



# ERNÄHRUNG

4,50 EUR

## IM FOKUS

Zeitschrift für Fach-, Lehr- und Beratungskräfte

SONDERAUSGABE 01 2021

**Faszination Lebensmitteltechnologie**  
Streifzug durch die Wissenschaft

# Herausforderungen meistern – Zukunft gestalten

Essen zwischen gestern  
und morgen



© fotoru/adobe-stock.com

## 5. BZfE-Forum

30. September 2021 | digital und interaktiv



► Programm, Anmeldung und Informationen unter [www.bzfe.de](http://www.bzfe.de)

# ERNÄHRUNG

## IM FOKUS

Zeitschrift für Fach-, Lehr- und Beratungskräfte

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

für viele Menschen ist „Lebensmitteltechnologie“ untrennbar mit „Chemie im Essen“ verbunden. Gleichzeitig erwarten sie perfekt aussehende, lang haltbare, sichere Lebensmittel, die sich mit geringem Aufwand zubereiten lassen, gut schmecken – und dabei möglichst wenig kosten. Die Lebensmittelindustrie befindet sich hier in einem Spannungsfeld, denn sie will sich einerseits nach den Verbraucherwünschen richten, ist dabei aber auch lebensmittelrechtlichen Rahmenbedingungen unterworfen.

In der Tat ist das primäre Aufgabenfeld der Wissenschaftsdisziplin Lebensmitteltechnologie schon immer die industrielle Herstellung sicherer Lebensmittel gewesen. Allerdings hat sich die Rolle von Lebensmitteln als reine Nährstoff- und Energielieferanten in den vergangenen Jahrzehnten grundlegend geändert. Lebensmittel sollen heute über ihren Nährwert hinaus einen Beitrag zu Gesundheit und Wohlbefinden leisten. In vielen Fällen ziehen die Menschen, vor allem junge Erwachsene, pflanzliche Produkte solchen tierischen Ursprungs vor. Synthetische Zusatzstoffe sollen mehr und mehr durch Zutaten natürlicher Herkunft ersetzt werden, Lebensmittel mit langen Lieferwegen zugunsten regional und saisonal erzeugter Produkte in den Hintergrund treten – Nachhaltigkeit und Gesundheit sind die Themen unserer Zeit.

Diesen Entwicklungen muss sich auch die Lebensmitteltechnologie stellen, die heute an die beteiligten Akteure wesentlich höhere Ansprüche stellt als nur das Wissen um Produktionsprozesse. Vielmehr soll die Herstellung von Lebensmitteln die gesamte Wertschöpfungskette betrachten und im Sinne der Nachhaltigkeit auch Möglichkeiten der Verwertung anfallender Reststoffe umfassen. Die Suche nach natürlichen Zutaten einschließlich Zusatzstoffen wie Farb- und Konservierungsstoffen erfordern ein breites Verständnis der komplexen Zusammenhänge.

Unser Sonderheft „Faszination Lebensmitteltechnologie“ fasst ausgewählte Beiträge früherer Jahrgänge der BZfE-Fachzeitschrift *Ernährung im Fokus* zusammen und berücksichtigt dabei sowohl die Verarbeitung traditioneller Lebensmittel wie der Kartoffel als auch die exotischer Früchte wie der Mango. Hinzu kommt die Herstellung von Trendprodukten wie Smoothies, Sojadrinks oder Produkten aus der Lupine. Welche Herausforderungen bestehen bei der Fruchtsaftproduktion, um gesundheitsfördernde sekundäre Pflanzenstoffe zu erhalten? Und wie lässt sich durch technologische Maßnahmen das allergene Potenzial pflanzlicher Lebensmittel senken? Welche natürlichen Farb- und Konservierungsstoffe sind geeignet, um künstliche Zusatzstoffe zu ersetzen?

Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen!

Prof. Dr. Andreas Schieber und Dr. Birgit Jähmig

A. Schieber B. Jähmig



Prof. Dr. Andreas Schieber  
Autor



Dr. Birgit Jähmig  
Chefredakteurin

# INHALT

- 001 Editorial
- 004 Die Mango - Ein unbekannter Exot?
- 010 Smoothies - Flüssiges Obst und Gemüse
- 016 Zitrus säfte - Konzentrat oder Direktprodukt?
- 022 Safterstellung und sekundäre Pflanzenstoffe
- 027 Lebensmittelallergene: Möglichkeiten und Grenzen der technologischen Beeinflussung
- 032 Sojagetranke - Voll im Trend
- 038 Die Süßlupine  
Eine Alternative zur Sojabohne
- 042 Kartoffeln - Vielseitig nutzbare Knollen

004



Foto: © Vladimir Mechnik/stock.adobe.com

010



Foto: © baibaz/stock.adobe.com

027



Foto: © New Africa/stock.adobe.com

048

**Margarine – Vom Buttersatz zum Trendprodukt** \_\_\_\_\_ 048

064

**Kleine Organismen – Große Wirkung** \_\_\_\_\_ 054  
Fermentation von Lebensmitteln

**Nichtkonventionelle Technologien der Lebensmittelverarbeitung** \_\_\_\_\_ 059

**Natürliche Konservierungsstoffe** \_\_\_\_\_ 064  
Entwicklung und Potenzial

**Betalaine als natürliche Lebensmittelfarbstoffe** \_\_\_\_\_ 068

**Reststoffverwertung bei pflanzlichen Lebensmitteln** \_\_\_\_\_ 072

068

**Vorschau/Impressum** \_\_\_\_\_ 077



Abbildung 1: Mangofrüchte in Peru

# Die Mango – Ein unbekannter Exot?

DR. ANA LUCÍA VÁSQUEZ-CAICEDO • DR. SYBILLE NEIDHART • REGINE VALET •  
PROF. DR. DR. REINHOLD CARLE

**Gegenwärtig verbrauchen die Menschen in Deutschland insgesamt über 70 Kilogramm Frischobst (ohne Zitrusfrüchte) pro Kopf. Mit über 25 Kilogramm stehen Äpfel auf Platz 1, gefolgt von Bananen (11,4 kg), Tafeltrauben (4,8 kg) sowie Erdbeeren und Pfirsichen mit jeweils über drei Kilogramm. Auch exotische Früchte sind auf dem europäischen Markt keine Seltenheit mehr.**

Im Jahr 2019 wurden fast 1,7 Millionen Tonnen tropische und subtropische Früchte nach Deutschland importiert. Zu den beliebtesten Vertretern gehören Mangos, Ananas und Papayas. Die Weltproduktion von Mangos hat sich in den vergangenen 50 Jahren nahezu verfünffacht und betrug 2019 über 55 Millionen Tonnen. Die Mango steht damit hinter Bananen, Wassermelonen, Äpfeln, Orangen und Trauben an sechster Stelle unter den weltweit erzeugten Früchten. Hauptproduzent mit rund 46 Prozent der Gesamtmenge ist nach wie vor In-

dien mit über 25 Millionen Tonnen, gefolgt von Indonesien, China, Mexiko und Pakistan (FAOSTAT 2021).

## Geschichte und Verbreitung

Mango, *Mangifera indica* L. (Abb. 1), gehört wie Cashew und Pistazie zur Familie der Anacardiaceae (Sumachgewächse). Die Herkunft der Mangofrüchte ist umstritten, da Wildarten sowohl in Indien als auch in Südostasien gefunden wurden. Seit mindestens 4.000 Jahren wird der Mangobaum kultiviert. Die Betrachtung der Mangofrüchte als kulturelles und religiöses Symbol wird in alten hinduistischen Schriften (2.000 bis 1.500 v. Chr.) angedeutet. Über die Jahrhunderte haben Seefahrer die Mangosämlinge zunehmend bis nach Nord-, Mittel- und Südamerika, Afrika, Australien und Südeuropa gebracht, so dass die Mango inzwischen eine weite geografische Verbreitung aufweist. Heute wird die Frucht fast überall in den Tro-

pen und auch in geeigneten subtropischen Lagen angebaut. Dazu hat die Entwicklung von neuen Sorten in Florida (Haden, Tommy Atkins, Kent, Keitt, Irwin usw.) zu Beginn des 20. Jahrhunderts einen wesentlichen Beitrag geleistet. Durch Züchtung und Selektion haben sich bis heute mehr als 1.500 Sorten herausgebildet, die sich in Fruchtform, Größe, Farbe, Textur, Geschmack, Inhaltsstoffen und Klimaansprüchen unterscheiden.

## Vom Anbau zum Verbrauch

### Fruchtansatz

Neben der Entwicklung speziell adaptierter Sorten aus verschiedenen Anbauregionen haben Techniken, wie zur Steuerung der Blütenbildung, die ganzjährige Verfügbarkeit der Mango auf dem internationalen Markt ermöglicht. Obwohl Mangobäume reichblühende Infloreszenzen entwickeln, fallen bis zu 99 Prozent der bisexualen Blüten ab. Außerdem entwickeln sich nur aus wenigen Blüten Früchte, von denen während des weiteren Wachstums die meisten Früchte halb entwickelt abfallen. Heutzutage kann man durch geeignete Sortenauswahl, Baumschnitt-Techniken und die Nutzung von Wachstumsregulatoren, wie etwa Paclobutrazol, den unberechenbaren jährlich wechselnden Zyklus der Blütenbildung bis zu einem gewissen Grad kontrollieren. Fremdbestäubung mit anderen Mangosorten ist essenziell für einen angemessenen Fruchtansatz, der bis 23,4 Prozent der bestäubten Blüten betragen kann.

### Fruchtentwicklung

Die Entwicklung der Früchte dauert je nach Sorte und Witterung zehn bis 28 Wochen, im Allgemeinen vier bis fünf Monate. Wegen der erhöhten Anfälligkeit für Pflanzenkrankheiten mit zunehmender Reife werden Mangofrüchte üblicherweise im grünreifen Stadium geerntet. Dies ermöglicht zugleich auch den Transport der Früchte in ferne Länder. Mangofrüchte gehören zur Gruppe der klimakterischen Früchte. Diese zeigen während der Reifung einen starken Anstieg der Atmungsintensität (Klimakterium) mit einhergehender erhöhter Kohlendioxid-Abgabe. Gleichzeitig findet eine vermehrte Bildung von

Ethylen statt, das als Pflanzenhormon die Reifung der Früchte fördert. Damit sind chemische und biochemische Veränderungen in der Frucht selbst verbunden, zum Beispiel die Erweichung des Zellgewebes durch Pektinabbau, die Umwandlung der während des Fruchtwachstums angesammelten Stärke in Zucker, die Synthese der farbgebenden Carotinoide sowie der Abbau von organischen Säuren und phenolischen Verbindungen.

## Bestimmung des Erntezeitpunkts

Zur Vorhersage des geeigneten Erntezeitpunkts der Mangofrüchte lassen sich einige Kriterien, etwa die sortentypische Fruchtform, Schalengrundfarbe, Fruchtfleischfarbe und Trockenmasse heranziehen. Den Rahmen hierfür bildet zumeist die Bestimmung der Zeit vom Eintritt der vollen Blüte oder dem Datum des Fruchtansatzes bis zur Ernte. Diese ist von Sorte zu Sorte verschieden und von den klimatischen Verhältnissen abhängig, so dass eine große Erfahrung des Anbauers notwendig ist.

Während der Reifung finden bei den meisten Mangosorten Farbänderungen in der Schale statt, wobei das Chlorophyll abnimmt und der Carotinoidgehalt ansteigt. Ein weiteres Indiz ist das Auftreten schwarzer Punkte durch Hervortreten der Lentizellen auf der Schale. Einige Sorten, wie die thailändischen Sorten Nam Dokmai und Kiew Sawoei, ändern jedoch die Farbe ihrer Schale bei der Reifung nicht. Folglich kann die Schalenfarbe nicht generell als Indikator für die fortschreitende Reifung herangezogen werden. Somit leitet man das Reifestadium der Mangofrüchte üblicherweise aus dem Zusammenspiel verschiedener physikalischer und chemischer Parameter ab, die sich aus den oben genannten physiologischen Veränderungen ergeben. Zu diesen Parametern zählen die Fruchtfleischfarbe, das spezifische Gewicht, die Frucht(fleisch-)festigkeit, die Gehalte an Säuren, Stärke und löslicher Trockensubstanz sowie insbesondere das Zucker-Säure-Verhältnis. Da die meisten Messmethoden mit einer Zerstörung der Frucht einhergehen, bestimmen die Anbauer und Händler den Reifezustand der Früchte häufig lediglich durch praktische Er-

fahrung und anhand der äußeren physiologischen Parameter. Aktuelle Untersuchungen am Lehrstuhl Lebensmittel pflanzlicher Herkunft der Universität Hohenheim haben gezeigt, dass sich ausgewählte physiologische Parameter zu einem Reifeindex (RPI) kombinieren lassen, der eine objektive und präzise Beurteilung der Genussreife von Mangofrüchten ermöglicht.

Zerstörungsfreie Techniken wie die Nahinfrarotspektroskopie (NIR) bieten Alternativen zur schnellen Bestimmung des optimalen Erntezeitpunktes oder des Reifegrades der Früchte während der anschließenden Verwertung. Die im Hohenheimer Arbeitskreis gefundene hohe Korrelation des oben genannten Reifeindex mit dem NIR-Spektrum der Frucht lässt auf eine Erfolg versprechende praktische Anwendung dieser Technik in der Nacherntebehandlung und Verwertung von Mangos hoffen.

## Nacherntereifung

Die Entfaltung des typischen Geschmacks, des Aromas und der Farbe ist vom Reifegrad der Früchte bei der Ernte sowie von der Lagertemperatur bei der Nachreifung abhängig. Optimal ist eine Temperatur zwischen 20 und 30 Grad Celsius. Eine Kühlung der Früchte verzögert den Eintritt des Klimakteriums und die damit verbundenen biochemischen Prozesse. Dadurch lässt sich die Frucht länger lagern. Temperaturen unter 12 bis 13 Grad Celsius sind jedoch zu vermeiden, da sie zu Kälteschäden („chilling injury“) führen, die sich in einer Verfärbung von Schale und Fruchtfleisch bis hin zum Verderb der Früchte äußern. Häufig treten diese Schäden erst dann zutage, wenn die Früchte wieder höheren Temperaturen ausgesetzt werden. Allerdings ist die Kälteempfindlichkeit von Sorte, Reifegrad und Schwere der Kälteexposition abhängig. So ist bei den indischen Sorten Raspuri und Totapuri selbst nach einigen Wochen bei 5 bis 6,5 Grad Celsius ein Nachreifen bei 19 bis 21 Grad Celsius möglich.

## Inhaltsstoffe

Das Mangofruchtfleisch setzt sich je nach Sorte, Reifegrad, Anbauggebiet und klimatischen Bedingungen aus durchschnittlich 0,6 Prozent Protein, 0,4 Pro-

zent Fett, 13,5 Prozent Kohlenhydraten und 1,9 Prozent Ballaststoffen zusammen (**Tab. 1**). Unter ernährungsphysiologischen Aspekten ist die Mangofrucht eine herausragende Quelle für Beta-Carotin, wobei der Gehalt in 100 Gramm essbarem Anteil zwischen 60 und 5.000 Mikrogramm schwankt. Carotinoide sind Pigmente, die den Früchten ihre gelbe bis rot-orange Farbe verleihen. Das Fruchtfleisch einiger Sorten weist selbst bei Vollreife noch eine leicht grünliche Tönung der gelben Farbe auf, während es bei anderen mit zunehmender Reife intensive Orangetöne ausbildet. In **Abbildung 2** drückt dies die Farbtonkoordinate  $a^*$  aus, die bei Zerlegung der Farbe in einem rechtwinkligen Koordinatensystem den Rot- ( $a^* > 0$ ) und den Grünanteil ( $a^* < 0$ ) angibt, und auf diese Weise die Nuancen der bei Vollreife annähernd ähnlich stark ausgeprägten gelben Grundfarbe von schwachem Grünstich ( $a^* \sim -5$ ) über reines Gelb ( $a^* \sim 0$ ) zu intensivem Orange-gelb ( $a^* \sim 15$ ) anzeigt. Beta-Carotinreiche Früchte zeichnen sich durch eine besonders intensive Orangetönung des Fruchtfleischs aus (**Abb. 2**).

Die Carotinoid-Zusammensetzung variiert in weiten Grenzen. Mengenmäßig zählt das Beta-Carotin zu den Haupt-Carotinoiden der Mango. Daneben weist noch das in geringen Mengen vorkommende Beta-Cryptoxanthin Vitamin-A-Potenzial auf, während das in beträchtlichem Umfang auftretende Violaxanthin im Menschen nicht in Vitamin A umgewandelt werden kann. Mangofrüchte tragen wesentlich zur Provitamin-A-Versorgung der Bevölkerung in tropischen und subtropischen Regionen bei, während in gemäßigten Zonen Karotten und andere Gemüsearten Hauptquelle für Beta-Carotin sind. Wie mikroskopische Untersuchungen des interdisziplinären Hohenheimer Arbeitskreises an Mango-Zellgewebe zeigten, sind die Pigmente teilweise in Fetttropfchen gelöst – im Gegensatz zu Karotten, wo sie kristallin in Chromoplasten (Träger der Carotinoide) vorkommen. Darauf sind die hohen Gehalte an natürlich vorkommenden Formen von cis-beta-Carotin in frischem Mangofruchtfleisch zurückzuführen. Deren Anteil am Gesamt-Beta-Carotin schwankt je nach Mangosorte zwischen 14 und 40 Prozent. *Trans-cis*-Isomerisierung von Carotinoiden tritt im Allge-

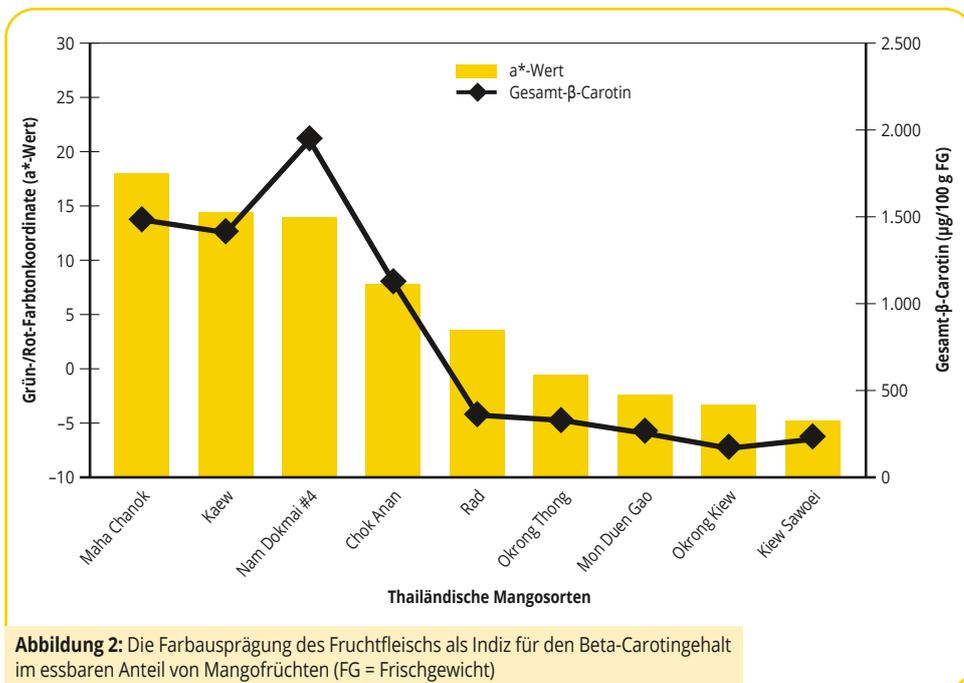


Abbildung 2: Die Farbausprägung des Fruchtfleischs als Indiz für den Beta-Carotiningehalt im essbaren Anteil von Mangofrüchten (FG = Frischgewicht)

meinen nur durch Verarbeitungsschritte unter Einfluss von Hitze oder Licht auf. Da cis-Isomere verringerte Provitamin-A-Aktivität und verminderte Farbinintensität im Vergleich zu All-Trans-Beta-

Carotin aufweisen, sind die Auswirkungen der Verarbeitung im Hinblick auf Provitamin-A-Verluste zu minimieren. Das charakteristische Aroma der Mango resultiert aus Terpenen wie Myrcen,

Ocimen und Limonen. Unreife Früchte und ursprüngliche Sorten weisen häufig einen unangenehmen Terpentinegeschmack auf, der durch Züchtung und in reifen Früchten weitgehend eliminiert ist. Mit der wachsenden Popularität von exotischen Früchten in Europa gewinnt auch ein damit einhergehendes Allergie-Problem an Bedeutung. Insbesondere bei Patienten mit einer Allergie gegen Natur-Latex kann der Verzehr von Mangofrüchten durch Kreuzreaktion schwere klinische Symptome auslösen. Versuche zur Inaktivierung der Mango-Allergene haben ergeben, dass diese sehr stabil sind und Verarbeitungsprozesse, die bei der Herstellung von Mangopüree oder -nektar angewendet werden, ohne wesentlichen Verlust ihrer Allergenität überstehen.

### Fruchtaufbau

Mangofrüchte haben eine ovale, herzförmige oder längliche Form und können von 140 Gramm (cv. Julie) bis zu ein Kilogramm (cv. Keitt) wiegen. Die Schale ist mehr oder weniger dick und ledrig. Das Fruchtfleisch umschließt einen großen, abgeflachten, weißen Stein. Dieser enthält einen oder mehrere Embryonen. Mangosorten indischen Ursprungs sind oft monoembryonisch, während die Sorten ostasiatischen Ursprungs in der Regel polyembryonisch sind. Vom verholzten Endokarp des Steins wachsen Fasern in das Fruchttinnere hinein, so dass das Fruchtfleisch fest mit dem Kern verbunden ist. Dadurch lässt es sich schlecht vom Kern lösen. Der essbare Anteil einer Frucht variiert stark. Bei 79 verschiedenen Mangosorten wurden folgende Anteile am Fruchtgewicht ermittelt (Mittelwert in Klammern):

- Schale 6,5 bis 24,4 Prozent (14,1 %),
- Stein 8,6 bis 40,0 Prozent (18,5 %),
- Fleisch 32,7 bis 85,5 Prozent (67 %).

Neuzüchtungen sind fast faserfrei, der Steinanteil liegt unter zehn Prozent.

Die Vielfalt an Mangosorten sowie ihre unterschiedlichen sensorischen und chemischen Eigenschaften ermöglichen die Produktion einer breiten Palette von Mangoprodukten, die aus dem Fruchtfleisch, der Schale oder dem Kern stammen.

Tabelle 1: Durchschnittliche Nährstoffzusammensetzung der Mangofrucht pro 100 Gramm essbarem Anteil (Bundeslebensmittelschlüssel (BLS Version 11.3.1))

Zusammensetzung	Gehalt
Energie (kcal)	63,0
Energie (kJ)	264,0
Wasser (g)	82,5
Eiweiß (Protein) (g)	0,6
Fett (g)	0,4
Kohlenhydrate, resorbierbare (g)	13,5
Ballaststoffe (g)	1,9
Mineralstoffe (Rohasche) (g)	0,5
Organische Säuren (g)	0,6
<b>Vitamine</b>	
Provitamin A, Beta-Carotin (µg)	2.830
Vitamin E (Tocopherol-Äquivalent) (µg)	1.119
Thiamin (µg)	45
Riboflavin (µg)	50
Niacin-Äquivalent (µg)	810
Pantothensäure (µg)	164
Pyridoxin (µg)	125
Ascorbinsäure (mg)	36,7
<b>Mineralstoffe</b>	
Kalium (mg)	171
Calcium (mg)	13
Magnesium (mg)	17
Phosphor (mg)	14

## Industrielle Verwertung des Fruchtfleischanteils

Mangofrüchte können im grünreifen oder im vollreifen Stadium verarbeitet werden. Daher ist die Nährstoffzusammensetzung, insbesondere das Vitamin-A-Potenzial der hergestellten Produkte sehr unterschiedlich. Unterschiede in Farbe, Festigkeit, Geschmack und Aroma bestimmen die bevorzugte Eignung bestimmter Sorten für die jeweiligen Produkte. Es gibt Mangosorten, deren Fruchtfleisch grünlich-gelb bleibt, die aber trotzdem süß schmecken. Andere Sorten, zum Beispiel die thailändische Kaew, entfalten im vollreifen Stadium ein angenehmes Aroma und eine attraktive gelb-orange Farbe, die Früchte werden aber trotzdem auch im grünreifen Stadium als stärkereiches Nahrungsmittel in der traditionellen Küche verwendet.

### Produkte aus grünreifer Mango

Mangofrüchte im grünreifen Stadium dienen vor allem in Indien und Südostasien zur Zubereitung süßer oder salziger Produkte, etwa eingelegter Mangostücke (Pickles), Mango Chutney, grüne Mangogetränke oder grünes Mangopulver (Amchur) als Gewürz (**Abb. 3**).

Unbeschädigte Mangos werden innerhalb von 24 Stunden nach der Ernte weiterverarbeitet. Um die Haltbarkeit der während der relativ kurzen Erntezeit in großer Menge anfallenden Früchte zu verlängern, legt man sie vor der Weiterverarbeitung zu Pickles oder Chutney in Scheiben geschnitten, ganz, geschält oder ungeschält in Salzlake ein. Das Salzen kann in Intervallen mit steigender Salzkonzentration von fünf bis 15 Prozent oder nach der „Singlesalting“-Methode durch einmaliges Einschnitten mit 15 bis 20 Prozent Salz erfolgen. Das Einlegen dauert je nach Produkt 30 Tage bis sechs Monate und ist von einer spontanen Milchsäuregärung begleitet, die den typischen Geschmack der eingelegten Mangos hervorruft. Zur Verfestigung des Fruchtfleischs wird der Lake Calciumchlorid zugesetzt. Als Konservierungsmittel dienen Essigsäure, Natriumbenzoat und Kaliumdisulfit. Für die weitere Verarbeitung zu Chutney werden die gesalzenen Scheiben gewaschen

Getrocknete Mangoscheiben sind weltweit ein beliebtes Snackprodukt.



Foto: © Brent Hofacker / stock.adobe.com

und sortiert, dann in eine Zuckersirup-Essig-Mischung eingelegt, je nach Chutney-Typ gewürzt und gekocht. Als Gewürze können Kardamom, Zimt, Kreuzkümmel, Chili, Pfeffer, Ingwer, Knoblauch und Zwiebeln verwendet werden. Mango-Chutney ist aufgrund seiner süßen Schärfe als würzende Beigabe zu Fleisch, Fisch oder vegetarischen Gerichten geeignet.

### Produkte aus vollreifer Mango

Reife Mangofrüchte werden in Scheiben oder Stücken zu Nasskonserven, Konfitüren, tiefgefrorenen oder getrockneten Produkten verarbeitet. Da für solche Erzeugnisse das Fruchtfleisch eine gewisse Festigkeit aufweisen muss, ist die Steuerung des Nachreifungsprozesses von besonderer Bedeutung. Im Gegensatz zu flüssigen Mangoprodukten, bei denen im Passierprozess die Fasern vom Fruchtfleisch abgetrennt werden, sind für die Verarbeitung von Mangostücken faserarme Sorten besser geeignet (**Abb. 4**).

### Mangos als Trockenprodukt

Getrocknete Mangoscheiben stellt man unter Ausnutzung der in den Anbauländern reichlich vorhandenen Sonnenstrahlung oder in konventionellen Trocknungsanlagen her. Dabei sind Trocknungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, relative Feuchte der Trocknungsluft, Strahlungsintensität und die chemische oder mechanische Vorbehandlung als wichtige Prozessparameter zu berücksichtigen. Die Steuerung

des Trocknungsprozesses, der Feuchtegehalt des Produktes, die Lagertemperatur, das Verpackungsmaterial und der Lichteinfluss sind für die Qualität der Trockenfrüchte, insbesondere den Erhalt der wertbestimmenden Inhaltsstoffe (z. B. Provitamin A) entscheidend. In der Literatur findet die osmotische Vortrocknung in Zuckerlösungen und die chemische Vorbehandlung mit Schwefel Erwähnung. Für den europäischen Markt werden jedoch bevorzugt unbehandelte Mangoscheiben zur Trocknung verwendet. Daher ist die Auswahl geeigneter Sorten im optimalen Reifungsstadium von besonderer Relevanz. Aktuelle Hohenheimer Forschungsergebnisse zeigen, dass eine Trocknungstemperatur von 80 Grad Celsius die enzymatisch bedingte Bräunungsreaktion verhindert, die bei den sonst üblichen Temperaturen von 50 bis 60 Grad Celsius auftritt. Zudem ist die Erhaltung des Beta-Carotins mit 75 Prozent akzeptabel.

Getrocknete Mangoscheiben sind aufgrund ihrer guten Akzeptanz und ihres relativ hohen Vitamin-C- und Carotinsgehalts eine wichtige Quelle zur ganzjährigen Nährstoffversorgung der Bevölkerung in den Anbauländern. Die von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) in Zusammenarbeit mit den Fachgesellschaften in Österreich (ÖGE) und der Schweiz (SVE) erarbeiteten D-A-CH-Referenzwerte für die tägliche Vitamin-A-Zufuhr sehen für Erwachsene im Alter von 19 bis 65 Jahren zwischen 700 und 850 Mikrogramm Retinolaktivitätsäquivalent vor. Diese Menge lässt sich zu 100 Prozent durch etwa vier Portionen getrockneter Mangos

der thailändischen Sorte Kaew mit 905 Mikrogramm Retinolaktivitätsäquivalent pro 100 Gramm essbarem Anteil (bezogen auf die Trockenmasse) aufnehmen.

Die Trocknung der Mangofrüchte ist eine gute Möglichkeit, um Nachernteverluste in den Anbauländern zu reduzieren und den Bauern ein sicheres Einkommen zu gewährleisten. Besonders die Solar-trocknung bietet eine einfache und kostengünstige Lösung für die Verarbeitung der Mangofrüchte in ländlichen Gebieten.

### Mangos als Nasskonserve oder Fruchtzubereitungen

Mangostücke als Nasskonserve oder Ausgangsprodukt für Fruchtzubereitungen werden mit einem Aufguss aus Zucker und Säure versetzt und durch Hitzebehandlung haltbar gemacht. Der pH-Wert der Mangofrüchte ist sehr stark sortenabhängig und kann Werte über 4,6 erreichen. Um durch Pasteurisierung (Anwendung von Temperaturen unter 100 °C) ein mikrobiologisch sicheres

Produkt zu erzielen, muss der pH-Wert mit Hilfe von Citronensäure auf einen Wert unter 4,5 eingestellt werden. Im Vergleich zu Mangopüree bleiben bei Mangostücken die Carotinoide während der Hitzebehandlung besser erhalten.

Zur Herstellung von Mangopüree oder -mark werden vollständig reife Früchte benötigt, deren Fruchtfleisch weich, gelborange und aromatisch ist, aber auch noch genügend Säure besitzt (Abb. 4). Zentraler Verarbeitungsschritt ist das Passieren der Früchte. Obwohl der Prozess aufwändig ist und geeigneter Anlagen bedarf, ist Püree das wichtigste Mangoprodukt für die Exportmärkte. 2003 entfielen 22,6 Prozent von insgesamt 42.000 Tonnen verarbeiteten Obst und Gemüse in Indien auf Mangopüree.

Gemäß FAO-Angaben war von 2000 bis 2004 ein signifikanter Anstieg der weltweiten Mangomark-Importe von 542 auf 2328 Tonnen zu verzeichnen. Mangopüree dient als Halbware für die Herstellung flüssiger Mangoerzeugnisse wie Fruchtnektare, Fruchtsaftgetränke und

Multivitaminsäfte, die meist erst in den Verbraucherländern durch Ausmischen fertiggestellt werden. Weiterhin lässt sich Mangopüree in Milcherzeugnissen, Süß- und Backwaren einsetzen. Die Trocknung von Mangopüree in dünner Schicht liefert Mango-„Leather“, Mangopulver und Mangoflocken.

### Herstellung von Mangopüree

Da Mangoschalen in ihrem Milchsaft einen hohen Gehalt an Terpenen, Polyphenolen und oxidativen Enzymen (Polyphenoloxidase, Peroxidase) aufweisen, müssen sie vor der Verarbeitung der Früchte entfernt werden. Dies kann von Hand oder durch Hitzebehandlung mit Dampf erfolgen. Letzteres erleichtert das anschließende mechanische Ablösen der Schalen.

Nach dem Schälen wird das Fruchtfleisch in Passiermaschinen mit weitmaschigem Siebmantel von den Kernen getrennt und zerkleinert. Die so entstandene Pulpe wird unmittelbar danach etwa eine Minute lang bei 90 Grad Celsius

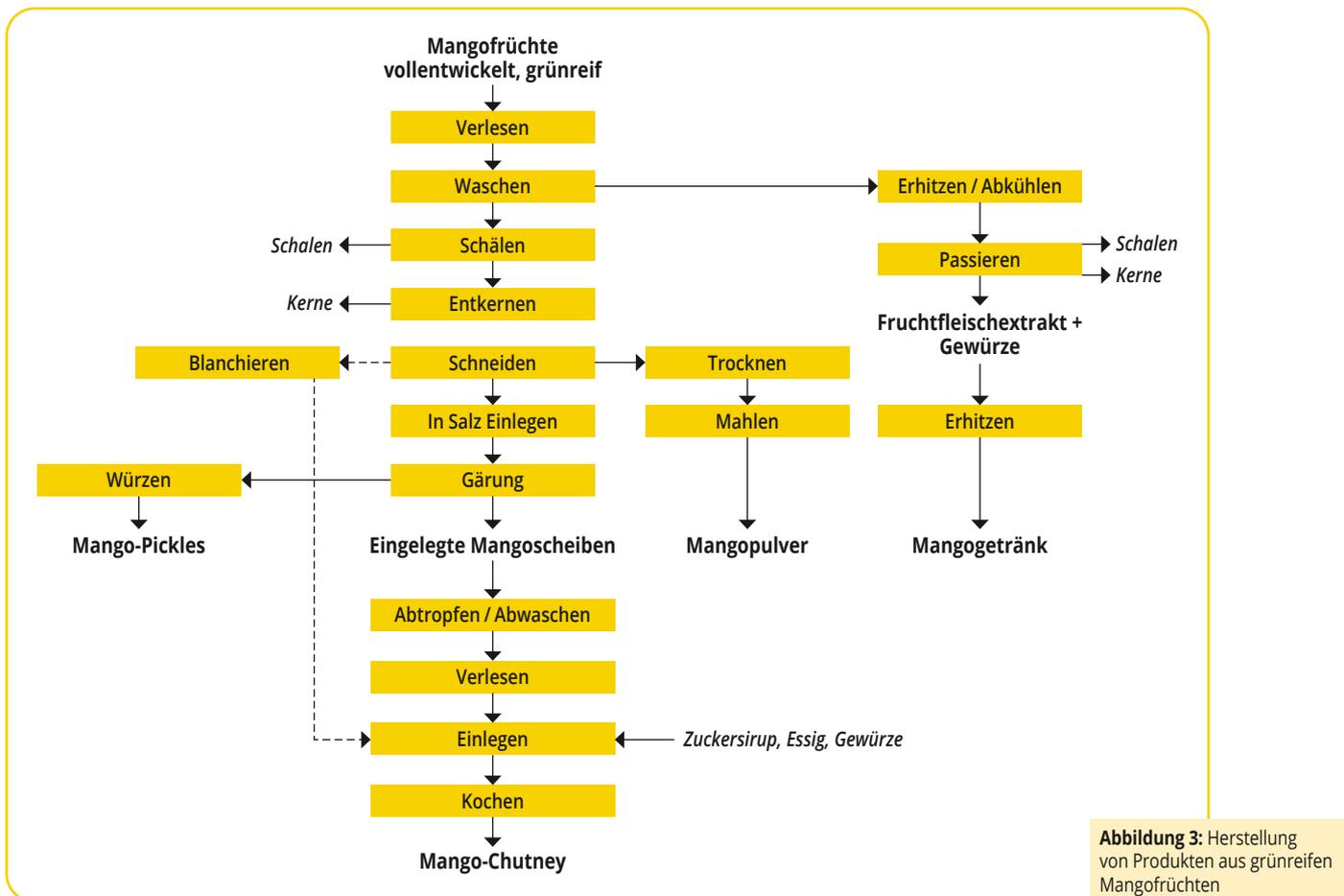
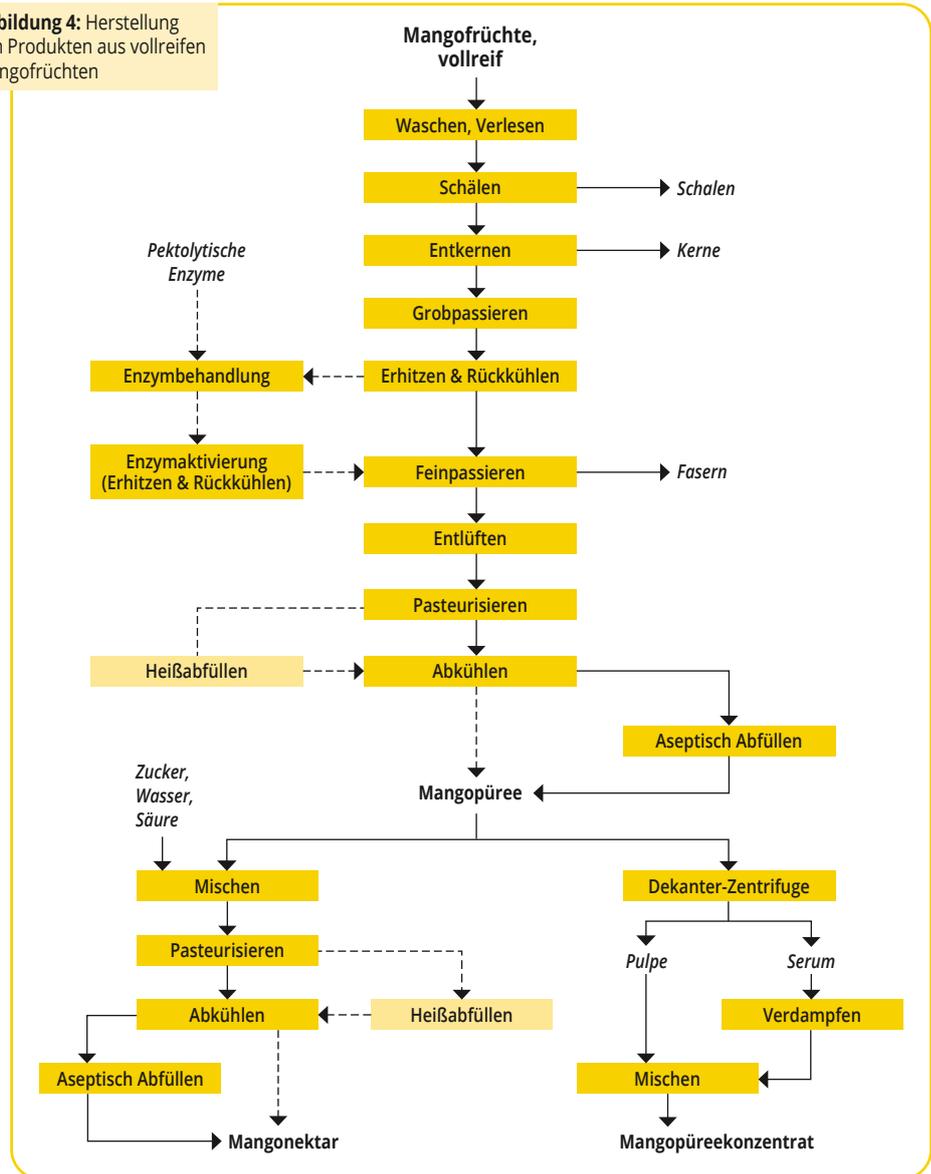


Abbildung 3: Herstellung von Produkten aus grünreifen Mangofrüchten

erhitzt („Thermobreak“). Dieser Prozessschritt hat mehrere Ziele: Das Fruchtfleisch wird erweicht und die Ausbeute erhöht, der Sauerstoffgehalt in der Pulpe reduziert, die mikrobielle Kontamination vermindert und die fruchteigenen Enzyme inaktiviert. Wesentlich ist insbesondere die Ausschaltung der Polyphenoloxidase, die nach Verletzung des pflanzlichen Gewebes (Schälen, Zerkleinern) durch Oxidation von phenolischen Verbindungen zu einer raschen Braunverfärbung des Fruchtfleischs beiträgt. Anschließend wird die Pulpe in einer mehrstufigen Passiermaschine (Siebe mit absteigendem Lochdurchmesser) fein zerkleinert und durch die Siebe gedrückt, wobei die im Produkt verbliebenen Fasern entfernt werden. Aufgrund des hohen Pektin- und Feststoffgehalts entsteht dabei aus Mangos ein hochviskoses, dickflüssiges Püree. Um die Ausbeute zu erhöhen, die Viskosität des Pürees auf ein sensorisch ansprechendes Ausmaß zu senken und die Konzentrierung zu erleichtern (Gefahr der Gelbildung), kann das Fruchtfleisch mit pektinabbauenden Enzympräparaten behandelt werden. Zur Konzentratherstellung eignet sich das Serum-Konzentrierungsverfahren. Dabei wird in einer Dekanter-Zentrifuge der Feststoffanteil (Pulpe) von der Flüssigkeit (Serum) getrennt. Letztere wird durch Verdampfen aufkonzentriert und der Pulpe wieder zugesetzt.

**Abbildung 4:** Herstellung von Produkten aus vollreifen Mangofrüchten



Um oxidative Prozesse zu vermeiden, die zu Farbveränderungen und Vitaminverlusten führen können, wird eingeschlossene Luft auf einer Entlüftungsanlage unter Vakuum aus dem Püree entfernt. Anschließend wird das Produkt thermisch haltbar gemacht. Hierbei ist wiederum der pH-Wert zu beachten. Zur Pasteurisation ist dieser gegebenenfalls durch Säurezugabe auf Werte unter 4,5 zu senken.

**Mangonebenprodukte**

Neben der Verwertung des Mangofruchtfleisches gewinnt auch die Aufarbeitung der Rückstände aus der Mangopüreeherstellung zunehmend an Bedeutung. Übrig bleibende Schalen und Kerne machen bis zu 60 Prozent der eingesetzten Rohware aus. Durch ihren hohen Polyphenol- und Pektingehalt ist die Nutzung der Schale wirtschaftlich

interessant. Am Lehrstuhl Lebensmittel pflanzlicher Herkunft in Hohenheim wurde ein Verfahren zur Gewinnung von Pektin aus Mangoschalen als alternative Quelle zu Apfel- und Zitrustrester entwickelt. Die Untersuchung des Polyphenolspektrums ergab einen hohen Gehalt an Flavonolen und Xanthonen (z. B. Mangiferin, bis zu 4860 mg/kg Trockensubstanz), während das Fruchtfleisch diese Verbindungen nur in geringen Mengen aufweist. Versuche zur Gewinnung dieser antioxidativen Substanzen für deren Einsatz in funktionellen Lebensmitteln sind Erfolg versprechend.

