzen ist nicht nur  
 von der Sorte abhängig,  
 sondern auch von Produktions-  
 methoden, Lagerung und  
 Distribution.  
 Und diese sind steuerbar –  
 im Sinne der Verbraucher.

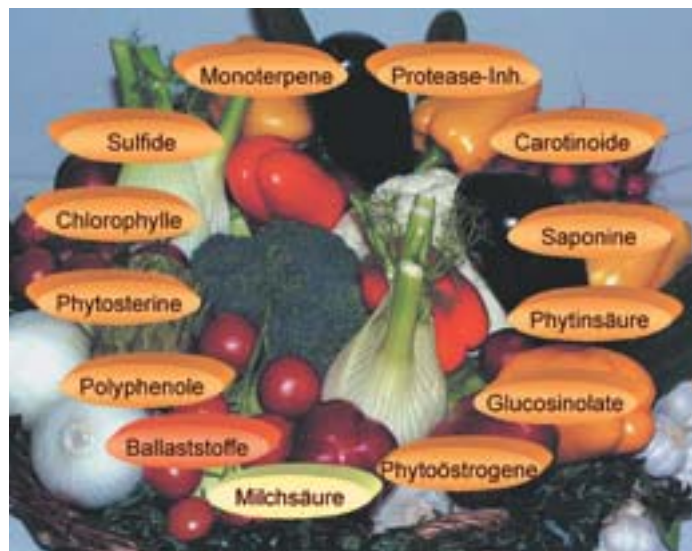
Gesundheitsbewusste Ernährung ist in den Industrieländern zu einem der wichtigsten gesellschaftlichen Trends geworden. Daher spielen gesundheitliche Aspekte bei der Kaufentscheidung von Lebensmitteln eine immer wichtigere Rolle. In einer EU-weiten Verbraucherumfrage mit über 14.000 Teilnehmern konnte belegt werden, dass bei mehr als 30 Prozent der Befragten der Gesundheitswert des Lebensmittels mit kaufbestimmend ist (LENNERNÄS ET AL. 1997).

Wie zahlreiche epidemiologische Studien nachgewiesen haben, vermindert erhöhter Gemüsekonsum das Risiko für chronische, degenerative Erkrankungen des Menschen wie Krebs (unter anderem STEINMETZ und POTTER 1996; WORLD CANCER RESEARCH FUND/ AMERICAN INSTITUTE OF CANCER RESEARCH 1997) und kardiovaskuläre Beschwerden (unter anderem BAZZANO ET AL. 2002; KRIS-ETHERTON ET AL. 2002).

Anhand von in vitro-Zellsystemen und tierexperimentellen Befunden konnten unter anderem antikanzerogene und antioxidative Effekte von bioaktiven Substanzen ermittelt werden (HAUNER und WATZL 2001; WATZL 2001).

Bioaktive Substanzen sind in Lebensmitteln enthaltene gesundheitsfördernde Wirkstoffe ohne Nährstoffcharakter (WATZL und LEITZMANN 1999).

Zu den bioaktiven Substanzen gehören zahlreiche sekundäre Pflanzenstoffe, Ballaststoffe und bestimmte Fermentationsprodukte wie Milchsäure. Zu der großen Gruppe der sekundären Pflanzenstoffe zählen Carotinoide, Glucosinolate, Polyphenole, Sulfide, Saponine, Phytoöstrogene, Phytosterine, Protease-Inhibitoren, Phytinsäure, Chlorophyll und Monoterpene (Abbildung 1).



dären Pflanzenstoffen in isolierter Reinform zu keinen oder negativen humanbiologischen Effekten. So erhöhte eine tägliche Beta-Carotin-Dosis von 20 Milligramm (HEINONEN und ALBANES 1994) oder 30 Milligramm (OMENN ET AL. 1996) als künstlich synthetisierte Reinsubstanz bei Rauchern die Erkrankung an Lungenkrebs sowie die Sterberate. Die Diskrepanz zwischen der

Unverarbeitete Lebensmittel wie Gemüse enthalten relativ hohe Mengen an sekundären Pflanzenstoffen. Neben Frischgemüse zeigten auch Nahrungsergänzungsmittel auf der Basis von Gemüse wie etwa Extrakte oder Säfte eine Risikominderung am Herz-Kreislauf-System zu erkranken (WISE ET AL. 1996; MÜLLER ET AL. 1999). Hingegen führte die Supplementierung von sekun-

Wirkung von frischem Gemüse und Gemüseprodukten einerseits und einer Supplementierung mit isolierten Reinsubstanzen andererseits könnte unter anderem darin begründet sein, dass die Interaktionen mit anderen Substanzen in der Gemüsematrix wesentlich die gesundheitliche Wirkung von Gemüse und Gemüseprodukten bestimmen (BURRI 1997).

