Verbesserung der Bioverfügbarkeit von Carotinoiden aus Orangensaft durch innovative Homogenisierungsstrategien



Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Bonn
Forschungseinrichtung(en):	Universität Bonn Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften (IEL) FG Molekulare Lebensmitteltechnologie Prof. Dr. Andreas Schieber Universität Gießen Institut für Ernährungswissenschaft (IfE) Professur für Ernährung in Prävention und Therapie Prof. Dr. Gunter Eckert
Industriegruppe(n):	Verband der deutschen Fruchtsaft-Industrie e. V. (VdF), Bonn
Projektkoordinator:	Dr. Martin Foltz Döhler GmbH, Darmstadt
Laufzeit:	2022 - 2026
Zuwendungssumme:	€ 433.575,--

Forschungsziel

Das Interesse an einer gesunden Ernährung und an gesundheitsfördernden Lebensmittelinhaltsstoffen ist in den letzten Jahrzehnten deutlich gestiegen. Carotinoide sind eine in zahlreichen Obst- und Gemüsesorten weit verbreitete Gruppe der sekundären Pflanzenstoffe und haben in diversen Studien gesundheitsfördernde Wirkungen gezeigt. Epidemiologische Studien konnten eine inverse Korrelation zwischen einer carotinoidreichen Ernährung und dem Auftreten von degenerativen und kardiovaskulären Erkrankungen feststellen.

Die gesundheitsfördernden Wirkungen der Carotinoide sind nicht nur von deren Gehalt, sondern auch von ihrer Bioverfügbarkeit abhängig, da nur der Anteil der Carotinoide Effekte im Körper verursachen kann, der tatsächlich vom Körper aufgenommen wurde. Carotinoide werden im Magen zusammen mit Lipiden und weiteren fettlöslichen Nährstoffen in Lipidtröpfchen emulgiert. Lipide veranlassen anschließend die Freisetzung von Gallensalzen und Lipasen in den Dünndarm. Dort kommt es durch die oberflächenaktive Wirkung der Gallensalze und durch die Aktivität der Lipasen zur Bildung von Mizellen. Durch passive Diffusion oder Rezeptorproteine gelangen diese carotinoidhaltigen Mizellen anschließend in die Dünndarmzellen und werden in Chylomikronen über die Lymphe ins Blut abgegeben. Dort erfolgt der Transport über Lipoproteine zu den entsprechenden Zielorganen und -geweben. Die Leber ist das Hauptspeicherorgan für Carotinoide und dient neben der Speicherung der Metabolisierung von Carotinoiden und dem Aufbau von carotinoidhaltigen Lipoproteinen zur Zirkulation im Körper.