Im Gegensatz zu den Mangoschalen ist die Verwertung des Mangokerns, etwa als Bestandteil von Viehfutter oder für die menschliche Ernährung, eher bekannt. Mangokerne, die in den Anbauländern zu den wichtigen Nährstoffquel-

len zählen, dienen traditionell zur Mehlherstellung und ergeben ein ähnliches Produkt wie Reismehl. Der Fettgehalt der Mangokerne variiert zwischen vier und 38 Prozent und bietet eine hervorragende Basis für die Gewinnung von Mangokernfett, das sowohl in der Nahrungsmittel – als auch in der Kosmetikindustrie Anwendung findet. Aufgrund seiner ähnlichen Fettsäurezusammensetzung und physikalischen Eigenschaften wie Kakaobutter dürfen Schokoladenerzeugnisse neben anderen Fetten Mangokernfett (bis zu 5 % des Enderzeugnisses), neben anderen, als Zutat enthalten (EU-Richtlinie 2000/36/CE, „Kakao-Verordnung“).

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<



Foto: © balbaz/stock.adobe.com

# Smoothies – Flüssiges Obst und Gemüse

DR. STEFANIE KIENZLE • DR. SYBILLE NEIDHART • PROF. DR. DR. REINHOLD CARLE

**Der Verzehr von Smoothies in Deutschland ist in den vergangenen Jahren drastisch angestiegen und hat sich seit 2008 auf ungefähr 55 Millionen Liter verdoppelt. Der Umsatz lag im Jahr 2017 bei 179 Millionen Euro (Statista 2021).**

Obst und Gemüse sind allgemein bekannt für ihre gesundheitsfördernde Wirkung. Sie liefern Vitamine, Antioxidanzien, Mineralstoffe, Ballaststoffe und jede Menge förderliche sekundäre Pflanzenstoffe. Folglich gilt die Empfehlung, mehr Obst und Gemüse zu verzehren. Die 5-am-Tag-Kampagne strebt durch veränderte Ernährungsgewohnheiten eine Verringerung des Risikos für Krebs und Herz-Kreislauf-Erkrankungen an, was durch einen erhöhten Verzehr von Obst und Gemüse

erreicht werden soll. Aufgrund der Empfehlungen der Weltgesundheits- (WHO) und Welternährungsorganisation (FAO) empfehlen viele regierungsunterstützte Kampagnen (z. B. in den Vereinigten Staaten, Großbritannien, Deutschland und Neuseeland) den Verzehr von mindestens fünf Portionen Obst und Gemüse pro Tag. Die WHO und die FAO empfehlen eine tägliche Aufnahme von 400 Gramm, während die Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE) sogar 600 bis 650 Gramm für erforderlich hält. Wie die Nationale Verzehrsstudie II zeigt, sind nur wenige in der Lage, diese Menge an Obst und Gemüse täglich zu verzehren. Deshalb bieten Säfte und vor allem Smoothies eine moderne Lösung, um Gesundheitsbewusstsein und Verbraucherbequemlichkeit zu verbinden. Seit einigen Jahren

hat die neue und schnell wachsende Produktkategorie der Smoothies auf dem Markt Fuß gefasst.

## Geschichte

Smoothies stammen ursprünglich aus den USA. Stephen Kuhnau, Gründer des größten Smoothie-Franchise-Systems in den USA, verhalf ihnen in den 1990er-Jahren zum Durchbruch. Kuhnau war Diabetiker und allergisch gegen Milchprodukte. Dies regte ihn an, ein neues Getränk, das in das Schema von Milchshakes passt – dickflüssig, cremig und fruchtig, aber ohne Milch – zu kreieren. Das Wort Smoothie leitet sich von dem englischen Wort smooth (fein, gleichmäßig) ab, das auf die sämige Produktkonsistenz hinweist. Im Mittelmeerraum oder in Südamerika, wo ein Überfluss

**Tabelle 1: Inhaltsstoffe und Zusammensetzung einiger ausgewählter Smoothies des deutschen Marktes (Herstellerangaben)**

Geschmacksrichtung	Mango-Pfirsich*	Mango-Maracuja*	Kirsche-rote Traube*	Apfel-Karotte-Erdbeere	Erdbeer-Apfel-Karotte
<b>Brennwert</b> [kJ/100 ml]	252	247	231	270	249
<b>Inhaltsstoffe</b> [%]	<b>Fruchtsaft aus Fruchtsaftkonzentrat:</b> <b>51</b> Traube hell 37 Orange mit Zellen 9 Acerola 3 Zitrone 2 Karotte**  <b>Püree:</b> <b>30</b> Mango 26 Ananas 4  <b>Fruchstücke:</b> <b>20</b> Pfirsich 15 Ananas 3 Birne 2  natürliche Aromen**	<b>Fruchtsaft aus Fruchtsaftkonzentrat:</b> <b>49</b> Apfel** Orange mit Zellen** Maracuja** Limetten 7  <b>Früchte:</b> <b>51</b> Mango 22 Äpfel** Bananen**	<b>Fruchtsaft aus Fruchtsaftkonzentrat:</b> <b>50</b> Apfel 33 rote Traube 14 Acerola 3  <b>Püree:</b> <b>37</b> Banane 17 Sauerkirsche 12 Apfel 8  <b>Fruchstücke:</b> <b>13</b> Birne 13  natürliche Aromen**	<b>Fruchtsaftkonzentrat:</b> <b>57</b> Karotte 29 Apfel 25 Erdbeere 3 Zitrone**  <b>Püree:</b> <b>35</b> Apfel 31 Erdbeere 4 Acerola  Orangenfruchtfleisch**  Apfelpektin**	<b>Fruchtsaftkonzentrat:</b> <b>28</b> Karotte 28 Zitrone (aus 0,4 g Zitronensaft)**  <b>Fruchtmark und -saft:</b> <b>68,3</b> Apfel 54,8 Erdbeere 11,5 Acerola 2  Orangenzellen 0,6  Pektin** Vitamin C
<b>Eiweiß</b> [g/100 ml]	0,5	0,7	0,3	0,8	1,4
<b>Kohlenhydrate</b> [g/100 ml]	14,1	13,6	13,3	13	13
<b>Fett</b> [g/100 ml]	0,1	0,1	0,0	0,6	0,1
<b>Ballaststoffe</b> [g/100 ml]	0,8	1,3	1,0	1,5	1,2
<b>Natrium</b> [g/100 ml]	0,003	0,003	0,003	0,03	0,03
<b>Vitamin C</b> [mg/100 ml]	**	**	**	30	30

\* 5-am-Tag-Logo  
 \*\* ohne Mengenangabe

an Früchten vorhanden ist, sind selbst gemachte pürierte Fruchtgetränke traditionell üblich und werden dort häufig konsumiert. Bei uns sind Smoothies populäre Convenience-Produkte für gesundheitsbewusste Menschen, denen es an Zeit fehlt, Obst und Gemüse zuzubereiten.

### Qualitätsanforderungen

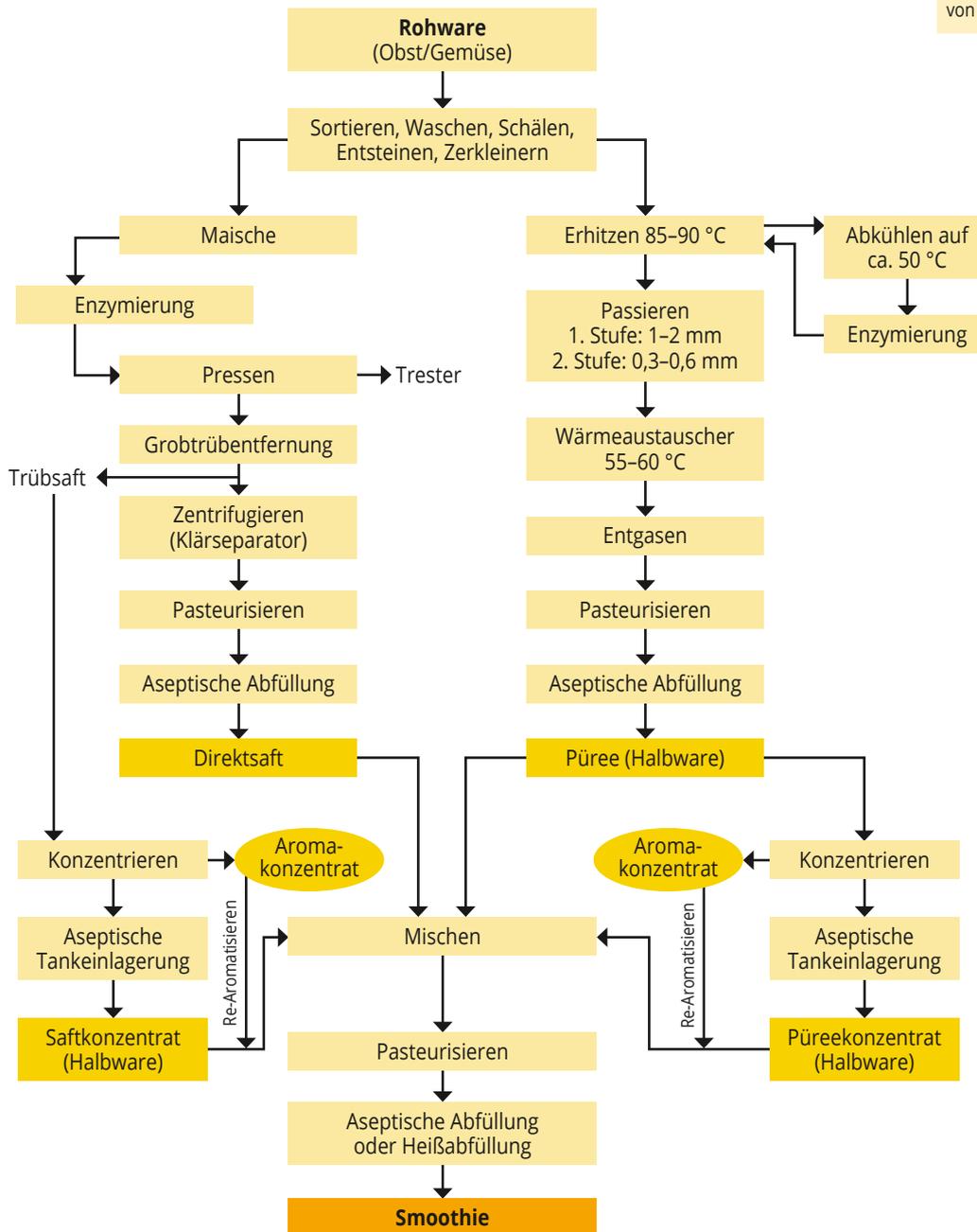
Bisher regelt keine gesetzliche Bestimmung Herstellung und Qualitätsanforderungen für dieses Produkt. Lediglich die Zutaten unterliegen etablierten gesetzlichen Regelungen wie der Fruchtsaftverordnung. Trotzdem haben die Verbraucher hohe Qualitätserwartungen hinsichtlich der Frische und Reinheit. Selbstverständlich muss der verzehrfähige Anteil der Früchte und des Gemüses neben der mikrobiologischen Sicherheit auch frei von Fremdkörpern, Kelchblättern, Blättern und Steinen sein.

Neben der visuellen Kontrolle der Rohware sind auch automatische Detektionssysteme wie Siebssysteme, Röntgengeräte oder Magnete üblich. Außerdem sollten Obst und Gemüse frisch und gesund sein sowie einen geeigneten Reifegrad aufweisen. Im Allgemeinen wird vollreifes Rohmaterial verwendet, da Geschmack und Aroma des Produkts stark von der Reife der eingesetzten Früchte abhängen. Überreifes oder überlagertes Obst beziehungsweise Gemüse weist einen geringeren Nährwert auf, ist anfälliger für mikrobiologischen Verderb und somit nicht für die industrielle Verarbeitung geeignet.

### Inhaltsstoffe und industrielle Herstellung

Ein Smoothie kann alle Arten von Obst und Gemüse in mehr oder minder verarbeiteter Form enthalten. Der Unterschied zu anderen flüssigen Fruchtpro-

dukten besteht darin, dass Smoothies neben Fruchtpüree sogar kleine Fruchtstücke enthalten können, außerdem unterschiedliche Anteile an Frucht- und Gemüsesaft und/oder Saftkonzentrat, um ein trinkfähiges Produkt zu erhalten. Mischungen mit höheren Saftanteilen sind flüssiger und leichter zu trinken, da ein überwiegender Püreeanteil eine inakzeptable Viskosität zur Folge hat. Eine Übersicht über die Zusammensetzung einiger in Deutschland erhältlicher Produkte zeigt **Tabelle 1**. Die bevorzugt eingesetzten Früchte sind Bananen, Äpfel und Orangen, wobei Äpfel zum süßen und Orangen zum säuerlichen Geschmack beitragen. Bananen und Mangos enthalten Stärke und dienen somit als natürliches Verdickungsmittel, das das Produkt dick und cremig macht und das Mundgefühl beeinflusst. Aufgrund ihres süßen Geschmacks und ihrer leuchtend orangen Farbe werden Karotten am häufigsten als Vertreter von Ge-

**Abbildung 1:** Fließschema zur Herstellung von Smoothies (Stefanie Kienzle)


müse eingesetzt. Weiterhin finden auch Mais- und Kürbispüree bei der Herstellung von Smoothies Verwendung.

Die Früchte können frisch gepresst, püriert oder in Form von industriell gefertigter Halbware eingesetzt werden. Die weiteren Prozessschritte sind Mischen, Pasteurisieren und Abfüllen der Produkte in Flaschen (**Abb. 1**). Bei der Herstellung von Smoothies können aber auch färbende Lebensmittel, natürliche Ballaststoffe, Zucker, Genussäuren, Süßstoffe und natürliche Aromastoffe zugesetzt werden, um die Farbe, das Mundgefühl und den Geschmack des Endpro-

duktes zu verbessern. Der Zusatz von natürlichen Aromastoffen ist gemäß Fruchtsaftverordnung sogar nötig, sofern bei der Herstellung von Smoothies Konzentrate zum Einsatz gelangen. Bei der Herstellung von Saft und Püree wird Pektin enzymatisch abgebaut, um die Herstellung von Konzentraten zu ermöglichen. Zur Verbesserung der Viskosität, des Ballaststoffgehalts und des Mundgefühls wird deshalb einigen Produkten wieder Apfelpektin hinzugefügt. Weiterhin kann Ascorbinsäure als Antioxidationsmittel zugesetzt werden, um die enzymatische Bräunung zu unter-

drücken oder zu reduzieren und somit dem oxidativen Abbau der natürlichen Farbstoffe und Vitamine vorzubeugen (**Tab. 1**).

Smoothies, die für den sofortigen Verzehr gedacht sind, werden entweder in Getränkekartons oder in Glas- oder Plastikflaschen (PET) verpackt. Hier gibt es zwei Möglichkeiten der Abfüllung, zum einen die Heißabfüllung und zum anderen die aseptische Abfüllung. Vorteilhaft bei der aseptischen Abfüllung ist die geringere thermische Belastung. Die Vorteile der PET-Flaschen im Vergleich zu Glasflaschen sind deren Bruchfestig-

keit, geringere Transportkosten und geringeres Gewicht, allerdings ist ihre Gasdurchlässigkeit problematisch. Sie führt zu Bräunung und Oxidation von Vitaminen und sekundären Pflanzenstoffen wie der Polyphenole. Ein weiteres Problem ist das sogenannte Aroma-Scalping. Im Unterschied zu Glas erfolgt dabei eine Bindung lipophiler Aromakomponenten im Verpackungsmaterial, wodurch es zu Aromaverlusten kommt.

### Püreeherstellung am Beispiel von Mangos

Mangopüree ist wegen seiner Farbe, seines exotischen Geschmacks, des Mundgefühls und des hohen Carotinhalt als Halbware von großer Bedeutung. Zur Weiterverarbeitung wird es bei der Herstellung von Smoothies, Mangonektar, Misch- oder Fruchtsaftgetränken eingesetzt. Zunächst werden die Früchte nach Reifegrad sortiert. Verarbeitet werden nur reife Früchte. Grünreife Mangos werden im Reiferaum bis zur Vollreife nachgereift. Überreife, beschädigte und verdorbene Früchte werden aussortiert. Die Früchte werden anschließend gewaschen und können dann nach unterschiedlichen Verfahren (manuell oder durch thermische Behandlung) geschält werden. Nach dem Schälen gelangen die Früchte in eine mehrstufige Passiermaschine, bei der immer feinere Siebe zur Abtrennung von Kernen, Schalen und Faserteilchen führen (**Abb. 1**). Empfohlen wird die Verwendung einer Maschenweite unter 0,5 Millimeter, um die Faserteilchen vollständig zu entfernen. Bei Mangos wie auch bei anderen pulpehaltigen tropischen Früchten (z. B. Guave, Papaya) gilt das Heißpassieren als besonders geeignet. Die Erhitzung der Pulpe dient vor allem der Inaktivierung von Enzymen, insbesondere der Pektinesterasen, die die Trubstabilität im Endprodukt negativ beeinflussen, sowie der Peroxidasen und der Polyphenoloxidasen, die eine Bräunung des Produktes hervorrufen können. Außerdem verbessert sich die mikrobiologische Stabilität und der in der Pulpe eingeschlossene Sauerstoff wird entfernt, was zu einer verbesserten Farb- und Vitamin-C-Erhaltung beiträgt. Zudem erweicht das Zellgewebe, was zu einer gesteigerten Püreeausbeute beim Passieren führt. Das Mangopüree weist etwa 15 Prozent an löslicher Trocken-

substanz, 0,5 bis 0,7 Prozent Säure und einen pH-Wert von 3,5 bis 4,5 auf. Bei der Verarbeitung von Sorten, die von Natur aus wenig Säure enthalten, wird der pH-Wert mit Citronensäure auf einen pH unter 4,0 eingestellt. Vor dem Pasteurisieren muss das Püree entlüftet werden, um oxidative Farbveränderungen und den Verlust an Vitamin C zu vermindern. Zur Haltbarmachung wird das Püree im Plattenwärmetauscher erhitzt und anschließend als Halbware abgefüllt und abgekühlt. Industrielle Halbware wird entweder aseptisch in Edelstahl tanks eingelagert oder es erfolgt eine aseptische Bag-in-box-Abfüllung und anschließende Lagerung bei -18 Grad Celsius.

Die Herstellung von Saft- und Püreekonzentraten bietet Vorteile gegenüber Saft und Püree. Durch das reduzierte Volumen lässt sich nicht nur Tankraum einsparen, sondern auch die Transportkosten deutlich vermindern (Ökobilanz). Zudem weist das Produkt wegen des geringeren Wassergehalts eine bessere mikrobiologische Stabilität auf. Außerdem wird durch die Vorabtrennung und die separate Lagerung der Aromastoffe die sensorische Qualität nach der Rückverdünnung verbessert.

Mangos weisen einen hohen Gehalt an Carotinoiden auf, hauptsächlich Beta-Carotin, der jedoch sorten- und klimabhängig ist. Während der Verarbeitung kommt es unter Umständen zu Veränderungen des Carotinoidgehalts. Die Einwirkung von Licht und Hitze führt dazu, dass cis-Isomere des *all-trans*-Beta-Carotins mit geringerer Provitamin-A-Aktivität gebildet werden, die ernährungsphysiologisch weniger wertvoll sind. Weiterhin kann durch Oxidation oder Einwirkung sehr hoher Temperaturen ein Abbau des Beta-Carotins erfolgen.

### Haltbarkeit

Smoothies bieten einen guten Nährboden für mikrobielles Wachstum, da sie einen relativ hohen Wasser- und einen beachtlichen Zuckergehalt aufweisen. Der Einsatz von Konservierungsmitteln ist nicht üblich, da diese gekennzeichnet werden müssen und der Verbraucher dies nicht akzeptieren würde. Somit ist es unerlässlich, für hohe hygienische Standards während des Herstellungsprozesses zu sorgen, um die

Produktstabilität garantieren zu können. Demzufolge ist auch eine thermische Behandlung erforderlich. Dies gilt ebenso für die zur Smoothieherstellung eingesetzte Halbware. Im Allgemeinen werden die Produkte vor der Abfüllung bei 65 bis 85 Grad Celsius pasteurisiert. Werbliche Angaben wie „leicht“ oder „schonend“ pasteurisiert, die dem Verbraucher Frische suggerieren, sind irreführend, da das Produkt, ungeachtet der milden thermischen Bedingungen, einer Haltbarmachung unterzogen wurde. Die Pasteurisation verlängert die Lagerfähigkeit. Dies geschieht jedoch auf Kosten von Aroma-, Farb- und Vitaminerhalt. Die Pasteurisation reicht bei den typischen pH-Werten von Früchten (< 4,5) völlig aus, um alle lebenden Hefen, Schimmelpilze und Bakterien abzutöten. Weiterhin benötigt man die Pasteurisation, um die Enzyme, vor allem Polyphenoloxidase und Pektinesterase, die enzymatische Bräu-

### Gesetzliche Regelungen für Smoothies

Smoothies gelten rechtlich als „Erzeugnisse eigener Art“. Konkrete gesetzliche Vorgaben über die Zusammensetzung oder Bezeichnung der trinkbaren Obsterzeugnisse mit üblicherweise sämiger Konsistenz gibt es nicht. Auch hat sich noch keine allgemeine Verkehrsauffassung darüber gebildet, was die Produkte ausmacht. Grundsätzlich darf gemischt werden, was schmeckt. Wichtig ist, dass Verbraucherinnen und Verbraucher durch die Produktaufmachung nicht getäuscht werden.

Die Bezeichnung erklärt, um welche Art von Produkt es sich handelt. Der Begriff „Smoothie“ reicht nicht. Da es keine rechtlich vorgeschriebene oder verkehrübliche Bezeichnung für Smoothies gibt, muss eine genauere Beschreibung auf dem Etikett stehen, zum Beispiel „Mischung aus Fruchtpüree und -saft“ oder „Zubereitung aus Fruchtsaft, Fruchtmarm und Gemüsepüree“. Genaueres zur Zusammensetzung liefert das Zutatenverzeichnis. Hier müssen alle Zutaten in mengenmäßig absteigender Reihenfolge inklusive eventuell enthaltener Zusatzstoffe aufgeführt sein.

Wie alle vorverpackten Lebensmittel müssen Smoothies eine Nährwerttabelle auf dem Etikett tragen. Hebt der Hersteller bestimmte Obst- oder Gemüsearten oder Zusätze wie Chiasamen oder Guarana auf dem Etikett werblich hervor, muss der Prozentanteil dieser Zutaten im Zutatenverzeichnis stehen. Der Blick darauf lohnt sich. Denn oft werden Smoothies mit exotischen Früchten wie Maracuja oder Drachenfrucht beworben, die jedoch nur einen geringen Anteil am Produkt ausmachen. Nur selten ist erkennbar, wie hoch der Gesamtgehalt an Fruchtpüree ist. (Stand: 15. Mai 2021)

Dr. Christina Rempe, Fachautorin, Berlin



Smoothies können helfen, fünfmal täglich Gemüse und Obst zu essen. Ein Smoothie entspricht einer Portion Obst oder Gemüse.

nung und Trubinstabilität verursachen, zu inaktivieren. Um diese Enzyme vollständig zu inaktivieren, ist eine Erhitzung auf über 90 Grad Celsius für 20 bis 30 Sekunden erforderlich. Jedoch reicht die Pasteurisation nicht aus, um thermostabile Sporen mykotoxinbildender Pilze zu eliminieren. Damit diese Sporen nicht auskeimen, muss der Sauerstoffzutritt unterbunden werden. Da eine Pasteurisation bei milden Temperaturen die Enzyme und Mikroorganismen nur unvollständig inaktiviert, müssen nahezu alle Smoothies kühl gelagert und innerhalb weniger Wochen beziehungsweise direkt nach Anbruch verzehrt werden. Nicht pasteurisierte Produkte sind nur ein bis zwei Tage haltbar und wie selbst gemachte Smoothies zum sofortigen Verzehr bestimmt. Die Haltbarkeit handelsüblicher Smoothies beträgt dagegen vier bis acht Wochen, wobei die Produkte stets im Kühlregal

oder im Kühlschrank lagern müssen (Kühlkette!).

Bei Produkten mit hohem Gemüseanteil ist technologisch größte Sorgfalt geboten, da die natürlichen pH-Werte von Gemüse lediglich im schwach sauren Bereich (> 4,5) liegen. Um die mikrobiologische Sicherheit solcher Produkte zu gewährleisten, müssen diese stärker erhitzt werden. Ohne die Zugabe saurer Saftanteile oder ohne Säuerung muss das Produkt sogar sterilisiert (Erhitzung über 100 °C) werden. Ansonsten könnten hitzeresistente Endosporen überleben, später auskeimen und somit zum Verderb des Produktes führen. Sporen könnten auch durch Konservierungsmittel am Auskeimen gehindert werden. Allerdings entfalten die zugelassenen Konservierungsstoffe wie Sorbin- oder Benzoesäure ihre antimikrobielle Wirkung erst bei pH-Werten unter 4,5.

## Möglicher Beitrag von Smoothies zur empfohlenen täglichen Aufnahme von Obst und Gemüse

Entsprechend der Kennzeichnung einiger Smoothies, die auf dem deutschen Markt erhältlich sind, entspricht eine Portion 50 Prozent des täglichen Bedarfs an Obst und Gemüse. Nahezu alle Angaben beziehen sich auf die Empfehlungen der WHO/FAO, basierend auf der täglichen Aufnahme von 400 Gramm Obst und Gemüse. 1998 wurden nur in sechs der 14 WHO-Regionen 400 Gramm Obst und Gemüse oder mehr verzehrt. In China, einem Land mit schnellem Wirtschaftswachstum und sozialem Wandel, betrug 1992 die täglich konsumierte Menge an Obst und Gemüse 369 Gramm. Im Gegensatz dazu empfiehlt die deutsche 5-am-Tag-Kampagne täglich mindestens fünf Portionen Obst und Gemüse. Davon sollten drei oder mehr Portionen auf Gemüse (400 g) und zwei oder mehr Portionen auf Obst (200–250 g) entfallen, womit die geforderte Menge an Obst und Gemüse bei 600 bis 650 Gramm pro Tag liegt. Laut DGE-Empfehlung sollte nicht mehr als eine Portion Obst oder Gemüse durch Säfte ersetzt werden, da diese nicht alle Bestandteile der Pflanze enthalten ([www.5amtag.de](http://www.5amtag.de)).

Den von der DGE empfohlenen Tagesverzehr erreicht ein Durchschnittsverbraucher allerdings kaum. Die WHO/FAO ist angesichts des durchschnittlichen Verzehrs in Industriestaaten von 300 bis 400 Gramm Obst und Gemüse pro Tag realistischer. Auch die Empfehlungen der britischen 5-am-Tag-Kampagne orientieren sich an den Werten der WHO/FAO. Demzufolge sind Smoothies, die aus mindestens 50 Prozent Pulpe hergestellt sind, geeignet, den täglichen Bedarf an Obst und Gemüse teilweise abzudecken. Mit steigendem Püreeanteil kann ein bedeutender Teil des täglichen Obst- und Gemüseverzehrs durch solche Fertigprodukte ersetzt werden. Laut der aktuellen nationalen Verzehrsstudie II des Max Rubner-Instituts unterschreiten 87,4 Prozent der Befragten die DGE-Empfehlungen bezüglich des Gemüseverzehrs von 400 Gramm pro Tag. 59 Prozent der Befragten erreichen die DGE-Empfehlungen in Bezug auf den

Obstverzehr von 250 Gramm pro Tag nicht. Der Obst- und Gemüseverzehr nimmt mit steigendem Alter sowohl bei Frauen als auch bei Männern zu, während 19- bis 24-jährige Männer und Frauen am wenigsten Obst und Gemüse verzehren. Selbst wenn eine Portion Obst durch Obstsaft oder -nektar ersetzt wird, liegen noch immer 43 Prozent der Teilnehmer unter der Empfehlung. Besonders Jugendliche im Alter von 14 bis 18 Jahren decken rund 20 Prozent ihrer täglichen Flüssigkeitszufuhr durch Obstsaft und -nektare, wobei sie in diesem Alter meist die weniger fruchthaltigen Nektare, die je nach Fruchtart nur 25 bis 50 Prozent Fruchtsaft enthalten, bevorzugen.

Durch die Konzentration von Säften und Pürees lässt sich die für die Deckung des täglichen Bedarfs notwendige Smoothie-Portion reduzieren. Dies führt natürlich zu einem Anstieg des Energiegehalts pro Portion. Laut DGE sollten „echte“ Smoothies mindestens 50 Prozent Pulpe oder Püree enthalten. Sie sollten allerdings nicht aus Konzentraten hergestellt werden und ohne die Zugabe von Aromen, Ballaststoffen und isolierten Nährstoffen auskommen. Wie **Tabelle 1** zeigt, entsprechen nicht alle Produkte, die das 5-am-Tag-Logo tragen, den Anforderungen der DGE.

## Ernährungsphysiologische Bewertung

Das Hauptqualitätskriterium im Zusammenhang mit der Sättigung und den gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen ist der Gehalt an Früchten beziehungsweise schonend produzierten Fruchtpürees. So bestehen ganze Früchte aus einer komplexen ballaststoffreichen Matrix (Zellwandbestandteile) und vielen Nährstoffen. Da kommerzielle Produkte meistens einer Hitzebehandlung unterzogen wurden, lassen sich nur aus erntefrischen Früchten hergestellte Smoothies tatsächlich als frische Produkte bezeichnen. Allerdings muss auch berücksichtigt werden, dass viele Früchte, die zum Frischverzehr bestimmt sind, zum Teil extrem lange Lager- und Transportzeiten aufweisen. Unter kontrollierter Atmosphäre (sog. CA-Lagerung) sind etwa Äpfel für den „Frischverzehr“

über sechs Monate haltbar. Der Verlust an Vitamin C kann bei Beerenobst innerhalb von zwei bis drei Tagen 50 bis 90 Prozent des ursprünglichen Gehalts betragen. Auch der Ballaststoffgehalt nimmt im Verlauf der Reife durch Pektinabbau ab. Demgegenüber werden Smoothies meistens aus ideal reifen Früchten hergestellt, die unmittelbar nach der Ernte zu haltbaren Zwischenprodukten verarbeitet werden. Geringfügige Weiterverarbeitung und verbesserte technologische Prozesse mit hochwertigen Rohmaterialien führen zur weitgehenden Erhaltung der Nährstoffe im Endprodukt. Durch den enzymatischen Abbau des Pektins wird der Ballaststoffgehalt unter Umständen vermindert. Demzufolge weisen Produkte, die ohne Enzymierung hergestellt werden, einen höheren Ballaststoffgehalt und somit auch einen höheren Sättigungseffekt auf als Produkte, die enzymatisch behandeltes Püree und/oder viel Saft enthalten. Auf der anderen Seite ist es vor allem bei Produkten, die einen hohen Anteil an Bananen aufweisen, besonders wichtig, das Fruchtpüree mit Saft oder Saft aus Konzentraten zu mischen, um ein noch trinkfähiges Produkt zu erhalten. Der Sättigungseffekt hängt vom jeweiligen Volumen pro Portion ab. Letzteres wird durch das Aufkonzentrieren von Pürees nicht beeinflusst. Er ist hauptsächlich auf den Ballaststoffgehalt und dessen Quellvermögen zurückzuführen. Die Konzentration von Pürees beeinflusst ihn nicht.

Während der Ballaststoffgehalt von Fruchtsäften im Durchschnitt bei 0,2 Gramm je 100 Milliliter liegt, enthalten Smoothies in 100 Milliliter 0,4 bis 1,7 Gramm Ballaststoffe (**Tab. 1**). Die Gehalte sind abhängig von der Obstsorte, der Saft- oder Püree menge und dem enzymatischen Abbau des Ballaststoffes Pektin. Deshalb wird einigen handelsüblichen Smoothies bis zu 0,3 Prozent Pektin zugesetzt. Da der Zusatz von Pektin zu Ananas- und Passionsfruchtsaft und -nektar gemäß Zusatzstoffzulassungsverordnung zugelassen ist, ist diese Praxis auch für Smoothies akzeptabel.

Das Aufkonzentrieren von Pürees und Saft erhöht deren Nährstoffdichte. Folglich lässt sich die empfohlene Tageszufuhr bei gleicher Dosierung leicht

ter unter Verwendung von Konzentraten erreichen. Apfelallergiker können thermisch behandelte Produkte besser vertragen als rohe Früchte, da die Hitze die thermisch labilen Apfelallergene inaktiviert. Der technologische Prozess kann bei manchem Obst und Gemüse die Bioverfügbarkeit sogar erhöhen, so etwa bei Beta-Carotin aus Karotten. Dieses kann der Darm nach dem Blanchieren und Kochen besser resorbieren.

Die Energiegehalte von Äpfeln, Orangen und Bananen betragen 54, 42 und 88 Kilokalorien pro 100 Gramm Frischfrucht. Ohne Zusatz von Zucker oder Milchprodukten entsprechen die Kohlenhydrat-, Protein- und Fettgehalte denjenigen von frischen Früchten. Die Energiegehalte von Smoothies aus diesen Früchten liegen somit zwischen 45 und 88 Kilokalorien pro 100 Milliliter. Aufgrund ihres relativ hohen Brennwertes sind Smoothies eher Snacks als Getränke und nicht zum Stillen des Durstes geeignet.

## Fazit

Die auf dem Markt erhältlichen Smoothies sind relativ unterschiedlich in ihrer Zusammensetzung. Obwohl diese neue Produktkategorie eine enorme Wachstumsrate zu verzeichnen hat, fehlen bislang lebensmittelrechtliche Bestimmungen, die die Art und Weise der Herstellung sowie die Zusammensetzung regeln. Für den Verbraucher ist daher die Qualitätsbeurteilung schwierig. Dessen ungeachtet steht fest, dass der Konsum von Smoothies allemal besser ist, als gar kein Obst und Gemüse zu verzehren. Weiterhin weisen Smoothies einen deutlich höheren ernährungsphysiologischen Wert auf als Nektare, die je nach Fruchtart nur zu 25 bis 50 Prozent aus Frucht bestehen. Außerdem sind Smoothies praktisch, wenn gerade kein frisches Obst und Gemüse zur Verfügung steht. Prinzipiell sind allerdings frisches Obst und Gemüse mit ihrem kompletten Spektrum an Nährstoffen und gesundheitsfördernden sekundären Pflanzenstoffen vorzuziehen. ●

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<



# Zitrussäfte – Konzentrat oder Direktprodukt?

PROF. ANGELIKA HIRSCH • PROF. DR. DR. REINHOLD CARLE

**Fruchtsäfte sind ein beliebtes Lebensmittel der Deutschen. Zwischen 1990 und 2005 lag ihr Pro-Kopf-Verbrauch bei rund 40 Litern. In den folgenden Jahren war allerdings ein Rückgang zu verzeichnen. 2010 konsumierten die Menschen noch 36,3 Liter pro Kopf, 2015 33 Liter und 2019 30,5 Liter.**

Orangensaft war mit 7,2 Litern der beliebteste Fruchtsaft in Deutschland. Nach wie vor liegt das Land damit international an der Spitze und lässt selbst die USA mit einem Verbrauch von 20,7 Litern pro Kopf deutlich hinter sich (VdF 2021). Die Weltjahresproduktion aller Zitrusfrüchte betrug 2019 fast 145 Millionen Tonnen (FAOSTAT 2021).

Heute ist die Herstellung von Zitrussäften und Zitrussaftprodukten einer der bedeutendsten Prozesse in der Lebensmittelindustrie. Ein Grund für deren Popularität ist möglicherweise das wachsende Interesse der Bevölkerung an einer gesundheitsbewussten Ernährung.

Ernährungsempfehlungen propagieren seit Jahren eine erhöhte Aufnahme von Obst und Gemüse („five a day“). Eine Portion Obst in Form von Fruchtsaft leistet hierbei ohne großen Aufwand und ohne zeitaufwendige Vorbereitungen einen sinnvollen Beitrag zu einer gesundheitsbewussten Ernährung. Darüber hinaus ist aber auch der Genuss ein wichtiges Kriterium für die Kaufentscheidung. Der Geschmack von Zitrussäften stellt eine ideale Mischung aus Süße und Säure dar, zuweilen mit einer leicht bitteren Note. Auch die ansprechende Farbe und das Mundgefühl tragen zu den einzigartigen organoleptischen Eigenschaften von Zitrusfrüchten bei.

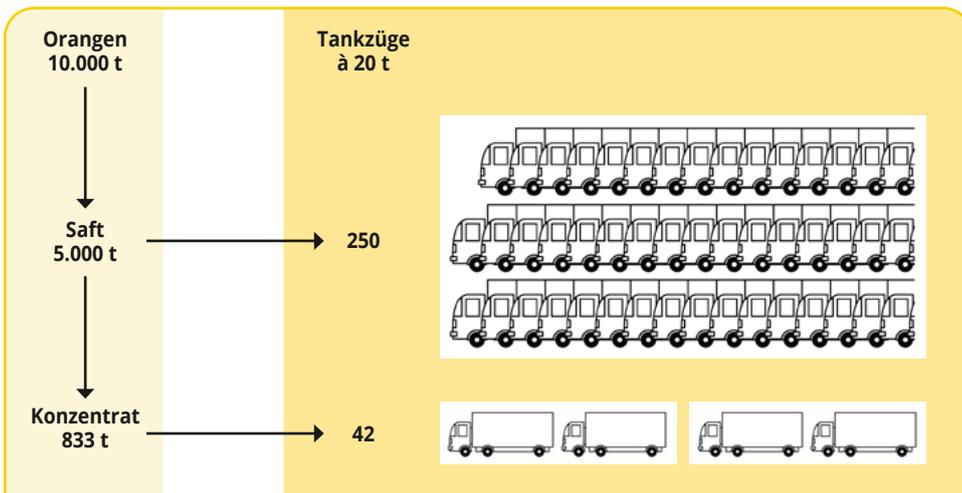
Verfügbarkeit und Qualität von Zitrussäften erfuhren in den letzten Jahrzehnten einen enormen Wandel. Früher kamen vor allem stark hitzebehandelte Orangensäfte und Orangensaftkonzentrate auf den Markt, die im Laufe der Verarbeitung deutliche Aromaverluste erlitten hatten und nur noch wenig vom

Aromaprofil eines frisch gepressten Saftes erahnen ließen. Heutzutage erreichen Zitrussäfte vorwiegend als Konzentrate aus den Anbauländern in Florida, Mittel- und Südamerika sowie Südeuropa in großen Kühlschiffen oder Kühllastwagen gefroren oder gekühlt den Abfüllbetrieb. Durch moderne Technologien bei der Konzentratherstellung haben sich die Produkteigenschaften, insbesondere das Aroma, wesentlich verbessert. Daneben kommt Direktsaft gefroren in Fässern oder in so genannten „bag in box“-Gebinden (Schlauchbeutelpackungen in Gitterboxen) zum Verarbeiter. Die Gefrierlagerung der Säfte begünstigt den Aromaaerhalt sowie die mikrobiologische Stabilität.

## Begriffsbestimmungen

Als Fruchtsaft wird der gärfähige, jedoch nicht gegorene Saft aus gesunden und reifen Früchten, frisch oder durch Kälte haltbar gemacht, bezeichnet. Er wird mittels mechanischer Verfahren wie

Zerkleinern, Pressen und Zentrifugieren gewonnen und muss das arteilene Aroma und den arteilene Geschmack der Frucht, von der er stammt, aufweisen. Bei Zitrusfrüchten darf nur das Endokarp, also der essbare Anteil der Frucht, ohne die Schale zur Saftgewinnung verwendet werden. Eine Ausnahme bildet der Limettensaft. Hier darf die gesamte Frucht zur Saftgewinnung verwendet werden, sofern beim Pressvorgang keine äußeren Fruchtbestandteile in den Saft gelangen können. Erhöhte Gehalte an Schalenöl oder anderen typischen Schaleninhaltsstoffen sind ein Indikator für eine nicht angepasste Entsaftungstechnologie. Eine Korrektur-zuckerung ist zum Ausgleich eines natürlichen, durch die Fruchtart oder das Klima bedingten Mangels an Zucker zulässig. Der Zusatz ist auf 15 Gramm pro Liter Saft begrenzt. Zur Haltbarmachung sind ausschließlich physikalische Verfahren, in der Regel die Erhitzung, zugelassen. Diese Begriffsbestimmung der europäischen Fruchtsafrichtlinie klammert also den Bereich der Frischsäfte aus. Hinsichtlich der Herstellungstechnologie unterscheidet man zwischen Direktsaft und Konzentratsaft. Letzterer ist lebensmittelrechtlich als solcher zu kennzeichnen. Direktsaft (NFC = not from concentrate) wird nach dem Pressen und eventuellen Passieren entwe-

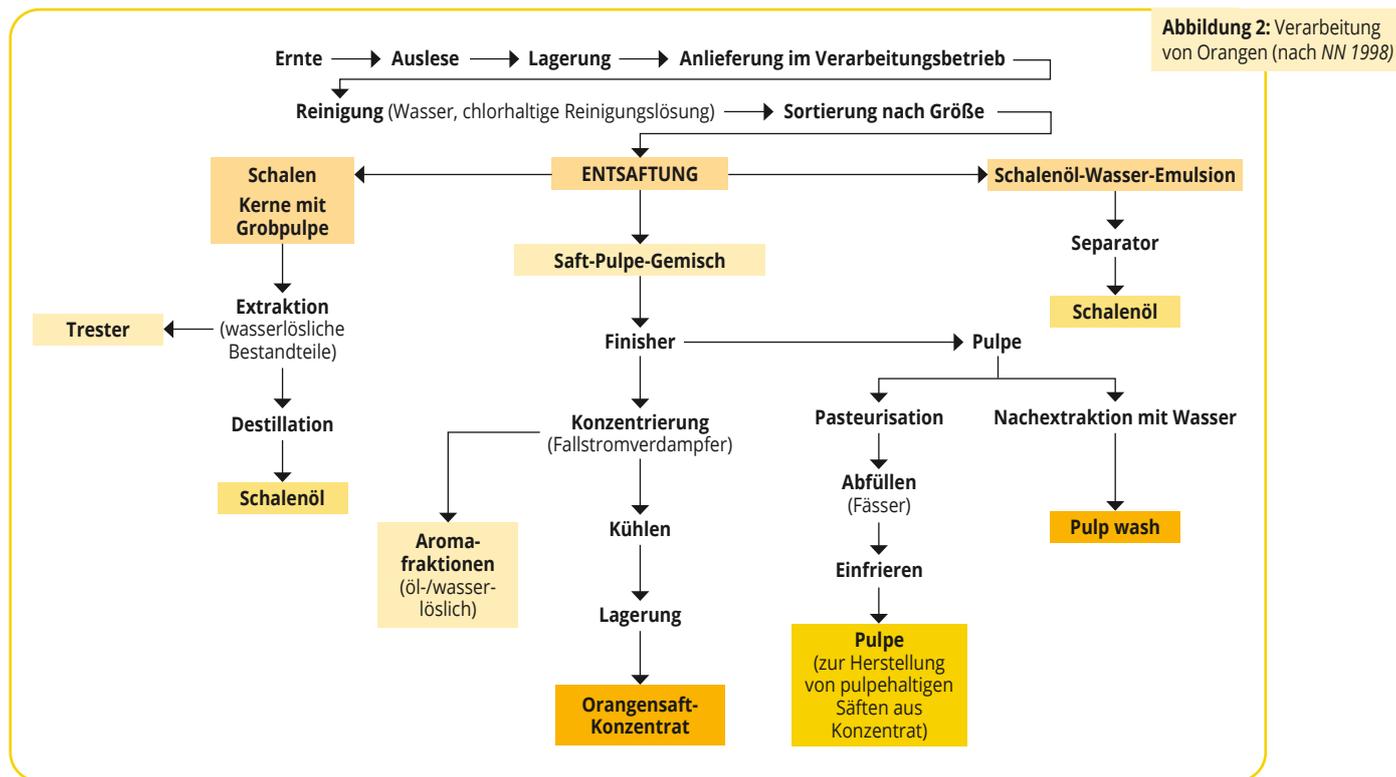


**Abbildung 1: Aufwendungen für den Transport von Saft und Konzentrat**  
Die Konzentrierung von Saft im Verhältnis 6 zu 1 ermöglicht deutliche Einsparungen bei den Transportkosten.