Aktionen zur gesunden Ernährung wie zum Beispiel »5 am Tag« empfehlen den Verzehr von drei bis fünf Portionen Gemüse und zwei bis vier Portionen Obst pro Tag.

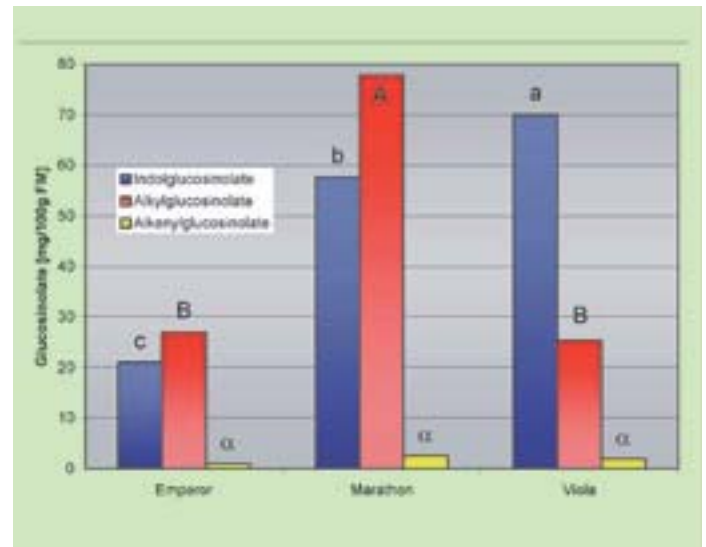
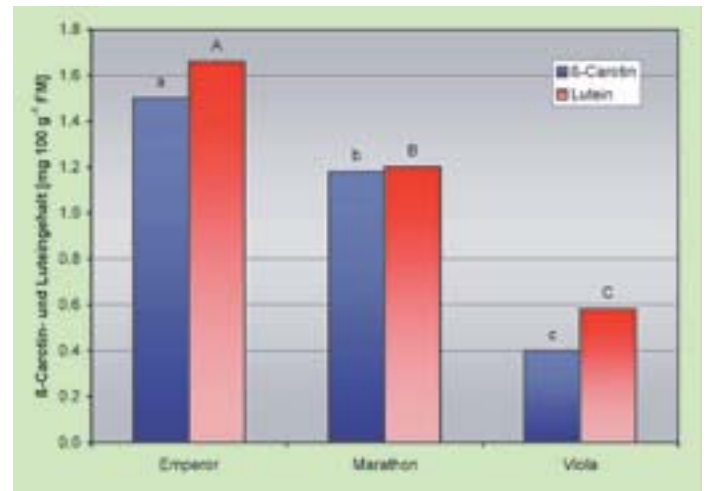
Jedoch liegt der Gemüse- und Obstkonsum in Deutschland, aber auch in anderen nordeuropäischen Ländern und in den USA weit unter den Empfehlungen zahlreicher Institutionen wie dem World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research (USA), der Health Education Authority (UK), der Deutschen Gesellschaft für Ernährung und der Deutschen Krebsgesellschaft.

Erst hohe tägliche Verzehrsmengen an glucosinolatreichem Gemüse wie beispielsweise 400 Gramm Weißkohl oder 500 Gramm Brokkoli führten zu erhöhten Catechol-Östrogengehalten, die das Auftreten von Brustkrebs deutlich vermindern (WATZL

Dabei könnte eine erhöhte Aufnahme von bioaktiven Substanzen nicht nur durch den Verzehr von Frischgemüse, das reich an gesundheitsfördernden bioaktiven Substanzen ist, erfolgen. Gemüse könnte auch als pflanzlicher Rohstoff für präventiv gesundheitsfördernde, so genannte funktionelle Gemüseprodukte wie etwa Fertiggerichte wie Gemüsesuppen oder Tiefkühlgemüse oder zur Beimischung in anderen funktionellen Lebensmitteln wie etwa Müsliprodukten dienen.