Aufgrund des Mechanismus der Carotinoidabsorption stellt der Aufschluss des Zellgewebes während der Fruchtverarbeitung in der Fruchtsaftproduktion die zentrale Stellschraube der Carotinoidbioverfügbarkeit dar. Es ist deshalb davon auszugehen, dass durch geeignete Verfahren bzw. eine gezielte Anpassung von etablierten Verfahren dieser Aufschluss des Zellgewebes im Sinne einer gesteigerten Bioverfügbarkeit der Carotinoide optimiert werden kann. Verfahren zur gezielten Steigerung der Bioverfügbarkeit von Carotinoiden in Orangensaft, wie z. B. eine Homogenisierung, finden bisher in der Fruchtsaftindustrie noch keine Anwendung. Es konnte aber bereits gezeigt werden, dass die Carotinoide aus einem Glas Orangensaft eine höhere Bioverfügbarkeit zeigen als die Carotinoide aus der entsprechenden Orange selbst. Studien belegen, dass weder konventionelle thermische noch alternative Pasteurisationsverfahren, wie gepulste elektrische Felder (PEF) oder Hochdruck (HPP), zu einer deutlichen Steigerung der In-vitro-Mizellierungsrate von Carotinoiden in Orangensaft führten. Eine zusätzliche Ultraschallbehandlung zeigte allerdings eine signifikante Steigerung der Carotinoidmizellierungsrate um 85 - 159 %. Homogenisierende Effekte, wie die einer Ultraschallbehandlung, scheinen folglich einen größeren Einfluss auf die Bioverfügbarkeit von Carotinoiden zu haben als Pasteurisationsprozesse.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, den Einfluss verschiedener Homogenisierungsstrategien auf die Biozugänglichkeit und auf die Bioverfügbarkeit von Carotinoiden in Orangensaft zu untersuchen. Das Vorhaben basierte auf der Arbeitshypothese, dass durch die Partikelgrößenverkleinerung einer Homogenisierung die Freisetzung der Carotinoide aus dem Pflanzenmaterial, die Inkorporierung in Lipidtröpfchen und somit der Einschluss von Carotinoiden in Mizellen gesteigert werden kann. Es sollten Zusammenhänge zwischen den Verarbeitungs- und Lagerparametern, der Partikelgröße und der Bioverfügbarkeit untersucht werden, die genutzt werden können, die Herstellungsweisen und die Lagerung so zu optimieren, dass Orangensäfte produziert werden können, die eine gesteigerte ernährungsphysiologische Wertigkeit aufgrund einer erhöhten Bioverfügbarkeit aufweisen. Gleichzeitig sollten die Säfte durch die gesteigerte Trubstabilität verbesserte sensorische Eigenschaften aufweisen und damit zu einer höheren Verbraucherakzeptanz beitragen.

Forschungsergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens wurde untersucht, wie sich innovative Homogenisierungsverfahren auf die physikochemischen Eigenschaften, die Biozugänglichkeit, die Bioverfügbarkeit sowie die potenzielle Biofunktionalität von Carotinoiden in Orangensaft auswirken. Hierzu wurden unbehandelter Orangensaft sowie mittels Hochdruckhomogenisierung und Ultraschall behandelte Orangensäfte in einer Kombination aus analytischen, sensorischen, in-vitro-Studien und humanen Interventionsstudien untersucht. Die technologischen Untersuchungen zeigten, dass die eingesetzten Verarbeitungsverfahren die Matrixstruktur und die physikochemischen Eigenschaften der Säfte deutlich beeinflussten. Insbesondere die homogenisierten Säfte wiesen Veränderungen bei Trübung, Pulpegehalt, Partikelgröße und Viskosität auf. Diese Unterschiede spiegelten sich auch in den sensorischen Untersuchungen wider. Im Rahmen eines Akzeptanztests sowie einer RATA-Analyse wurden insbesondere der unbehandelte Kontrollsaft und die hochdruckhomogenisierten Säfte hinsichtlich des Geschmacks, des Geruchs, der Textur, der Homogenität und der Gesamtakzeptanz positiv bewertet. Die sensorischen Ergebnisse stimmten gut mit den analytisch bestimmten Parametern aus der Partikelgrößenanalyse und der Viskositätsmessung überein. Die In-vitro-Verdauversuche zeigten, dass die Verarbeitung die Mizellierung insbesondere polarer Xanthophylle verbessern konnte. Vor allem Xanthophyllester wiesen hohe Mizellierungseffizienzen auf. Da diese Esterformen im menschlichen Organismus vor der Absorption enzymatisch hydrolysiert werden, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass verbesserte Mizellierungseigenschaften verarbeiteter Säfte potenziell zu einer erhöhten systemischen Verfügbarkeit freier Xanthophylle beitragen könnten. Dagegen blieb die Mizellierung von β-Carotin vergleichsweise gering, was vermutlich auf die geringe Polarität und die eingeschränkte Integration in gemischte Mizellen zurückzuführen ist. Ergänzende Untersuchungen zur potenziellen hepatischen Metabolisierung absorbierter Carotinoide mittels humaner Lebermikrosomen ergaben unter den gewählten Versuchsbedingungen keine eindeutig identifizierbaren oder quantifizierbaren Metabolite. In einer Nutrikinetik-Studie mit gesunden Probanden zeigte sich nach dem Konsum der Orangensäfte ein deutlicher postprandialer Anstieg der Carotinoide, insbesondere von β-