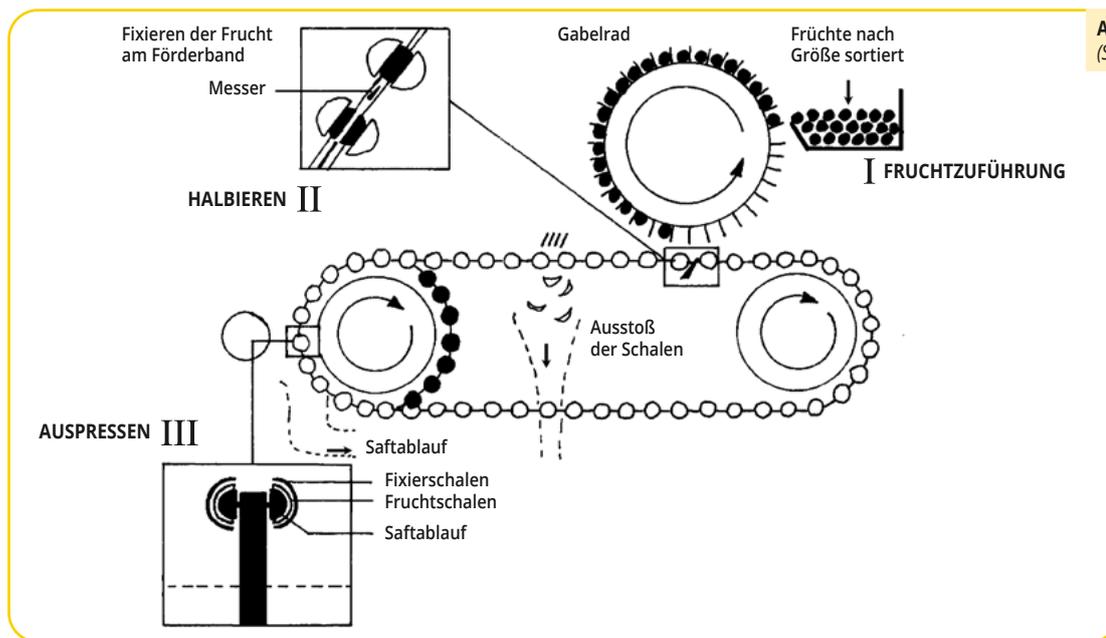
der im Erzeugerland pasteurisiert, auf Flaschen gezogen und vertrieben oder aber – was weit häufiger geschieht – gefroren in Fässern zum Abfüller transportiert. Dort wird er aufgetaut, pasteurisiert und abgefüllt. Bei der Konzentrat-herstellung werden flüchtige Aromen, Schalenöl und Fruchtfleisch (Pulpe) abgetrennt und beim Rückverdünnen des Saftes wieder zugesetzt oder separat weiterverwendet. Zitruskonzentrat wird in der Regel bei Temperaturen von -18 Grad Celsius in großen Kühlschiffen oder Tankfahrzeugen befördert. Konzentratsaft entsteht durch Rückverdün-

nung mit Wasser auf die ursprüngliche Saftstärke unter Zugabe des abgetrennten Aromakonzentrats sowie eventuell des Fruchtfleischs. Anschließend erfolgt die Pasteurisation und die Abfüllung in Gebinde.

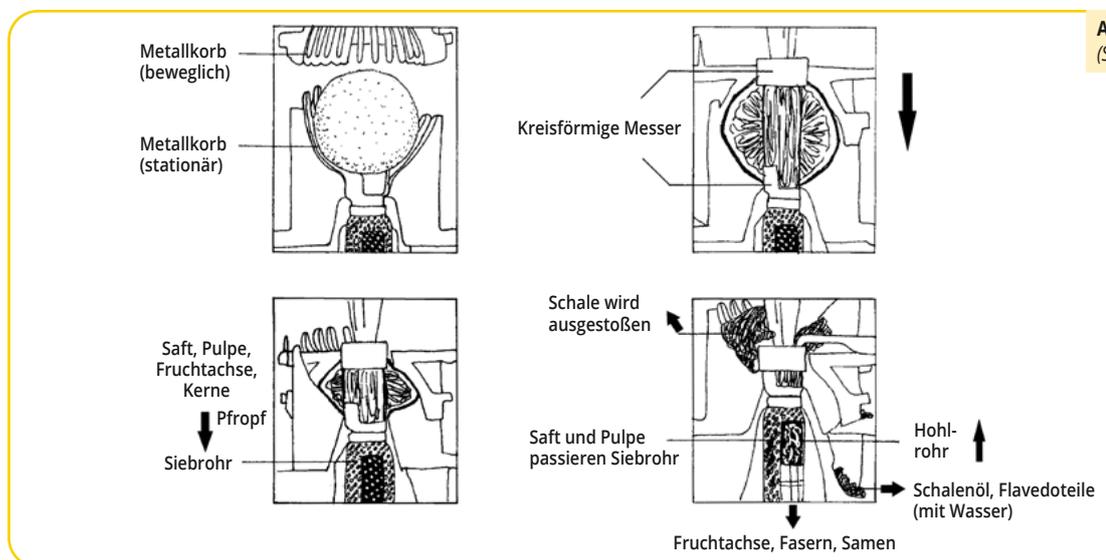
Durch die Konzentrierung des Presssaftes im Verhältnis 6 zu 1 wird dem Fruchtsaft bereits im Herstellungsland der überwiegende Teil des Wassers entzogen. In der Regel erfolgt dies durch schonendes Eindampfen unter vermindertem Druck. Lediglich bei besonders hochwertigen Konzentraten



**Abbildung 2: Verarbeitung von Orangen (nach NN 1998)**



**Abbildung 3:** Brown-Verfahren  
(Schobinger 2001)



**Abbildung 4:** FMC-Verfahren  
(Schobinger 2001)

wird das Wasser bei weitgehendem Erhalt der Wertstoffe ausgefroren (Gefrierkonzentrierung). Dadurch lassen sich nicht nur in erheblichem Maße Transportkosten und Lagerkapazitäten einsparen (Abb. 1), sondern das Produkt ist aufgrund seines hohen Zuckergehaltes von rund 60 Prozent auch weniger anfällig für mikrobiellen Verderb. Ferner ergibt sich dadurch die Möglichkeit, durch Verschneiden von Säften oder Konzentraten verschiedener Herkunft und Fruchtarten vielfältige Geschmacksstypen herzustellen. Zudem kann der Geschmack eines Markenartikels, unabhängig von Klimabedingungen und saisonalen Schwankungen, weitgehend konstant eingestellt werden.

## Herstellungstechnologie

Der industriellen Entsaftung (Abb. 2) muss in jedem Fall eine Auslese von unreifen, verdorbenen oder beschädigten Früchten vorangehen, da bereits wenige ungeeignete Früchte das Endprodukt in geschmacklicher sowie mikrobiologischer Hinsicht nachhaltig beeinträchtigen können. Eine Vorsortierung nach Größen ist erforderlich, da jeder Extraktor nur eine bestimmte Fruchtgröße verarbeitet, um ein Optimum an Ausbeute und Saftqualität zu gewährleisten und den Gehalt an Schalenöl im Saft zu minimieren. Vor dem eigentlichen Entsaftungsschritt werden die Früchte meist in einer Bürstenwaschanlage von anhaftendem Schmutz befreit. Eventuell kann auch eine Raspelmaschine zum Einsatz

kommen, welche die äußeren Schalen-schichten entfernt und so gleichzeitig den Schalenölanteil im Fruchtsaft verringert.

Bei der Entsaftung von Zitrusfrüchten im industriellen Maßstab haben sich weltweit zwei Verfahren durchgesetzt: das Brown-Verfahren (Abb. 3) und das FMC-Verfahren (Abb. 4). Das Prinzip des Brown-Verfahrens entspricht weitgehend dem von Haushalts-Zitruspressen. Die Frucht wird durch ein feststehendes Messer halbiert und je eine Hälfte gegen einen rotierenden oder auch statischen, sternförmigen Stempel gedrückt, wodurch Saft und Pulpe aus der Schalenhälfte gepresst werden. Beim FMC-Entsafter wird die Orange durch ein System aus zwei metallischen Fingerkörben

und kreisrunden Messern mit Hohl- und Siebrohren in einem Arbeitsgang ausgepresst. Die Entfernung des Schalenöls erfolgt im Extraktor durch Abspülen der Schalen mit Wasser.

Im Anschluss an die Entsaftung folgt in der Regel ein Passierschritt, durch den grobe Fruchtfleischanteile, Kerne und Schalenreste entfernt werden. Durch die nachfolgende Entlüftung wird der im Laufe der Entsaftung in das Produkt eingetragene Sauerstoff im Hochvakuum entfernt, um unerwünschte Oxidationsreaktionen, die zu Geschmacks- und Farbveränderungen sowie zum Abbau von Vitamin C führen, zu verhindern. Noch im Saft enthaltene Schalenöle können gegebenenfalls mittels Vakuumverdampfern entfernt werden. Prinzipiell wird zwischen Frischsaft und haltbar gemachtem Fruchtsaft unterschieden.

### Frischsäfte

Im Unterschied zu den USA unterliegen die Herstellung von Frischsaft sowie die Verwendung des Begriffes „Frischsaft“ in Europa bisher keiner verbindlichen gesetzlichen Regelung. Mit dem Begriff „Frischsaft“ verbindet der Verbraucher bestimmte Wertvorstellungen. In der Regel ist davon auszugehen, dass das Lebensmittel keine haltbarkeitsverlängernden Verfahrensschritte durchlaufen hat und sich somit die charakteristischen sensorischen Eigenschaften des Produktes nicht wesentlich von einem Produkt direkt nach der Gewinnung unterscheiden. Da die Verarbeitungsschritte bei der Konzentratherstellung einer Deklaration als Frischsaft entgegenstehen, kann Frischsaft nicht als Konzentratsaft vertrieben werden. Allerdings ist der Begriff „frisch“ stets in engem Zusammenhang mit dem Lebensmittel zu betrachten, für den er verwendet wird. So bedeutet er zum Beispiel bei Obst, dass es sich um nicht haltbar gemachte Früchte handelt. Frisches Brot kann nur am Tage der Herstellung als frisch bezeichnet werden. Eine Ausnahme bildet die Milch, die aus Sicherheitsgründen pasteurisiert wird, aber dennoch als Frischmilch bezeichnet werden darf. Die gesundheitlichen Risiken, die von unerhitzter Milch ausgehen können, sind bei Zitrusfrucht, der mit einem pH-Wert von unter 3,5 zu den stark sauren Lebens-

mitteln zählt, weniger relevant. Ein wesentliches Merkmal von Frischsäften ist daher der Verzicht auf eine Wärmebehandlung bei der Herstellung. Infolgedessen erfahren solche Säfte keine Verminderung des Keimgehaltes und keine Reduzierung der Enzymaktivität, so dass aus Gründen der Produktsicherheit der Vertrieb unter Aufrechterhaltung der Kühlkette erfolgen muss. Frischsäfte werden daher meist in kleinerem Maßstab in Gastronomiebetrieben und Lebensmittelmärkten hergestellt und direkt vermarktet. Eine industrielle Herstellung setzt wegen der sehr begrenzten Haltbarkeit eine aufwendige Logistik voraus. Die Mindesthaltbarkeitsdauer von Frischsäften könnte aus mikrobiologischer Sicht unter optimalen Bedingungen zwar bis zu drei Wochen betragen, aus unterschiedlichen Gründen wird sie in der Regel jedoch auf etwa eine Woche begrenzt.

### Sensorische Aspekte

Ein bedeutender Vorteil von Zitrusfrischsäften ist in ihrem Aroma zu sehen, das dem Aroma hitzebehandelter Säfte weit überlegen ist. Ein weiteres charakteristisches Merkmal von Zitrusfrischsäften ist ihre Trübung. Der visuelle Eindruck eines Saftes übt einen bedeutenden Einfluss auf die Kaufentscheidung aus. Daneben ist der Trub auch für das Aroma und für die Farbe eines Saftes von Bedeutung. Trübe Säfte stellen komplexe disperse Systeme dar, deren Trubstoffe aus einer heterogenen Mischung von Partikeln und Öltröpfchen bestehen. Sie sind in einer instabilen kolloidalen Phase verteilt, die unter anderem Pektin enthält. Dieses wird durch die Aktivität des fruchteigenen Enzyms Pektinesterase so verändert, dass es mit dem im Saft enthaltenen Calcium eine unlösliche Verbindung eingeht, wodurch das kolloidale System zerfällt. Deshalb trennt sich ein nicht hitzebehandelter Orangensaft wenige Stunden nach der Herstellung in einen mehr oder weniger klaren, wässrigen Überstand und eine flockige Trubphase. Auch durch mikrobielle Tätigkeit, insbesondere von Schimmelpilzen, kann ein Pektinabbau erfolgen, der zum Ausklaren des Saftes führt. Unabhängig von der Ursache akzeptiert der Verbraucher das Ausklaren eines naturtrüben Getränkes wie Orangensaft nicht.

### Ernährungsphysiologische und toxikologische Aspekte

Frischsäfte enthalten den Vitamingehalt und die ursprünglichen Enzyme der frischen Früchte und erfüllen damit den Wunsch des Verbrauchers nach naturbelassenen, gesunden und möglichst wenig be- und verarbeiteten Lebensmitteln („minimally processed food“). Allerdings ist darauf zu achten, dass zur Saftherstellung generell keine Zitrusfrüchte verwendet werden dürfen, deren Oberfläche mit Thiabendazol behandelt wurde. Das Fungizid Thiabendazol kann bei Zitrusfrüchten als Schalenbehandlungsmittel zur Vermeidung eines Schimmelbefalls bei der Lagerung eingesetzt werden.

### Mikrobiologische Aspekte

Zitrusfrüchte besitzen durch ihre spezifische Zusammensetzung, die ätherischen Öle in der Schale, den hohen Gehalt an organischen Säuren sowie den niedrigen pH-Wert Eigenschaften, welche für die meisten Mikroorganismen eine Vermehrung unmöglich machen. Infolge ihrer Säuretoleranz sind in nativen Zitrusfrüchten und in Zitrusfruchtsäften lediglich Milchsäure- und Essigsäure-bildende Bakterien sowie Hefen und Schimmelpilze zu finden. Die Mikroorganismen können zum einen durch Keime auf der Fruchtoberfläche, zum anderen durch schlecht gereinigte Produktionseinrichtungen wie Pressvorrichtung, Rohrleitungen oder Lagertanks in den Saft gelangen. Hauptursache für eine erhöhte Keimzahl im Produkt ist aber die Verwendung qualitativ minderwertiger, das heißt verdorbener oder beschädigter Früchte, die deshalb unbedingt vor der Saftherstellung auszusortieren sind. Bei Verwendung minderwertiger Rohware wurden mehr als 6.000-fach höhere Keimzahlen im Saft ermittelt als bei der Verarbeitung einwandfreier Früchte.

Die Auswirkungen mikrobieller Aktivität auf das Produkt zeigen sich in Fehl- aromen (Buttermilchnote, alkoholischer oder muffiger Beigeschmack), Trübung, Gasbildung, Ausflockung oder auch in der Bildung von Schimmelpilzen auf der Oberfläche. Pathogene Mikroorganismen wie Salmonellen, Shigellen oder Clostridien sind bei einem stark sauren

Lebensmittel wie Zitrusfrüchten im Allgemeinen nicht vermehrfähig. Zusätzlich weisen sowohl die Inhaltsstoffe des Saftes als auch die ätherischen Öle der Schalenbestandteile von Zitrusfrüchten bakterizide und antivirale Effekte auf. Allerdings können etwa Salmonellen auch im sehr sauren Milieu der Zitrusfrüchte und insbesondere bei niedrigen Temperaturen (z. B. °C) eine zeitlang lebensfähig bleiben. Wenn zu den natürlicherweise auf der Oberfläche von Früchten vorhandenen Keimen infolge Missachtung der üblichen Hygienevorschriften („good manufacturing practice“) eine Verunreinigung durch mangelhaft gereinigte Produktionsanlagen oder durch den Eintrag erheblicher Mengen an pathogenen Keimen durch Schmutz, Staub, erkranktes Personal oder Tiere hinzukommt, kann es unter Umständen zu Infektionen durch den Genuss unerhitzter Säfte oder Saftprodukte kommen. Veränderungen der Lebensbedingungen durch Säureabbau infolge der Aktivität weiterer Mikroorganismen, durch Temperaturerhöhung beziehungsweise durch Verbesserung der Nährstoffsituation nach Verdünnen oder Ausmischen des Produktes mit weiteren Rezepturbestandteilen können dazu führen, dass sich sogar pathogene Mikroorganismen vermehren können. Dies ist je nach Medium zum Beispiel bei Salmonellen ab pH 4,5 der Fall, bei Clostridium botulinum ab pH 4,7. Ähnliche, wenn auch weniger gravierende, Auswirkungen kann eine Anhebung der Lagertemperatur über sieben Grad Celsius auf die Vermehrfähigkeit pathogener Mikroorganismen haben.

Bei Konzentraten, die üblicherweise im Laufe des Herstellungsprozesses einen Erhitzungsschritt durchlaufen haben, liegt die Gefahr einer mikrobiellen Verunreinigung in einer Rekontamination der Produkte bei deren Rückverdünnung zu Säften. Bei der Herstellung und beim Vertrieb von Frischsäften ist wie bei jedem frischen und damit nicht konservierten Lebensmittel die Einhaltung strenger Hygieneanforderungen eine unabdingbare Voraussetzung. In der Vergangenheit wurden Infektionen durch den Genuss von Orangensäften stets durch gravierende Hygienemängel bei der Herstellung verursacht beziehungsweise durch infizierte Menschen oder Tiere ausgelöst, die zu einer

Kontamination des Produktes beitragen können. Vereinzelt aufgetretene Erkrankungsfälle sind fast ausschließlich auf eine nicht industrielle Praxis der Rückverdünnung von Konzentraten in Großküchen oder Hotels zurückzuführen. Allerdings wird dadurch ein bisher nur wenig beachtetes Problem beleuchtet: Sogar Produkte mit einem pH-Wert von 4,6 oder geringer, die von der Food and Drug Administration (FDA) der Vereinigten Staaten in der Vergangenheit nicht als potenziell gefährlich eingestuft worden waren, können unter Umständen für eine Lebensmittelinfektion in Frage kommen.

### Haltbar gemachte Säfte

Im Anschluss an die Entsaftung und den Passierschritt werden Zitrusfrüchte zu meist einem oder mehreren Erhitzungsschritten unterzogen. Zur Herstellung von Konzentrat wird dem Saft das Wasser größtenteils entzogen, bis ein Trockensubstanzgehalt von etwa 65 Grad Brix erreicht ist.

Die Vorteile haltbar gemachter Zitrusfrüchte liegen folglich in der Ausschaltung sämtlicher Probleme, welche beim Frischsaft zu begrenzter Haltbarkeit führen. Da Zitrusfrüchte mit einem pH-Wert unter 3,5 zu den stark sauren Lebensmitteln zählen, ist eine Vermehrung pathogener Keime sowie ein Auskeimen hitzeresistenter Sporen in der Regel auszuschließen. Zur Erlangung einer für den Vertrieb der Produkte unabdingbaren Mindesthaltbarkeitsdauer reicht daher eine Pasteurisation bei Temperaturen unter 100 Grad Celsius mit anschließender Kühlung aus. Üblicherweise werden Röhren- oder Plattenwärmetauscher mit Heißwasser, Dampf oder elektrischer Beheizung im Gegen- oder Querstrom zur Erhitzung eingesetzt. Anschließend wird das Produkt entweder heiß abgefüllt und im Verkaufsgebilde abgekühlt oder im Gegenstrom mit kaltem Wasser abgekühlt und aseptisch abgefüllt. Eine Heißhaltezeit von etwa einer Minute bei 90 Grad Celsius gilt als ausreichend, um die mikrobiologische Stabilität durch Abtötung vegetativer Keime zu garantieren. Darüber hinaus wird auch die physikalische Stabilität des Getränkes erreicht, das heißt, Enzyme, die das Produkt durch Ausklaren und Entstehung eines Boden-

setzes, durch Fehleraromen oder Gelbildung (bei Konzentraten) beeinträchtigen könnten, werden weitgehend inaktiviert. Durch Hitzekonservierung werden daher die Haltbarkeitsdauer und damit die möglichen Umschlagzeiten des Produktes im Vergleich zu Frischsaft um ein Vielfaches verlängert. Reklamationen, Retouren und somit finanzielle Verluste können minimiert werden.

Die meisten Fruchtsäfte werden allerdings im Verlauf des Herstellungsprozesses nicht nur einmal, sondern sogar mehrfach pasteurisiert, beziehungsweise es kommen weit höhere Erhitzungstemperaturen und/oder längere Erhitzungszeiten zur Anwendung als bei der Pasteurisation üblich. Aus mikrobieller und technologischer Sicht können solche Produkte auch ohne Kühlung vertrieben werden, da Ausklaren und Mikroorganismenwachstum während der Mindesthaltbarkeitszeit nicht zu befürchten sind. Infolge der rigiden Erhitzungsregime treten im empfindlichen Aromaprofil der Zitrusfrüchte jedoch gravierende Veränderungen auf. Häufig ist ein deutlicher Kochgeschmack zu bemerken. Auch ein Farbverlust beziehungsweise eine Bräunung des Produktes ist unvermeidbar, da viele Inhaltsstoffe temperaturlabil sind. Schließlich werden auch wertbestimmende Inhaltsstoffe, insbesondere Vitamin C, beeinträchtigt. Erhitzungsbedingte Qualitätsminderungen setzen sich im Allgemeinen während der Lagerung fort, wobei das Ausmaß und die Geschwindigkeit der Veränderungen unter anderem vom Verpackungsmaterial und von der Lagertemperatur beeinflusst werden.

### Neuere technologische Maßnahmen zur Haltbarmachung

Moderne Herstellungsverfahren für Lebensmittel berücksichtigen in zunehmendem Maße das Konzept des „minimal processing“. Ziel dieses Verarbeitungsgrundsatzes ist, die natürlichen Eigenschaften der Rohware durch eine besonders schonende Herstellungstechnologie zu erhalten und dennoch ein in mikrobieller und enzymatischer Hinsicht sicheres und gleichzeitig ansprechendes Produkt zu erzielen. Solche Entwicklungen sind die Hochdruckpasteurisation (HP) und die Verwendung gepulster elektrischer Felder (PEF).

Die Hochdruckpasteurisation ist bereits seit rund 100 Jahren bekannt und hatte zunächst die Abtötung isolierter Mikroorganismen zum Ziel. Erst seit etwa 50 Jahren werden Studien über den Einsatz des Verfahrens zur Haltbarmachung von Lebensmitteln durchgeführt. Es kommen üblicherweise Drücke von 100 bis 1.000 Megapascal (entspr. 1.000 bis 10.000 bar) für eine Verweildauer von etwa 15 Minuten zur Anwendung. Auch die Kombination von Hochdruckbehandlung und milder Erwärmung (z. B. 230 MPa bei 43 °C) wird genutzt. Vorteilhaft ist der Erhalt des ursprünglichen Frischeeindrucks, insbesondere der Farbe, des Geruchs und des Geschmacks. Außerdem ist die HP im Vergleich zu thermischen Verfahren weniger energieaufwendig. In Japan, den USA und Europa sind bereits verschiedene durch Hochdruck pasteurisierte Lebensmittel auf dem Markt. Allein in Japan sind 120 Hochdruckanlagen für Fruchtprodukte, Milchdesserts und Reisprodukte im Einsatz. In Frankreich werden unter anderem Fruchtsäfte mittels HP behandelt. In Deutschland ist dieses Verfahren zur Behandlung von Lebensmitteln derzeit noch nicht zugelassen.

Bei PEF handelt es sich um ein nicht-thermisches Verfahren zur Haltbarmachung von Lebensmitteln, das seit 30 Jahren bekannt ist. Auch bei dieser Technologie lag der Schwerpunkt der Untersuchungen bisher auf der Abtötung von Mikroorganismen. Für dieses Verfahren werden wiederholte Pulse eines elektrischen Hochspannungsfeldes von 10 bis 70 Kilovolt je Zentimeter für eine Zeitdauer von Sekundenbruchteilen angewendet. Der Einsatz des PEF für die Haltbarmachung von Lebensmitteln bietet viele Vorteile, da das Produkt hinsichtlich seiner ernährungsphysiologischen und sensorischen Eigenschaften bei gleichzeitigem Erhalt des Frischecharakters des Rohmaterials nur minimal beeinflusst wird.

### Schutz des Verbrauchers vor Täuschung und Irreführung

Durch die gesteigerte Nachfrage nach frischen, möglichst naturbelassenen Lebensmitteln steigt die Zahl der Produkte, die in den Kühlregalen des Handels

Schonende Herstellungsverfahren lassen gekaufte Säfte oft fast wie selbst gepresst schmecken.



Foto: © monticello/stock.adobe.com

vertrieben und mit immer neuen qualitätsbezogenen Angaben beworben werden. Bei Produkten, die unter anderem als „Premium“, „tagesfrisch“, „schonend pasteurisiert“ ausgelobt werden, ist der Verbraucher bereit, einen höheren Preis zu akzeptieren, wodurch sich dem Hersteller die Möglichkeit zu gesteigerter Wertschöpfung eröffnet. Der erzielbare Preis liegt häufig mehr als das Doppelte über dem Preis herkömmlicher Produkte.

Am verarbeiteten und verpackten Zitrussaft ist häufig nur durch aufwendige Untersuchungen zu erkennen, welche technologische Behandlung er erfahren hat beziehungsweise ob und wie stark er hitzebehandelt wurde. Zwar lassen sich durchaus sensorische Unterschiede zwischen frischen und erhitzten Zitrus-säften ausmachen. Da das Aroma aber wesentlich von der Fruchtsorte, vom Reifegrad und von der Aromadosierung beeinflusst wird, ist es schwierig, sensorische Parameter als Indikator für den Grad der Erhitzung zu verwenden.

Am Institut für Lebensmitteltechnologie sind derzeit Untersuchungen im Gange, die Aktivitäten verschiedener frucht-eigener Enzyme und die Aktivitätsabnahmen dieser hitzelabilen Enzyme nach einer Erhitzung analytisch zu erfassen, um Aufschluss über den Grad der thermischen Behandlung von Säften zu erhalten. Damit soll ein Weg aufgezeigt werden, den Verbraucher vor Täuschung durch falsch deklarierte Produkte und

die Hersteller von Frischsäften vor Wettbewerbsnachteilen zu schützen.

### Schlussbetrachtung

Die ausführliche Beschreibung der Saffherstellung soll eine differenzierte Bewertung von frischen und haltbar gemachten Zitrus-säften ermöglichen. Hervorgehoben werden soll, dass Erkrankungen infolge des Genusses von industriell hergestellten Zitrus-säften in Deutschland bisher nicht bekannt sind und haltbar gemachte Zitrus-säfte ohnehin als sicher gelten können. Mögliche Risiken beim Verzehr von thermisch nicht behandelten Frischprodukten wie Zitrusfrischsäften sollten den Verbraucher keinesfalls davon abhalten, solche Produkte im Handel nachzufragen und zu genießen, da bei sachgerechter Herstellung und Lagerung die gesundheitlichen Risiken durch den Genuss von Zitrusfrischsäften äußerst gering sind. Vielmehr ist es das Anliegen der Verfasser, den Verbraucher über die besonderen Eigenschaften von Frischsäften so zu informieren, dass er die Plausibilität der Angaben auf der Produktverpackung kritisch hinterfragen kann. Kritische Distanz ist insbesondere bei Produkten angebracht, die als „frisch“ gekennzeichnet sind, aber gleichzeitig ein Mindesthaltbarkeitsdatum von mehreren Wochen aufweisen. ●

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<



# Saftherstellung und sekundäre Pflanzenstoffe

DR. MAIKE PASSON • DR. FABIAN WEBER

**Fruchtsäfte erfreuen sich in Deutschland großer Beliebtheit. Sie zeichnen sich durch einen natürlich hohen Gehalt an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen aus, die den Säften Farbe und Geschmack verleihen sowie ernährungsphysiologisch positiv bewertet werden. Die große Herausforderung in der Saftherstellung besteht darin, möglichst hohe Gehalte an Sekundärmetaboliten mit gleichzeitig hoher Bioverfügbarkeit herzustellen.**

Der Verzehr von Fruchtsäften gilt als gesund, da sie reich an Vitaminen und sekundären Pflanzeninhaltsstoffen sind. Besonders letztere stehen aufgrund möglicher positiver Wirkungen auf die menschliche Gesundheit im Fokus der Wissenschaft. Auch die Verbraucher zeigen ein stetig wachsendes Interesse an gesunder, nachhaltiger Ernährung. Fruchtsäfte werden daher auch als „Functional Food“ mit gesundheitlichem Zusatznutzen vermarktet. Sekundäre Pflanzenstoffe gelten als wertgebende Verbindungen, so dass sich die Verarbeitung von Früchten nicht mehr nur an den Zucker- und Säuregehalten orientiert. Sekundärmetabolite unterscheiden sich jedoch sehr deutlich in ihren physikochemischen Eigenschaften. Für ihren Erhalt sind besonders schonende Herstellungsver-

fahren notwendig. Mittlerweile gibt es zum Beispiel kühlpflichtige Säfte, die gar nicht oder unter Verwendung moderner Verfahren pasteurisiert werden. Solche Säfte erzielen unter Bezeichnungen wie „nicht erhitzt“ oder „kaltgepresst“ hohe Preise. Die Verarbeitung der Früchte hat aber nicht nur direkten Einfluss auf die Gehalte an sekundären Pflanzenstoffen, sondern wirkt sich indirekt auch auf deren Bioverfügbarkeit aus. Bevor ein Stoff resorbiert wird, muss er aus der Lebensmittelmatrix freigesetzt werden, um ihn für den Körper zugänglich zu machen. Ändert sich in Folge des Herstellungsverfahrens die stoffliche Zusammensetzung eines Saftes, so kann sich auch die Aufnahme ändern. Das birgt großes Potenzial, den gesundheitlichen Mehrwert von Fruchtsäften weiter zu erhöhen.

## Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe in Früchten

Der Metabolismus von Pflanzen wird üblicherweise in den primären und den sekundären Stoffwechsel unterteilt, um die mengenmäßig bedeutsameren Verbindungen wie Kohlenhydrate, Fette und Proteine von Minor Komponenten abzugrenzen. Sekundärmetabolite spielen eine zentrale Rolle im Abwehrsystem der Pflanze gegen Fressfeinde, als Schutz vor UV-Strahlung oder generell als Antioxidanzien. Sie dienen aber auch als Lockstoffe für bestäubende Insekten oder andere Tiere sowie zur Interaktion mit anderen Pflanzen (*Croteau et al. 2000; Hanson et al. 2003*).

Auch die Einteilung der sekundären Pflanzenstoffe anhand ihrer Molekülstruktur ist aufgrund der großen Anzahl unterschiedlicher Verbindungen schwierig. Üblicherweise werden dennoch einige Untergruppen genannt, die sich vor allem im wissenschaftlichen Sprachgebrauch durchgesetzt haben. Für Fruchtsäfte sind die phenolischen Verbindungen und die Carotinoide von Bedeutung, da sie für die ernährungsphysiologischen und sensorischen Eigenschaften verantwortlich sind.

## Phenolische Verbindungen

Die Gruppe der phenolischen Verbindungen tritt ubiquitär im Pflanzenreich auf. Deshalb spielen sie auch in der menschlichen Ernährung eine zentrale Rolle. Wichtige Vertreter sind phenolische Säuren wie die Hydroxyzimtsäuren oder aus der Gruppe der Flavonoide die Anthocyane oder Flavonole. Darüber hinaus sind vor allem die komplex zusammengesetzten Verbindungen wie Tannine für die sensorischen Eigenschaften von Säften wichtig (*Weber, Passon 2018*). Hydroxyzimtsäuren besitzen einen C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-Grundkörper und kommen in den meisten Früchten als Ester vor. Ihre wichtigsten Vertreter sind Chlorogensäure (Caffeoyl-Chinasäure) oder Kaftarsäure (Caffeoyl-Weinsäure). Sie sind farblos, prägen aber durch ihre vielfältigen Eigenschaften die sensorischen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften der Säfte. Flavonoide zeichnen sich durch einen C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>-Grundkörper aus und werden weiter in sechs wichtige Unterklassen unterteilt. Diese – Flavanole, Flavonole, Flavone, Flavanone, Anthocyanidine und Isoflavone – unterschei-

den sich vor allem im Oxidationsgrad des zentralen C-Rings. Die Einzelverbindungen variieren dann im Substitutionsmuster sowie in Anzahl und Verteilung der Zuckerreste (Weber, Passon 2018). Für die Farbe von Buntsäften sind die gut wasserlöslichen Anthocyane ausschlaggebend, wobei die Gehalte und Anzahl unterschiedlicher Verbindungen in den verschiedenen Beerenfrüchten extrem schwanken können. Die höhermolekularen Tannine sind für die Bitterkeit und Adstringenz eines Saftes ausschlaggebend und werden in die hydrolysierbaren und kondensierten Tannine unterteilt.

### Carotinoide

Carotinoide sind fettlösliche Pigmente, die hauptsächlich von Pflanzen und einigen Mikroorganismen synthetisiert werden (Britton et al.1998). In Pflanzen erfüllen sie eine wichtige Funktion in der Photosynthese und tragen zur Farbenpracht von Blättern, Blüten und Früchten bei. Sie besitzen ein C40-Isoprengerüst, das in charakteristischer Weise modifiziert ist und die Vielzahl an unterschiedlichen Verbindungen und Eigenschaften ergibt. Neben ihrer Bedeutung für die Pflanzen ließen sich auch gesundheitliche Effekte beim Menschen beobachten (Britton et al. 1998; Schieber, Weber 2016).

### Bedeutung sekundärer Pflanzenstoffe in Säften

Die sensorischen Eigenschaften eines Lebensmittels sind entscheidend für die durch den Verbraucher wahrgenommene Qualität und entscheiden darüber, ob dieser ein Lebensmittel erneut kauft und verzehrt.

### Farbe

Neben Geruch, Geschmack und Textur ist es vor allem die Farbe, die dem Verbraucher erste Hinweise über das Lebensmittel liefert. Natürliche Farbstoffe wie Anthocyane oder Carotinoide, die die Farbe von Fruchtsäften prägen, spielen eine herausragende Rolle für die Verbraucherakzeptanz. Schließlich unterscheidet der Mensch seit jeher reife essbare Früchte von unreifen oder giftigen Früchten vor allem anhand ihrer Farbe.

### Adstringenz

Sekundäre Pflanzenstoffe prägen auch andere wichtige sensorische Eigenschaften wie Bitterkeit oder Adstringenz. Adstringenz ist ein mechanischer Reiz, erkennbar an einem trockenen, rauen, ziehenden Mundgefühl. Dieser trigeminale Reiz ist kein Geschmack im eigentlichen Sinn, da keiner der üblichen fünf Geschmacksrezeptoren angesprochen wird. Adstringenz nimmt der Mensch über Berührungs- oder Mechanorezeptoren wahr (Noble 1998). Der genaue Mechanismus ist nicht geklärt, offenbar hängt Adstringenz mit der Ausfällung von Speichelproteinen durch Tannine und der damit verbundenen geringeren Feuchtigkeit in der Mundhöhle zusammen (Serrano et al. 2009).

### Bitterwahrnehmung

Auch die Bitterwahrnehmung ist noch nicht vollständig geklärt. Anders als die Adstringenz ist Bittergeschmack eine echte gustatorische Wahrnehmung, die über verschiedene Chemorezeptoren erfolgt. Diese reagieren auf eine Vielzahl an Verbindungen wie Metalle, Aminosäuren und Peptide, aber vor allem auf verschiedene sekundäre Pflanzenstoffe. Evolutionär betrachtet waren Adstringenz und Bitterkeit neben der Farbe ein wichtiger Hinweis auf unreife oder gar giftige Pflanzen für den Menschen, sodass bitter schmeckende Substanzen nicht in jedem Lebensmittel akzeptiert werden. Einige Lebensmittel dagegen weisen Bitterkeit als einen charakteristi-

schon Geschmack auf, etwa Schokolade, Bier, Kaffee oder Tee. Der technologische Aufwand, der bei der Produktherstellung hinsichtlich der Bitterkeit solcher Produkte betrieben wird, zeigt, wie nah Verbraucherakzeptanz und -ablehnung beieinanderliegen.

### Gesundheitliche Bedeutung sekundärer Pflanzenstoffe

Seit Langem wird über die gesundheitlichen Aspekte sekundärer Pflanzenstoffe geforscht. Obwohl der klinische Nachweis oft fehlt, deuten epidemiologische Studien darauf hin, dass der regelmäßige Verzehr von Gemüse und Obst dazu beitragen kann, die Prävalenz einiger degenerativer Erkrankungen zu senken (Dillard, German 2000).

Die Bedeutung pflanzlicher Lebensmittel als Quelle von Nährstoffen ist zwar weithin akzeptiert, der direkte Zusammenhang zwischen dem Verzehr von Lebensmitteln, der Aufnahme sekundärer Pflanzenstoffe und der Prävention chronischer Krankheiten ist aber größtenteils nicht geklärt. Vor allem bei der Vorbeugung von chronischen Herz-Kreislauferkrankungen, Bluthochdruck und Schlaganfällen zeigt eine betont pflanzliche Ernährung überzeugende Effekte (Boeing et al. 2012). Ein Grund dafür ist vermutlich die geringere Aufnahme ernährungsphysiologisch ungünstig bewerteter Lebensmittel wie fettreiche tierische Produkte, der genaue Zusammenhang zwischen bestimmten Pflanzeninhaltsstoffen und den positiven ge-



Holunderbeeren sind nur verarbeitet genießbar, zum Beispiel als Saft, Sirup oder Marmelade. Sie liefern reichlich Anthocyane.

sundheitlichen Effekten bleibt dagegen oft unklar. Zum einen ist aufgrund der Komplexität der chemischen Strukturen eine Vorhersage der Stoffwechselwege im menschlichen Körper schwierig, zum anderen können Interventionsstudien nur bedingt die realen Umstände widerspiegeln (Passon 2018). Kurzzeinterventionen oder die Bolusgabe isolierter Einzelsubstanzen sind in ihrer Aussagekraft limitiert, da bei Letzterem der Einfluss der Lebensmittelmatrix auf die Freisetzung des Stoffes unberücksichtigt bleibt. Dennoch sind humane Interventionsstudien zwingend erforderlich, um den Mechanismus der protektiven Effekte von Fruchtsäften zu untersuchen.

Neben den vielen mehr oder weniger gut belegten positiven Effekten sekundärer Pflanzenstoffe ließen sich auch einige wenige nachteilige Wirkungen beobachten. So zeigte sich ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko von Rauchern bei reichlicher Beta-Carotin-Zufuhr (aTbC-Group 1994); Phytoöstrogene wie Isoflavone aus Soja wirkten nachteilig auf die Genexpression bei Brustkrebs (Shike et al. 2014).

Auch der Einfluss der Lebensmittelmatrix und damit der Verarbeitung auf eventuelle positive oder negative Wirkungen der sekundären Pflanzenstoffe ist bislang kaum erforscht. Die Verarbeitung pflanzlicher Lebensmittel schließt fast immer die Zerstörung der Pflanzenzellen mit ein und setzt damit die sekundären Pflanzenstoffe nachteiligen Bedingungen aus. Das verringert in erster Linie deren Gehalte, hat aber durch die entstehenden Interaktionen mit Matrixbestandteilen auch massiven Einfluss auf deren Bioverfügbarkeit. Außerdem zeigen immer mehr Studien den Beitrag der Darmmikroorganismen bei der Aufnahme und Verstoffwechslung sekundärer Pflanzenstoffe. Lebensmittelbestandteile wie Ballaststoffe beeinflussen wiederum das Darmmikrobiom (Bohn et al. 2015).

## Metabolismus sekundärer Pflanzenstoffe

### Polyphenole

Die Gruppe der Polyphenole ist strukturell sehr heterogen. Entsprechend heterogen ist ihr metabolisches Schicksal

(Abb. 1). Die Aufnahme im Dünndarm durch passive Diffusion oder aktive Transportproteine sowie die Verstoffwechslung in der Leber über Phase I und Phase II umfasst zahlreiche strukturelle Umwandlungen der phenolischen Verbindungen. Das hat zur Folge, dass im Plasma und in den verschiedenen Geweben eine Vielzahl an Metaboliten in sehr geringen Konzentrationen zu finden ist. Das und die individuellen Unterschiede im Metabolismus sind die größten Herausforderungen bei der Untersuchung physiologischer Effekte von Polyphenolen (Passon 2018).

Polyphenole liegen im pflanzlichen Gewebe oft in den Vakuolen oder mit der Zellwand assoziiert vor. Besonders Letzteres kann die Aufnahme im Körper erschweren. Deshalb können Verarbeitungsschritte wie das Enzymieren einen positiven Effekt auf die Bioverfügbarkeit haben (Sensoy 2014). Obwohl es Studien zum Einfluss der Verarbeitung auf die Bioverfügbarkeit und den Metabolismus gibt, sind viele Faktoren, etwa die Anwesenheit von Ballaststoffen oder Proteinen, noch nicht hinreichend geklärt.