Um Gemüse mit hohen Gehalten an bioaktiven Substanzen erzeugen zu können, müssen zunächst Einflüsse von Art und Sorte sowie die Wirkung von ökophysiologischen Einflussfaktoren wie Temperatur, Einstrahlung, Nährstoff- und Wasserversorgung auf die Ausbildung bioaktiver Substanzen bei Gemüse aufgeklärt werden.

nesfalls gleich Brokkoli. So enthalten kräftig grüne Brokkolisorten wie zum Beispiel »Emperor« wesentlich höhere Gehalte an den antioxidativ wirksamen Carotinoiden Lutein und Beta-Carotin sowie an Chlorophyll a und b, denen antikanzerogene Effekte zugeschrieben werden, als grau-grüne Sorten wie »Marathon«



BIOAKTIVE SUBSTANZ	VORKOMMEN IN GEMÜSE
Carotinoide	Rotes und gelbes Gemüse wie Tomaten, Möhren, Paprika, Kürbis, Melone
Saponine	Spargel, Hülsenfrüchte wie Bohnen und Erbsen, Amaranth
Sulfide	Knoblauch, Zwiebeln, Schalotten, Porree
Glucosinolate	Kohlgemüse, Radies, Rettich
Polyphenole	in der Schale beziehungsweise in den äußeren Blättern von Gemüse
Phytoöstrogene	Hülsenfrüchte wie Bohnen und Erbsen
Protease-Inhibitoren	Hülsenfrüchte wie Bohnen und Erbsen
Phytinsäure	Hülsenfrüchte wie Bohnen und Erbsen
Chlorophyll	Grünes Gemüse
Ballaststoffe	Kohlgemüse, Hülsenfrüchte wie Bohnen und Erbsen
Milchsäure	Sauerkraut oder anderes Sauergemüse

2001). Da diese Mengen in der Regel nicht täglich aufgenommen werden, wird der Verzehr von Gemüse mit hohen Gehalten an bioaktiven Substanzen empfohlen (ERBERSDOBLER 2002).

Auf diese Weise könnte unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Ernährungsgewohnheiten die Versorgung mit bioaktiven Substanzen verstärkt werden.

Auf der Basis dieser Kenntnisse ist es dann möglich, ein entsprechendes Kulturmanagement für die gezielte Beeinflussung der Gehalte an bioaktiven Substanzen zu entwickeln.

So zeigen die meisten Gemüsearten eine erhebliche Sortenvariabilität bei den einzelnen bioaktiven Substanzen. Aus der Sicht der Inhaltsstoffe ist beispielsweise Brokkoli kei-

oder violette Sorten wie »Viola« (Abbildung 2).

Auch bei den Glucosinolaten, die auch als Senföle bekannt sind und deren Abbauprodukte Antikrebs-Wirkungen aufweisen, gibt es erhebliche Sortenunterschiede. Bei »Marathon« wurden hohe Gehalte an Alkylglucosinolaten, bei »Viola« hohe Gehalte an Indolglucosinolaten gefunden (Abbildung 3).

Abbildung 1 (links) Vorkommen von bioaktiven Substanzen in Gemüse

Abbildung 2 (rechts oben) Gehalt an Carotinoiden bei drei Brokkolisorten (SCHREINER ET AL. 1998)

Abbildung 3 (rechts unten) Gehalt an Glucosinolaten bei drei Brokkolisorten (SCHREINER ET AL. 2001)



Abbildung 4 (links)  
Gehalt an Glucoraphasatin – dem Hauptglucosinolat bei Radies – in der Radiesknolle mit zunehmender Schwefelversorgung (KRUMBEIN ET AL. 2001)

Spargelsorten unterscheiden sich deutlich in ihren Saponingehalten, wobei gerade neuere Sorten wie ›Backlim‹ oder ›Eposs‹ vergleichsweise hohe Gesamtsaponingehalte aufweisen (SCHWARZBACH 2004). Saponine werden hinsichtlich ihrer cholesterin-senkenden Wirkung diskutiert.

ausgeprägt sind. Während bei Brokkoli die Gehalte an Alkyl- und Indolglucosinolaten mit zunehmender Einstrahlung in Kombination mit relativ niedrigen Tagesmitteltemperaturen am höchsten waren, wurde der Glucosinolatgehalt bei Radies dagegen nur im geringen Maße von diesen klimatischen

Faktoren beeinflusst (KRUMBEIN und SCHONHOF 2001; SCHREINER ET. AL. 2002).