Cryptoxanthin, in der triacylglyceridreichen Lipoproteinfraktion des Plasmas. Numerisch wurden nach Konsum der homogenisierten bzw. ultraschallbehandelten Säfte höhere Konzentrationen und größere AUC-Werte beobachtet als nach unbehandeltem Orangensaft, wobei die Unterschiede aufgrund interindividueller Variabilität keine statistische Signifikanz erreichten. In einer zweiten Humanstudie führte der regelmäßige Konsum der Orangen-säfte über 12 Wochen hinweg zu erhöhten Plasmakonzentrationen zirkulierender Carotinoide, insbesondere von β-Cryptoxanthin. Gleichzeitig wurden Veränderungen bioenergetischer und immunologischer Parameter in peripheren mononukleären Blutzellen beobachtet. So stiegen die intrazellulären ATP-Konzentrationen an, und insbesondere der hochdruckhomogenisierte Saft war mit einer erhöhten mitochondrialen Atmungsaktivität assoziiert. Darüber hinaus zeigten sich nach ex-vivo-Stimulation der Immunzellen verstärkte Interleukinantworten. Die Ergebnisse deuten insgesamt darauf hin, dass moderne Homogenisierungstechnologien die ernährungsphysiologische und funktionelle Qualität carotinoidhaltiger Fruchtsäfte beeinflussen können.

Wirtschaftliche Bedeutung

Der Konsum an Fruchtsäften ist seit einigen Jahren leicht rückläufig, was wahrscheinlich auch auf eine teils negative Berichterstattung bezüglich der Zuckergehalte von Fruchtsaft zurückzuführen ist. Dem gegenüber stehen viele wissenschaftliche Studien, die die positiven Effekte von Fruchtsaft herausstellen und Initiativen wie „Fruit Juice Matters“, die dazu dienen, solche Erkenntnisse an die Verbraucher zu kommunizieren.

Für ihre gesundheitsfördernden Eigenschaften ist die Absorption von Carotinoiden im Dünndarm unerlässlich. In diesem Projekt wurden Verfahren entwickelt, die es ermöglichen, die Bioverfügbarkeit der Carotinoide im Orangensaft positiv zu beeinflussen und so die ernährungsphysiologische Qualität des Saftes zu verbessern. Diese Säfte könnten entsprechend vermarktet werden und höhere Preise als konventionell hergestellte Säfte erzielen. Ein entsprechend hergestellter Orangensaft zeichnet sich ggfs. auch durch eine verbesserte Trubstabilität und damit Verbraucherakzeptanz aus und kann mit ähnlichen funktionellen Produkten auf dem Markt konkurrieren, die die konventionellen Säfte hinsichtlich der Biofunktionalität immer mehr in den Schatten stellen.

Publikationen (Auswahl)

1. FEI-Schlussbericht 2026

Weiteres Informationsmaterial

Universität Bonn
Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften (IEL)
FG Molekulare Lebensmitteltechnologie
Friedrich-Hirzebruch-Allee 7, 53115 Bonn
Tel.: +49 228 73-4452
Fax: +49 228 73-4429
E-Mail: schieber@uni-bonn.de

Universität Gießen
Institut für Ernährungswissenschaft (IfE)
Professur für Ernährung in Prävention und Therapie
Wilhelmstraße 20, 35392 Gießen
Tel.: +49 641 99-39048
Fax: +49 641 99-39039
E-Mail: eckert@uni-giessen.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI)
Godesberger Allee 125, 53175 Bonn
Tel.: +49 228 3079699-0
Fax: +49 228 3079699-9
E-Mail: fei@fei-bonn.de

Förderhinweis

*… ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)***

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

FORSCHUNGSKREIS DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE E.V.

INDUSTRIELLE GEMEINSCHAFTSFORSCHUNG

Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Bildnachweis - Seite 1: © Lara Etzbach, IEL, Universität Bonn

Stand: 11. August 2026