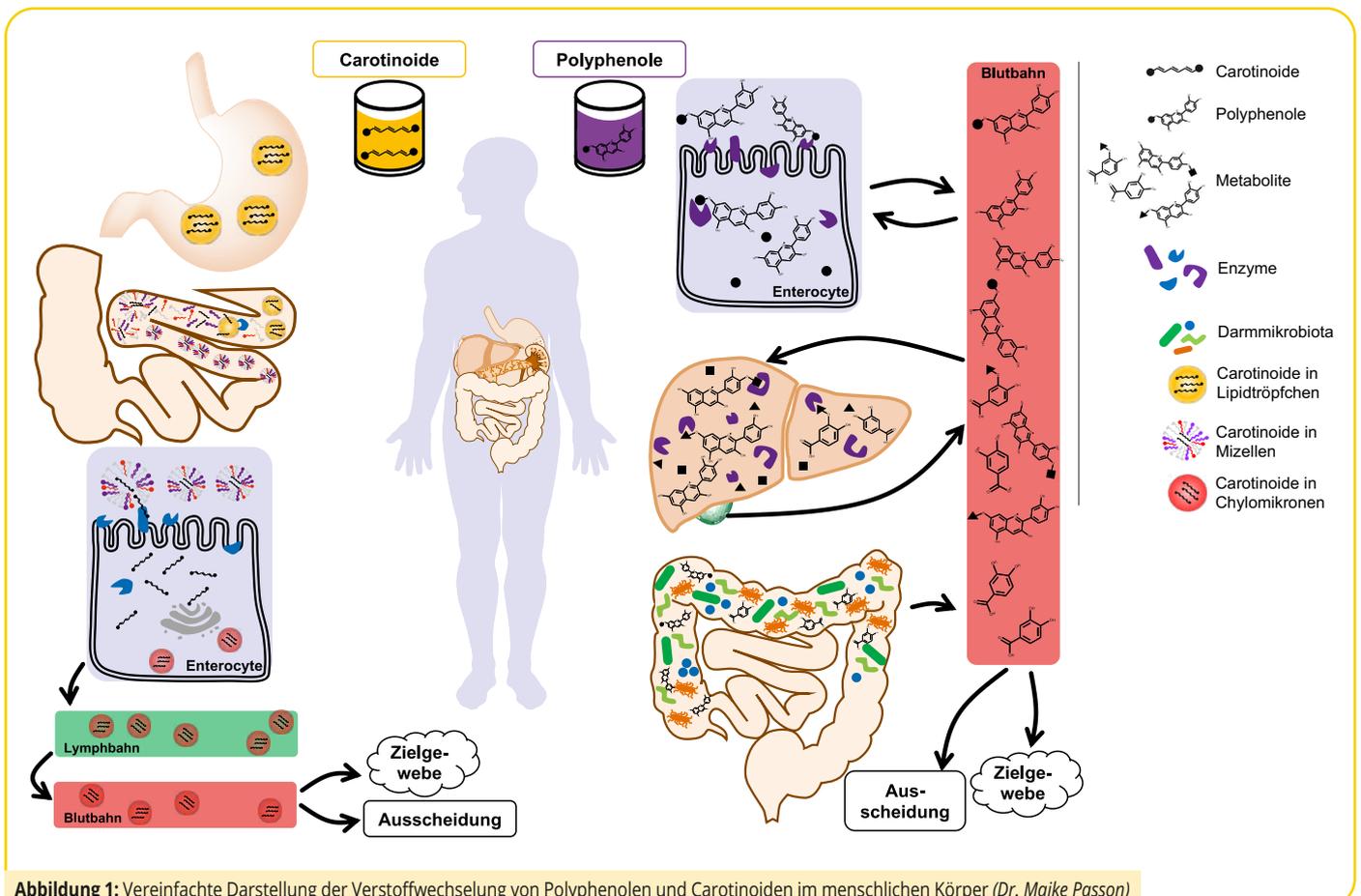


Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung der Verstoffwechslung von Polyphenolen und Carotinoiden im menschlichen Körper (Dr. Maike Passon)

## Carotinoide

Carotinoide werden aufgrund ihrer niedrigen Polarität gänzlich anders absorbiert und metabolisiert als phenolische Verbindungen (**Abb. 1**). Nachdem sie aus der Lebensmittelmatrix freigesetzt sind, werden sie im Dünndarm mit Gallensäuren und anderen Lipiden in Mizellen überführt. Diese Mizellen diffundieren teilweise passiv durch die Zellmembran der Mukoszellen; allerdings wurden auch aktive Transporter beschrieben. In den Enterocyten werden die Carotinoide in Chylomikronen integriert und über die Lymphe und die Blutbahn im Körper verteilt. Die Zusammensetzung des Lebensmittels und damit die vorangegangene Verarbeitung beeinflussen auch die Bioverfügbarkeit der Carotinoide (*Canene-Adams, Erdman 2009*). Die primär gebildeten Mizellen enthalten Mono-, Di- und Triglyceride sowie Cholesterin und Phospholipide, die bereits im Lebensmittel enthalten sein können. Andere Lebensmittelbestandteile wie hohe Konzentrationen an Pektin oder bestimmte Mineralstoffe können die Mizellierung erschweren und damit die Bioverfügbarkeit senken. Wie bei den Polyphenolen fehlen auch hier oft systematische Untersuchungen zum Einfluss der Lebensmittelverarbeitung auf Bioverfügbarkeit und Bioaktivität. Die Vielzahl an strukturell sehr ähnlichen Verbindungen erschwert hier bereits im Lebensmittel die Bestimmung der Gehalte von Einzelsubstanzen und damit Rückschlüsse auf Struktur-Wirkungs-Beziehungen.

### Einfluss der Verarbeitung auf sekundäre Pflanzenstoffe

#### Gehalte an wertgebenden Pflanzenstoffen

Aufgrund ihrer sensorischen und ernährungsphysiologischen Relevanz spielt die Anwesenheit sekundärer Pflanzenstoffe bei der Safterstellung aus technologischer Sicht eine wichtige Rolle. So ist während der Verarbeitung der Früchte darauf zu achten, dass wertgebende Inhaltsstoffe in hohen Mengen ins Produkt gelangen, wertmindernde, zum Beispiel Bitterstoffe, dagegen nur in geringen. Neben dieser selektiven Anreicherung oder Extraktion spielt die Ver-

hinderung der enzymatischen Bräunung eine herausragende Rolle. Die enzymatische Oxidation von phenolischen Verbindungen führt zur Bildung brauner Polymere, die die Farbe eines Saftes bis zu dessen Verkehrsunfähigkeit verändern können.

In der Regel lässt sich die Oxidation durch eine thermische Inaktivierung der entsprechenden Enzyme vermeiden. Allerdings gelten frische, nicht pasteurisierte Fruchtprodukte mit hohen Gehalten an sekundären Pflanzenstoffen als besonders gesund und werden als „Functional Food“ hochpreisig vermarktet. Konventionell hergestellte Pürees, Säfte oder Smoothies durchlaufen Pasteurisationsverfahren, die mit einer relativ hohen thermischen Belastung der Produkte verbunden sind.

Diese ist den Gehalten an sekundären Pflanzenstoffen abträglich. Daher wurden alternative Haltbarmachungsverfahren entwickelt, die eine schonende Herstellung und damit den Erhalt sensorischer Eigenschaften und wertgebender Inhaltsstoffe gewährleisten sollen.

Zu den Qualitätsmerkmalen entsprechend verarbeiteter Säfte zählen ein möglichst natürliches Aroma, frischer Geschmack und hohe Gehalte an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen. Besonders die Hochdruckbehandlung (HPP, high pressure processing) und die Behandlung mit gepulsten elektrischen Feldern (PEF, pulsed electric fields) kommen als alternative Haltbarmachungsverfahren zum Einsatz (*Tiwari et al. 2013*).

Gleichzeitig lassen sich auch konventionelle Schritte bei der Verarbeitung, wie die enzymatische Maischebehandlung oder die Inaktivierung qualitätsmindernder Enzyme hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf sekundäre Pflanzenstoffe weiter optimieren (*Weber, Larsen 2017*). Der enzymatische Abbau der Zellwandpolysaccharide, vor allem des Pektins, bewirkt eine Viskositätsverringerung und damit die Steigerung der Saftausbeute. Zusätzlich verbessert sich die Extraktion der sekundären Pflanzeninhaltsstoffe (*Dinkova et al. 2014; Sandri et al. 2013*).

Kommerzielle Enzympräparate können eine Vielzahl verschiedener Enzymaktivitäten umfassen, etwa Polygalacturonase-, Beta-Glucosidase- oder Pektinaseaktivität. Die verschiedenen Früchte



Foto: © lidante/stockadobe.com

Um Carotinoide aus Gemüse und Obst bestmöglich für den Körper verfügbar zu machen, empfiehlt sich die gleichzeitige Aufnahme von Fett oder Öl.

wiederum enthalten eine große Bandbreite an Pektinstrukturen. Das macht es notwendig, Enzympräparat und -dosierung auf die jeweilige Frucht abzustimmen (*Heffels et al. 2017a; Koponen et al. 2008; Landbo, Meyer 2004*). Die unsachgemäße Verwendung kommerzieller Enzympräparate birgt die Gefahr unerwünschter Effekte. So können hohe Dosierungen zum Abbau der Anthocyane durch Abspaltung der glycosidisch gebundenen Zucker führen (*Buchert et al. 2005; Koponen et al. 2008*). Aufgrund der Vielzahl an verfügbaren Präparaten und der stark unterschiedlichen Rohwaren existieren kaum Anwendungsempfehlungen. Da Saftersteller Enzymaktivitäten in der Regel nicht selbst charakterisieren, dosieren sie die Enzyme in der Praxis häufig nach Erfahrungswerten. Ähnliches gilt für thermische Behandlungen, die vor, während und nach dem Einsatz von Enzymen stattfinden. Letztlich dient die thermische Behandlung der mikrobiellen Sicherheit des Produktes, sodass oft noch weitere, teilweise massivere Verfahrensschritte wie Heißabfüllung oder Pasteurisation der gefüllten Flaschen hinzukommen. Für die moderne Safterstellung resultiert daraus, die Produktion gezielt auf die jeweilige Frucht abzustimmen.

#### Bioverfügbarkeit sekundärer Pflanzenstoffe

Dass die Verarbeitung nicht nur die Gehalte sekundärer Pflanzenstoffe direkt beeinflusst, sondern auch indirekt deren Bioverfügbarkeit, rückt zunehmend

in den Fokus der Wissenschaft. Neben positiven Wirkungen (z. B. höhere Saftausbeute und höhere Gehalte an sekundären Pflanzenstoffen) können sekundäre Effekte die Bioverfügbarkeit beeinträchtigen, etwa durch die Interaktion sekundärer Pflanzenstoffe mit anderen Lebensmittelinhaltsstoffen, die erst durch die Verarbeitung entstehen. Beispielsweise liegen Polyphenole in den Pflanzenzellen oft an Zellwände gebunden vor. Neben Interaktionen mit den Zellwandpolysacchariden können Reaktionen während der Verarbeitung stattfinden, die die Polyphenole direkt verändern. So beeinflusst etwa die Abspaltung von Zuckerresten die Bioverfügbarkeit.

Bekannt ist, dass Ballaststoffe (z. B. Pektin) die Freisetzung von phenolischen Verbindungen und damit ihre Aufnahme reduzieren können, da eine Interaktion sowohl über die hydrophilen als auch die hydrophoben Gruppen beider Moleküle möglich ist. Gleichzeitig erhöht die unlösliche Fraktion solcher Ballaststoffe die Viskosität der umgebenden Flüssigkeit, so dass der Transport von Substrat oder Enzym und damit die Metabolisierung eingeschränkt sein können (Quirós-Sauceda et al. 2014). Auch hier kann eine Enzymbehandlung der Früchte die negativen Effekte minimieren, indem Zellwandbestandteile abgebaut werden und die Interaktionen insgesamt zurückgehen.

Die Viskositätserhöhung durch Pektin und andere Hydrokolloide kann auch die Bioverfügbarkeit von Carotinoiden beeinflussen, indem sie die Diffusion von Carotinoiden und Lipasen in die Öltröpfchen/Mizellen reduzieren (Cervantes-Paz et al. 2016).

Carotinoide kommen in den pflanzlichen Zellen in Chromoplasten vor. Sie sind dort in unterschiedlichen Strukturen mit Proteinen verknüpft (z. B. in Mangos) oder liegen kristallin vor (z. B. in roten Papayas und Karotten). Die Fruchtverarbeitung zerstört diese Chromoplasten nur teilweise. Vor allem kristalline Strukturen zeigen eine hohe Stabilität, die den Einbau in die Mizellen erschwert. Die gleichzeitige Aufnahme von Öl kann solche kristallinen Strukturen lösen und damit die Bioverfügbarkeit der Carotinoide erhöhen (Schweiggert, Carle 2017).

Calcium und andere zweiwertige Kationen können freie Fettsäuren und Gallensalze komplexieren – das verhindert die Bildung von gemischten Mizellen gänzlich (Corte-Real et al. 2016).

## Diskussion

Aschoff et al. (2015) konnten in ihrer Studie zeigen, dass die Bioverfügbarkeit von Polyphenolen und Carotinoiden beim Verzehr eines Orangensafts höher ist als beim Verzehr frischer Orangen. Eine thermische Behandlung des

frisch gepressten Saftes steigerte die Bioverfügbarkeit noch einmal. Die Autoren stellten eine Verringerung des Polyphenolgehalts im Saft durch die Verarbeitung auf etwa ein Zehntel fest; die Bioverfügbarkeit der verbleibenden Polyphenole stieg allerdings um das Fünffache. Die Studie macht deutlich, dass sich die Verarbeitung positiv auf die Bioverfügbarkeit der sekundären Pflanzenstoffe auswirken kann, nicht jedoch auf deren Gehalte im fertigen Produkt.

Das zeigt das Dilemma der Fruchtverarbeitung insgesamt auf: Einerseits müssen Säfte behandelt werden, um eine lohnende Ausbeute sowie mikrobielle Sicherheit und Lagerfähigkeit zu gewährleisten; andererseits können die Gehalte an wertgebenden Inhaltsstoffen durch die Verarbeitung sinken. Die Bioverfügbarkeit selbst hängt von der Freisetzung der sekundären Pflanzenstoffe und anderer Inhaltsstoffe ab. Hinzu kommt, dass auch nach der Herstellung in den Säften noch Reaktionen stattfinden, die die Resorption sekundärer Pflanzenstoffe im Darm weiter beeinflussen. Aus diesem komplexen Zusammenspiel ergibt sich viel Raum für zukünftige Forschung und Optimierung der Safterstellung.

## Fazit

Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe in Früchten rücken aufgrund ihrer vielfältigen ernährungsphysiologischen und sensorischen Eigenschaften in der Wissenschaft, der fruchtverarbeitenden Industrie und beim Verbraucher in den Fokus. Bewährte und neue Technologien zielen auf hohe Gehalte an phenolischen Verbindungen und Carotinoiden ab, um Fruchtsäfte mit hoher Farbkraft herzustellen, die zusätzlich die menschliche Gesundheit positiv unterstützen. Derzeit sind noch viele Fragen zum komplexen Zusammenspiel zwischen Herstellungsverfahren und Bioverfügbarkeit offen, so dass Wissenschaft und Industrie gemeinsam an neuen Verfahren zur schonenden Herstellung qualitativ hochwertiger Säfte arbeiten können. ●

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<



Die Verarbeitung muss genau auf die jeweilige Frucht abgestimmt sein, um beste Ergebnisse zu erzielen.



Foto: © New Africa/stock.adobe.com

# Lebensmittelallergene: Möglichkeiten und Grenzen der technologischen Beeinflussung

DIPL.-LM-CHEM. MARK DUBE • DR. SYBILLE NEIDHART • PROF. DR. DR. REINHOLD CARLE

**Allergische Erkrankungen sind bereits seit Jahrhunderten bekannt. Schon in der antiken medizinischen Literatur werden entsprechende Krankheitsbilder beschrieben. Der Begriff Allergie ist auf den Wiener Kinderarzt Clemens von Pirquet (1906) zurückzuführen, der damit ganz allgemein eine spezifisch veränderte Reaktionsfähigkeit des Organismus bezeichnete.**

Heute versteht man darunter „eine spezifische Änderung der Immunitätslage im Sinne einer krankmachenden Überempfindlichkeit“. Als Allergie sind daher einzig diejenigen klinischen Krankheitsbilder zu bezeichnen, deren charakteristische Symptome aus immunologischen Mechanismen hervorgehen. Eine „echte“ Lebensmittelallergie wird als nichttoxische, immunvermittelte Überempfindlichkeitsreaktion im Sinne ei-

ner Soforttyp-Reaktion (Typ-I-Reaktion) klassifiziert und ist somit von den nicht-immunvermittelten Lebensmittelintoleranzen (z. B. Laktoseintoleranz, Zöliakie, pseudoallergische Reaktionen) eindeutig abzugrenzen (**Abb. 1**). Bei einer Allergie kommt es zu einer spezifischen Wechselwirkung zwischen Allergenen und dem Immunsystem (Antigen-Antikörper-Reaktion). Als Allergene bezeichnet man allgemein Substanzen, die über eine Aktivierung von B-Lymphozyten die Produktion spezifischer Antikörper (Immunoglobuline) beziehungsweise über eine Aktivierung der T-Lymphozyten eine Immunantwort auslösen.

Die durch Lebensmittel verursachten allergischen Krankheitsbilder sind sehr vielfältig. Zu den am häufigsten betroffenen Organen zählen die Haut sowie der Respirations- und Gastrointestinaltrakt. Jedoch ist der Zusammenhang der Nahrungsaufnahme mit verzögert auftretenden Symptomen wie Diarrhö,

Urticaria oder sogar anaphylaktischen Schockreaktionen häufig nur schwer zu verifizieren. Aufgrund dieser Problematik und dem leichtfertigen Umgang mit dem Begriff der Allergie wird der Anteil der von einer allergischen Erkrankung betroffenen Individuen häufig viel zu hoch eingeschätzt. In einer Befragung von 1.483 Personen glaubten 12,4 Prozent, an einer Lebensmittelallergie zu leiden, während die nachgewiesene Häufigkeit nur 2,4 Prozent betrug. Trotz der in zahlreichen epidemiologischen Studien belegten Zunahme an erkrankten Lebensmittelallergikern wird der Anteil bei Erwachsenen nur mit ein bis drei Prozent und bei Kindern mit fünf bis acht Prozent angegeben. Bis zum dritten Lebensjahr erfolgt die Sensibilisierung ausschließlich über den Gastrointestinaltrakt und richtet sich vor allem gegen Kuhmilch und/oder Hühnereier, wobei die allergischen Krankheitsbilder meist mit zunehmendem Alter wieder abnehmen.

### Antigen-Antikörper-Reaktion

Über 90 Prozent der bekannten Lebensmittelallergene sind Proteine oder Glykoproteine mit Molekulargewichten zwischen 9 und 70 kDa (kilo Dalton; in der Biochemie gebräuchliche Masseinheit; ein Dalton entspricht der Masse von 1/12 <sup>12</sup>C-Atom). Die Fähigkeit des Moleküls, eine Immunreaktion auszulösen (Immunogenität), bestimmt die untere Grenze, während die Schleimhautpermeabilität der Allergene das Molekulargewicht nach oben begrenzt. Bei einem mittleren Molekulargewicht eines Aminosäurerests von 110 bis 120 entspricht dies Polypeptiden bestehend aus 80 bis 600 Aminosäuren. Entscheidend für die Wechselwirkung des Allergens mit Immunoglobulinen ist seine Erkennungszone, das so genannte Epitop. Proteinmoleküle tragen mehrere Epitope, allerdings ist ihre Zahl relativ begrenzt. Man unterscheidet zwischen Sequenz- und Konformationsepitopen. Sequenzepitope sind ausschließlich durch ihre Primärstruktur (Aminosäuresequenz) definiert, während Konformationsepitope durch die räumliche Anordnung bestimmt und somit durch die diskontinuierlichen Abschnitte der Polypeptid-

kette gebildet werden (Abb. 2). Die Reaktion eines Antikörpers mit strukturell verwandten Epitopen unterschiedlicher Allergene wird als Kreuzreaktion bezeichnet.

### Klassifizierung pflanzlicher Lebensmittelallergene

Die wesentlichen pflanzlichen Lebensmittelallergene lassen sich nach dem Weg der Sensibilisierung in zwei Gruppen einteilen. Diese kann durch eine Inhalation oder über den Gastrointestinaltrakt erfolgen. Viele Pollenallergiker leiden gleichzeitig an einer Lebensmittelallergie. Die Aminosäuresequenz des allergenen Proteins Mal d 1 des Apfels stimmt weitgehend mit dem Epitop des Birkenpollenallergens Bet v 1 überein, so dass hier häufig eine Kreuzreaktivität zwischen dem Inhalationsallergen aus Birkenpollen und dem oral aufgenommenen Lebensmittelallergen zu beobachten ist. Neben den Homologen des Birkenpollenallergens gehören Profilin, Chitinasen, Thaumatinartige Proteine und Cystein-Proteasen zu dieser Gruppe. Für viele Speicherproteine von Leguminosen, Nüssen und Getreidearten ist die Sensibilisierung über die Aufnahme

der allergenen Proteine durch den Gastrointestinaltrakt typisch. Bei diesen Allergenen handelt es sich hauptsächlich um Globuline, Prolamine und Albumine. Ferner spielen Trypsin- und Amylase-Inhibitoren aus Cerealien als Lebensmittelallergene eine bedeutende Rolle. So ist zum Beispiel die bekannte Bäckerallergie auf einen Amylase-Inhibitor aus dem Weizenmehl zurückzuführen. In diesem Fall erfolgt die Sensibilisierung – als Ausnahme von der Regel – über die Lunge. Neben den Speicherproteinen und Enzyminhibitoren ist die Gruppe der unspezifischen Lipidtransfer-Proteine (LTP) erwähnenswert. Diese Proteine sind vorzugsweise in der Frucht- oder Samenschale lokalisiert und spielen für die Pflanze eine wichtige Rolle beim Transport von Korkbausteinen. Es fällt auf, dass die meisten allergenen Proteine nicht unmittelbar am Primärstoffwechsel der Pflanze beteiligt sind, sei es als Enzym oder als Strukturprotein. Vielmehr nehmen die allergenen Proteine in der Pflanze andere vitale Funktionen wahr, vorzugsweise als Speicherproteine oder in der Abwehr von Pathogenen. Chitinasen dienen beispielsweise dem Abbau von Zellwänden phytopathogener Pilze, und Trypsin- beziehungsweise Amylase-Inhibitoren sollen die Vorratsstoffe der Pflanze vor dem Angriff von Insekten und Pilzen schützen. Ein züchterischer Ansatz zur Entfernung solcher Proteine erscheint daher wenig aussichtsreich.

### Verfahren zur Verminderung des allergenen Potenzials

Während der Herstellung von Lebensmitteln ist deren mögliche Allergenität durch zahlreiche Prozessschritte beeinflussbar (Tab. 1), wobei es allerdings auch zu einer Zunahme des allergenen Potenzials kommen kann. Da die Sequenz eines Proteins relativ stabil gegen mechanische, thermische und chemische Behandlung ist, sind die Möglichkeiten der technologischen Beeinflussung von Sequenzepitopen äußerst gering. Demgegenüber kann die Konformation eines Proteins auf vielfältige Weise technologisch beeinflusst werden. Derartige Verfahren, wie zum Beispiel Hitze- oder Druckbehandlung, erscheinen daher auch zur Verminderung des allergenen Potenzials von Lebens-

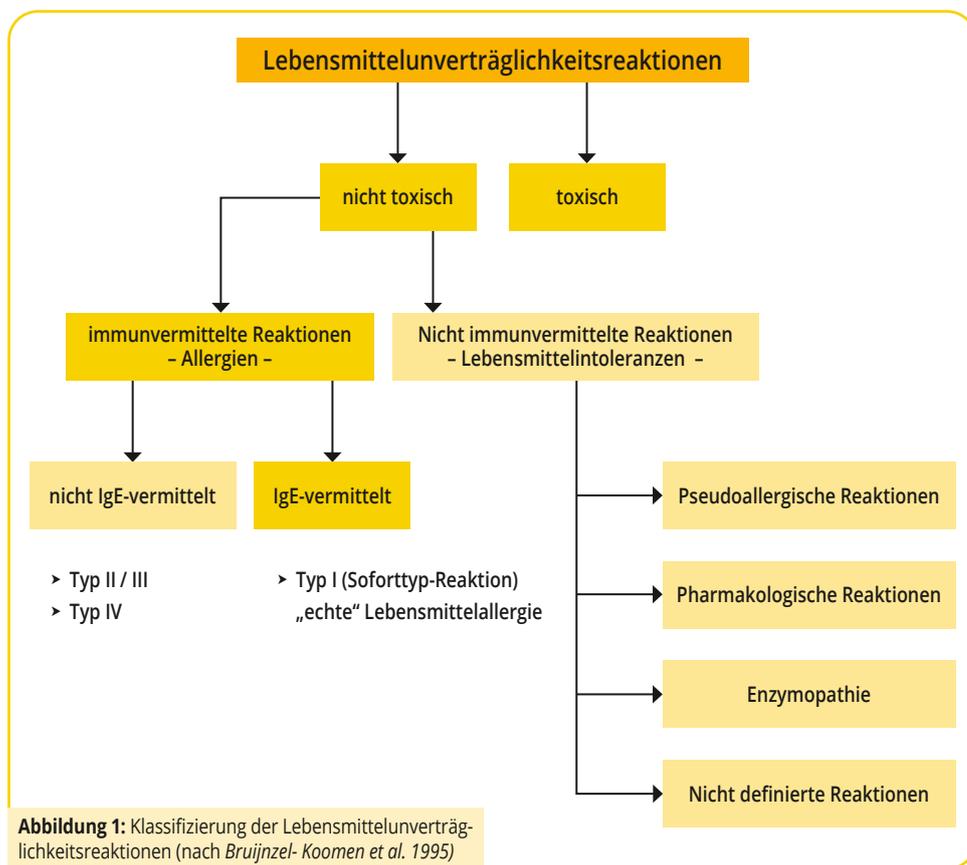
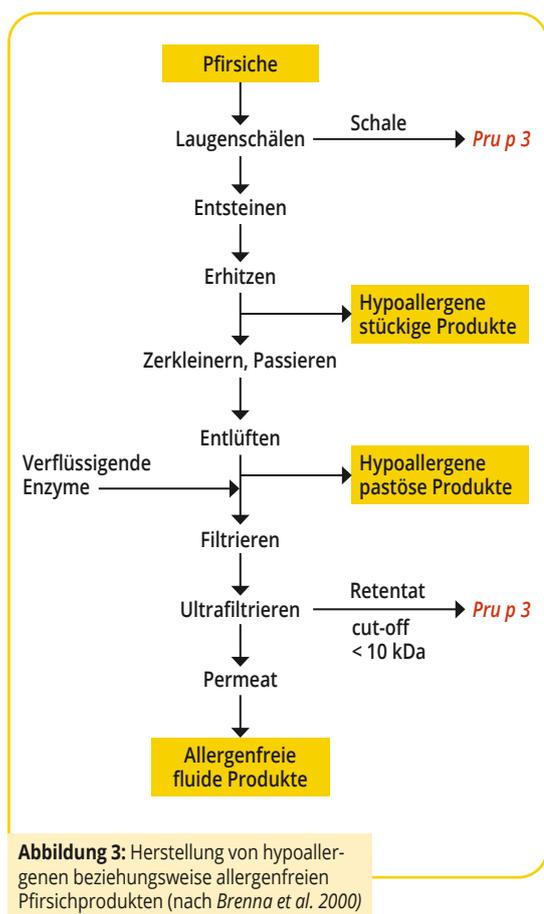


Abbildung 1: Klassifizierung der Lebensmittelunverträglichkeitsreaktionen (nach Bruijnzel- Koomen et al. 1995)





ren bis 155 Grad Celsius bei einer Erhitzungsdauer von 15 Minuten. Ein Allergen mit einem Molekulargewicht kleiner als zehn kDa ließ sich sogar noch nach intensiverer Temperatureinwirkung detektieren. Bei der Erhitzung war für einen Allergenitätsverlust die maximal angewandte Temperatur von Bedeutung, während die Erhitzungsdauer von bis zu 90 Minuten bei einer Temperatur von 100 Grad Celsius keinen Einfluss auf das allergene Potenzial hatte. Auch die allergenen Proteine der Lupine sind äußerst stabil gegenüber thermischen Einflüssen. Weder die Erhitzung in der Mikrowelle noch im Wasserbad (15 bis 60 min) oder Autoklaven (121 °C, 5 bis 20 min) führte zu einer merklichen Abnahme der Allergenität. Nur unter extremen Bedingungen (Autoklav, 138 °C, 20 bis 30 min) ließ sich das allergene Potenzial im Vergleich zur unbehandelten Saat um circa 40 Prozent senken. Hierbei zeigte sich, dass die ursprünglich dominierenden allergenen Proteine mit einem Molekulargewicht von 23 und 29 kDa vermindert wurden, jedoch ein 70 kDa schweres so genanntes Neoallergen entstand. Die Bildung von Neoallergenen war auch in anderen pflanz-

lichen Lebensmitteln, wie zum Beispiel Soja und Pekannuss, nachweisbar. Beim Erhitzen von Erdnüssen hat sich Kochen gegenüber dem Rösten der getrockneten Samen als vorteilhaft im Hinblick auf die Allergenreduktion erwiesen. Offensichtlich entstehen beim trockenen Erhitzen (Rösten) über die Bildung von Maillard-Produkten Neoallergene. Interessanterweise sind in China, wo Erdnüsse vorzugsweise gekocht verzehrt werden, wesentlich seltener Erdnussallergien zu beobachten als in den USA, wo Erdnüsse vor allem geröstet werden. Möglicherweise lassen sich diese ethnischen Unterschiede in der Häufigkeit der Erdnussallergie mit der unterschiedlichen Zubereitung erklären. Diese Beispiele verdeutlichen die Komplexität der chemischen Modifizierungen, die während der thermischen Behandlung auftreten. Dazu gehören nicht nur die Bildung von Maillard-Produkten, sondern auch Reaktionen der Proteine mit oxidierten Fetten und die Desaminierung von Asparagin.

## Enzymatischer Abbau von Allergenen

Der proteolytische Abbau allergener Proteine, das heißt ihre „Verdauung“, sollte zur völligen Eliminierung von Allergenen führen. Allein die Tatsache, dass die Sensibilisierung durch wichtige Lebensmittelallergene über ihre Aufnahme durch den Gastrointestinaltrakt erfolgt, macht allerdings deutlich, dass die Verdauungsenzyme Pepsin, Trypsin oder Chymotrypsin viele Allergene nicht abbauen. Voraussetzung für den enzymatischen Abbau ist neben der Spezifität der Proteasen vor allem die Zugänglichkeit des Epitops. Aus diesem Grund sind thermisch denaturierte Proteine viel leichter angreifbar als die nativen Allergene. Vielfach müssen daher thermische und biochemische Maßnahmen kombiniert werden. Dies hat jedoch häufig schwerwiegende nachteilige Veränderungen des Lebensmittels zur Folge. So beeinträchtigt einerseits der Abbau von Kleberproteinen die Backeigenschaft und Textur des Lebensmittels erheblich. Andererseits führt auch bereits die Erhitzung zu sensorischen Veränderungen des Lebensmittels. Während die Enzymierung von Pfirsichsaft mittels ausgewählter Proteasen aus *Aspergillus* und *Rhizopus* sowie die Maischeenzy-

mierung bei der Karottensafterherstellung unter Nutzung proteolytischer Nebenaktivitäten erfolglos blieben, gelang die Herstellung hypoallergener backfähiger Weizenmehle durch Bromelain-Hydrolyse der allergenen Prolamine. Auf ähnlichem Weg, ebenfalls unter Verwendung einer Protease, ließ sich ein hypoallergenes Reismehl mit ausreichenden Backeigenschaften erzeugen (Tab. 2).

Am Beispiel der Püree- und Nektarherstellung aus Mango betrachtete man den Einfluss des enzymatischen Gewebeaufschlusses mit Pektinasen. Dadurch kann es zu einer potenziellen Freisetzung von allergenen Proteinen kommen. Aufgrund proteindenaturierender Wechselwirkungen von gleichzeitig freigesetzten anderen Mangoinhaltsstoffen, zum Beispiel Polyphenolen, ist aber eine Verminderung des allergenen Potenzials der Mango denkbar. Die allergologischen Untersuchungen der Püreevarianten ergaben jedoch unabhängig von der Enzymierungsdauer und -temperatur sowie der eingesetzten Enzymdosis eine nahezu unveränderte Allergenität. Setzt man Haselnussproteine einer 60-minütigen Behandlung mit Pepsin aus, so kommt es zu einer geringen Abnahme der Allergenität. Selbst nach vier Stunden war noch eine Restallergenität zu beobachten. Im Gegensatz dazu ließ sich mit Trypsin, Elastase oder Pancreatin nach einer Inkubationsdauer von 30 Minuten eine deutliche Abnahme des allergenen Potenzials erzielen.

Auch bei der Fermentation von Lebensmitteln können proteolytische Aktivitäten von Fermentationsmikroorganismen unter Umständen zu einer Reduktion des allergenen Potenzials führen. Ebenso wie säurehydrolysierte Sojaölse wiesen fermentierte Sojaprodukte eine deutlich verminderte Immunglobulin-Bindung auf. Allerdings war in allen Produkten weiterhin ein allergenes Potenzial nachzuweisen. Die chemische und mikrobiologische Proteolyse sind demnach unzulängliche Verfahren zur Herstellung allergenfreier Sojaprodukte.

## Enzymatische Hemmung und Modifikation von Allergenen

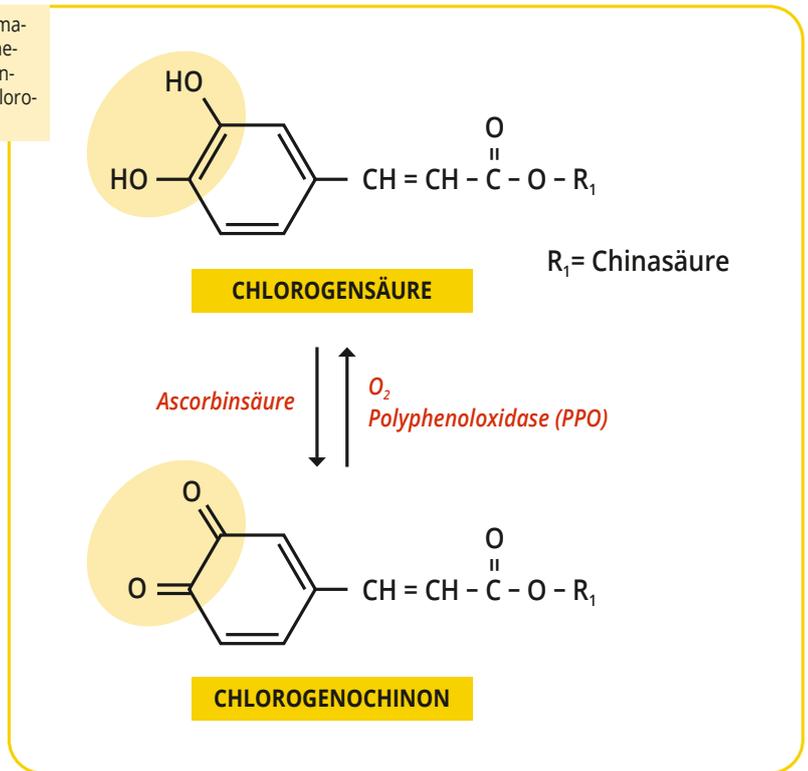
In Gegenwart von Luftsauerstoff werden im Verlauf der Apfelsafterherstellung *o*-Diphenole unter dem Einfluss der Polyphenoloxidase (PPO) zu reakti-

ven o-Chinonen umgesetzt (**Abb. 4**). Das im Apfel mengenmäßig dominierende Chlorogenochinon kann mit Amino- und Sulfhydrylfunktionen von Proteinen Addukte ausbilden und sogar zu Quervernetzungen von Proteinen führen. Dieser Sachverhalt ist vor allem bei Lebensmitteln mit hoher Bräunungstendenz, also hoher PPO-Aktivität, von allergologischer Relevanz. Apfelallergene verlieren ihre Allergenität, wenn sie mit oxidierten phenolischen Inhaltsstoffen der Frucht reagieren. Bei modernen Apfelsorten (z. B. Golden Delicious, Braeburn, Fuji) wurden die Substrate der PPO weitgehend züchterisch eliminiert. Interessanterweise besitzen diese Sorten eine hohe Allergenität, während einzelne Allergiker alte Sorten (Boskoop, Brettacher) sogar beschwerdefrei verzehren können. Es zeigte sich, dass eine verlängerte Maischestandzeit (2 bis 3 Stunden) unter oxidativen Bedingungen (Luftzufuhr) zu einem deutlichen Rückgang der Allergenität von fluiden Zwischenprodukten der Apfelsaftherstellung führte, obwohl die Sorte „Golden Delicious“ verwendet wurde. Bei Auswahl eines gerbstoffreicheren Apfels (z. B. Brettacher) wäre das Ergebnis noch eindrucksvoller ausgefallen. Basierend auf dieser Erkenntnis versuchte man, die Oxidation der Apfelpolyphenole zur enzymatischen Inaktivierung der hitzestabilen Karottenallergene zu nutzen. Hierzu wurde unter oxidativen Bedingungen ein Apfel-Karotten-Mischsaft hergestellt. Leider ließ sich das allergene Potenzial der Karotte auf diesem Weg nicht reduzieren, was möglicherweise an einer Hemmung der Polyphenoloxidation lag. Plausibler erscheint allerdings, dass der hohe Proteingehalt der Karottensäfte (ca. 300 mg/g Trub) die Umsetzung des allergenen Karottenproteins mit Apfelpolyphenolen behinderte.

**Fazit**

Wie die im Rahmen eines Forschungsprojektes in Kooperation mit dem Institut für Lebensmittelchemie der Universität Hamburg (Leitung: Prof. Dr. Dr. Steinhart) erzielten Ergebnisse und die Untersuchungen anderer Arbeitsgruppen zeigen, sind die Möglichkeiten herkömmlicher technologischer Verfahren zur Verminderung des allergenen Potenzials pflanzlicher Lebensmittel begrenzt. Während in flüssigen Lebensmit-

**Abbildung 4:** Enzymatische Oxidation phenolischer Verbindungen am Beispiel Chlorogensäure



teln unter Umständen eine vollständige Entfernung der Allergene durch Ultrafiltration möglich ist, schränken komplexere Matrices die Anwendung texturverändernder Inaktivierungsmaßnahmen wesentlich ein. In allen Fällen ist mit sensorischen und ernährungsphysiologischen Veränderungen des Lebensmittels zu rechnen. Technologische Verfahren, die nur zu einer reversiblen Modifikation oder unvollständigen Inaktivierung von Allergenen führen, wie isoelektrische Fällung, Aussalzen, mechanische Schädigung oder Kältedenaturierung allergener Proteine, sind für die Praxis aus Gründen der Lebensmittelsicherheit ohne Relevanz, da bereits geringe Mengen eines Lebensmittelallergens unerwünschte, unter Umständen lebensbedrohliche Reaktionen auslösen können.

Aus diesem Grund ist auch die Festlegung von Grenzwerten für Allergene in Lebensmitteln nicht sinnvoll. Basierend auf einer EU-Richtlinie sollen ab November 2005 bestimmte Lebensmittel, die als Auslöser von Überempfindlichkeiten bekannt sind, zum besseren Gesundheitsschutz betroffener Verbraucher kenntlich gemacht werden. Nach der neuen Regelung sind die wichtigsten Allergene, die etwa 90 Prozent aller Nahrungsmittelallergien verursachen, ohne

**Tabelle 2: Anwendung von Enzymen zur Eliminierung von Allergenen**

Erfolgslos:	
Pfirsichsaft	Enzymierung mit Proteasen aus <i>Aspergillus</i> und <i>Rhizopus</i> (Brenna et al. 2000)
Karottensaft	Nutzung proteolytischer Nebenaktivitäten bei der Maischeenzymierung (Wigotzki 2001)
Mangopüree	Enzymatischer Gewebeaufschluss mittels Pektinasen (Dube et al. 2004)
Erfolgreich:	
Hypoallergenes Weizenmehl	Bromelain-Hydrolyse der allergenen Prolamine (Tanabe et al. 1996)
Hypoallergenes Reismehl	Anwendung einer Protease (Watanabe et al. 1990)

Ausnahme stets im Zutatenverzeichnis zu deklarieren. Die Liste der potenziell allergieauslösenden Zutaten umfasst derzeit glutenhaltiges Getreide, Krebstiere, Eier, Fisch, Erdnüsse, Soja, Milch, Schalenfrüchte, Sellerie, Senf, Sesamsamen und die Erzeugnisse aus diesen Lebensmitteln. So haben Allergiker künftig die Möglichkeit, bereits am Etikett zu erkennen, ob das Lebensmittel allergene Zutaten enthält. Die Kennzeichnungspflicht gilt jedoch nur für verpackte Lebensmittel. ●



Foto: © kostreza/stock.adobe.com

# Sojagetränke – Voll im Trend

PROF. DR. FLORIAN C. STINTZING • MANUEL HOFFMAN • PROF. DR. DR. REINHOLD CARLE

**Seit 1999 Sojaprodukte in den USA mit dem Slogan „Good for your heart!“ ausgelobt werden dürfen, entwickelte sich – getragen vom allgemeinen Wellness- und Gesundheitstrend – aus einem Nischenprodukt für Milchallergiker und Veganer ein modernes Getränk für ein breites Konsumentenspektrum. Obwohl in der EU vergleichbare gesundheitsbezogene Angaben (Health Claims) nicht erlaubt sind, sind inzwischen auch in Deutschland hohe Zuwachsraten für Sojaprodukte zu verzeichnen.**

Getränke auf Sojabasis erfreuen sich hierzulande besonderer Beliebtheit. Wurden 2001 in Deutschland noch etwa neun Millionen Liter Sojagetränke verkauft, so stieg der Absatz im Jahr 2003 auf 13 Millionen Liter an. Für 2005 wurde weiteres Wachstum prognostiziert (Liu 2000). Ausschlaggebend für den Erfolg der Sojagetränke sind zum einen der hohe Gehalt an wertvollem Protein, zum anderen die Isoflavone, die als funktionelle Inhaltsstoffe das Interesse der Öffentlichkeit geweckt haben.

## Herkunft und Anbau der Sojabohne

Die kultivierte Form der Sojabohne (*Glycine max* [L.] Merr.) gehört zur Familie der Fabaceae (Bohengewächse, ehemals Schmetterlingsblütler), die oft unrichtig mit dem alten Ordnungsamen Leguminosen (Hülsenfrüchtler) bezeichnet werden. Die einjährige Pflanze wächst strauchig und erreicht eine Höhe von 0,50 bis 1,25 Meter. Die stark behaarten Hülsen enthalten die Samen, die eigentlichen Sojabohnen, die meist gelb oder grün sind. Reife Sojabohnen weisen einen Durchmesser von vier bis acht Millimeter auf. Ihre Formenvielfalt reicht von oval bis nierenförmig.