Auch die Nährstoffversorgung kann die Gehalte an bioaktiven Substanzen beeinflussen. So können etwa über Schwefeldüngung schwefelhaltige sekundäre Pflanzenstoffe wie Sulfide und Glucosinolate gesteigert werden (Abbildung 4). Auch die Applikation von Aminosäuren oder Jasmonsäure kann zur Gehaltserhöhung von bioaktiven Substanzen beitragen (Abbildung 5).

Produktion und Vermarktung stehen in enger Interaktion, da nur über abgestimmte Maßnahmen während des Wachstums und nach der Ernte die angestrebte Produktqualität erreicht werden kann, und die anschließende Qualitätssicherung nur durch geeignete, produktangepasste Nacherntebehandlungen möglich ist.

Daher muss zur Produktion und Erhaltung von bioaktiven Substanzen in Gemüse die gesamte Produktions- und Distributionskette betrachtet werden (Abbildung 6).

Im Distributionsprozess muss über die Wahl geeigneter technischer Maßnahmen der Gehalt an bioaktiven Substanzen

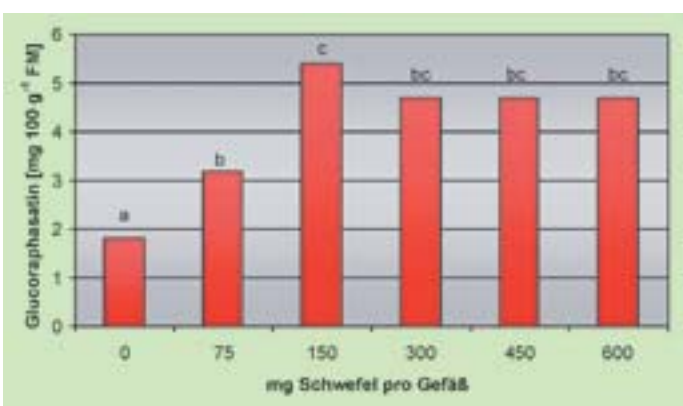


Abbildung 5 (rechts)  
Gewinnung von bioaktiven Substanzen aus Wurzelexsudaten aus aeroponisch angezogenen Rüben

Ebenso beeinflussen klimatische Faktoren wie Temperatur und Sonneneinstrahlung den Gehalt an bioaktiven Substanzen, wenn auch diese ökophysiologischen Effekte je nach Gemüseart und bioaktiver Substanz unterschiedlich



zen gesichert werden. Dies kann zum Beispiel durch die Verpackung des Gemüses erreicht werden. So wiesen in unseren Versuchen Radies in unterschiedlichen Verpackungen nach fünftägiger Lagerung ganz unterschiedliche Glucosinolatgehalte auf (Abbildung 7).

Im Vergleich zu erntefrischen Radies zeigten im Foodtainer und in Omnipolypropylen-Folie (OPP-Coex-Folie) (Abbildung 8) verpackte Radies deutlich niedrigere, in Cellulosefolie verpackte jedoch erhöhte Glucosinolatgehalte.

Auf dem Weg vom Samenkorn bis zum Tisch des Verbrauchers bestehen also mannigfache Möglichkeiten, die Qualität von Gemüse einschließlich der Gehalte an bioaktiven Substanzen zu beeinflussen.

Eine integrative Betrachtung der Produktions- und Distributionskette gibt dabei Aufschluss über die Variationsbreite der Beeinflussungsmöglichkeiten. Die Quantifizierung der Wirkungen spezifischer genetischer, klimatischer oder technischer Faktoren und die Integration der einzelnen Kausalbeziehungen in ein mathematisches Modell



oder Lagertemperaturen simulieren. Die sich daraus ergebenden Informationen können dann für Entscheidungen, an welcher Stelle der Produktions- und Distributionskette welche Maßnahme zu ergreifen ist, genutzt werden.

Pflanzenwachstumsmodelle bilden die physiologischen

zu erwarten ist, dass von der Verfügbarkeit der betreffenden Ressource deutliche Wirkungen auf die Zielgrößen ausgehen. Während bislang zu meist Fragestellungen zu Ertragshöhe, Erntezeitpunkt und Ressourcennutzung mit dynamischen Pflanzenmodellen bearbeitet wurden, verlan-

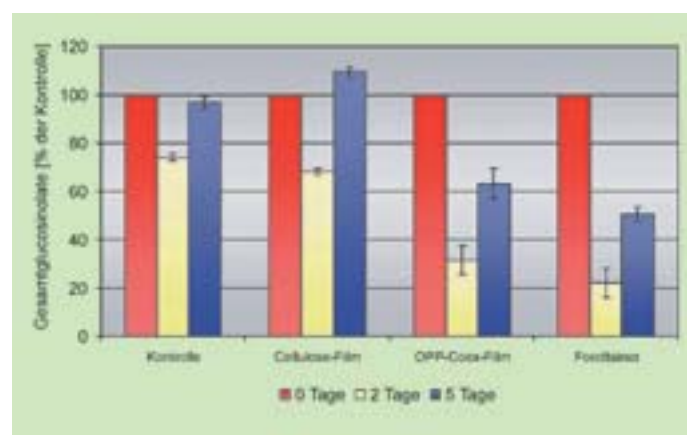
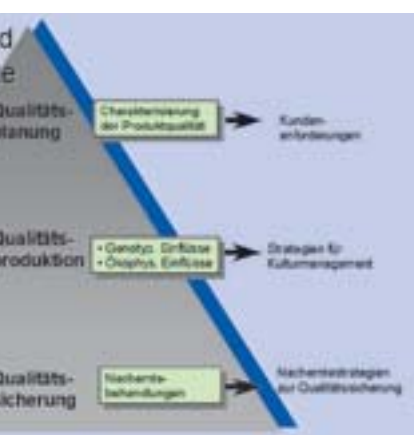


Abbildung 6 (links) Qualitätsmanagement innerhalb der Produktions- und Distributionskette

Abbildung 7 (mittig) Gehalt an Gesamtglucosinolaten bei fünftägiger Kurzzeitlagerung von Radies bei unterschiedlichen Verpackung (SCHREINER ET AL. 2003)

ermöglicht die Prognose der Dynamik bioaktiver Substanzen. Mit Hilfe von Modellen lassen sich verschiedene Szenarien wie unterschiedliche Klimabedingungen, Düngungs- und Bewässerungsstrategien

Prozesse der Stoffproduktion und Stoffverteilung im System Pflanze ab (Abbildung 9).

Häufig werden sie mit Modellen der Ressourcendynamik, zum Beispiel des Wasserhaushaltes, gekoppelt, wenn

gen die steigenden Anforderungen an ein ganzheitliches Qualitätsmanagement Modelle, welche die Ausbildung der als Gemüse verzehrten Pflanzenorgane und die Dynamik der Inhaltsstoffbildung und

Abbildung 8 (rechts, kleines Bild) Radies im Foodtainer (links) und in Omnipolypropylen-Folie (OPP-Coex-Folie) (rechts) verpackt



**Dr. Monika Schreiner**  
 Jahrgang 1958, ist Leiterin der Abteilung Qualität am Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V.



**Prof. Dr. sc. agr. Hartmut Stützel**  
 Jahrgang 1954, ist Direktor des Instituts für Gemüse- und Obstbau der Universität Hannover.

-erhaltung realistisch simulieren. Während die Beziehungen zwischen Organausbildung und Wachstumsbedingungen schon recht gut verstanden werden, stellen die Prozesse von Bildung, Um- und Abbau von bioaktiven Substanzen eine neue Herausforderung an Qualitätsforschung und -management dar.

Ernährungsphysiologische Untersuchungen zeigen die Bedeutung eines vielseitigen und umfangreichen Gemüsekonsums in einer gesundheitsbewussten Ernährung. Dieser ist durch den Griff zur Vitaminpille nicht zu ersetzen.

Neue Ansätze im Produktions- und Distributionsmanagement können die Kundenanforderungen nach Gemüse mit hohem Gesundheitswert erfüllen.



Abbildung 9  
 Schematische Darstellung eines gekoppelten Pflanzenwachstums- und Wasserhaushaltsmodells mit Schnittstellen für die Modellierung innerer und äußerer Qualitätseigenschaften