Der historische und geografische Ursprung der Sojabohne ist China, wo sie bereits um 2.700 vor Christus kultiviert wurde. Von dort aus verbreitete sie sich vor über 1.000 Jahren im gesamten asiatischen Raum und bildet bis heute die Grundlage für Produkte wie Sojadrink, Tofu oder Sojasoße. Europa und Nordamerika erreichte die Sojabohne erst-

mals im 18. Jahrhundert, wo sie aber erst seit Anfang des 20. Jahrhunderts in nennenswertem Umfang angebaut wird. Seitdem hat sich Soja zu einer der wichtigsten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen entwickelt. Die Weltjahresproduktion von Sojabohnen betrug 2019 über 333 Millionen Tonnen. Brasilien hat inzwischen die führende Rolle eingenommen und produzierte 2019 über 114 Millionen Tonnen, während die USA auf knapp 96 Millionen Tonnen kamen. Weitere starke Sojaproduzenten sind nach wie vor Argentinien, China, Indien, Paraguay und Kanada (FAOSTAT 2021). Der Einsatz gentechnisch veränderten Saatguts (GMO) ist heutzutage weitverbreitet und erreicht Anteile von 50 bis 60 Prozent. Bei der Einführung in die EU sind Produkte aus gentechnisch verändertem Soja sowohl im Futter- als auch im Lebensmittelbereich kennzeichnungspflichtig. Allerdings ist insbesondere in der EU eine Gegenbewegung festzustellen, die den Anbau und die Verarbeitung GMO-freien Sojas propagiert (Liu 2004).

Die Sojabohne leistet einen wesentlichen Beitrag zur menschlichen Ernährung und ist als Futtermittel in der Nutztierhaltung unentbehrlich. Zudem dient sie der Lebensmittelindustrie als Rohstoff, etwa zur Gewinnung von Lecithin.

### Inhaltsstoffe

Die Sojabohne setzt sich je nach Sorte, Anbaugebiet und klimatischen Bedingungen aus durchschnittlich 40 Prozent Protein, 20 Prozent Öl, 35 Prozent Kohlenhydraten und 5 Prozent Vitaminen und Mineralstoffen zusammen (Tab. 1).

### Protein

Die Proteinfraction ist dem Fleischiweiß sehr ähnlich und damit für den Menschen hochwertig. Sie enthält alle elf essenziellen Aminosäuren. Lediglich Methionin liegt in unzureichenden Mengen vor. Daher wird Sojaprotein seit Jahren auch in konzentrierter Form in der Nutztierfütterung und im Nahrungsmittelsektor eingesetzt. Allerdings enthält die Sojabohne Trypsin-Inhibitoren, die das Wachstum von Kindern und Tieren durch die Hemmung der Proteinverwertung einschränken können. Durch eine Erhitzung in der häuslichen oder industriellen Verarbeitung lassen sich die Inhibitoren jedoch inaktivieren. Auch

beim Auskeimen der Samen werden Trypsin-Inhibitoren abgebaut. Sojaprotein vermag den Lipoprotein- und Cholesterinspiegel im Blut zu senken (s. Info-Kasten). Daher kann eine sojaproteinreiche Kost dazu beitragen, das Risiko von Herz-Kreislauferkrankungen herabzusetzen (Clarkson 2002). Zahlreiche Studien belegen diese positive gesundheitliche Wirkung des Sojaproteins, die letztlich zur Genehmigung des folgenden Health-Claims in den USA führte: „25 grams of soyaprotein a day as a part of the diet low in saturated fat and cholesterol may reduce the risk of heart disease.“ Aufgrund der steigenden Gesundheitskosten durch Fehlernährung und Übergewicht wird derzeit in der EU eine vergleichbare Auslobung von Sojaprodukten diskutiert (Kroll et al. 2004; Rohr 2004).

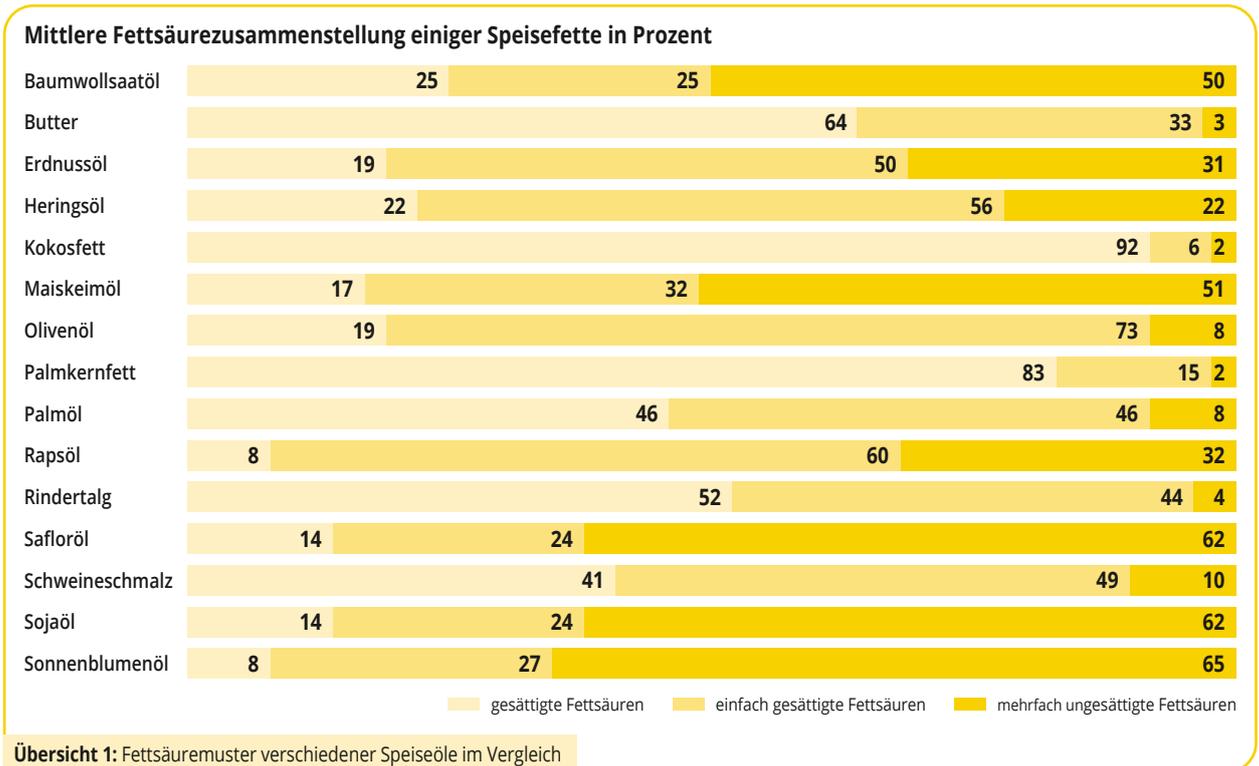
### Lipide

Die Sojabohne ist weltweit die wichtigste Öl liefernde Pflanze. Die Fettsäuren des Sojaöls sind zu etwa 60 Prozent mehrfach ungesättigt. Dazu gehören auch die Omega-6-Fettsäure Linolsäure und die Omega-3-Fettsäure Linolensäure, die der Mensch nicht synthetisieren kann und die das Öl in einem günstigen Verhältnis liefert. Einfach ungesättigte Fettsäuren sind zu 24 Prozent enthalten

**Tabelle 1: Inhaltsstoffe der Sojabohne pro 100 g verzehrbarem Anteil (GU-Nährwerttabelle 2004/05)**

Inhaltsstoff	Gehalt
Energie (kcal)	339,0
Protein (g)	37,6
Fett insgesamt (g)	18,3
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren (g)	10,7
Verwertbare Kohlenhydrate (g)	6,3
Ballaststoffe (g)	21,9
Natrium (mg)	5,0
Kalium (mg)	1.799,0
Calcium (mg)	201,0
Phosphor (mg)	550,0
Magnesium (mg)	220,0
Eisen (mg)	6,6
Vitamin A (Retinoläquivalent) (µg)	63,0
Vitamin E (mg)	1,5
Thiamin (mg)	1,0
Riboflavin (mg)	0,5
Pyridoxin (mg)	1,0
Pantothensäure (mg)	1,86
Folat (µg)	240,0
Biotin (µg)	60,0
Niacin (mg)	2,5
Vitamin C (mg)	0,0

(Übersicht 1). Die Sojabohne enthält kein Cholesterin. Ihr Öl ist ernährungsphysiologisch wertvoll und wirkt ähnlich wie die Sojaproteine positiv auf das Herz-Kreislaufsystem. Bei der Ölraffina-



## Wirkung von Sojaprotein auf den LDL-Cholesterinspiegel

Sojabohnen senken aufgrund ihres Proteinanteils den LDL-Cholesterinspiegel. Sowohl der Ersatz von tierischem Protein als auch die zusätzliche Gabe von Sojabohnenprotein verringern die LDL-Cholesterinkonzentration im Serum. So lautet das Ergebnis einer Meta-Analyse, bei der Wissenschaftler 38 kontrollierte klinische Studien auswerten. Der mittlere Konsum an Sojaprotein lag bei 47 Gramm pro Tag.

In 34 dieser Studien verringerte sich der LDL-Cholesterinspiegel um 21,7 Milligramm pro Deziliter (12,7 %) und die Triglyceridkonzentration um 13,3 Milligramm pro Deziliter (10,5 %), während der HDL-Cholesterinspiegel gering um 1,2 Milligramm pro Deziliter (2,4 %) anstieg. Bei höheren Cholesterinkonzentrationen war der Effekt deutlicher ausgeprägt: So sank bei Personen mit einer Cholesterinkonzentration im Serum unter 200 Milligramm pro Deziliter der LDL-Cholesterinspiegel im Mittel um 7,7 Prozent, bei Cholesterinkonzentrationen über 335 Milligramm pro Deziliter hingegen um 24 Prozent. Lag eine familiäre Hypercholesterinämie vor, verringerte sich die LDL-Cholesterinkonzentration durch den Ersatz von tierischem Eiweiß durch Sojaprotein (15 % der täglichen Energie) um 25,8 Prozent. Der Mechanismus ist nicht abschließend geklärt.

In einer aktuellen Veröffentlichung kommt die American Heart Association (AHA) allerdings zu dem Schluss, dass nur wenige Studien der vergangenen zehn Jahre die positive Wirkung des Sojaproteins auf den LDL-Cholesterinspiegel und andere kardiovaskuläre Risikofaktoren bestätigen. Zudem kritisiert sie, dass nur relativ große Mengen von Sojaprotein, im Durchschnitt etwa 50 Gramm, als Ersatz von tierischem Eiweiß zu einer vergleichsweise geringen Senkung um durchschnittlich drei Prozent führten. Weitere Studien zu dieser Thematik sind daher erforderlich.

Lipid-Liga e. V.: Sojaeiweiß und LDL-Cholesterin. Lipid-Report Nr. 2 (2000) Sacks FM, Lichtenstein A, Van Horn L, Harris W, Kris-Etherton P, Winston M: Soy Protein, Isoflavones, and Cardiovascular Health

tion fallen Lecithine an, die aufgrund ihrer emulgierenden Eigenschaften in der Lebensmittelverarbeitung breite Anwendung finden.

## Kohlenhydrate

Im Unterschied zu anderen Hülsenfrüchten (Erbse, Linse, Gartenbohne) enthält Soja kaum Stärke. Unter den Kohlenhydraten sind neben Saccharose nennenswerte Mengen der Oligosaccharide Raffinose und Stachyose zu finden. Sie zählen zu den Ballaststoffen. Da dem menschlichen Verdauungsapparat die Enzyme zur Spaltung dieser Zucker fehlen, gelangen sie unverändert in den Dickdarm, wo sie von Mikroorganismen abgebaut werden. Die dabei entstehenden Gase Wasserstoff, Methan und Kohlendioxid führen bei übermäßigem Sojaverzehr zu Blähungen und Flatulenz. Sojabohnen enthalten keine Laktose. Deshalb stellt der Sojadrink für Menschen mit Laktoseunverträglichkeit eine Alternative zur Kuhmilch dar.

## Weitere Inhaltsstoffe

Soja enthält zahlreiche Mineralstoffe sowie wasser- und fettlösliche Vitamine (**Tab. 1**). Erstere umfassen Thiamin (B<sub>1</sub>), Riboflavin (B<sub>2</sub>), Niacin (B<sub>3</sub>), Pantothenäure und Folsäure. An fettlöslichen Vitaminen kommen Vitamin

E und Betacarotin als Vorstufe des Vitamins A vor. Weitere bedeutsame Inhaltsstoffe sind Saponine, Phytate und Isoflavone. Während Saponine früher als oberflächenaktive natürliche Tenside wegen ihrer hämolytischen Aktivität kritisch beurteilt wurden, erfahren sie neuerdings eine Rehabilitation, da sie zur Senkung der Blutcholesterinspiegel und zur Krebsvorbeugung beitragen sollen (*Liu 2004*). Technologisch können Saponine während der Verarbeitung von Soja durch Schaumbildung Probleme bereiten.

**Phytate** können sich in der menschlichen Ernährung ungünstig auswirken, weil sie durch Komplexbildung von Calcium, Magnesium, Zink und Eisen deren Darmresorption erheblich einschränken. Neuerdings wird jedoch auch hier eine Krebs vorbeugende Wirkung diskutiert (*Liu 2004*). Außerdem sinkt der Phytatgehalt durch Auskeimen oder technologische Maßnahmen.

Das Interesse der Öffentlichkeit haben vor allem die Isoflavone geweckt. Ihre Sonderstellung ist in ihrer begrenzten botanischen Verbreitung begründet: Sie kommen fast ausschließlich in Fabaceen vor. In der Sojabohne findet man mit ein bis drei Milligramm pro Gramm Trockengewicht die höchsten Isoflavongehalte aller Gemüse-

pflanzen. Dieser Wert ist je nach Sorte, Anbaugesicht und klimatischen Bedingungen im Anbaujahr erheblichen Schwankungen unterworfen. Auch innerhalb der Sojabohne finden sich unterschiedliche Gehalte. So sind in den Randschichten des Hypokotyls (unterer Abschnitt der Sprossachse bis zu den Keimblättern) vierfach höhere Isoflavongehalte gegenüber dem Keim zu finden, während die Schale praktisch keine Isoflavone enthält. Bildung und Anreicherung von Isoflavonen in den Samen ist auf ihre Schutzwirkung vor Pilzen zurückzuführen (Phytoalexinwirkung).

Neben Soja ist vor allem Rotklee (*Trifolium pratense* L.) als wichtige Isoflavonquelle bekannt. Die Gehalte schwanken zwischen acht und zwölf Milligramm pro Gramm und liegen damit über denen der Sojabohne. Die Rotkleeisoflavone Formononetin und Biochanin A finden in isolierter Form vor allem als Nahrungsergänzungsmittel Verwendung. Die Soja-isoflavone liegen in den drei Grundstrukturen Genistein, Daidzein (**Abb. 1**) und Glycitein vor. Jedes dieser drei Isoflavonaglyca kann außerdem an Glukose gebunden und mit Essig- oder Malonsäure verestert sein.

## Ernährungsphysiologische Wirkung der Isoflavone

Die biologische Wirkung der Isoflavone ist in ihrer chemischen Struktur begründet, die der des menschlichen Östradiols ähnelt (**Abb. 1**). Daher zählen die Isoflavone neben den Lignan- und Cumestanen zu den Phytoöstrogenen. Isoflavone sind in der Lage, an verschiedene Östrogenrezeptoren des Körpers zu binden und dort gewebsspezifisch sowohl östrogene als auch anti-östrogene Effekte auszulösen. Die hormonelle Aktivität der Isoflavone entspricht nur 0,1 Prozent des Östradiols. Dennoch sind sie aufgrund der hohen Dosen, die über die Nahrung aufgenommen werden, physiologisch wirksam. So sollen sie zum Beispiel das Risiko hormonabhängiger Krebsarten wie Brust- und Prostatakrebs senken und Darmkrebs vorbeugen (*Adlercreutz 2002; Kulling et al. 2003; Messina 2004*). Außerdem gibt es Hinweise auf eine Linderung von Wechseljahresbeschwerden bei Frauen und eine gewisse Schutzwirkung vor Osteopo-

rose und lichtinduzierten Hautschäden (Cranney et al. 2003; Liu 2004; Rohr 2004). Wegen ihrer enzymhemmenden Eigenschaften können Isoflavone jedoch auch erwünschte biochemische Reaktionen stören, zum Beispiel hormoninduziertes physiologisches Zellwachstum. Toxische und erbgutschädigende Wirkungen ließen sich bisher bei gemäßigter Aufnahme nicht feststellen (Kroll et al. 2004; Liu 2004). Aufgrund der Hormonwirkung sowie des allergenen Potenzials von Sojaprotein sollen Säuglinge und Kleinkinder auf übermäßigen Verzehr von Sojaprodukten verzichten.

Basierend auf der derzeitigen Datenlage ist eine Aufnahme von 50 bis 100 Milligramm Isoflavonen am Tag empfehlenswert (Messina 2004; Rohr 2004). Diese Menge lässt sich mit zwei Sojamahlzeiten erreichen; wahrscheinlich wirkt sich aber bereits eine tägliche Sojamahlzeit positiv aus.

Aktuelle Studien schätzen die durchschnittliche Isoflavonaufnahme in Ländern mit westlicher Ernährungsweise auf unter ein Milligramm pro Tag (Kroll et al. 2004). Die traditionell sojareiche Ernährung der Asiaten enthält pro Tag zwischen zehn und 100 Milligramm Isoflavone. Vermutlich sind Isoflavone aus flüssigen Lebensmitteln leichter verfügbar als solche aus fester Nahrung. Außerdem sind Isoflavone im Verbund mit den originären Inhaltsstoffen wahrscheinlich besser bioverfügbar als in isolierter Form (Liu 2004; Uzzan et al. 2004).

### Herstellung von Sojadrink

Den Großteil der Isoflavone nimmt die asiatische Bevölkerung über Sojadrink zu sich, die neben Tofu und Sojasoße zu den traditionellen Sojaprodukten zählt. Sojadrink ist der wässrige Extrakt der Sojabohne, der in Aussehen und Zusammensetzung an Kuhmilch erinnert. Ein Kilogramm Sojabohnen ergeben etwa fünf Liter Sojadrink. Traditionell wird der Sojadrink durch Einweichen der Bohnen und anschließender Nassvermahlung und Filtration gewonnen (Abb. 2). Der dabei anfallende Filterrückstand (Okara) dient als Viehfutter. Auf die Filtration folgt eine 30-minütige Erhitzung auf 93 bis 100 Grad Celsius. Dabei werden Trypsin-Inhibitoren inaktiviert. Dieser Sojadrink wird meist frisch zubereitet und gewöhnlich heiß zum Frühstück

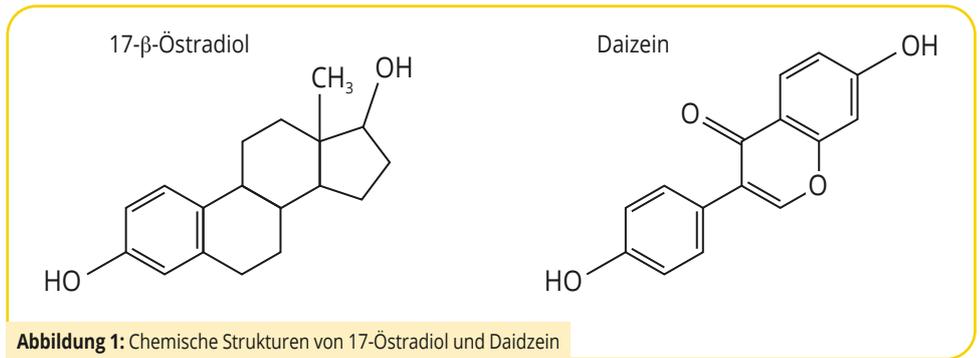


Abbildung 1: Chemische Strukturen von 17-Östradiol und Daidzein

serviert. Sie ist nur sehr begrenzt haltbar und hat neben dem stark ausgeprägten bohnenigen Aroma einen bitteren, adstringierenden Nachgeschmack. Der nach dem gleichen Prinzip industriell herge-

stellte Sojadrink ist nach UHT-Erhitzung und aseptischer Verpackung zwar haltbar, weist aber nach wie vor die genannten Fehleraromen auf. Während sich die asiatische Bevölkerung daran gewöhnt

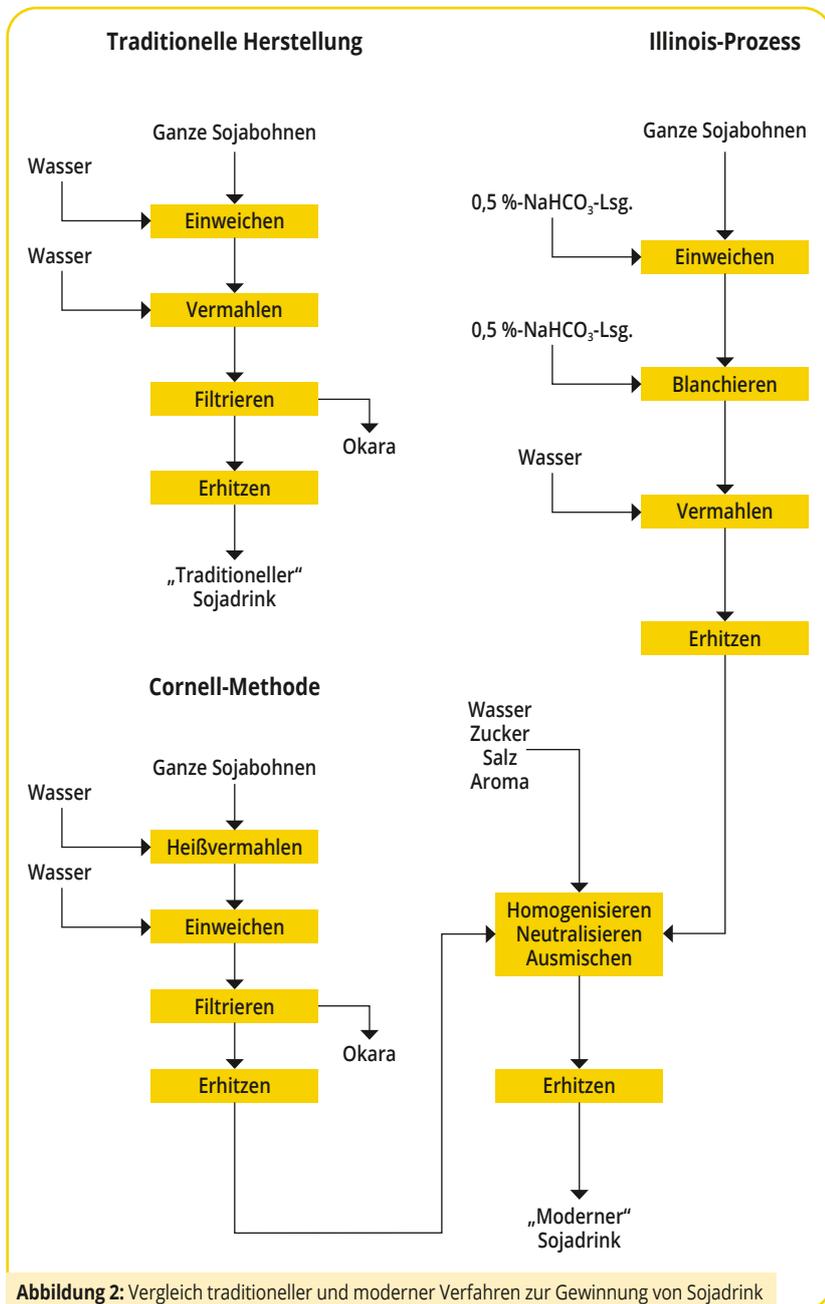


Abbildung 2: Vergleich traditioneller und moderner Verfahren zur Gewinnung von Sojadrink

hat, erwartet der europäische und nordamerikanische Verbraucher ein anderes Geschmacksprofil.

Die Fehlgerüche mit ranzigem, grasigem Geschmack resultieren aus der enzymatischen Oxidation mehrfach ungesättigter Fettsäuren. Diese läuft schon während des Nassvermahls ab. Die Bildung des Fehlgeruchs lässt sich also nur durch frühe Inaktivierung des Enzyms Lipoxigenase im Herstellungsprozess verhindern. Der bittere adstringente Nachgeschmack kann durch Bitterpeptide aus der Proteinhydrolyse, durch Fettabbauprodukte und durch Isoflavonaglyka bedingt sein. Unter Wirkung des Enzyms Beta-Glukosidase werden Isoflavonglykoside in Glukose und Isoflavonaglykon gespalten, wobei die Konzentration der freien Aglyka mit dem Grad der Bitterkeit positiv korreliert ist.

Auf diesen Erkenntnissen aufbauend wurden neue Herstellungsverfahren entwickelt, deren Ergebnisse auch in westlichen Kulturkreisen bei Verbrauchern Akzeptanz finden. Zwei der wichtigsten modernen Verfahrensvarianten sind die Heißvermahlungs-Methode nach Cornell und der Illinois-Prozess (**Abb. 2**). Bei beiden Methoden erfolgt

eine rasche thermische Enzyminaktivierung, um die Bildung unerwünschter Aroma- und Geschmackskomponenten zu verhindern. Erstere setzt dabei auf ein Heißvermahlen der Sojabohnen vor dem Einweichen, letztere blanchiert nach dem Einweichen. Beide Prozesse wurden im Lauf der Jahre stetig weiterentwickelt und liefern mittlerweile wohl-schmeckende Produkte. Von Fehlgerüchen gänzlich freier Sojadrink lässt sich aber auch mit den neuen Herstellungsmethoden nicht gewinnen. Bei der Heißvermahlung kann die Temperatur nicht konstant auf 80 Grad Celsius gehalten werden, was zur vollständigen Inaktivierung der Lipoxigenase notwendig wäre. Sojadrink aus dem Illinois-Prozess ist mit einem kalkig-trockenen Mundgefühl behaftet. Diese Fehlgerüche in modernem Sojadrink werden durch spezielle Aroma- oder Zuckerzusätze maskiert. Um verschiedene Geschmacksrichtungen zu erzielen, werden andere Rezepturbestandteile, zum Beispiel Kakao oder Vanillezubereitungen, dazugemischt.

Aufgrund ihrer positiven Wirkungen auf die menschliche Gesundheit stellen die Isoflavone im Sojadrink ein wichtiges Qualitätsmerkmal dar. Je nach Herstellungsprozess beläuft sich der Isoflavongehalt auf 90 bis 200 Milligramm pro Liter. Traditionelle Produkte weisen dabei meist höhere Gehalte auf, weil keine nachträgliche Verdünnung erfolgt. Bezogen auf das Trockengewicht liegen die Isoflavonkonzentrationen mit ein bis drei Milligramm pro Gramm auf dem Niveau der Bohne. Die Isoflavone gelangen also zum überwiegenden Teil in den Drink, was hauptsächlich auf ihre Bindung an das Sojaprotein zurückzuführen ist. Daher korreliert der Isoflavongehalt positiv mit dem Proteingehalt des Drinks und bleibt während Herstellung und Lagerung nahezu konstant. Allerdings ändert sich das Muster der Isoflavone. Solange die Enzyme der Bohne aktiv bleiben, werden aus den an Zucker gebundenen Isoflavonen freie Aglyka gebildet, die im Drink in höheren Konzentrationen vorliegen als in der Bohne. Die freien Isoflavonaglyka sind nach neuesten Untersuchungen hitzestabil und bleiben unter den üblichen Herstellungsbedingungen erhalten (*Stintzing et al. 2006*). Acetylierte Isoflavone, die in der Sojabohne nur in Spuren vorkom-

men, entstehen vornehmlich durch Erhitzung aus malonylierten Isoflavonen und können somit als Indikator für eine Hitzebehandlung dienen. Der ernährungsphysiologische Nutzen bleibt trotz Veränderung der Isoflavonstruktur praktisch gleich (*Kroll et al. 2004; Liu 2004; Uzzan 2004*).

## Herstellung von Sojaproteinprodukten

Sojaproteinprodukte werden in drei Gruppen mit steigendem Proteingehalt eingeteilt:

- Sojamehle (entfettet oder vollfett, 50 Prozent Protein),
- Proteinkonzentrate (65 Prozent Protein) und
- Proteinisolate (90 Prozent).

Mehle und Konzentrate dienen zu über 90 Prozent als Viehfutter, finden aber auch in der Backwarenindustrie als Feuchthaltemittel Verwendung. Im Getränkesektor dienen vor allem vollfette Mehle als Grundstoff für Sojadrinks.

Zur Herstellung von Sojamehlen werden die Sojabohnen vor dem Vermahlen grob zerkleinert, von den Schalen getrennt und zu Flocken gepresst (**Abb. 3**). Die Sojaflocken werden gegebenenfalls mit Hexan entfettet und anschließend vermahlen. Zur Herstellung von Sojaproteinkonzentraten wird neben dem Ölanteil auch die Fraktion löslicher Kohlenhydrate durch Wasser entfernt. Dazu werden die Proteine mittels einer wässrig-alkoholischen Extraktion im Gegenstromverfahren aus den Sojaflocken herausgelöst. Nach Abtrennung des Lösungsmittels sind Proteinkonzentrate als Trockenprodukte verfügbar.

**Sojaproteinisolate (SPI)** stellen die reinste kommerziell erhältliche Form des Sojaproteins dar. Der Ursprung isolierter Sojaproteine liegt in den frühen 1940er-Jahren im Bereich der Film- und Beschichtungsindustrie. Erste Einsätze im Nahrungsmittelsektor folgten erst zehn Jahre später. Der Herstellungsprozess der SPI wurde im Laufe der Jahre immer wieder verändert und optimiert. Heute existieren mehrere Varianten, aus denen unterschiedliche Produkte mit verschiedenen Eigenschaften, vor allem unterschiedlicher Löslichkeit, resultieren. Traditionell werden SPI aus entfetteten Sojaflocken



Sojagetränke sind heute eine beliebte pflanzliche Alternative zu Trinkmilch.

hergestellt. Die Proteinextraktion aus den Flocken erfolgt entweder mit Alkohol oder Wasser im alkalischen Milieu (pH-Wert 8–10,5), teilweise findet vorher eine alkoholische Extraktion statt. Danach werden die Proteine durch pH-Wert-Verschiebung am isoelektrischen Punkt (pH-Wert 4–4,5) ausgefällt. Das gefällte Protein wird abzentrifugiert, in Wasser resuspendiert, zum Teil neutralisiert, erhitzt und sprühgetrocknet (Abb. 3). Das helle, geschmacksneutrale Pulver ist vielseitig einsetzbar. Die Anwendungsmöglichkeiten und die physikalischen Eigenschaften des SPI korrelieren stark mit den Parametern Hitze, Homogenisierungsgrad und pH-Wert während des Herstellungsprozesses.

Im Getränkebereich kommen SPI in zwei Produktgruppen zum Einsatz. Zum einen in Fruchtsaftmischgetränken, wo Sojaprotein in geringen Mengen als zusätzlicher Wert gebender Inhaltsstoff dient, zum anderen in Produkten mit hohen Sojaproteingehalten, die an traditionelle Milchmoder Getränke erinnern und geschmacklich mit Fruchtsaft abgerundet werden. Erst seit wenigen Jahren wird bereits beim Herstellungsprozess auf den Isoflavongehalt der SPI geachtet. Auch eine nachträgliche Anreicherung mit isolierten Sojaisoflavonen kommt vor. Daher ist der Isoflavongehalt von Proteinisolaten schwer einzugrenzen und bewegt sich zwischen 50 und 200 Milligramm pro Gramm (Kroll et al. 2004; Liu 2000; Liu 2004). Die Verluste während der Extraktion betragen annähernd 50 Prozent. Wie auch bei der Sojadrinkproduktion ändert sich das chemische Muster der Isoflavone. An diesem Isoflavon-„Fingerabdruck“ lässt sich eine nachträgliche Anreicherung erkennen. Getränke, die Sojaprotein enthalten, weisen je nach Menge und Güte des Isolats sehr unterschiedliche Isoflavongehalte auf. Fruchtsäfte mit geringem Zusatz an Sojaprotein (< 5 %) enthalten kaum Isoflavone. Proteingetränke mit hohem Gehalt an Proteinisolat können die Isoflavongehalte eines Sojadrinks erreichen, vor allem wenn das Isolat nachträglich mit Isoflavonen angereichert wurde.

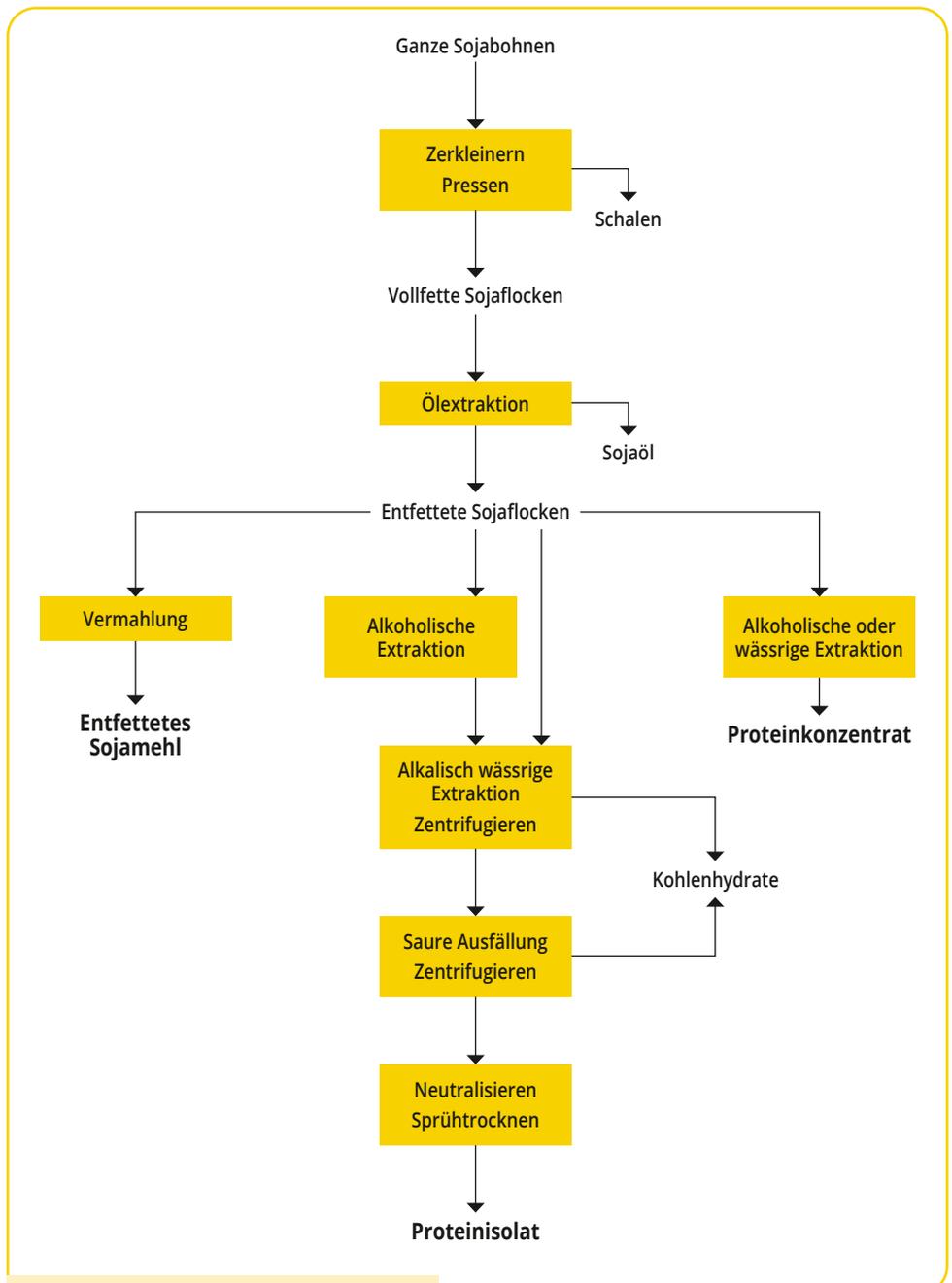


Abbildung 3: Herstellung von Sojaproteinprodukten

**Fazit**

Die Neuentwicklungen auf dem Markt der Sojagetränke haben zu großen Wachstumsraten in diesem Segment geführt. Der Verbraucher kann zwischen Sojadrink und daraus hergestellten Getränken sowie Getränken mit einem Anteil an isoliertem Sojaprotein entscheiden. Wen der nach wie vor leicht bohnlige Geschmack der Sojadrinkprodukte nicht stört, ist mit diesen Produkten aus ernährungsphysiologischer Sicht besser beraten. Sie enthalten in der Regel mehr Isoflavone und bieten zudem den Vorteil weiterer nützlicher Inhaltsstoffe der ganzen

Sojabohne. Zudem diskutieren Wissenschaftler, ob Isoflavone im Zusammenspiel weiterer wertvoller Inhaltsstoffe besser wirken als in isolierter Form. Getränke mit isoliertem Sojaprotein bestechen durch ihren besseren Geschmack, sind aber ernährungsphysiologisch durch den geringeren Isoflavongehalt und den Verlust an Begleitstoffen als weniger wertvoll einzustufen. Das trifft vor allem bei niedrigem Anteil an Proteinisolat zu. ●

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<



Foto: © Tanjana Bahnerstock/adobe.com

# Die Süßlupine

## Eine Alternative zur Sojabohne

PROF. DR. ANDREAS SCHIEBER • PROF. DR. DR. REINHOLD CARLE

**Unter den Leguminosen (Fam. Fabaceae, „Hülsenfrüchtler“) nimmt die Sojabohne eine herausragende Stellung auf dem Lebensmittelmarkt ein, da sie eine reichhaltige Proteinquelle darstellt und darüber hinaus auch zur Gewinnung von Pflanzenöl und Lecithin dient. Trotz ihrer bemerkenswerten Vielseitigkeit ist sie jedoch kein perfektes Lebensmittel.**

Die hohe Lipoxygenase-Aktivität in Verbindung mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren lassen grüne, bohnlige Aromaeindrücke entstehen. Auch weisen Sojamehle mitunter einen bitteren Eigengeschmack auf. Diese Off-flavours werden vor allem von Verbrauchern westlicher Länder als unangenehm empfunden. Ein weiterer Nachteil ist das Vorkommen zahlreicher antinutritiver Inhaltsstoffe wie etwa Proteinase-Inhibitoren, Hämagglutinine (Lectine), Phytate, Saponine und Flatulenz erzeu-

gende Oligosaccharide, die bei der Verarbeitung entfernt oder inaktiviert werden müssen. Vorbehalte insbesondere seitens der europäischen Verbraucher gegenüber der Gentechnik tragen ebenfalls zum Negativimage der Sojabohne bei.

Eine bislang nur wenig beachtete Pflanze, die Süßlupine, könnte eine interessante Alternative darstellen und die Sojabohne in vielen Rezepturen ersetzen.

### Bedeutung von Leguminosen in der Ernährung des Menschen

Leguminosen zeichnen sich durch einen relativ hohen Proteingehalt aus und sind daher für die Eiweißversorgung des Menschen von großer Bedeutung. Dies gilt insbesondere für Entwicklungsländer, in denen die Verfügbarkeit von tierischem Protein häufig limitiert ist. Für die Leguminosen sind Wurzelknöll-

chen charakteristisch, die aufgrund einer Infektion durch symbiotische Bakterien der Gattung *Rhizobium* entstehen. Durch das Enzym Nitrogenase ist die Fixierung von elementarem Stickstoff möglich. Die Früchte entstehen aus einem Fruchtblatt und sind als Hülsen ausgebildet. Zur Reife springen die Früchte auf und geben die Samen frei. Innerhalb der Fabaceae lassen sich drei Unterfamilien voneinander abgrenzen: Die Mimosoideae (Mimosengewächse) und Caesalpinioideae (Johannisbrotgewächse) sind meist tropische oder subtropische Holzpflanzen oder Kräuter. Die überwiegende Anzahl der landwirtschaftlich relevanten Arten gehört der Unterfamilie der Faboideae (Schmetterlingsblütler) an, die sich wiederum in mehrere Tribus (Stämme) untergliedern lässt. Im Tribus Phaseoleae (Bohnenartige) sind zum Beispiel die Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris* L. var. *vulgaris*), die Schwertbohne (*Canavalia ensiformis* [L.] DC.) sowie die Sojabohne (*Glycine max* [L.] Merr.) vertreten. Bei den Viciae (Wicklenartige) findet man mit der Platterbse (*Lathyrus* sp.) sowie der Linse (*Lens culinaris* Medik.) und der Erbse (*Pisum sativum* L. ssp. *sativum*) ebenfalls wichtige Nutzpflanzen. Innerhalb der Geni-

steae (Ginsterartige) sind Ginster (*Genista* sp.) und Goldregen (*Laburnum anagyroides* Medik.) zwei Pflanzen, die aufgrund ihrer hohen Giftigkeit weitgehend aus Parks, öffentlichen Anlagen und Kinderspielplätzen verschwunden sind. Auch die Lupine (*Lupinus* sp.) wird den Genisteae zugeordnet.

Ihre toxischen Eigenschaften gehen auf Alkaloide vom Chinolizidin-Typ zurück. In den Pflanzen nehmen die Alkaloide wichtige Funktionen wahr. Sie dienen vor allem als Schutzstoffe gegen Pflanzenfresser und Mikroorganismen und sind darüber hinaus Stickstoffträger im Primärstoffwechsel bei der Proteinsynthese (Wink 1985).

## Von der Zierpflanze zum Lebensmittel

Die Lupine wächst auf sauren, nährstoffarmen Böden, in hohen Lagen und bei relativ niedrigen Temperaturen (Hondelmann 1996). Die Samen verschiedener Lupinenarten werden seit mehr als 3.000 Jahren im Mittelmeerraum – und in den Andenhochländern sogar noch länger – als Nahrungsmittel genutzt. Üblicherweise wurden die Kerne nach Entfernen der Samenschale in fließendem Wasser eingeweicht, um die bitteren und toxischen Alkaloide zu entfernen. Anschließend wurden sie gekocht, getoastet und gegebenenfalls getrocknet und damit haltbar gemacht (Wrigley 2003). Nach dem Ersten Weltkrieg sah sich die Bevölkerung Deutschlands einem Ernährungsproblem, insbesondere einem Proteinmangel, gegenüber. Um heimische Pflanzenarten für die menschliche Ernährung nutzbar zu machen, wurde auch die Lupine zur Gewinnung proteinhaltiger Lebensmittel herangezogen. Es entstanden Werke zur Entbitterung und Verwendung von Lupinensamen. Der Durchbruch für die Lupine kam aber erst Ende der 1920er-Jahre. Nachdem Versuche zur Reduzierung des Alkaloidgehalts durch Artbastardisierung gescheitert waren, verfolgte man einen anderen Ansatz: Man ging davon aus, dass in dem großen Kollektiv bitterer Pflanzen immer wieder solche auftreten, die durch Mutation einen verminderten Alkaloidgehalt aufweisen. Im Jahr 1927 entwickelte der deutsche Botaniker Reinhold von Sengbusch eine Schnellmethode zur Alkaloid-

bestimmung. Damit war es möglich, in kurzer Zeit eine große Anzahl von Proben auf ihren Alkaloidgehalt zu untersuchen und die wenigen Pflanzen mit geringem Bitterstoffgehalt zu finden. Mit diesen arbeitete man dann zur Züchtung alkaloidarmer Spezies weiter. Während Bitterlupinen Alkaloidgehalte von bis zu 4,5 Prozent enthalten, weisen die als „Süßlupinen“ bezeichneten Sorten Mengen von lediglich 0,05 Prozent und weniger auf. Russland war über lange Zeit der bedeutendste Lupinenproduzent, der allerdings in den 1980er-Jahren von Australien abgelöst wurde. Vor allem in Westaustralien werden Lupinen in großem Umfang kultiviert. Im Jahr 2005 betrug die Weltjahresproduktion an Lupinen über 1,1 Millionen Tonnen (FAO 2006).

Von den mehr als 400 Arten der Gattung *Lupinus* sind bislang lediglich vier Arten von wirtschaftlicher Bedeutung. Es sind dies die Weiße Lupine (*Lupinus albus* L.), die Anden-Lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet), die auch als Perlenlupine bezeichnet wird, die Gelbe Lupine (*Lupinus luteus* L.) und die Blaue Lupine (*Lupinus angustifolius* L.), auch Schmalblättrige Lupine genannt. Die Samen dieser Arten sind relativ groß und stellen gute Proteinquellen dar. Einen starken Impuls erfuhr die Lupine, als Mitte der 1990er-Jahre eine gentechnisch veränderte Sojabohne auf den Markt drängte, die gegen das Herbizid Glyphosat resistent ist, die Roundup Ready-Sojabohne. Im Jahr 1999 stammten bereits 55 Prozent der US-amerikanischen Ernte aus dieser gentechnisch veränderten Pflanze. Insbesondere in Europa, und hier vor allem in Skandinavien und in Deutschland, bestehen einer kürzlich publizierten Stu-

die zufolge starke Vorbehalte gegen den Einsatz der Gentechnik in Lebensmitteln (Grunert et al. 2003). Zahlreiche Firmen bemühten sich daher, Sojabohnen in Rezepturen durch andere Zutaten, unter anderem durch Lupinen, zu ersetzen.

## Die Inhaltsstoffe von Soja und Lupine im Vergleich

Die Inhaltsstoffe der beiden Leguminosen sind in **Tabelle 1** vergleichend dargestellt. Hinsichtlich der Gehalte an Protein, Stickstoff-freiem Extrakt und Asche bestehen praktisch keine Unterschiede. Die Sojabohne besitzt im Durchschnitt einen etwas höheren Lipidgehalt, während bei der Lupine ein höherer Anteil an Rohfaser zu verzeichnen ist, der auf die relativ dicke Samenschale zurückgeht.

Die Proteinfraction der Lupine besteht zu rund 85 Prozent aus Globulinen (α-, β- und γ-Conglutin) und zu rund 15 Prozent aus Albumin. Die Aminosäurezusammensetzung von Soja und Lupine unterscheidet sich kaum. Beiden gemeinsam ist damit auch das leguminosentypische Defizit an Methionin, das sich durch Supplementierung oder Komplementierung, zum Beispiel mit Getreideproteinen, ausgleichen lässt. Wie bereits von Hoffmann et al. (2005) ausgeführt, ist in den USA ein Health Claim gestattet, wonach 25 Gramm Sojaprotein pro Tag als Teil einer Kost mit geringer Aufnahme von gesättigten Fettsäuren und Cholesterin das Risiko für Herzerkrankungen senken kann. Obwohl sich die Bioverfügbarkeit und die Verwertung von Lupinenprotein im Stoffwechsel als vergleichbar zu der von Sojaprotein erwiesen hat (Mariotti et al. 2002) und eine Cholesterin senkende Wirkung von Proteinisolat aus weißen Lupinen im Rattenmodell nachweisbar war (Sirtori et al. 2004), zeichnet sich eine derartige Auslobung für die Lupine bislang nicht ab. Lupinenöl ist eine sehr reiche Quelle von Ölsäure und kann sich auch hinsichtlich des Gehalts an der essenziellen Linolsäure mit der Sojabohne messen (**Tab. 2**). Die zu den Omega-3-Fettsäuren gehörende Linolensäure findet sich in höheren Mengen in *Lupinus albus* und *Lupinus luteus*, während ihre Gehalte in *Lupinus angustifolius* und *Lupinus mutabilis* eher gering sind (Trugo et al. 2003). Das Verhältnis der

### Das Lupinenfestessen

Die Vereinigung für Angewandte Botanik förderte die Nutzung von Lupinensamen und veranstaltete 1918 in Hamburg ein Lupinenfestessen, das Hondelmann (1996) beschreibt: „Auf einem Tischtuch aus Lupinenfasern wurden eine Lupinensuppe, danach ein in Lupinenöl gebratenes und mit Lupinenextrakt gewürztes Lupinensteak serviert. Dazu wurden gereicht: Lupinenmargarine mit 20 Prozent Lupinenbestandteilen, Käse aus Lupineneiweiß, Lupinenschnaps und Lupinenkaffee. Erhältlich waren außerdem Lupinenseife sowie Papier und Briefumschläge mit Lupinenklebstoff.“

mehrfach ungesättigten zu den gesättigten Fettsäuren beträgt bei der Sojabohne 4,2 zu eins und ist damit in ernährungsphysiologischer Hinsicht günstiger als bei der Lupine (1,3–2,9:1).

Die Lupine enthält im Unterschied zu den meisten anderen Leguminosen praktisch keine Stärke. Die Nichtstärkepolysaccharide stellen exzellente Ballaststoffe mit höherer Wasserbindungskapazität und Viskosität im Vergleich zu herkömmlichen Ballaststoffen dar. Diese Eigenschaften werden mit günstigen physiologischen Effekten im oberen Gastrointestinaltrakt des Menschen in Zusammenhang gebracht (Turnbull et al. 2005). Die in Lupinen in beträchtlichen Mengen (7–15 %) enthaltenen Flatulenz erzeugenden Alpha-Galactoside galten lange als antinutritive Inhaltsstoffe. Sie lassen sich durch Extraktion mit 50-prozentigem Ethanol entfernen (Torres et al. 2005), werden aber wegen ihrer präbiotischen Wirkungen mittlerweile sogar für den Einsatz in funktionellen Lebensmitteln in Betracht gezogen (Martínez-Villaluenga et al. 2005). Damit könnte sich, vergleichbar den phenolischen Verbindungen (Kammerer et al. 2005), auch bei der Einschätzung der ernährungsphysiologischen Bedeutung der Oligosaccharide ein Paradigmenwechsel abzeichnen. Die Gehalte anderer antinutritiver Inhaltsstoffe, wie zum Beispiel der Proteinaseinhibitoren und Phytate, sind

in der Lupine gewöhnlich geringer als in der Sojabohne. Lectine sind überhaupt nicht nachweisbar. Damit ist eine thermische Behandlung zu deren Inaktivierung entbehrlich.

Die weitgehend auf die Fabaceen beschränkten Isoflavone, die in der Sojabohne in Gehalten zwischen einem und drei Milligramm pro Gramm vorkommen (Hoffmann et al. 2005), liegen in Lupinen in geringeren Mengen vor (Melenthin, Galensa 1999). Allerdings ist die Datenlage noch sehr spärlich. Wie bei den primären Pflanzeninhaltsstoffen ist auch bei den Sekundärmetaboliten eine speziesabhängige Variabilität der Gehalte zu erwarten.

## Einsatz von Lupinen in Lebensmitteln

### Traditionelle Sojaprodukte

In Chile gab es über Jahre staatliche Programme zur Ernährung von Schulkindern mit Lupinendrink, die anstelle von einem Sojadrink eingesetzt wurde. In einigen Landesteilen ist dies auch heute noch üblich. Mehrere Studien belegen, dass auch Lupinen ein hervorragender Rohstoff zur Herstellung traditioneller fermentierter Sojaprodukte sind, da sie sowohl Bakterien als auch Pilzen als Substrat dienen. So lieferten auch Lupinus albus und Lupinus angustifolius in Tempeh, das üblicherweise durch Fer-

mentation von Sojabohnen mit Rhizopus oligosporus hergestellt wird, sensorisch akzeptable Produkte. Auch bei der Herstellung von Miso, einem mit Aspergillus oryzae fermentierten Gemisch aus Soja und Reis, ließen sich nach Substitution von Soja durch Lupinus angustifolius keine Abweichungen bei Aroma und Textur feststellen. Farbe und Gesamterscheinung fanden sogar mehr Anklang als bei den entsprechenden Sojaprodukten (Pettersson 1998).

## Getreideprodukte und Teigwaren

Eine Kombination von Lupinen mit Getreideprodukten ist in ernährungsphysiologischer Hinsicht sehr wertvoll, da sich das Aminosäureprofil bei einer Zumischung von Lupinenmehl zu Weizenmehl bis zu zehn Prozent ideal ergänzt (Wrigley 2003). Die Zugabe von Lupinenmehl ist auch in sensorischer Hinsicht interessant, da die durch Carotinoide verursachte Gelbfärbung von vielen Verbrauchern als sehr ansprechend empfunden wird. Außerdem steigt dadurch das Wasserbindungsvermögen und die Teigstabilität verbessert sich. In gewissem Umfang kann Lupinenprotein als Ei-Ersatz dienen (Noll 2001). In Teigwaren führte die Zugabe von 15 Prozent Lupinenmehl ebenfalls zur Verbesserung der Proteinqualität und des sensorischen Gesamteindrucks.

## Milchprodukte

Die Herstellung eines joghurtartigen Produkts aus Lupinus campestris, einer wilden, in Mexiko heimischen Lupinenart, verdeutlicht die Chancen und technologischen Probleme, die beim Einsatz von Lupinen in Milchprodukten auftreten können. Da in Mexiko der Joghurtkonsum während der vergangenen Jahre stark anstieg und gleichzeitig nicht genügend Kuhmilch zur Verfügung stand, wurde die Lupine als alternativer Rohstoff zur Joghurtherstellung geprüft. Hierzu mussten die Samen zunächst entbittert werden. Der durch die Auslaugung bedingte Verlust an Zuckern, die den Mikroorganismen als Substrat dienen, wurde durch Zugabe von Laktose und Saccharose ausgeglichen. Anschließend wurde die Fermentation mit jogurtüblichen Starterkulturen vorgenommen. Hinsichtlich des Säuerungs-

**Tabelle 1: Inhaltsstoffe (%) von Sojabohne und Lupine im Vergleich (Fraunhofer IVV Jahresbericht 1998)**

Inhaltsstoff	Sojabohne	Lupine
Protein	39	42
Lipide	22	15
Stickstoff-freier Extrakt	28	26
Rohfaser	6	13
Asche	5	4

**Tabelle 2: Vergleich der Fettsäureverteilung von Sojabohnen und Lupinen (%)**

Inhaltsstoff	Sojabohne	Lupine
Palmitinsäure (16:0)	10	6–12
Stearinsäure (18:0)	4	2–10
Ölsäure (18:1)	ca. 25	24–49
Linolsäure (18:2)	52	20–44
Linolensäure (18:3)	7	2–13
Verhältnis PUFA/SFA*	4,2	1,3–2,9

\* PUFA: Summe der mehrfach ungesättigten Fettsäuren; SFA: Summe der gesättigten Fettsäuren

In der Küche ist Lupinenmehl eine proteinreiche Alternative zu Getreidemehlen.



Foto: © virginiestockadobe.com

verhaltens und der Viskosität ließen sich keine Unterschiede im Vergleich zu mit Kuhmilch produziertem Joghurt feststellen. Der „Naturjoghurt“ war allerdings sensorisch nicht akzeptabel und musste mit Erdbeearoma versetzt werden, damit ein dem konventionellen Erdbeeryoghurt äquivalentes Produkt entstand (Jiménez-Martínez et al. 2003).

## Allergenes Potenzial

Angesichts der wachsenden Exposition der Bevölkerung gegenüber Lupinenprodukten ist auch eine Zunahme allergischer Reaktionen zu erwarten. Dies gilt insbesondere für bestimmte Gruppen wie etwa Zöliakiepatienten oder Menschen mit Allergien gegen andere Leguminosen, vor allem Erdnüsse. Berichte über das Auftreten allergischer Reaktionen nach Verzehr von Lupinenprodukten, deren Symptome von mild bis lebensbedrohlich reichten, veranlassten das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) kürzlich zu einer Stellungnahme. Lupinhaltige Produkte könnten zum Problem werden, da sie aus sensorischen oder technologischen Gründen verschiedenen Lebensmitteln beigemischt werden, die Lupine jedoch nicht unter die EU-Kennzeichnungspflicht für Allergene fällt. Ihre ursächli-

che Beteiligung an der Auslösung allergischer Symptome sei daher leicht zu übersehen (BfR 2006).

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Trotz ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten besitzt die Sojabohne vor allem bei der Bevölkerung der westlichen Hemisphäre ein Negativimage, was auf ihre sensorischen Eigenschaften und die Anwesenheit antinutritiver Inhaltsstoffe zurückzuführen ist. Auch die zunehmende Abholzung des tropischen Regenwalds zur Erschließung von Flächen für den Sojaanbau, die insbesondere in Brasilien beträchtliche Ausmaße angenommen hat, mag bei manchen Verbrauchern zu Vorbehalten gegenüber dieser Pflanze beitragen. Lupinen stellen in mehrerlei Hinsicht eine geradezu ideale Alternative dar, da sie sich durch Anspruchslosigkeit bei der Kultivierung auszeichnen. Die Vorteile der Landnutzung in klimatisch weniger begünstigten Lagen zeigen sich nicht zuletzt auch in deutlich niedrigeren Transportkosten. Weiterhin ist durch die geringeren Anteile an antinutritiven Inhaltsstoffen bei weitgehend vergleichbaren Gehalten an Makronährstoffen eine thermische Behandlung nicht zwingend erforder-

lich. Aufgrund der Ähnlichkeit des Inhaltsstoffspektrums ist bei der Verarbeitung alkaloidarmer Lupinensamen keine gesonderte Produktionstechnologie im Vergleich zur Sojabohne notwendig. Da Lupinen bereits seit mehr als 3.000 Jahren im Mittelmeerraum als Lebensmittel genutzt werden, ist die Anwendung der Novel-Food-Verordnung auszuschließen. Bei einer Gesamtschätzung ist auch zu berücksichtigen, dass Sojabohnen größere Mengen an Isoflavonen enthalten als Lupinen und die FDA für Sojaprotein bereits einen Health Claim zugelassen hat. Allerdings mehren sich neuerdings Stimmen, die die gesundheitsfördernden Effekte der Sojabohne in Frage stellen (Bee 2006). In diesem Zusammenhang bescheinigt eine Auswertung von 22 Studien durch die American Heart Association (AHA) Sojaprotein und Isoflavonen bestenfalls minimale Wirkungen (Sacks et al. 2006). Ob die Entwicklung transgener Pflanzen mit höherem Methioningehalt (Molvig et al. 1997; Ravindran et al. 2002) dem Image der Lupine eher nützt oder schadet, bleibt letztendlich der Entscheidung des Verbrauchers überlassen. ●

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<



# Kartoffeln – Vielseitig nutzbare Knollen

DR. EVA SADILOVA • PROF. DR. FLORIAN STINTZING • PROF. DR. DR. REINHOLD CARLE

**Die Urheimat der Kartoffel ist Südamerika, wo der Kartoffelanbau bereits um 200 nach Christus belegt ist. Das Genzentrum sind die Hochanden (1.500–4.300 ü. N. N.) Perus und Boliviens. Hier sehen die Wissenschaftler den Ursprung der Sorte *Solanum andigenum* mit Hörnchenknollen und roter Schale.**

Später wurde die Kartoffel an der Küste Chiles angebaut, wo aufgrund der veränderten klimatischen Gegebenheiten die neue uns heute bekannte Kulturkartoffel *Solanum tuberosum* entstand. In der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts gelangte die Kartoffel zunächst mit dem Entdecker Pedro Cieza de León nach Spanien, dann mit dem legendären englischen Seefahrer Sir Francis Drake nach England. Es dauerte noch ein paar Jahrhunderte, bis die Kartoffel in Europa als Lebensmittel Akzeptanz fand. In Deutschland wurden Kartoffeln nachweislich im Jahre 1621 und in größerem Maße erst im 18. Jahrhundert nach Hungersnöten für Ernährungszwecke an-

gepflanzt. Mitte des 19. Jahrhunderts brach die durch *Phytophthora infestans* hervorgerufene Knollenfäule aus, in deren Folge fast eine Million Menschen starben. Dies löste eine Massenauswanderung nach Amerika aus.

## Sorten

Um den Verlust der Vielfalt traditioneller Sorten aufzuhalten, wurde 1971 das Internationale Kartoffelforschungszentrum Centro Internacional de la Papa (CIP) in Lima gegründet und eine so genannte Kartoffelbank eingerichtet. Die Genbank des CIP ist zurzeit die größte Kartoffelsammlung der Welt mit mehr als 4.500 verschiedenen Kartoffelsorten. Deutschland verfügt über eine Kartoffel-Genbank in Groß-Lüsewitz. Das Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) in Gatersleben bewahrt 2.000 Kulturkartoffelsorten als In-vitro-Kultur und 2.800 Samenproben von 130 Wildkartoffelarten auf. Sprossspitzen von mehr als 200

alten Kartoffelsorten lagern in flüssigem Stickstoff und dienen als Genpool für Züchtungszwecke. In Deutschland sind derzeit 210 Sorten zugelassen. Die Wahlmöglichkeiten der Verbraucher beschränken sich auf rund 25 Sorten, die etwa 60 Prozent des gesamten Kartoffelangebots ausmachen. Kartoffelsorten lassen sich hinsichtlich ihrer Reifezeit (früh, mittelfrüh und spät) und ihres Kochtyps (mehlig, vorwiegend festkochend, festkochend) unterscheiden. Festkochende Kartoffeln sind für Kartoffelsalat, Pell- und Salzkartoffeln, vorwiegend festkochende für Rösti und Aufläufe und mehligkochende Kartoffeln für Kartoffelpüree, Eintöpfe und Knödel geeignet. Der jeweilige Kochtyp hängt von der Zellgröße ab. So sind 90 bis 140 Zellen pro Quadratmillimeter mit festkochenden Eigenschaften, 70 bis 90 Zellen pro Quadratmillimeter mit vorwiegend festkochenden und 40 bis 70 Zellen pro Quadratmillimeter mit mehligkochenden Eigenschaften verbunden. Außerdem soll die Proteinqua-

lität Einfluss auf die Textur von Kartoffeln haben. Die Schalen- und Fleischfarben reichen von weiß über gelb bis rot und violett. Die Knollenform kann oval, lang, rund oder nierenförmig ausfallen. Im Geschmack sind Nuancen von butterig, cremig, würzig bis herb und erdig bekannt.

### Anbau und Verbrauch

Im Jahr 2019 wurden weltweit über 370 Millionen Tonnen Kartoffeln produziert. Dieser Produktion liegt eine Anbaufläche von insgesamt 17,3 Millionen Hektar zugrunde. Auf China entfallen fast fünf Millionen Hektar, gefolgt von Indien (> 2,1), der Ukraine (> 1,3) und Russland (> 1,2). Die Gesamtanbaufläche in Europa beträgt fast 4,7 Millionen Hektar, in Deutschland 271.600 Hektar (FAOSTAT 2021).

Der Pro-Kopf-Verbrauch in Deutschland lag 1950 noch bei 186 Kilogramm und fiel in den vergangenen Jahrzehnten drastisch ab. Im Jahr 2000 konsumierten die Menschen in Deutschland durchschnittlich noch 70 Kilogramm, seit einigen Jahren pendelt sich der Verbrauch zwischen 55 und 60 Kilogramm ein (Statista Datenbank 2021). Weit mehr als die Hälfte davon entfällt auf Kartoffelerzeugnisse (BLE 2020) (Abb. 1).

### Inhaltsstoffe

Kartoffeln gehören zu den wichtigsten Grundnahrungsmitteln: Zwei Drittel der Weltbevölkerung sind auf sie angewiesen. Kartoffeln besitzen zwar einen hohen Sättigungswert, zählen aber mit 70 Kilokalorien pro 100 Gramm gegarte Kartoffel zu den energiearmen Lebensmitteln (Tab. 1). Der größte Anteil der Kartoffel entfällt auf Wasser mit rund 80 Prozent.

### Kohlenhydrate

Die Kohlenhydratfraktion wird von 14 Prozent Stärke dominiert, die in verzehrfertigen Kartoffeln leicht verfügbar ist. Der glykämische Index liegt daher im mittleren bis hohen Bereich. Diabetiker müssen eine Portion Pellkartoffeln (200 g) mit zwei bis vier Broteinheiten kalkulieren. Der Pflanze dient Stärke als Reservestoff, in dem Glukose in einer unlöslichen und osmotisch unwirksamen Form vorliegt. Im Darm dient Stärke als Substrat für die Darmflora. Das Stärkemolekül besteht aus bis zu 50.000 D-Glukose-Einheiten, die über glykosidische Bindungen miteinander verknüpft sind. Zehn bis 30 Prozent liegen als unverzweigte Amylose und 70 bis 90 Prozent als verzweigtes Amylopektin vor. Außerdem enthalten Kartoffeln resistente Stärke, die zur Zeit häufig im Zusammenhang mit GLYX-Diäten Erwähnung findet, da sie eine geringe glykämische Wirkung hat. Das Attribut „resistent“ beschreibt die Tatsache, dass Amylasen diese Stärke nicht spalten können, und sie deshalb Ballaststoffcharakter besitzt. Auch analytisch wird sie als Ballaststoff erfasst. Resistente Stärke lässt sich in drei Gruppen unterteilen: Zur ersten gehört Stärke, die in intakten Zellen eingeschlossen und dadurch für Amylasen sehr schwer zugänglich ist. Die zweite Gruppe wird in nativer Form (rohe Kartoffel) im Dünndarm nicht verdaut. Grund hierfür ist die Anordnung der Stärkemoleküle im

Stärkekeorn. Dieser resistente Stärketyp wird verdaulich, wenn die Stärkekörner durch Erhitzen quellen und platzen (Verkleisterung) und so für stärkeabbauende Enzyme (Amylasen) zugänglich werden. Die dichte kristallartige Struktur löst sich zum Gel. Zur dritten Gruppe zählt die retrogradierte Stärke, die beim Abkühlen erhitzter, stärkehaltiger Lebensmittel wie Kartoffeln und Brot entsteht. Hier bildet sich die kompakte, für die Verdauungsenzyme unzugängliche Kristallstruktur zurück. Resistente Stärke bindet wie andere Ballaststoffe Wasser und erhöht so das Stuhlvolumen. Sie wirkt leicht abführend und hat protektive Eigenschaften in Bezug auf die Entstehung von Dickdarmkrebs. Dieser Schutzmechanismus beruht auf der steigenden Konzentration an kurzkettigen Fettsäuren, die Darmbakterien im Colon bilden. Lebensmittel mit resistenter Stärke haben einen niedrigen glykämischen Index und damit eine günstige Wirkung auf den Kohlenhydratstoffwechsel.

Stärkekeorn. Dieser resistente Stärketyp wird verdaulich, wenn die Stärkekörner durch Erhitzen quellen und platzen (Verkleisterung) und so für stärkeabbauende Enzyme (Amylasen) zugänglich werden. Die dichte kristallartige Struktur löst sich zum Gel. Zur dritten Gruppe zählt die retrogradierte Stärke, die beim Abkühlen erhitzter, stärkehaltiger Lebensmittel wie Kartoffeln und Brot entsteht. Hier bildet sich die kompakte, für die Verdauungsenzyme unzugängliche Kristallstruktur zurück. Resistente Stärke bindet wie andere Ballaststoffe Wasser und erhöht so das Stuhlvolumen. Sie wirkt leicht abführend und hat protektive Eigenschaften in Bezug auf die Entstehung von Dickdarmkrebs. Dieser Schutzmechanismus beruht auf der steigenden Konzentration an kurzkettigen Fettsäuren, die Darmbakterien im Colon bilden. Lebensmittel mit resistenter Stärke haben einen niedrigen glykämischen Index und damit eine günstige Wirkung auf den Kohlenhydratstoffwechsel.

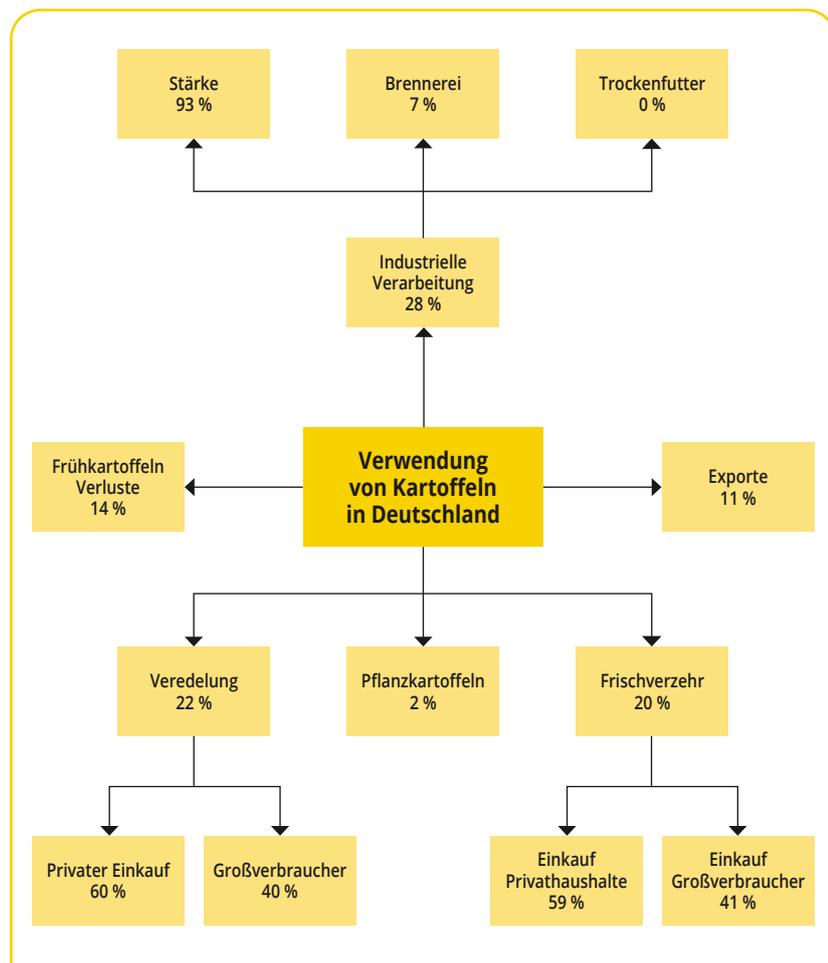


Abbildung 1: Nutzung von Kartoffeln in Deutschland (ZMP Bilanz, ZMP Mafo Briefe, Marktstudie: Warenstromanalyse Obst, Gemüse und Kartoffeln, ZMP/CMA 2004/05)

## Proteine

Trotz seines geringen Anteils von zwei Prozent an den Kartoffelinhaltstoffen ist das Kartoffeleiweiß wertvoll. Es enthält zahlreiche essenzielle Aminosäuren, die sich mit Aminosäuren aus gleichzeitig verzehrten Lebensmitteln über den Ergänzungseffekt zu hochwertigen Proteinen verbinden (z. B. Kartoffel-Ei). Schon 150 Gramm Kartoffeln decken den täglichen Bedarf eines Erwachsenen an den Aminosäuren Isoleucin, Leucin, Threonin, Tryptophan und Valin zu 25 bis 40 Prozent.

## Vitamine und Mineralstoffe

Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfiehlt für eine ausgewogene und gesunde Ernährung drei Kartoffeln (200–250 g) täglich. Ein Erwachsener kann damit einen Teil seines Vitamin- und Mineralstoffbedarfs decken. Von besonderer Bedeutung sind Vitamin C sowie die Vitamine des B-Komplexes (Thiamin, Riboflavin, Niacin, Pyridoxin). So deckt der Verzehr von 150 Gramm Kartoffeln den Vitamin-C-Bedarf zu etwa 35 Prozent. Kartoffeln sind arm an Natrium und enthalten wesentliche Mengen an Phosphor, Magnesium, Kali-

um, Eisen und Schwefel sowie eine Reihe von Spurenelementen (Kupfer, Zink, Selen, Molybdän).

## Fett

Der Gehalt an Fett ist mit 0,1 Prozent sehr gering. In der Zusammensetzung ist das Kartoffelfett reich an mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Die wichtigsten sind Linol- (59 %) und Linolensäure (18 %).

## Carotinoide und Polyphenole

Für die gelbe Farbe von Kartoffeln sind Carotinoide (Zeaxanthin, Violaxanthin, Lutein oder Isolutein) verantwortlich, deren Gehalte sich in weißfleischigen Kartoffeln auf 40 bis 100 Mikrogramm pro 100 Gramm und in dunkelgelben auf 525 bis 795 Mikrogramm pro 100 Gramm belaufen. Damit fallen sie im Vergleich zu Spinat mit 17.635 Mikrogramm pro 100 Gramm und Brokkoli mit 3.224 Mikrogramm pro 100 Gramm sehr gering aus. Kulturkartoffeln mit blauer Fleischfarbe sind als Zuchtsorten in Deutschland nicht üblich. Verantwortlich für die Knollenfärbung purpuroter Kartoffeln sind Anthocyane mit 17 bis 20 Milligramm pro 100 Gramm und für violett-rote Kartoffeln mit 20 bis 38 Milligramm pro 100 Gramm. Der Farbstoffgehalt ist damit mit dem von Erdbeeren vergleichbar. Zwar zählen Kartoffeln nicht zu den Gemüsearten mit der höchsten antioxidativen Kapazität, die Anwesenheit von Carotinoiden und Anthocyanen fördert allerdings die ernährungsphysiologische Wertigkeit. Diesen Zusammenhang belegt eine wissenschaftliche Studie, in der die Menge an Anthocyanen und Carotinoiden positiv mit der antioxidativen Kapazität korrelierte. Die Aufnahme von Nahrungsmitteln, die reich an Antioxidantien sind, wird mit einer Verminderung des Arteriosklerosiserisikos oder anderer degenerativer Prozesse in Verbindung gebracht. Durch gezielte züchterische Maßnahmen lässt sich sowohl der Gehalt an Carotinoiden als auch der an Anthocyanen in Kartoffeln erhöhen. Neben den Anthocyanen und Carotinoiden tragen farblose phenolische Verbindungen zur antioxidativen Kapazität von Kartoffeln bei, darunter 76 bis 182 Milligramm Gallussäure und

drei bis 90 Milligramm Chlorogensäure pro 100 Gramm Frischgewicht. Letztere ist für die Kochdunklung sowie für die Braunfärbung roher Kartoffeln verantwortlich. Anthocyanführende Kartoffeln und Kartoffelschalen werden versuchsweise als Farbstoffquelle genutzt. Trotz vergleichsweise geringer Rohstoffkosten, hoher Ausbeuten und guter Farbstoffqualität stellen farbfleischige Kartoffeln jedoch derzeit keine Alternative zu verfahrenstechnisch besser geeigneten Rohstoffen wie Aro-nia oder Holunder dar.

## Lagerung

Um die wertgebenden Inhaltsstoffe der Kartoffel bei der Bevorratung zu erhalten, müssen sie vor Licht, Feuchtigkeit, Frost und Wärme geschützt werden. Gesunde, unbeschädigte Knollen halten sich bei 95 Prozent Luftfeuchtigkeit in gut belüfteten Räumen bei vier bis acht Grad Celsius am besten. Niedrigere Temperaturen führen zum Süßwerden der Kartoffel durch Verzuckerung der Stärke in Glukose und Fruktose. So enthalten Kartoffeln, die über zwei bis drei Monate bei ein bis drei Grad Celsius lagern, nur noch 70 Prozent des ursprünglichen Stärkegehalts. Bemerkenswerterweise lässt sich das Süßwerden der Kartoffel durch Erhöhen der Lagertemperatur rückgängig machen. Eine Einlagerung von Kartoffeln bei zu hoher Temperatur führt neben dem Abbau wertvoller Vitamine zum Wasserverlust. Außerdem fördert sie die Keimung. Um dieser entgegenzuwirken, werden die Pflanzen bis drei Wochen vor der Ernte mit einer 0,2- bis 0,4-prozentigen Maleinsäurehydrazid-Lösung als Keimhemmungsmittel besprüht. Licht fördert die Ergrünung und somit die Bildung des Alkaloids Solanin. Deshalb ist eine Lagerung unter Lichtausschluss erforderlich. Da Kartoffeln druckempfindlich sind, sollte die Stapelhöhe möglichst gering bleiben. Gleichzeitig ist auf eine ausreichende Belüftung zu achten. Bei der Kartoffelerzeugung erfolgt unmittelbar nach der Ernte eine Einlagerung bei 12 bis 15 Grad Celsius über 8 bis 12 Tage, um Wundheilungsprozesse der durch die Ernte beschädigten Knollen zu fördern und damit einer bakteriellen Infektion mit nachfolgendem Verderb vorzubeugen. Die Knolle bildet an

**Tabelle 1: Inhaltsstoffe von Kartoffeln pro 100 Gramm**  
(Souci, Fachmann, Kraut 1994)

Inhaltsstoff	Gehalt
Energie (kcal/kJ)	70/298
Wasser (g)	77,8
Protein (g)	2,0
Fett (g)	0,1
Verfügbare Kohlenhydrate (g)	14,8
• Stärke (g)	14,1
• Glukose (mg)	240
• Fruktose (mg)	170
• Saccharose (mg)	300
Rohfaser/Ballaststoffe (g)	2,1
Organische Säuren (g)	0,6
davon	
• Zitronensäure (mg)	520
Mineralstoffe (g)	1,0
davon	
• K (mg)	411
• Mg (mg)	20
• Zn (µg)	347
• Fe (µg)	403
Vitamine	
• B <sub>1</sub> (µg)	110
• B <sub>2</sub> (µg)	47
• B <sub>6</sub> (µg)	307
• C (mg)	17

den verletzten Stellen eine Korksicht aus Suberin und schafft damit eine Barriere gegen mikrobielle Infektionen. Erst danach wird die Temperatur langsam abgesenkt.

## Kartoffelverarbeitung Schälverfahren

Zu den mechanischen Schälverfahren gehören das Messerschälen sowie der Abrieb der Schale mittels grober oder feiner Karborundkörnung.

- Beim Karborundverfahren werden die Kartoffeln an der Topfwand und auf dem Topfboden durch die Körnung des Karborunds abgeschliffen und die Schalenteile kontinuierlich durch zugeführtes Wasser aus der Maschine herausgeschwemmt. Die Nachteile des Verfahrens sind das Nachputzen tiefliegender Augen, eine zerklüftete Knollenfläche und eine starke Verfärbung.
- Beim Messerschälverfahren werden die Kartoffeln gegen feststehende Messer geschleudert und die Schale auf diese Weise abgetragen. Das ist für kleinere Mengen empfehlenswert, allerdings muss man mit höherem Schälabfall rechnen.

Das Dampfschälen zählt zu den thermischen Schälverfahren.

- Die Knollen werden nur für wenige Sekunden Dampf mit hohem Druck und hoher Temperatur ausgesetzt. Durch hydrolytische Spaltung des Pektins wird die Schale vom darunterliegenden Gewebe getrennt. Durch plötzliche Entspannung löst sich die Schale ab und lässt sich mit einem scharfen Wasserstrahl und Bürsten vollständig entfernen. Nachteilig ist die oberflächliche Verhärtung der geschälten Kartoffel.

Das Laugenschälverfahren ist ein chemisches Verfahren.

- Mit heißer Natronlauge wird die äußere Zellschicht aufgelockert und beim Bürstenwaschen vollständig entfernt. Bei diesem Verfahren macht man sich wiederum die Hydrolyse des Pektins zunutze. Der Schälereffekt ist sehr gut und ein Nachputzen entfällt. Nachteilig sind die großen Schälverluste und die Entsorgung großer Lauge-mengen.

Bei der Zubereitung von Kartoffeln kommt es zu mehr oder weniger großen Nährstoffverlusten. Pellkartoffeln beispielsweise verlieren weniger Nährstoffe als Schälkartoffeln.



Foto: © Carmen Steiner/stock.adobe.com

## Enzymatische Bräunung

Frisch geschälte Kartoffeln sind sehr anfällig gegenüber Bräunung. Die Voraussetzung für solche Reaktionen ist die Anwesenheit von phenolischen Verbindungen, Sauerstoff und dem Enzym Polyphenoloxidase. Zur Verhinderung der enzymatischen Bräunung gibt es mehrere technologische Möglichkeiten: Zunächst kann der Luftsauerstoff von Kartoffeln ferngehalten werden, zum Beispiel durch Einlegen in Wasser. Die Verwendung von Zitronensäure führt zur pH-Absenkung und damit zum Unterschreiten des pH-Optimums der Oxidationsenzyme. Durch Zugabe von Ascorbinsäure können Bräunungen sogar teilweise rückgängig gemacht werden. Blanchieren verhindert die enzymatische Bräunung durch thermische Inaktivierung der Polyphenoloxidase gänzlich. Die Verwendung von schwefliger Säure schaltet die Oxidationsenzyme aus und wirkt auch gegen mikrobiellen Verderb. Allerdings zerstört sie das Thiamin (Vitamin B<sub>1</sub>).

## Veränderung der Inhaltsstoffe durch Zubereitung und Verarbeitung

### Vitamin C

Bei der Erfassung von Zubereitungsverlusten bei Lebensmitteln dient Vitamin C als Indikator, da es das empfindlich-

ste aller Vitamine ist. Die Verluste an anderen Vitaminen fallen dann eher gering aus.

Während der Zubereitung von Kartoffeln durch Garen in der Schale und Dämpfen in wenig Wasser steigt der verfügbare Nährstoffgehalt (Stärke, Protein). Die Verluste an Vitamin C lassen sich durch Dämpfen auf 20 Prozent begrenzen. Eine längere Lagerdauer kann zu Vitaminverlusten von 40 bis 60 Prozent führen. Die küchentechnische Zubereitung führt außerdem zu Auslaugverlusten bei den wasserlöslichen Vitaminen. So reduziert sich der Vitamin-C-Gehalt durch Warmhalten im Wasser bei 80 Grad Celsius in Pellkartoffeln um 16 Prozent, in geschälten Kartoffeln um 77 Prozent.

### Alkaloide

Kartoffeln enthalten geringe Mengen toxischer Alkaloide, die der Pflanze als Abwehrstoffe gegen Krankheiten und Fraßfeinde dienen. Es handelt sich um ein Gemisch verschiedener Steroidalalkaloid-Glykoside, deren Hauptbestandteile Alpha-Chaconin und Alpha-Solanin in einem Verhältnis von 0,8 bis 2,6 vorliegen. Da Alpha-Chaconin toxischer als Alpha-Solanin ist, ist ein möglichst geringer Quotient anzustreben, der unter anderem sortenabhängig ist. Die Alkaloide kommen vor allem in der Schale, in den Keimen und in grünen Stellen der Knolle

vor. Der Solanin Gehalt im essbaren Anteil liegt zwischen 0,001 und 0,002 Prozent. Erst eine Aufnahme von über 20 Milligramm Gesamt-Alkaloid, erkennbar am stark bitteren Geschmack, ist toxisch für den Menschen. Leichte Vergiftungen äußern sich als Brennen und Kratzen im Hals, Magenbeschwerden oder Übelkeit. Solanin ist hitzestabil, geht aber aufgrund seiner Wasserlöslichkeit in das Kochwasser über. Dieses sollte deshalb nicht weiterverwendet werden.

## Nitrat

Die Knolle selbst dient nur begrenzt als Speicherorgan für Nitrat, dessen Gehalte mit 10 bis 500 Milligramm pro Kilogramm relativ gering ausfallen. Im Vergleich dazu kann der Nitratgehalt von Blattgemüse wie Spinat bis über 5.000 Milligramm pro Kilogramm erreichen.

Der Gehalt in Kartoffeln wird maßgeblich von der Nitratverfügbarkeit im Boden beeinflusst. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt eine Begrenzung der täglichen Nitrataufnahme auf 3,65 Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht und Tag. Werden größere Mengen Kartoffeln verzehrt, könnten sie trotz ihres geringen Gehaltes einen signifikanten Beitrag zur Gesamt-Nitrataufnahme leisten. Allerdings führt wiederholtes Wässern im Laufe der Zubereitung zu Nitratverlusten von bis zu 80 Prozent.

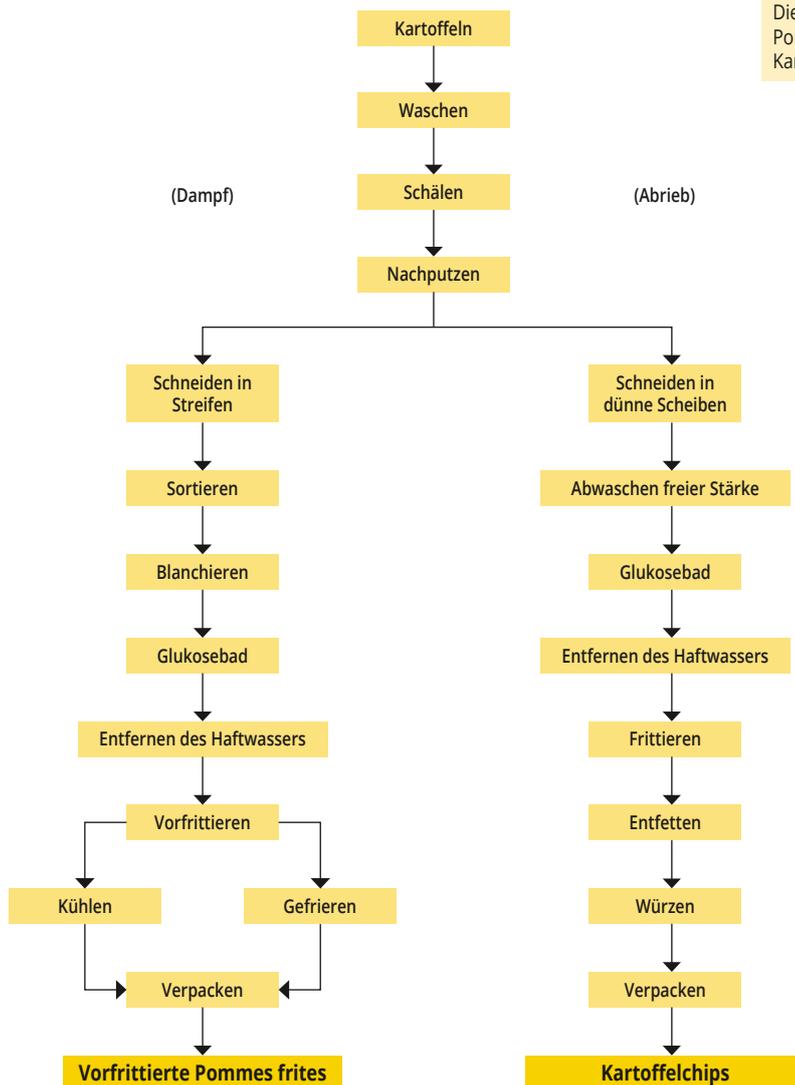
## Acrylamid

Bei der Herstellung frittierten Produktes steigt nicht nur der Brennwert (Chips 2.241 kJ/100 g, Pommes frites 1.215 kJ/100 g), sondern auch das Bildungsrisiko von Acrylamid. Acrylamid ist eine

Substanz, die in Verdacht steht, Krebs auszulösen. Seit dem Bekanntwerden der Acrylamidproblematik im Jahre 2002 werden verstärkt Studien zur Entstehung von Acrylamid und dessen Verhinderung durchgeführt. Der bekannte Bildungsweg geht von in Kartoffeln natürlicherweise vorliegendem Asparagin und reduzierenden Zuckern (Glukose, Fruktose) aus, die im Zuge der Maillard-Reaktion (Bräunungsvorgang bei der Zubereitung) Acrylamid bilden. Hierbei hat die Konzentration der reduzierenden Zucker einen größeren Einfluss als der Asparagingehalt. Faktoren wie Erntezeitpunkt, Lagerungsbedingungen oder die jeweilige Sorte sind ebenfalls Parameter, die auf das Acrylamidbildungspotenzial Einfluss nehmen.