**Literatur**

- Bazzano, L., J. He, L. Ogden, C. Loria, S. Vupputuri, L. Meyers and P. Whelton. Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease in US adults: the first national Health and nutrition examination survey epidemiologic follow-up study. *Am J Clin Nutr* 76 (2002), 93–99.
- Burri B. J. Beta-carotene and human health: a review of current research. *Nutr Res* 17 (1997), 547–580.
- Erbersdobler, H. Wirkstoffe. In: (H. Erbersdobler und A. Meyer Hrsg.) *Praxis-handbuch Functional Food*. B. Behr's Verlag GmbH & Co Hamburg (2000), 1–14.
- Hauner H. and B. Watzl. Antioxidantien in der Ernährung und Arteriosklerose. *Dtsch Med Wschr* 126 (2001), 213–217.
- Heinonen, O. and D. Albanes. Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study Group. The effect of vitamin E and beta carotene on the incidence of lung cancer and other cancers in male smokers. *N Engl J Med* 330 (1994), 1029–1035.
- Kris-Etherton, P., K. Hecker, A. Bonanome, S. Coval, A. Binkoski, K. Hilpert, A. Griel and T. Etherton. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *Am J Med* 113 (2002), 71–88.
- Krumbein, A. and I. Schonhof. Influence of temperature and irradiation on glucosinolates in broccoli heads. In: Pfannhauser W, Fenwick GR, Khokhar S (eds) *Biologically-active phytochemicals in food*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, (2001), 477–479.
- Krumbein, A., I. Schonhof, J. Rühlmann and S. Widell. Influence of sulphur and nitrogen supply on flavour and health-affecting compounds in Brassicaceae. In: Horst W (ed) *Plant nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems*. Kluwer Academic Publishers Netherlands, (2001), 294–295.
- Lennernäs, M., C. Fjellström, I. Giachetti, A. Schmitt, A. Remaut de Winter and M. Kearny. Influences on food choice perceived to be important by nationally-representative samples of adults in the European union. *Eur J Clin Nutr* 51, (1997), 8–15.
- Müller, H., A. Bub, B. Watzl and G. Rechkemmer. Plasma concentrations of carotenoids in healthy volunteers after intervention with carotenoidrich foods. *Eur J Nutr* 38 (1999), 35–44.
- Omenn G., G. Goodman, M. Thornquist, J. Balmes, M. Cullen, A. Glass, J. KeoghP, F. Meyskens, B. Valanis, J. Williams, S. Barnhart, M. Cherniack, C. Brodtkin and S. Hammar. Risk factors for lung cancer and for intervention effects in CARET, the Beta-Carotene and Retinol Efficacy Trial. *J Nat Cancer Inst* 88 (1996), 1550–1559.
- Schreiner, M., I. Schonhof und A. Krumbein. Bioaktive Substanzen im Gemüse – eine neue Dimension der Produktqualität. *Forschungsreport Sonderheft zum Jahr der Lebenswissenschaften* (2001), 10–11.
- Schreiner, M., I. Schonhof und A. Krumbein. Eine neue Dimension der Produktqualität – Bioaktive Substanzen im Gemüse. *Gemüse* 2 (1998), 80–84.
- Schreiner, M., S. Huyskens-Keil, A. Krumbein, H. Prono-Widayat, P. Peters and P. Lüdders. Comparison of film packaging and surface coating on bioactive substances in fruits and vegetables. *KTBL-Schrift* 414 (2003), 39–44.
- Schreiner, M., S. Huyskens-Keil, P. Peters, I. Schonhof, A. Krumbein and S. Widell. Seasonal climate effects on root colour and compounds of red radish. *J Sci Food Agric* 82 (2002), 1325–1333.
- Schwarzbach, A. Vergleichende Untersuchungen zum Saponingehalt von *Asparagus officinalis*. Dissertation, TU Berlin (2004).
- Steinmetz K. and J. Potter. Vegetables, fruit, and cancer prevention: a review. *J Am Diet Assoc* 96 (1996), 1027–1039.
- Watzl, B. Glucosinolate. *Ernährungs-Umschau* 48 (2001), 303–333.
- Watzl, B. Krebsprotektive Nahrungsinhaltsstoffe. *Ernährungs-Umschau* 48 (2001), 52–55.
- Watzl, B. Sulfide. *Ernährungs-Umschau* 49 (2002), 493–496.
- Watzl, B. und A. Bub. Carotinoide. *Ernährungs-Umschau* 48 (2001), 71–74.
- Watzl, B. und C. Leitzmann. *Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln*. Hippokrates Verlag Stuttgart (1999).
- Wise, J., R. Morin, R. Sanderson and K. Blum. Changes in plasma carotenoid, alpha-tocopherol, and lipid peroxide levels in response to supplementation with concentrated fruit and vegetable extracts: a pilot study. *Curr Therap Res* 57 (1996), 445–461.
- World Cancer Research Fund, American Institute of Cancer Research. *Food, nutrition and the prevention of cancer: a global perspective*. Washington, (1997), 1–670.