Inzwischen weiß man, dass Acrylamid-Gehalte von der Temperatur und der Erhitzungsdauer des Lebensmittels abhängen und mit dem Bräunungsgrad des jeweiligen Lebensmittels steigen (Pommes frites bzw. Chips bis 3.000 µg/kg). Um den Acrylamid-Gehalt zu minimieren, sollten Pommes frites bei maximal 175 Grad Celsius frittiert werden. Erst unterhalb von 120 Grad Celsius bleibt die Acrylamidbildung aus.

**Abbildung 2:**  
Die Herstellung von Pommes frites und Kartoffelchips



## Kartoffelerzeugnisse

Früher dienten Kartoffeln als Grundnahrungsmittel. Heute sind sie oft nur Beilage oder werden als Veredelungsprodukte in Form von Chips, Pommes frites, Kroketten usw. verzehrt. Es gibt Nass-, Trocken- und frittierte Kartoffelprodukte.

## Nassprodukte

Nassprodukte sind geschälte, sterilisierte Kartoffeln in Gläsern, Dosen oder Folien sowie tiefgekühlte, gekochte Kartoffeln.

## Frittierte Kartoffelprodukte: Pommes frites und Kartoffelchips

Kartoffelchips und Pommes frites werden schwimmend in heißem Öl oder Fett gebacken (Abb. 2).

Pommes frites gibt es sowohl tiefgefroren als auch gekühlt. In der Regel sind es vorgebackene Kartoffelstäbchen mit einem Querschnitt von 7 mal 7 bis 10 mal 10 Millimeter. In der modernen Herstel-

lung vorfritterter Pommes frites wird nach dem Dampfschälen und Schneiden zur Qualitätsverbesserung ein Blanchierschritt eingefügt. Dabei wird Zucker ausgewaschen, wodurch sich die Acrylamidgehalte um die Hälfte senken lassen.

Für die Chipsproduktion ist der Einsatz von Dampfschälverfahren nicht möglich. Zur Vermeidung eines Kochrands werden Abriebschäler verwendet. Die Kartoffelchips sind als Scheiben, im Wellenschnitt und als geschnittene Stäbchen verarbeitet. Neben den aus frischen Kartoffeln hergestellten Chips erfreuen sich neuerdings Stapelchips großer Beliebtheit. Diese werden mittels Extruder aus Kartoffelpüree geformt und anschließend frittiert.

Durch das Frittieren der Kartoffelprodukte steigt ihr Fettgehalt erheblich. Bei Pommes frites kommt es zu Fettgehalten von 14 Prozent, bei Chips bis zu 50 Prozent. **Tabelle 2** zeigt die Fettgehalte von Chips in Abhängigkeit ihrer Scheibendicke: Die Fettgehalte nehmen mit abnehmender Scheibendicke zu. Um den Fettgehalt zu reduzieren, arbeitet man an verschiedenen Verfahren zur Entfettung.

### Trockenprodukte: Kartoffelpüree

Trockenprodukte werden durch Reiben und Trocknen hergestellt. Die einzelnen Rezepturkomponenten werden gemischt und etwa zu Knödeln, Kroketten und Suppen verarbeitet.

Kartoffelpüree lässt sich auf zwei unterschiedlichen Wegen herstellen, zum einen durch das so genannte Flockenverfahren, zum anderen durch das Granulat- oder Addback-Verfahren. Bei beiden ist oberstes Ziel, möglichst wenig Kartoffelzellen während des gesamten Herstellungsprozesses zu zerstören. Der Austritt von Stärke soll minimal sein, um eine Verkleisterung des Pürees zu verhindern. Bei hochwertigen Produkten liegt der Anteil der zerstörten Zellen unter sechs Prozent.

Beim Flockenverfahren werden die geschälten Kartoffeln in etwa 12 bis 15 Millimeter dicke Scheiben geschnitten, die im Anschluss gewaschen werden, um die Stärke von den Schnittflächen zu entfernen. Es folgen zwei Wärmebehandlungsschritte. Im ersten werden

Kartoffelpüree ist ein beliebtes Trockenprodukt, das sich bei der Zubereitung nach Belieben verfeinern lässt.



die Kartoffelscheiben in einem Wasserblancheur für 15 bis 25 Minuten auf Temperaturen oberhalb der Verkleisterungstemperatur der Stärke (68–75 °C) gebracht. Vor dem zweiten Wärmebehandlungsschritt werden die Kartoffeln so schnell wie möglich abgekühlt (etwa 20 min), um die Retrogradation der Amylose zu fördern. Diese Maßnahmen dienen der Stabilisierung der Kartoffelzellen. Im Anschluss werden die Kartoffelscheiben etwa 20 bis 30 Minuten in einem Dampfkocher bei einer Temperatur von 100 Grad Celsius gekocht und schließlich zu einem Brei zerkleinert, der auf einem von innen beheizten Walzentrockner (140–170 °C) innerhalb von wenigen Sekunden als dünne Schicht getrocknet wird. Das Produkt wird von der Walzenoberfläche abgeschabt und auf Flockengröße zerkleinert.

Das Granulatverfahren ist bis zur Kochung und Zerkleinerung mit dem Flockenverfahren identisch. Das Grundprinzip beruht hier auf dem Mischen von getrocknetem Püreepulver mit nassem Kartoffelpüree im Verhältnis 2:1. Dadurch wird die Trennung der Kartoffelzellen erleichtert. Die homogene Mischung wird auf 15 bis 22 Grad Celsius abgekühlt. Dies führt zur Retrogradation der Stärke und zum Feuchtigkeits-

**Tabelle 2: Fettgehalt von Kartoffelchips in Abhängigkeit von der Scheibendicke**

Scheibendicke (mm)	Fettgehalt (%)
2,1	43,8
1,8	44,7
1,5	46,8
1,3	47,6
1,1	49,9

ausgleich. Das feuchte Pulver wird daraufhin einem Stromtrockner zugeführt und in einem Heißluftstrom von 150 bis 225 Grad Celsius auf einen Wassergehalt von 12 bis 15 Prozent getrocknet. Danach wird das Pulver schnellstmöglich mit Kaltluft abgekühlt, um die Maillard-Reaktion möglichst gering zu halten. Am Ende folgt ein Siebschritt, um Schalenreste und größere Pulverkörner abzutrennen. Etwa zwei Drittel des Produkts werden zur Mischung mit dem Nassbrei zurückgeführt (Add-back), während der Rest in einem Fließbett-trockner bei 70 bis 80 Grad Celsius auf einen Wassergehalt von sechs bis acht Prozent gebracht wird. Auch in der industriellen Verarbeitung ist bei der Auswahl der Kartoffel der Kochtyp zu berücksichtigen. ●

# Margarine – Vom Butterersatz zum Trendprodukt

DR. THORSTEN MAIER • REGINE VALET • PROF. DR. DIETMAR R. KAMMERER • PROF. DR. DR. REINHOLD CARLE



Foto: © robynmad/stock.adobe.com

**Margarine diente ursprünglich als Butterersatz. 1869 setzte Napoleon III. einen Preis für die Herstellung eines wenig verderblichen und billigen Ersatzfettes zur Versorgung der Armee und unterer Bevölkerungsschichten aus. Der Chemiker Hippolyte Mège-Mouriés entwickelte daraufhin ein Produkt auf Basis von Rindertalg, Magermilch und gehäckseltem Kuheuter, das diesen Anforderungen entsprach und noch im gleichen Jahr patentiert wurde.**

Der Name „Margarine“ leitet sich vom griechischen Wort „Margaron“ (Perle) ab und deutet auf den perlenartigen Glanz des ursprünglichen Erzeugnisses hin. Wie Margarine-Werbeplakate aus dem Jahr 1925 zeigen, wurde damals bewusst der Bezug zur Butter hergestellt (man beachte die Schreibweise) „Rahma MARGARINE buttergleich ... Fein wie Butter! Billig wie Margarine!“. Noch heute ist in einigen Ländern der Zusatz eines Erkennungsmittels (z. B. Sesamöl, Stärke) zur Erleichterung des Nachweises von Margarine gesetzlich vorgeschrieben.

## Verbrauch

Mit mehr als vier Millionen Tonnen stehen die USA weltweit an der Spitze der

Margarine-Produzenten (Durchschnittswerte 1993–2014 auf Basis der FAOSTAT-Datenbank), gefolgt von Pakistan, Indien und der Türkei. Deutschland rangiert in dieser Statistik auf Platz 5 mit einer durchschnittlichen Produktion von über 500.000 Tonnen. Im Jahr 2019 betrug die Produktionsmenge in Deutschland allerdings nur noch 319.400 Tonnen. Auch der Pro-Kopf-Verbrauch von Margarine ist rückläufig: Während er 1970 bei über 8,9 Kilogramm lag, konsumierten die Menschen in Deutschland 2015 ungefähr noch die Hälfte. Im Vergleich: Der Pro-Kopf-Verbrauch von Butter lag in den vergangenen 20 Jahren stabil zwischen 5,6 und 6,4 Kilogramm (*Statista 2021*).

## Trends

Der Verbraucher kann heute aus einer Vielzahl unterschiedlicher Margarinen wählen, wobei sich besonders Produkte mit reduziertem Fettgehalt im Trend einer kalorienbewussten Ernährung zunehmender Beliebtheit erfreuen. So stieg deren Marktanteil in den vergangenen zehn Jahren von zwei auf 23 Prozent.

Standarderzeugnisse sind im Vergleich zu Butter immer noch die preiswertesten Streichfette. Margarine hat ein „ge-

sundes“ Image, auch wenn viele Verarbeitungsschritte notwendig sind, bis das Produkt auf dem Frühstückstisch steht. Wie Stiftung Warentest jüngst feststellte (vgl. *Test-Heft 2/2008*), weisen nicht alle Margarinen eine gute ernährungsphysiologische Qualität auf, vor allem hinsichtlich des Gehaltes an essenziellen Fettsäuren. Fast alle auf dem Markt befindlichen Produkte sind aus pflanzlicher Rohware hergestellt, sodass der Werbeslogan „frei von Cholesterin“ eine Selbstverständlichkeit beschreibt. Von den untersuchten 27 Vollfett-Margarinen wiesen nur zwei Erzeugnisse einen Anteil an tierischem Fett auf, was sich in einem leicht erhöhten Cholesteringehalt äußerte.

## Begriffsbestimmungen

In der EG-Streichfett-Verordnung (EG Nr. 2991/94) wird Margarine definiert als ein bei 20 Grad Celsius festbleibendes, streichfähiges Erzeugnis in Form einer plastischen Emulsion, überwiegend nach dem Typ Wasser in Öl, die aus festen und/oder flüssigen pflanzlichen und/oder tierischen Fetten gewonnen wurde, die für die menschliche Ernährung geeignet sind. Der Milchfettanteil im Enderzeugnis beträgt höchstens drei Prozent des Gesamt-Fettgehalts. Je nach Fettgehalt der Erzeugnisse werden folgende Verkehrsbezeichnungen verwendet:

- Margarine (auch Vollfett-Margarine): mindestens 80 Prozent und weniger als 90 Prozent
- Dreiviertelfett-Margarine (auch fettreduziert): mindestens 60 Prozent und höchstens 62 Prozent
- Halbfett-Margarine (auch fettarm, light, leicht, Minarine, Halvarine): mindestens 39 Prozent und höchstens 41 Prozent
- Streichfett „X“ Prozent: abweichende Fettgehalte

Tafel- oder Haushalts-Margarine darf auch tierische Fette/Öle enthalten. Pflanzliche Margarine ist zu mindestens 98 Prozent aus pflanzlichen Fetten/Ölen

zusammengesetzt. Besteht das Erzeugnis zu 97 Prozent aus nur einer Pflanzenart, so darf diese im Namen erscheinen (z. B. Sonnenblumen-Margarine). Zur Charakterisierung von Diät-Margarine lässt sich die Richtlinie des Bundesverbandes der diätetischen Lebensmittelindustrie heranziehen. Danach muss eine Diät-Margarine im Vergleich zu herkömmlicher Margarine eine besondere Zusammensetzung aufweisen und für einen besonderen Ernährungszweck geeignet sein. Dies sind Erzeugnisse mit Blutfett senkender Wirkung, mit reduziertem Fettgehalt (Halbfett-Margarine) und zur Beeinflussung von Fettresorptions- und -transportstörungen. Eine Diät-Margarine besteht nur aus pflanzlichen Fetten und Ölen, unvollständig gehärtete Fette werden nicht verwendet. Auf ein Gramm mehrfach ungesättigte Fettsäuren kommt mindestens ein Milligramm Tocopherol, der Natriumgehalt beträgt höchstens 40 Milligramm pro 100 Gramm, der Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren muss mindestens 50 Prozent der Gesamt-Fettsäuren betragen („besonders reich an mehrfach ungesättigten Fettsäuren“), ausgenommen Erzeugnisse zur Beeinflussung von Fettresorptions- und -transportstörungen.

Die Bezeichnung „Reform-Margarine“ ist gesetzlich nicht geregelt. Im Allgemeinen bestehen diese Erzeugnisse nur aus pflanzlicher Rohware, zum Teil aus kalt gepressten, nicht raffinierten Pflanzenölen, auf den Einsatz gehärteter und umgeesterter Fette wird verzichtet. Weiterhin gibt es auch noch Margarinen für gewerbliche Zwecke mit unterschiedlichem Schmelzverhalten. Mit Back-Margarine lassen sich besonders lockere Gebäcke erzielen, Zieh-Margarine wird zur Herstellung von Zweiphasenteigen wie Plunder- oder Blätterteig eingesetzt und Creme-Margarine für Kuchenfüllungen.

### Charakterisierung von Fetten

Fette und Öle sind Ester aus dem dreiwertigen Alkohol Glycerin und unterschiedlichen Fettsäuren (Abb. 1). Fettsäuren werden chemisch nach Anzahl und Position der Doppelbindungen in gesättigte und ungesättigte Fettsäuren unterschieden, nach der Kettenlänge in kurz-, mittel- und langkettige oder höhe-

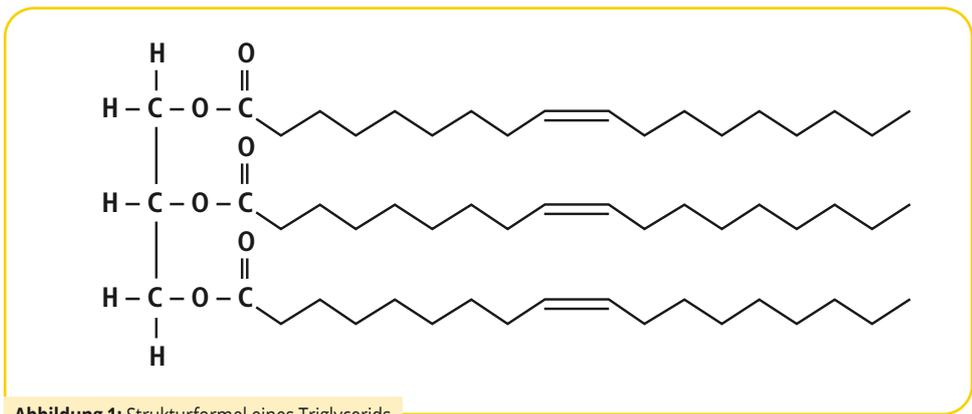


Abbildung 1: Strukturformel eines Triglycerids

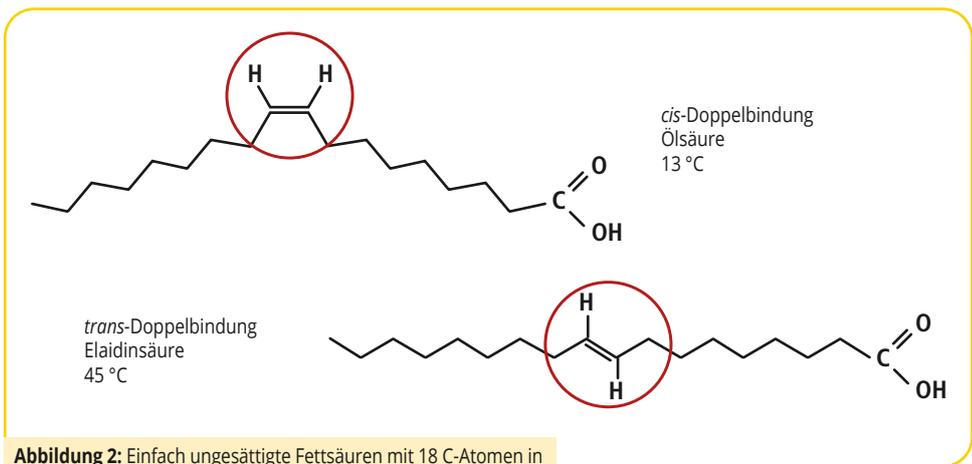


Abbildung 2: Einfach ungesättigte Fettsäuren mit 18 C-Atomen in cis- und trans-Form mit Angabe des Schmelzpunkte

Tabelle 1: Abhängigkeit des Schmelzpunkts und der relativen Oxidationsgeschwindigkeit einer Fettsäure mit 18 C-Atomen von der Anzahl der Doppelbindungen (Belitz, Grosch, Schieberle 2008)

	Anzahl Doppelbindungen	Schmelzpunkt (°C)	Relative Oxidationsgeschwindigkeit
Linolensäure	3	-11	2.500
Linolsäure	2	-5	1.200
Ölsäure	1	13	100
Stearinsäure	0	69	1

re Fettsäuren sowie ernährungsphysiologisch in nicht essenzielle und essenzielle Fettsäuren (vor allem Linol- und Linolensäure), die über die Nahrung aufgenommen werden müssen. Bei pflanzlichen Fetten und Ölen stehen gesättigte Fettsäuren bevorzugt in 1- oder 3-Position, bei tierischen in der 2-Position des Triglycerids. Die Unterscheidung zwischen Ölen und Fetten ergibt sich aus deren Aggregatzustand bei Raumtemperatur: Öle sind flüssig, während Fette bei 20 Grad Celsius fest bleiben. Der Schmelzpunkt eines Fettes oder Öls ist vom Sättigungsgrad der Fettsäuren in den Triglyceriden abhängig. Je höher ihr Anteil ungesättigter Fettsäuren ist, desto niedriger ist ihr Schmelzpunkt

(Tab. 1). Die in ungesättigten Fettsäuren vorliegenden Doppelbindungen führen zu Knickstellen in der Kette (Abb. 2), was die Kristallisation der entsprechenden Triglyceride erschwert.

Die meisten in der Natur vorkommenden Triglyceride liegen als Öle vor, etwa aus den Samen von Sonnenblume, Soja und Raps, aber auch aus dem Fruchtfleisch von Olive und Palme. Seetieröle sind ebenfalls flüssig, während Landtiere vor allem Fette mit hohem Gehalt an gesättigten Fettsäuren aufweisen (Talg, Schmalz). Pflanzliche Fette können lediglich aus der Kokosnuss, dem Palmkern und der Kakaobohne gewonnen werden. Um den hohen Bedarf an festen oder halbfesten Streichfetten de-

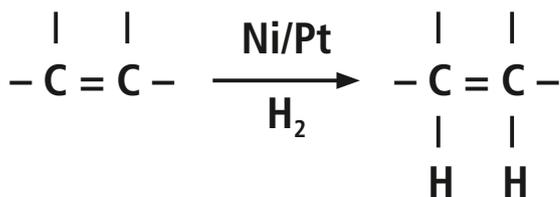


Abbildung 3: Hydrierung von ungesättigten Fettsäuren

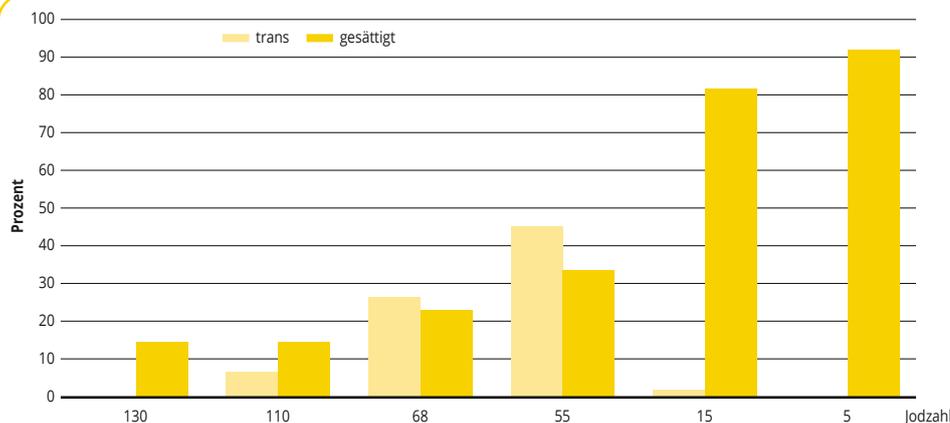


Abbildung 4: Anteile (%) an trans- und gesättigten Fettsäuren im Verlauf der Härtung von Sojaöl (Jodzahl: Maß für den Anteil an ungesättigten Fettsäuren)

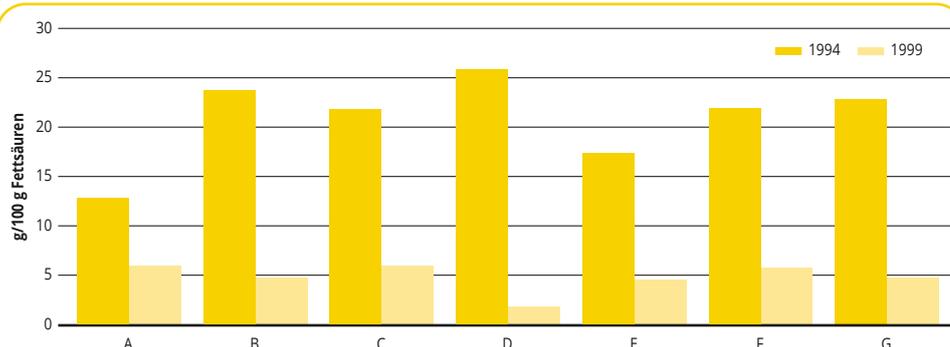


Abbildung 5: Trans-Fettsäuregehalt in Sonnenblumen-Margarine: Untersuchung derselben Marken 1994 und 1999 (Precht, Molkentin 2000)

cken zu können, ist es deshalb unumgänglich, die Eigenschaften von Ölen entsprechend zu modifizieren. Dabei ist auch eine Kombination der nachfolgend aufgeführten Verfahren möglich.

### Modifikation von pflanzlichen Ölen für die Margarineherstellung

#### Härtung

Bereits im Jahr 1902 führte W. Normann die erste Walöl-Härtung durch und entwickelte damit ein Verfahren zur Umwandlung flüssiger Öle in feste Fette. Der Prozess der Härtung beruht auf der teilweisen oder vollständigen Hyd-

rierung ungesättigter Fettsäuren durch chemische Reaktion mit Wasserstoff unter Einsatz eines Katalysators (Abb. 3). Dabei ist Nickel aufgrund des günstigen Verhältnisses zwischen Lebensdauer und Preis am gebräuchlichsten, auch wenn der trans-Fettsäuregehalt (s. u.) durch Platin-Katalysatoren beträchtlich vermindert werden kann.

Die Härtung bewirkt nicht nur eine Erhöhung des Schmelzpunktes, sondern auch eine Verbesserung der oxidativen Stabilität der Fette (Tab. 1). Zur Schonung des Katalysators werden nur raffinierte Öle (frei von Schleimstoffen und schwefelhaltigen Verbindungen) eingesetzt. Die Reaktion läuft diskontinuier-

lich im Autoklaven ab. Neuere Entwicklungen zielen auf eine kontinuierliche Prozessführung. Der Autoklav besteht aus einem zylindrischen Stahlgefäß mit einer Kapazität von fünf bis 50 Tonnen. Die Temperatur wird über Heiz- und Kühltaschen eingestellt. Rührer gewährleisten eine gleichmäßige Durchmischung des Inhalts. Die Reaktion findet bei etwa 180 Grad Celsius und einem Druck von zwei bis vier bar unter Sauerstoffausschluss statt, wobei die Härtingsbedingungen erheblichen Einfluss auf die Zusammensetzung und damit auf die Konsistenz des Produkts haben. Bei Temperaturanstieg über 200 Grad Celsius nimmt der Gehalt an freien Fettsäuren stark zu, und eine unerwünschte Färbung des Produktes tritt auf.

Als Nebenreaktion bei der Fetthärtung können aus den natürlich vorkommenden cis-Verbindungen durch Isomerisierung trans-Fettsäuren entstehen. Diese weisen eine ähnlich gestreckte Kohlenstoffkette wie gesättigte Fettsäuren auf (Abb. 2). Der Anteil der trans-Isomere nimmt im Laufe der Hydrierung zunächst zu. Da bei fortlaufendem Prozess die Zahl der ungesättigten Verbindungen jedoch immer weiter abnimmt, enthalten vollständig durchgehärtete Öle somit auch keine trans-Fettsäuren mehr (Abb. 4). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die entstehenden gesättigten Fettsäuren aus ernährungsphysiologischen Gründen ebenfalls nicht wünschenswert sind. Deshalb werden durchgehärtete Fette als Ausgangsprodukte für weitere Modifikationsprozesse eingesetzt oder anderen Fetten/Ölen beigemischt.

Weitere lebensmitteltechnologische Prozesse, bei denen trans-Fettsäuren als Nebenprodukte entstehen können, sind die Desodorierung im Rahmen der Raffination von Ölen, also die Entfernung unerwünschter geruchsaktiver Bestandteile und freier Fettsäuren durch Destillation, oder das starke Erhitzen von Ölen und Fetten beim Braten oder Frittieren. In der Natur entstehen trans-Fettsäuren durch Bakterien im Pansen von Wiederkäuern aus den mit der Nahrung aufgenommenen ungesättigten Fettsäuren. Deshalb weist Milch beziehungsweise Rinderfett (Butter) einen Gehalt von drei bis fünf Gramm pro 100 Gramm trans-Fettsäuren auf.

Trans-Isomere schädigen die Gesundheit des Menschen langfristig und wer-

den sogar noch ungünstiger bewertet als gesättigte Fettsäuren. Der Verzehr von *trans*-Fettsäuren führt zu einer Erhöhung des LDL-Cholesterinspiegels und zu einer Senkung des HDL-Cholesterinspiegels. Epidemiologische Studien zur Wirkung einzelner *trans*-Fettsäuren zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen erhöhter Elaidinsäurezufuhr (Abb. 2) und einer vermehrten Inzidenz koronarer Herzerkrankungen. Nach Bekanntwerden dieser Untersuchungen in den Jahren 1993/94 ist es durch veränderte Verarbeitungsprozesse und Rezepturanpassungen gelungen, den *trans*-Fettsäuregehalt in Margarinen stark zu reduzieren (Abb. 5). Back- und Bratfette sowie daraus hergestellte Lebensmittel wie Teige/Gebäcke oder Frittierprodukte weisen jedoch Gehalte von bis zu 30 Gramm pro 100 Gramm auf.

In Deutschland, Österreich und der Schweiz sind Verzehrsempfehlungen erlassen worden (DGE 2000). Demnach sollte die tägliche Aufnahme an *trans*-Fettsäuren unter einem Prozent der Nahrungsenergie liegen, was bei einem Energierichtwert von 2.400 Kilokalorien pro Tag einer Menge von unter 2,6 Gramm entspricht. In anderen Ländern wurden bereits Grenzwerte für bestimmte Produkte festgelegt. Beispielsweise darf der *trans*-Fettsäuregehalt eines Öles oder Fettes in Dänemark maximal zwei Prozent betragen. In Kanada und den USA muss der *trans*-Fettsäuregehalt eines Lebensmittels auf der Verpackung deklariert werden. Die in Deutschland vorgeschriebene Kennzeichnung zur Verwendung von gehärteten Fetten im Zutatenverzeichnis ist wenig hilfreich, da nur unvollständig gehärtete Fette *trans*-Fettsäuren enthalten (Abb. 4). Von den durch die Stiftung Warentest untersuchten Margarinen wiesen sechs Produkte die Verwendung von gehärteten Fetten/Ölen aus, jedoch lag der *trans*-Fettsäuregehalt kaum über ein bis zwei Prozent.

### Umesterung

Eine Alternative zur katalytischen Fetthärtung stellt die Umesterung dar, bei der die physikalischen Eigenschaften von Fetten und Ölen gezielt modifiziert werden, ohne die Fettsäuren chemisch zu verändern. Dabei entstehen je nach Auswahl der Rohstoff-

fe (Fettsäuremuster) und Prozessführung (Temperatur, Katalysator) Fettsäureester mit maßgeschneiderten Eigenschaften. Bei der Einphasenumesterung werden die Fettsäuren vom Glycerin-Rest abgespalten und durch intra- und intermolekularen Austausch statistisch neu verteilt (Abb. 6). Die Schmelzpunkte der entstehenden Verbindungen umfassen eine Spanne von +63 bis -12 Grad Celsius. Dazu wird das Öl mit Natrium-Methylat bei 70 bis 100 Grad Celsius im Vakuum gerührt. Nach Beendigung der Reaktion wird der Katalysator durch Wasserzugabe inaktiviert und ausgewaschen. Das umgeesterte Fett muss einer Raffination (Bleichung, Dämpfung) unterzogen werden.

Bei der gelenkten Umesterung wird die Reaktionstemperatur so weit gesenkt, dass höherschmelzende und schwerlösliche Triglyceride auskristallisieren und somit gezielt dem Reaktionsgeschehen entzogen werden. Eine weitere Möglichkeit ist die enzymatisch katalysierte Umesterung. Dazu wird eine 1,3-spezifische Lipase eingesetzt, die selektiv die endständigen Fettsäuren auf den Positionen 1 und 3 der Triglyceridmoleküle ablöst, während die Fettsäure auf Position 2 bleibt (Abb. 7). Das entstehende Mono- beziehungsweise Diglycerid kann mit anderen Fettsäuren, die zum Reaktionsansatz zugegeben werden, verestert werden.

### Fraktionierung

Durch fraktionierte Kristallisation können unerwünschte Bestandteile eines Fetts entfernt oder erwünschte Triglyceride angereichert werden. Insbesondere aus Palmöl und Kokosfett werden bestimmte Fraktionen isoliert. Dazu wird das Öl so langsam abgekühlt, dass die hochschmelzenden Triglyceride möglichst selektiv kristallisieren und durch Filtration abgetrennt werden können.

### Neue Rohstoffquellen

Eine Alternative zum Einsatz dieser Technologien ist die Suche nach neuen Rohstoffquellen, die Lipide in der gewünschten Zusammensetzung enthalten. In Westafrika wurden beispielsweise die Samen von *Allanblackia stuhlmanii* bzw. *A. floribunda* (Fam. Guttiferae) entdeckt, die einen Fettgehalt von 35 Prozent aufweisen. Aufgrund annähernd gleicher Anteile der Haupt-Fettsäuren Stearin- und Ölsäure ist das Fett bei 25 Grad Celsius fest. Für dessen Nutzung ist jedoch eine Zulassung als Novel Food erforderlich, die im Juli 2006 von der Firma Unilever beantragt wurde. Eine weitere Möglichkeit ist die züchterische Veränderung der Fettsäure-Zusammensetzung von Rohwaren (z. B. high oleic sunflower).

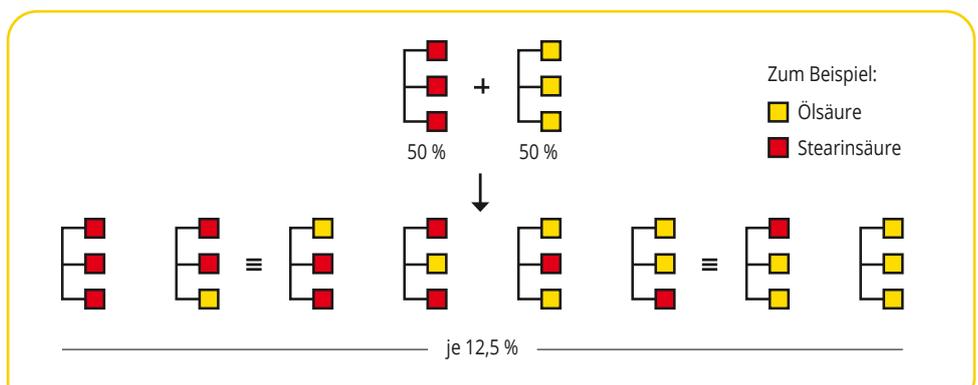


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Einphasenumesterung

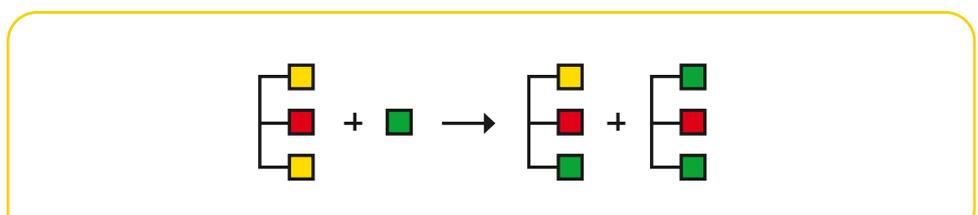


Abbildung 7: Schematische Darstellung der enzymatisch katalysierten Umesterung

### Technologie der Margarineherstellung

Gemäß der EG-Streichfett-Verordnung ist Margarine eine Emulsion, überwiegend nach dem Typ Wasser in Öl. In einer kontinuierlichen Fettphase, die bei Vollfett-Margarine rund 80 Prozent des Produkts ausmacht, ist die wässrige Phase in Form fein verteilter Wassertröpfchen eingelagert (Abb. 8). Dabei bilden die partiell auskristallisierten Fette ein dreidimensionales Netzwerk. Dazwischen verteilt sich flüssiges Öl und verhindert somit das Zusammenfließen der Wassertröpfchen. Durch Zugabe von Emulgatoren (0,2–0,6 % Mono- und Diglyceride, Lecithin) wird die Emulsion zusätzlich stabilisiert. Zur Herstellung von Margarine wird in separaten Ansätzen eine Öl- und eine Wasserphase vorbereitet (Abb. 9).

### Ölphase

Die Ölphase besteht aus raffinierten Pflanzenölen (z. B. Soja-, Raps-, Sonnenblumen-, Palmöl), die gegebenenfalls durch Härtung, Umesterung und Fraktionierung modifiziert wurden. Feste Fette wie Kokosfett müssen vor der Zugabe verflüssigt werden. In der Ölphase werden Emulgatoren, fettlösliche Vitamine sowie Beta-Carotin zur Farbgebung gelöst. Vitamin E ist in Pflanzenölen reichlich vorhanden, kann aber zusätzlich noch angereichert werden, während die in Butter vorkommenden Vitamine A und D fehlen. Um einer Überdosierung von isolierten Vitaminen vorzubeugen, regelt der Gesetzgeber die Dosierung der Vitamine A und D in der Diät-Verordnung. Demnach darf der Vitamin-A-Gehalt bei Margarine- und Mischfetterzeugnissen zehn Milligramm

pro Kilogramm und von Vitamin D 25 Milligramm pro Kilogramm nicht überschreiten.

### Wässrige Phase

Die wässrige Phase enthält Milchbestandteile, zum Beispiel Sauermilch, um das Emulgieren durch Kasein zu unterstützen, die erwünschte Bräunung beim Erhitzen zu erzielen und buttertypische Aromastoffe einzubringen. Mit Zitronensäure wird der pH-Wert der wässrigen Phase zur Hemmung pathogener Keime und Toxinbildner auf 4,2 bis 4,5 eingestellt. Gleichzeitig komplexiert die Säure oxidationsfördernde Schwermetallionen. Außerdem kommt 0,1 bis 0,3 Prozent Salz hinzu sowie Aromastoffe, etwa das für Butter charakteristische Diacetyl.

### Emulgierung

Der nächste Schritt der Margarine-Herstellung (Abb. 9) ist die Emulgierung der wässrigen Phase in der Fettphase. Hierfür stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die Vereinigung der in separaten Behältern angesetzten Zutaten erfolgt über eine mehrköpfige Dosierpumpe, wobei die Emulsion durch Turbulenzen in der Dosierpumpe oder statische Mischer ausgebildet wird. Eine zweite Möglichkeit stellt das Premix-Verfahren dar. Dabei werden alle Zutaten in einem Behälter vereinigt und durch Rühren emulgiert.

Beim Emulgierprozess ist insbesondere auf die Feinverteilung der Wasserphase in der Fettphase zu achten. 95 Prozent der Wassertröpfchen sollen kleiner als fünf Mikrometer sein. Hierdurch wird eine Vermehrung von gefährlichen pathogenen Keimen und Toxinbildnern verhindert, da diese selbst eine Größe von 0,5 bis 1 Mikrometer besitzen und somit in den Wassertröpfchen keinen ausreichenden Platz zum Wachsen finden. In den verbleibenden größeren Tröpfchen bietet die Ansäuerung der wässrigen Phase auf pH 4,2 bis 4,5 einen ausreichenden Schutz.

Um eine sichere mikrobiologische Stabilität der Margarine zu gewährleisten, wird das Produkt pasteurisiert (Erhitzung auf 75–85 Grad Celsius für 16 Sekunden). Dabei ist die Hitzebehandlung der fertiggestellten Emulsion einer Pasteurisierung der wässrigen Phase allein vorzuziehen.

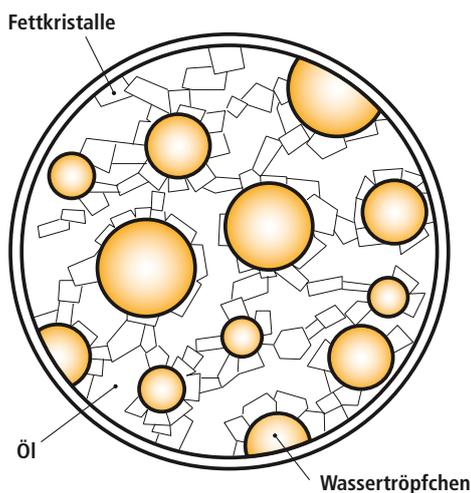


Abbildung 8: Schematische Darstellung einer Margarine-Emulsion (Korver, Katan 2006)

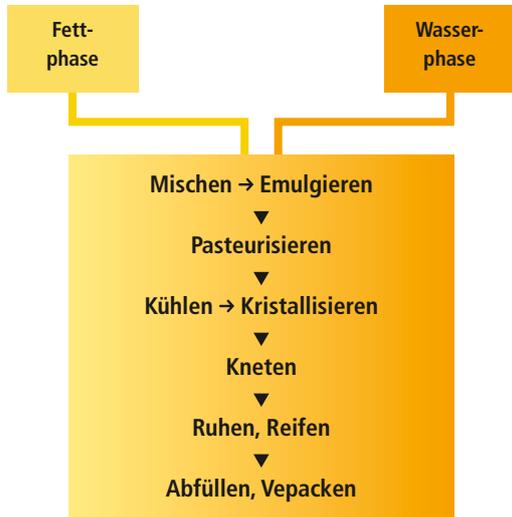
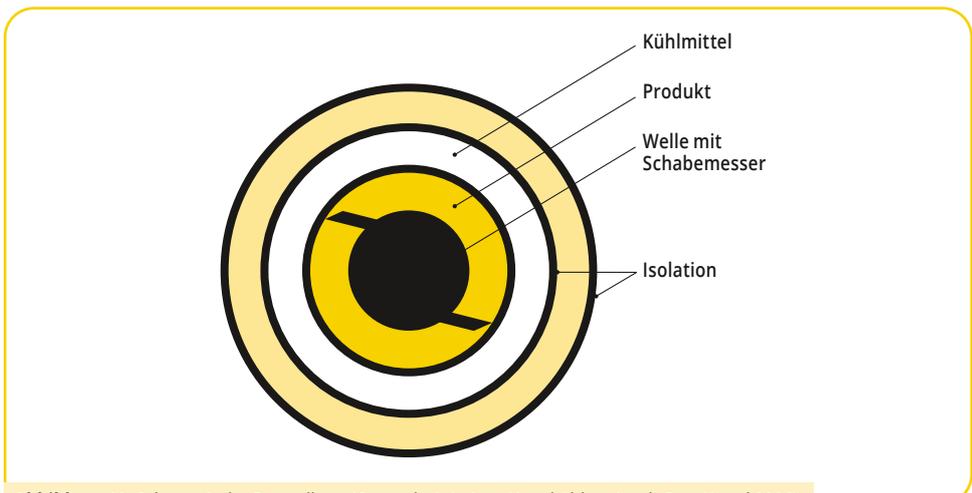


Abbildung 9: Schritte der Margarine-Herstellung

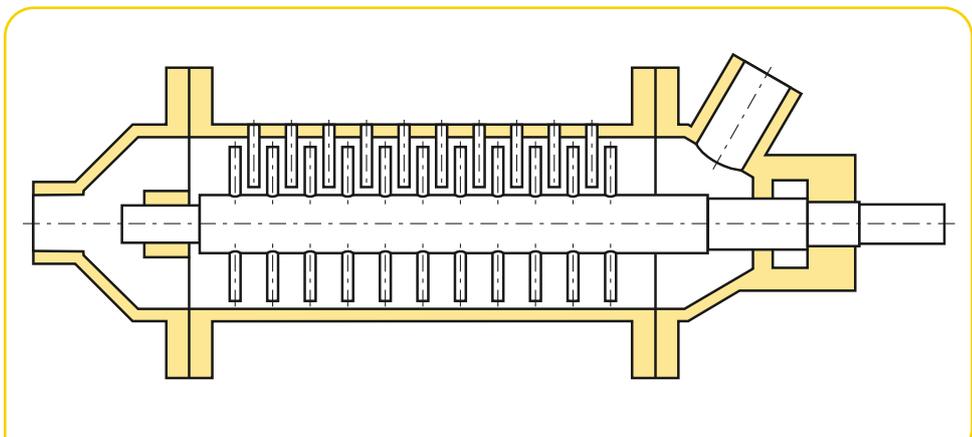
Bei Produkten mit reduziertem Fettgehalt, die statt 80 Prozent nur noch 40 Prozent oder gar 20 Prozent Fett enthalten, wird das Verhältnis von Wasser- zu Fettphase immer ungünstiger und die Herstellung der Wasser in Öl-Emulsion erschwert. Deshalb sind höhere Konzentrationen an Emulgatoren sowie gegebenenfalls auch der Einsatz von Gelier- und Verdickungsmitteln (z. B. Gelatine, Milchproteine) erforderlich. Ferner ist, bedingt durch den hohen Wassergehalt, die Zugabe von Konservierungsstoffen (bis 2.000 mg Sorbinsäure pro kg) obligatorisch. Diese sind zwar auch für Vollfett-Margarinen zugelassen, jedoch wird in Deutschland meist auf ihren Zusatz verzichtet, da bei Einhaltung der üblichen Hygienemaßnahmen auch so ein mikrobiologisch einwandfreies und haltbares Produkt hergestellt werden kann.

Nach Rückkühlung auf 45 bis 55 Grad Celsius wird die Emulsion der Kristallisation zugeführt. Herzstück einer Kristallisationsanlage sind Kratzkühler: ein bis drei Meter lange, von außen auf -25 Grad Celsius gekühlte Rohre mit einem Innendurchmesser von maximal 25 Zentimetern und einer mit Messerreihen besetzten Welle (**Abb. 10**). Durch Rotation (500–800 Umdrehungen pro Minute) werden die Messer an den Rand des Kratzkühlers gedrückt. Der Ringspalt zwischen Welle und Außenwand, durch den die Margarine-Emulsion gepumpt wird, ist mit sieben bis zwölf Millimetern sehr gering. Die sich an den Kühlflächen bildenden Fettkristalle werden durch die rotierenden Messer sofort abgeschabt und in den Emulsionsstrom eingearbeitet. Die ständige mechanische Bearbeitung des Produkts fördert die Bildung der erwünschten kleinen Kristalle in der Beta-Strich-Modifikation (dünne Nadeln von 1 µm), da große Kristalle der Beta-Strich-Modifikation mit 25 bis 30 Mikrometern ein sandiges Mundgefühl hervorrufen.

Um eine unkontrollierte Kristallisation des Fettes im Endprodukt zu verhindern, werden Kratzkühler in Kombination mit Kristallisatoren betrieben. Ohne weitere Kühlung wird das Produkt in einem Rohr mit Welle und großem Ringspalt (10–20 cm) bearbeitet. Drei gleichmäßig über den Umfang verteilte Reihen von Stiften ragen vom Rohr aus in



**Abbildung 10:** Schematische Darstellung (Querschnitt) eines Kratzkühlers (nach Rao, Hartel 2006)



**Abbildung 11:** Schematische Darstellung (Längsschnitt) eines Kristallisators (nach Bockisch 1993)

den Spalt. Auch die Welle besitzt solche Stiftreihen, die in den Spalt ragen. Sie stehen auf Lücke und drehen sich bei Rotation der Welle jeweils durch die Lücken der gegenüberstehenden stationären Stiftreihen (**Abb. 11**). Durch Kneten werden so größere Kristallisationszonen zerstört und die gewünschte Streichfähigkeit der Margarine erzielt. Bei Bedarf – vor allem bei Abpackung in Einwickler – kann die Anlage um ein Ruherohr (rund 2 m lang, 10–20 cm Durchmesser) erweitert werden. Dort werden die Kristallisationsvorgänge unter statischen Bedingungen vollendet und die Masse steift auf. Bei der Verpackung in Bechern wird direkt nach dem Kratzkühler/Kristallisator abgefüllt und das Produkt erreicht nach 24 Stunden seine endgültige Konsistenz.

**Ausblick**

Der Verbraucher findet heute im Lebensmittelhandel eine Vielzahl unterschiedlicher Margarinen. Besonders Er-

zeugnisse mit reduziertem Fettgehalt sind sehr gefragt. Ferner finden Margarinen mit Blutfett senkender Wirkung großen Anklang – auch bei Personen, die nicht zur Zielgruppe dieser Produkte gehören. Erzeugnisse der ersten Generation sind mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA; polyunsaturated fatty acids) aus der Familie der Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren angereichert, Folgeprodukte beinhalten Phytosterine. Diät-Margarine mit mittelkettigen Triglyceriden, MCT-Fette, kommt bei Fettverwertungsstörungen zum Einsatz. Diese Produkte sind Gegenstand eines Beitrags über aktuelle Trends in der Verarbeitung pflanzlicher Fette und Öle in der Oktober-Ausgabe von Ernährung im Fokus. ●

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<



# Kleine Organismen – Große Wirkung

## Fermentation von Lebensmitteln

PROF. DR. ANDREAS SCHIEBER

**Seit einigen Jahren interessieren sich Verbraucher verstärkt für fermentierte Lebensmittel. Diese zeichnen sich durch eine längere Haltbarkeit im Vergleich zur Rohware aus. Gleichzeitig verändert die Fermentation ein Produkt positiv: Fermentierte Lebensmittel sind häufig bekömmlicher und beinhalten Verbindungen, die mit gesundheitsfördernden Eigenschaften in Zusammenhang stehen.**

Die überwiegende Mehrzahl verarbeiteter Lebensmittel wird aus Rohstoffen pflanzlicher oder tierischer Herkunft hergestellt. Ihre Anfälligkeit für Mikroorganismenbefall erfordert zwingend Maßnahmen zur Konservierung, um mikrobiellen Verderb zu vermeiden und die Sicherheit der Lebensmittel zu garantieren. Klassische Verfahren der Haltbarmachung sind die Anwendung von Hitze (Pasteurisation, Sterilisation, Backen) und Kälte (Kühlen, Gefrieren, ggf. nach Blanchieren) sowie der Entzug von Wasser durch Trocknung. Letztere führt zur Absenkung der Wasseraktivität, wodurch das frei verfügbare Wasser für Mikroorganismen sinkt. Dieser Effekt lässt sich auch durch Zugabe von Kochsalz oder Zucker erreichen, wie es etwa bei Konfitüren geschieht. Neben physikalischen Verfahren kann die Haltbarmachung auch auf chemischem

Weg erfolgen, etwa durch Zugabe von Konservierungsstoffen wie Sorbinsäure, Benzoesäure und ihre Derivate sowie Sulfite und Nitrit. Auch im Zuge des Räucherns entstehen antimikrobiell und antioxidativ wirksame Stoffe, die zur Konservierung von Fleischwaren beitragen (Krämer 2011). Allerdings lehnen Verbraucher synthetische Konservierungsstoffe zunehmend ab. Sie geben Zutaten natürlichen Ursprungs den Vorzug. Auch die Bestrahlung von Lebensmitteln findet keine Akzeptanz.

### Fermentation von Lebensmitteln

Die Fermentation von Rohstoffen durch Mikroorganismen ist ein seit Jahrtausenden vom Menschen genutztes Prinzip, um Lebensmittel auf biologischem Weg haltbar zu machen. Der konser-

vierende Effekt beruht in erster Linie auf der Bildung von antimikrobiell wirksamen Stoffen, wie Ethanol bei der alkoholischen Gärung oder Milchsäure bei der Milchsäuregärung. Obwohl zunächst die Haltbarkeitsverlängerung im Vordergrund steht, zieht die Fermentation Veränderungen in einem Lebensmittel nach sich, die weit über die reine Konservierung hinausgehen. So werden etwa während der Fermentation antinutritive und toxische Verbindungen abgebaut, was die Lebensmittel verträglicher macht. Umgekehrt findet eine Vielzahl von Reaktionen statt, die einem Lebensmittel erst die typischen sensorischen Merkmale verleihen. Die Herstellung einer schmackhaften Salami wäre ohne den Einfluss von Mikroorganismen undenkbar. Gleiches gilt für gereifte Käse, Sojasoße, Roggenbrot und Wein.

Unter fermentierten Lebensmitteln sind Lebensmittel zu verstehen, die unter kontrolliertem mikrobiellen Wachstum und durch enzymatische Umwandlung von Lebensmittelinhaltsstoffen hergestellt wurden (Marco et al. 2017). Eine Definition der DFG-Senatskommission

zur gesundheitlichen Bewertung von Lebensmitteln bezeichnet fermentierte Lebensmittel als „zum Verzehr bestimmte Produkte, die aus rohen oder erhitzten Lebensmittelrohwaren pflanzlichen oder tierischen Ursprungs erzeugt werden. Sie haben charakteristische sensorische, ernährungsphysiologische sowie Haltbarkeit, Hygiene oder Gebrauchswert bestimmende Eigenschaften, die wesentlich von Mikroorganismen und/oder Enzymen (aus der Rohware) beeinflusst werden“. Bemerkenswerterweise hat rund ein Drittel der zurzeit von uns verzehrten Lebensmittel eine Fermentation durchlaufen (DFG-Senatskommission 2010). Eine Kategorisierung fermentierter Lebensmittel kann unter verschiedenen Aspekten erfolgen. Zum einen lassen sich die primären Umsetzungsprodukte und die beteiligten Mikroorganismen hierfür heranziehen wie Ethanol und Kohlendioxid bei der alkoholischen Gärung durch Hefen. Eine weitere Möglichkeit der Einteilung basiert auf dem Lebensmittel selbst, wie bei Milch, Sojabohnen oder Trauben (Marco et al. 2017). Gänzle (2015) führte eine sehr originelle Kategorisierung fermentierter Lebensmittel ein, die an das Periodensystem der Elemente erinnert und die nach Produktgruppen, zum Beispiel Weiß- und Rotweine, helle und dunkle Biere, Brote und Milchprodukte, geordnet ist; innerhalb der Produktgruppen liegt eine Abstufung nach Geschmacksintensität oder Reifungsdauer vor. Weitere Informationen umfassen etwa die zur Fermentation eingesetzten Mikroorganismen und die Hauptmetaboliten.

In den vergangenen Jahren waren fermentierte Lebensmittel verstärkt Thema in wissenschaftlichen Publikationen und in den Medien. Das deutet darauf hin, dass das Interesse der Verbraucher an ihnen steigt. Das wiederum lässt sich mit der Wahrnehmung begründen, dass die Aufnahme fermentierter Lebensmittel mit gesundheitsfördernden Wirkungen verbunden ist (Dimidi et al. 2019). Tatsächlich deuten zahlreiche wissenschaftliche Studien darauf hin, dass von fermentierten Lebensmitteln positive Effekte im Hinblick auf die Körpergewichtskontrolle, das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen und Typ-2-Diabetes sowie auf Magen-Darm-Leiden ausgehen (Marco et al. 2017; Dimidi et al.

2019). Kanadische Wissenschaftler empfahlen bereits vor einigen Jahren, fermentierte Lebensmittel explizit in Ernährungsrichtlinien aufzunehmen (Chilton et al. 2015). Großer Forschungsbedarf besteht allerdings noch bei der Aufklärung der zugrundeliegenden Mechanismen. Deshalb hat die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) bislang alle gesundheitsbezogenen Aussagen zu Probiotika negativ beschieden. Darunter sind lebende Mikroorganismen zu verstehen, die nach Anwendung im Organismus in angemessener Keimzahl eine gesundheitsförderliche Wirkung auf den Menschen ausüben (DFG-Senatskommission 2010).

Um Fermentationen in Lebensmitteln zu initiieren, stehen prinzipiell drei Wege zur Verfügung.

- Zum einen kann die autochthone, also die natürlich auf der Rohware vorkommende Mikrobiota, genutzt werden, wie es beispielsweise bei der Fermentation von Gemüse (Sauerkraut, Kimchi) geschieht. Eine Kontrolle erfolgt durch die Steuerung der Fermentationsbedingungen und durch Zugabe von Kochsalz (Franz et al. 2018).
- Die zweite Möglichkeit besteht in der Zugabe von bereits fermentierenden Substraten zu neuen Chargen, in der englischsprachigen Literatur als „back slopping“ bezeichnet. Ein bekanntes Beispiel ist die traditionelle Herstellung von Sauerteigen, bei der ein Teil des Vollsauers als Anstellgut dient

und mit Wasser und Roggenmehl versetzt wird.

- Die dritte Option ist der Einsatz definierter Starterkulturen, die entweder als einzelne Stämme oder als Mischkulturen zu den Substraten gegeben werden. Im Fall der Joghurtherstellung ist durch die Milcherzeugnis-Verordnung sogar vorgegeben, dass im verzehrfähigen Erzeugnis spezifische thermophile Reifungskulturen überwiegen müssen. Solche Starterkulturen ermöglichen ein hohes Maß an Kontrolle des Fermentationsprozesses und tragen zur Standardisierung des Endprodukts bei. Neben den Starterkulturen, die häufig die primäre Aufgabe der Milchsäurebildung haben, können noch weitere Kulturen genutzt werden, die etwa den Reifungsprozess von Käse fördern oder zur Textur beitragen (Mahony et al. 2019).

### Milchsäurebakterien und Milchsäuregärung

An der Herstellung der Mehrzahl fermentierter Produkte sind Milchsäurebakterien beteiligt. Das betrifft nicht nur Milch- und Rohwurstprodukte wie Joghurt und Salami, sondern auch aus Rohware pflanzlicher Herkunft erzeugte Lebensmittel. Unter Milchsäurebakterien ist eine Gruppe grampositiver, fakultativ anaerober Mikroorganismen zu verstehen, die Milchsäure als Hauptprodukt ihres Zuckerstoffwechsels produzieren (Abb. 1). Taxonomisch werden

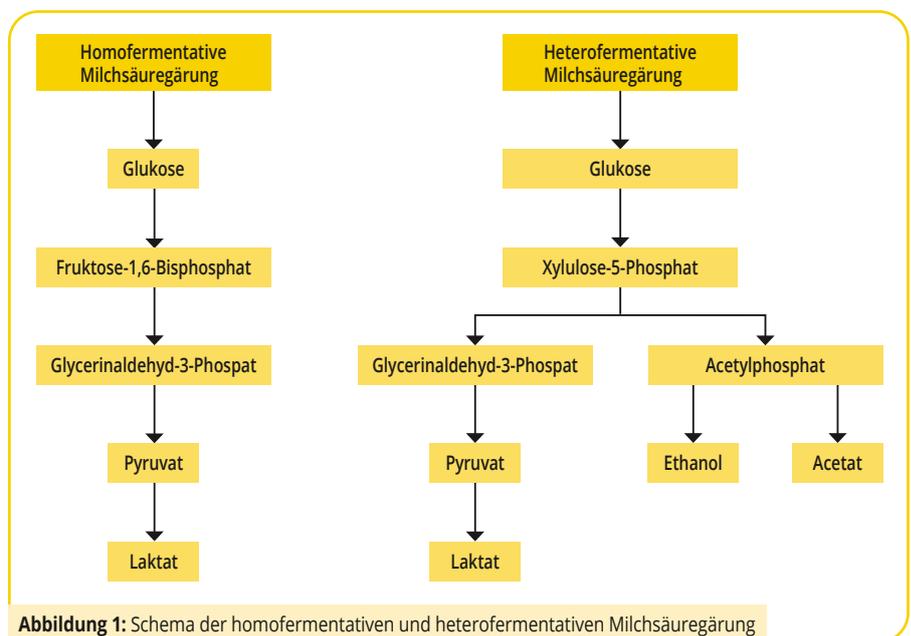


Abbildung 1: Schema der homofermentativen und heterofermentativen Milchsäuregärung



**Kimchi** – Die Herstellung der koreanischen Sauerkrautvariante Kimchi beruht auf der spontanen milchsäuren Vergärung von Kohl unter Salzzugabe, doch sind neben der Hauptzutat Kohl auch zahlreiche weitere Gemüsearten wie Rettich und Karotte oder Obst und Shrimps darin zu finden. Ferner werden verschiedene Gewürze wie Chili, Pfeffer, Knoblauch, Zwiebeln und Ingwer zugegeben (Patra et al. 2016).

sie in die Ordnung der *Lactobacillales* eingruppiert, die die sechs Familien *Lactobacillaceae*, *Aerococcaceae*, *Carnobacteriaceae*, *Enterococcaceae*, *Leuconostocaceae* und *Streptococcaceae* umfassen (Holzapfel, Wood 2014). Sie haben komplexe Nährstoffansprüche und sind daher bevorzugt dort zu finden, wo sie ihren Bedarf decken können wie in Milch, auf Pflanzen und fermentierendem Pflanzenmaterial. Die Umsetzung von Glukose zu Milchsäure kann auf zwei Wegen erfolgen (Mahony et al. 2019; **Abb. 1**):

- Homofermentative Milchsäurebakterien produzieren über das Intermediat Pyruvat als primäres Endprodukt Milchsäure.
- Das Produktspektrum heterofermentativer Milchsäurebakterien ist komplexer und umfasst neben Milchsäure auch Kohlendioxid, Ethanol und Essigsäure.

Neben der Bildung der genannten Verbindungen im Zuge der Milchsäuregärung tragen Milchsäurebakterien durch weitere Stoffwechselleistungen wesentlich zu den Eigenschaften fermentierter Lebensmittel bei, teils auch im Zusammenspiel mit weiteren Mikroorganismen wie Hefen und Schimmelpilzen.

## Sauerkraut

Den Leitsätzen für Gemüseerzeugnisse (2008) zufolge ist Sauerkraut ein Erzeugnis, das aus in dünne Streifen geschnit-

tenem, frischem Weißkohl (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) nach Zusatz von Kochsalz durch natürliche Gärungsvorgänge, im Wesentlichen durch Milchsäuregärung, hergestellt wird. Die Leitsätze geben auch bestimmte Charakteristika des Endprodukts vor. So soll Sauerkraut einen pH-Wert unter 4,1 aufweisen, der Kochsalzgehalt soll zwischen 0,5 und drei Gramm pro 100 Milliliter liegen.

## Herstellung

Zur Herstellung von Sauerkraut wird Weißkohl nach der Ernte von den äußeren Hüllblättern sowie vom holzigen Strunk befreit. Nach dem Schneiden erfolgt die Zugabe von Kochsalz, wobei Gehalte von ein bis zwei Prozent üblich sind. Es hat mehrere Funktionen:

- Kochsalz trägt zum Geschmack bei,
- schafft durch den osmotischen Entzug von Wasser ein weitgehend anaerobes Milieu und
- verhindert das Wachstum unerwünschter Mikroorganismen.

Das Verdichten der Krautmasse durch das Eigengewicht des Krauts trägt ebenfalls zur Entfernung von Luft und damit von Sauerstoff bei (Schmidt 1996). Nach beendeter Milchsäuregärung wird das Sauerkraut blanchiert, um das entstandene Kohlendioxid sowie unerwünschte Geruchsstoffe zu entfernen. Die Erhitzung soll das Kraut außerdem erweichen, um den Abfüllvorgang in Dosen und Gläser zu erleichtern und den sich nach der Abfüllung anschließenden Pas-

teurisationsvorgang vorbereiten. Dieser macht das Sauerkraut über mehrere Jahre haltbar (Schmidt 1996).

## Charakterisierung

Im Unterschied zu vielen anderen fermentierten Lebensmitteln erfolgt die Milchsäuregärung bei Sauerkraut ohne Zugabe von Starterkulturen, das heißt man nutzt die auf dem Weißkohl natürlich vorhandene Mikrobiota. Diese setzt sich aus Hefen, Schimmelpilzen sowie Vertretern der *Enterobacteriaceae* und der Milchsäurebakterien zusammen. Die Zugabe des Kochsalzes begünstigt das Wachstum der Milchsäurebakterien, während das der pflanzenassoziierten *Enterobacteriaceae* nach kurzer Zeit zurückgedrängt wird. Die rasche Entwicklung der heterofermentativen Bakterien *Leuconostoc mesenteroides* und *Weissella spec.* führt zur Bildung von Milchsäure und Kohlendioxid. Das führt im Zuge des pH-Wert-Abfalls und der Verdrängung des verbliebenen Sauerstoffs durch CO<sub>2</sub> zu einer Selektion der erwünschten Mikroorganismen. Im weiteren Verlauf der Fermentation fällt der pH-Wert auf 4,5. Dann dominieren *Lactobacillus plantarum* und *Lactobacillus brevis*, die die Salzlake weiter auf pH 3,5 säuern.

## Sauerteig

Weizenbrote werden traditionell aus Weizenmehl, Salz, Wasser und Hefe hergestellt. Die Hefe übernimmt durch Ver-

gärung von Zuckern die Produktion von Kohlendioxid, das den Teig lockert und die Struktur der im Zuge des Backprozesses gebildeten Brotkrume ermöglicht.

## Eigenschaften des Getreides

Die Herstellung von Roggenbrot erfordert aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung und Eigenschaften von Weizen- und Roggenmehlen ein abweichendes Vorgehen. Dem Roggen fehlt das in Weizen vorhandene Kleberprotein, das zur Wasserbindung und zur Ausbildung eines dreidimensionalen Netzwerks in der Lage ist. Letztere Eigenschaft ist wichtig für das Gashaltvermögen des Teiges. In Roggenbrot übernehmen Pentosane und Stärke die Wasserbindung. Allerdings ist in Roggenmehlen die Aktivität von stärkeabbauenden Amylasen höher. Zudem ist die Verkleisterungstemperatur der Roggenstärke niedriger als die der Weizenstärke und liegt gleichzeitig im Bereich der höchsten Enzymaktivität. Daher würden die Amylasen des Roggens die Stärke abbauen und damit ihre Wasserbindungskapazität beeinträchtigen, wenn nicht geeignete technologische Maßnahmen ergriffen würden. Die Aktivität der Amylasen muss so weit erniedrigt werden, dass die Wasserbindung der Roggeninhaltsstoffe erhalten bleibt.

## Charakterisierung

Die durch Milchsäurebakterien vollzogene Vergärung von Zuckern führt zur Bildung von Milchsäure. Diese verschiebt den pH-Wert aus dem pH-Optimum der Amylasen. In Sauerteig findet sich daher eine Symbiose von Milchsäurebakterien und Hefen. Die Hefen setzen die vergärbaren Zucker zu Ethanol und Kohlendioxid um und bewirken so die Teiglockerung (Gänzle 2019).

Die enzymatischen und mikrobiellen Umsetzungen haben maßgeblichen Einfluss auf die Qualität des Brotes. Der Metabolismus der Sauerteig-Mikrobiota und die Aktivität der Getreideenzyme greifen ineinander. Die Enzyme des Getreides setzen aus Stärke Maltose und aus Proteinen Peptide frei, die der Leitkeim der Sauerteigfermentation, *Lactobacillus sanfranciscensis*, verwerten kann. Dieser bildet als heterofermentatives Milchsäurebakterium neben Milchsäure auch Ethanol oder Essigsäure und Kohlendioxid. Die Sauerteighefen, bei denen *Candida humilis* dominiert, metabolisieren insbesondere Glukose, verwerten aber Maltose nicht. Gleichzeitig bevorzugen sie freie Aminosäuren statt Peptide. Die beiden Mikroorganismen sind also im Hinblick auf die Nutzung von Kohlenhydraten und Proteinen keine Konkurrenten, sondern ergänzen sich (Gänzle 2010).

Der Abbau von Proteinen führt zu einer Akkumulation von Peptiden und Aminosäuren, wobei antihypertensive Peptide entstehen (Hu et al. 2011; Zhao et al. 2014). Darüber hinaus bilden die Milchsäurebakterien des Sauerteigs Exopolysaccharide, die zu einer Verbesserung von Brotvolumen und Textur beitragen. Der Metabolismus von Fettsäuren spielt bei Aromabildung und Beeinflussung der Teigrheologie ebenfalls eine Rolle und kann zur Bildung von antifungal wirksamen Derivaten führen. Diese tragen zur Verlängerung der Haltbarkeit des Brotes bei (Gänzle 2014).

## Sojasoße

Verbraucher bringen Sojaprodukte häufig mit vegetarischer oder veganer Kost in Verbindung. Bei Sojadrink (der Begriff „Milch“ ist gemäß eines Urteils des EuGH von 2017 grundsätzlich allein Milch tierischen Ursprungs vorbehalten) und Tofu handelt es sich um nichtfermentierte Erzeugnisse. Aus Sojaproteinkonzentrat oder -isolat stellt man texturierte Produkte her, die als Fleischersatz dienen. Darüber hinaus werden aus Sojabohnen zahlreiche fermentierte Produkte erzeugt, darunter Tempeh, Natto, Miso und Sojasoße.



Bei der Herstellung von Sauerteig wirken Getreideenzyme, Milchsäurebakterien und Hefen zusammen.



Das Zusammenspiel von Milchsäurebakterien, Schimmelpilzen und Hefen zur Herstellung von Sojasoße ist sehr komplex.

Foto: © goodmoments/stock.adobe.com

## Herstellung

Im Fall von Tempeh und Natto werden Sojabohnen ohne Mahlschritt inkubiert. Miso hat ähnliche Aroma- und Geschmackseigenschaften wie Sojasoße, ist aber nicht flüssig, sondern als Paste erhältlich (Luh 1995).

Ausgangsprodukte von Sojasoße sind üblicherweise gekochte Sojabohnen sowie gerösteter und grob vermahlener Weizen (Zhu, Tramper 2013). Durch Fermentation mit der Schimmelpilzkultur *Aspergillus oryzae* entsteht das Zwischenprodukt „Koji“. Während der zwei- bis dreitägigen Fermentation bilden die Schimmelpilze Enzyme, die Stärke und Proteine zu niedermolekularen Abbauprodukten hydrolysieren, die den anschließend ins Spiel kommenden Mikroorganismen als Nährstoffe dienen. Die grün-gelbe Koji-Maische wird nun mit einer Kochsalzlösung versetzt. Diese beeinflusst die Mikrobiota selektiv und lässt nur das Wachstum der Mikroorganismen zu, die die hohen Salzkonzentrationen von 17 bis 20 Prozent tolerieren. Unerwünschte Keime gehen zugrunde. Die nach der Zugabe der Lake entstehende zweite Maische „Moromi“ durchläuft zunächst eine Milchsäuregärung

mit dem dominierenden Bakterium *Teetragenococcus halophilus*. Die Bildung von Milchsäure hat einen Abfall des pH-Werts auf etwa fünf zur Folge. Dieser leitet das Wachstum von als Starterkulturen zugegebenen salztoleranten Hefen (*Zygosaccharomyces rouxii*, *Candida versatilis*) ein sowie den Übergang der Milchsäuregärung in die alkoholische Gärung. Die Hefen produzieren einerseits Ethanol, andererseits bilden sie geruchsaktive und antioxidativ wirksame phenolische Verbindungen wie 4-Ethylguajacol und 4-Ethylphenol (Gänzle 2019; Li et al. 2018).

Nach einer Fermentationsdauer von sechs bis zwölf Monaten wird die Sojasoße abgepresst, filtriert und durch Pasteurisation haltbar gemacht. Der Pressrückstand dient als Viehfutter.

Das Endprodukt besteht aus

- 17 bis 19 Prozent Kochsalz,
- ein bis 1,65 Prozent Gesamtstickstoff mit einem Anteil von 45 Prozent niedermolekularen Peptiden und 45 Prozent Aminosäuren,
- zwei bis fünf Prozent reduzierenden Zuckern,
- ein bis zwei Prozent organischen Säuren und
- zwei bis 2,5 Prozent Ethanol (Luh 1995).

Damit ist das Zusammenspiel der Mikrobiota bei der Herstellung von Sojasoße noch komplexer als bei Sauerteig, da Schimmelpilze, Milchsäurebakterien und Hefen in einer charakteristischen Abfolge an der Umsetzung der Rohstoffe beteiligt sind.

Einen aktuellen Überblick der Verfahrensvarianten und der in die Fermentationen involvierten Mikroorganismen geben Devanthi und Gkatzionis (2019).

## Fazit und Ausblick

Die Herstellung fermentierter Lebensmittel ist ein wissenschaftlich herausforderndes Gebiet, das die Disziplinen Mikrobiologie, Lebensmitteltechnologie und -biotechnologie sowie Lebensmittelchemie integriert und darüber hinaus tiefe Kenntnisse der zu verarbeitenden Rohwaren pflanzlicher oder tierischer Herkunft erfordert. Die Fermentation zieht zahlreiche Veränderungen der Rohwarenhaltsstoffe nach sich, die bei sachgemäßer Durchführung ganz überwiegend positiv zu bewerten sind. Viele Produkte weisen einen höheren Nährwert, bessere Verträglichkeit und bessere sensorische Eigenschaften bei gleichzeitigem Abbau antinutritiver Verbindungen auf. Eine Fermentation ist also weitaus mehr als eine biologische Art der Lebensmittelkonservierung. Ein Nachteil der Fermentation kann beispielsweise die Entstehung biogener Amine durch enzymatische Decarboxylierung von Aminosäuren sein.

Gerade bei Lebensmitteln pflanzlicher Herkunft sind die Auswirkungen der mikrobiellen Tätigkeit auf das Inhaltsstoffprofil bei Weitem nicht hinreichend geklärt. Für eine Beurteilung der potenziell gesundheitsfördernden Eigenschaften dieser Produkte wäre das allerdings sehr wünschenswert. Daher besteht noch erheblicher Forschungsbedarf in analytischer Hinsicht, um beispielsweise die aus sekundären Pflanzenstoffen entstehenden Metaboliten zu charakterisieren und zu quantifizieren. Entsprechende Untersuchungen sind Gegenstand aktueller und künftiger Arbeiten des Fachgebiets Molekulare Lebensmitteltechnologie der Universität Bonn. ●

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<



Der Röhrenwärmeaustauscher ist ein typisches Beispiel für konventionelle Verfahren der Lebensmittelverarbeitung. Er eignet sich für die Erhitzung flüssiger und pastöser Produkte.

Foto: © Andreas Schieber, Bonn

# Nichtkonventionelle Technologien der Lebensmittelverarbeitung

PROF. DR. ANDREAS SCHIEBER

**Konventionelle Prozesse zur thermischen Konservierung von Lebensmitteln ziehen häufig einen teilweisen Abbau von Inhaltsstoffen nach sich und können die sensorischen Eigenschaften beeinträchtigen. Daher wurden in den vergangenen Jahrzehnten mehrere Verfahren zur schonenderen Haltbarmachung entwickelt, etwa die Behandlung von Lebensmitteln mit Hochdruck oder gepulsten elektrischen Feldern. Einige dieser Verfahren sind mittlerweile etabliert und entsprechend hergestellte Produkte auf dem Markt, bei anderen existiert noch Forschungsbedarf.**

## Konventionelle Verfahren

Bei der Herstellung von Lebensmitteln werden zur Haltbarmachung überwiegend thermische Verfahren eingesetzt. Je nach Beschaffenheit von Rohware oder Produkt pasteurisiert oder sterilisiert man die Lebensmittel.

### Pasteurisation

Die Pasteurisation ist eine relativ milde thermische Behandlung über einen kurzen Zeitraum bei Temperaturen unter 100 Grad Celsius. Sie verfolgt das Ziel, pathogene Keime abzutöten und Verderbskeime zu inaktivieren. Die Pasteurisation erfasst allerdings nur vegetative Keime, also solche, die

wachsen und sich vermehren können, während bakterielle Sporen aufgrund ihrer Hitzeresistenz überleben. Ob diese später wieder zu vegetativen Zellen auskeimen können, hängt vom pH-Wert des Produkts ab: Bei einem pH unter 4,5 kann in der Regel keine Auskeimung der Sporen erfolgen. Pasteurisierte Lebensmittel weisen daher nur eine begrenzte Haltbarkeit auf. Typische Beispiele pasteurisierter Lebensmittel sind Milch und Fruchtsäfte.

### Sterilisation

Im Unterschied zur Pasteurisation wirken bei der Sterilisation Temperaturen von über 100 Grad Celsius auf ein her-

metisch verschlossenes Lebensmittel ein, wodurch auch Sporen absterben. Solche Produkte, etwa eingedoste Gemüsekonserven, sind bei Raumtemperatur über einen langen Zeitraum haltbar. Im Zusammenhang mit der thermischen Behandlung von Lebensmitteln kommt häufig auch das Blanchieren vor. Hier handelt es sich jedoch um ein Verfahren, das primär auf die Inaktivierung qualitätsmindernder Enzyme bei Gemüse und Obst abzielt und nicht auf die Abtötung von Mikroorganismen. Das Einwirken von Hitze auf Lebensmittel zieht unweigerlich Veränderungen der Inhaltsstoffe nach sich, die sich sowohl positiv als auch nachteilig auswirken können. Unerwünschte Folgen sind in erster Linie (*Belitz, Grosch et al. 2008*)

- der Abbau von Nährstoffen, insbesondere von wasserlöslichen Vitaminen, Farb- und Aromastoffen,
- die Ausbildung eines Kochgeschmacks,
- das Denaturieren von Proteinen und deren Reaktion mit reduzierenden Zuckern im Zuge der Maillard-Reaktion.

Angesichts dieser Nachteile konventioneller Verfahren wurden in den vergangenen Jahrzehnten Technologien entwickelt, die die Konservierung von Lebensmitteln gestatten, jedoch einen weitaus geringeren Einfluss auf die Inhaltsstoffe haben. In der Literatur existieren verschiedene Begriffe für diese Verfahren, zum Beispiel „alternative“, „nicht-thermische“, „neuartige“ oder „grüne“ Technologien. Daraus lässt sich ableiten, dass der Einsatz dieser Technologien bei Weitem nicht auf die Abtötung von Mikroorganismen oder die Inaktivierung qualitätsbeeinträchtigender Enzyme beschränkt ist (Chemat, Abert Vian et al. 2020). Vielmehr haben die intensiven Forschungsbemühungen der letzten Dekaden zu einer Vielzahl von Anwendungsfeldern geführt und dazu beigetragen, dass thematisch stark spezialisierte Journale entstanden sind, die ausschließlich Artikel über diese Technologien publizieren.

## Nichtkonventionelle Technologien

Die für die Haltbarmachung von Lebensmitteln wichtigsten Verfahren sind die Anwendung von Druck, gepulsten elektrischen Feldern und Ultraschall.

### Druckanwendungen

Hochdruckbehandlung, Druckwechseltechnologie und Extraktion von Wertstoffen mit überkritischen Lösungsmitteln sind wichtige Felder der Druckanwendung in der Lebensmitteltechnologie.

Physikalisch entspricht Druck einer Kraft pro Flächeneinheit. Die offizielle abgeleitete Einheit im Internationalen Einheitensystem (SI-System) ist Pascal (Pa). Ein Pascal ist der Druck, den eine Kraft von einem Newton auf einen Quadratmeter ausübt. Druckangaben in der Literatur können verwirrend sein, da die Einheiten sehr heterogen verwendet werden. Weit verbreitet gerade im umgangssprachlichen Gebrauch ist nach wie vor die Einheit bar. Ein Megapascal (MPa) entspricht zehn bar. Im Zusammenhang mit Anwendungen in der Lebensmitteltechnologie ist der hydrostatische Hochdruck von besonderem Interesse. Eine Wassersäule von zehn Metern Höhe übt einen Druck von einem bar oder 0,1 Megapascal aus. So beträgt der hydrostatische Druck auf dem Meeresgrund des Mariannengraben in rund 11.000 Metern Tiefe 1.100 bar oder 110 Megapascal. Bei der Behandlung von Lebensmitteln wirken Drücke von bis zu 600 Megapascal auf die Produkte ein (Roobab, Aadil et al. 2018).

### Hochdruckbehandlung

Bei der praktischen Umsetzung werden die zu behandelnden Güter in bereits verpackter Form in Kammern eingeführt, die anschließend vollständig mit Wasser geflutet werden. Baut man nun über geeignete Pumpen Druck auf, wirkt dieser Druck unmittelbar ein und ist aufgrund des isostatischen Prinzips an allen Stellen gleich hoch (Abb. 1) (Nünnerich 2017). Gegenüber der thermischen Behandlung stellt das einen großen Vorteil dar. Bei thermischen Verfahren muss zunächst Wasser erhitzt werden und die Temperatur von außen nach innen in das Gut gelangen. Vor allem bei stückigen Lebensmitteln und abhängig von der Geometrie der Teile ist eine entsprechende Dauer der Hitze einwirkung zu berücksichtigen. Die hieraus resultierende höhere thermische Belastung hat eine stärkere Beeinträchtigung von Lebensmittelinhaltsstoffen zur Folge. Eine Behandlung mit Hochdruck ist insbesondere für Lebensmittel mit hohem Wassergehalt geeignet (z. B. Fruchtsäfte, Milch, Guacamole, Fruchtzubereitungen, Rohschinken) (Nünnerich 2017), während trockene, vor allem poröse Produkte aufgrund der eingeschlossenen Gase kompressibel sind und unter Druck ihre Form verlieren können.

Die konservierende Wirkung des Verfahrens beruht im Wesentlichen auf der druckinduzierten Schädigung von mikrobiellen Zellmembranen und Makromolekülen einschließlich Proteinen und Nukleinsäuren. Damit geht auch die Inaktivierung von Enzymen einher. Allerdings ist der Erfolg der Behandlung nicht nur von Höhe und Dauer des angelegten Drucks abhängig, sondern auch von den Charakteristika der Lebensmittel wie pH-Wert oder Ionenmilieu, sowie der Art der Mikroorganismen:

- Bakterien sind widerstandsfähiger als Hefen und Schimmelpilze.
- Grampositive Bakterien gelten als resistenter als gramnegative.
- Bakterielle Sporen können extrem hohen Drücken standhalten (Roobab, Aadil et al. 2018).

Hochdruck beeinflusst kovalente Bindungen, also solche, die Atome zusammenhalten, nur in geringem Maß. Deshalb bleiben Lebensmittelinhaltsstoffe weitgehend erhalten. Der Druck bewirkt allerdings eine Verschiebung des Gleichgewichts chemischer Reaktionen hin zu solchen, die mit einer Volumenverkleinerung verbunden sind (Nünnerich 2017). Da die Druckeinwirkung auch Dissoziationsgleichgewichte beeinflusst, sinkt der pH-Wert von Lösungen infolge der gesteigerten Autoprotolyse (Eigendissoziation) des Wassers und der Ionisierung schwacher Säuren (Abspaltung von Protonen). Ferner steigt die Temperatur um rund drei Grad Celsius je 100 Megapascal leicht an (Knorr 1999).

Weitere Anwendungen der Hochdruckbehandlung von Lebensmitteln umfassen die Beeinflussung von Phasengleichgewichten, etwa den Übergang von Wasser zu Eis, sowie die Strukturierung von Proteinen. Beispielsweise sinkt der Gefrierpunkt von Wasser unter Druckeinwirkung auf Temperaturen unter null Grad Celsius (Gefrierpunkt bei 210 MPa: -21 °C). Daraus ergeben sich interessante Perspektiven für das strukturerhaltende Einfrieren von Lebensmitteln und biologischem Gewebe (Balasubramaniam, Martínez-Montegudo et al. 2015). Werden Milchkonzentrate mit Hochdruck behandelt, erfolgt

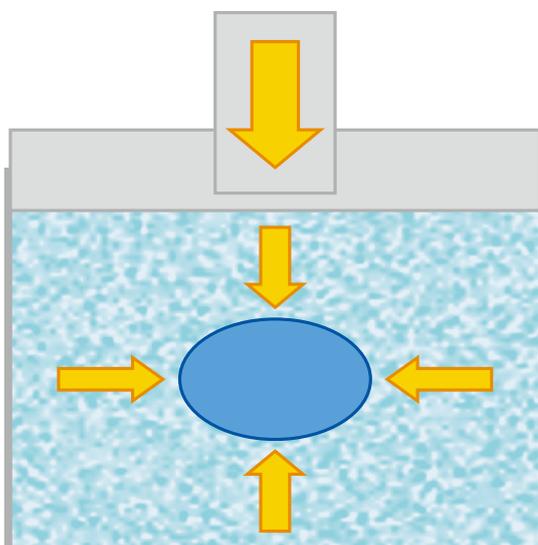
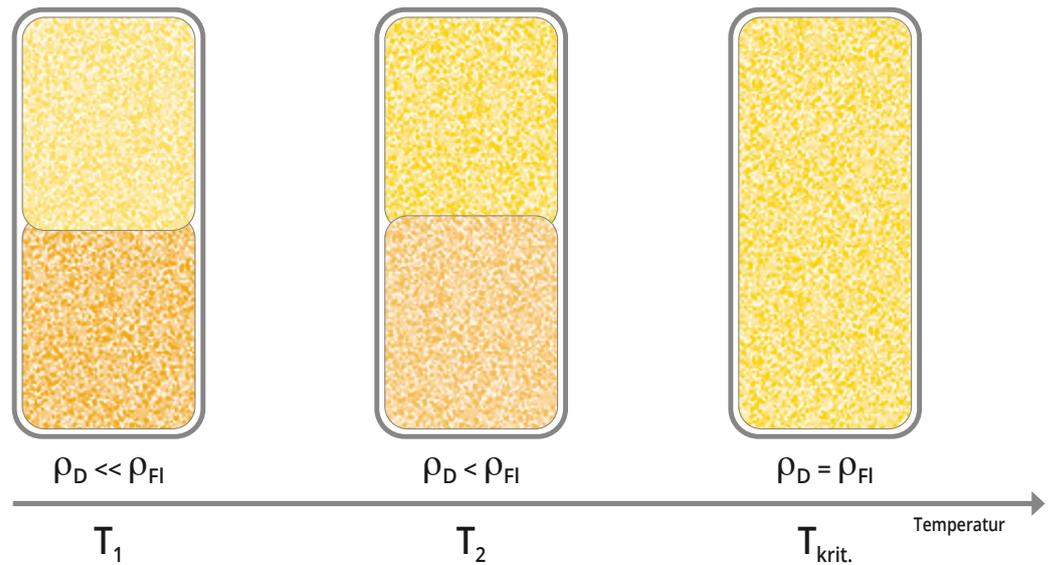


Abbildung 1: Einwirkung von isostatischem Druck auf einen Körper (eigene Darstellung)

**Abbildung 2:** Entstehung des kritischen Zustands (eigene Darstellung, nach *Holleman, Wiberg 1985*)

Eine Flüssigkeit hat bei einer bestimmten Temperatur  $T_1$  eine gegebene Dichte  $\rho_{Fl}$ , der darüber stehende Dampf eine bestimmte Dampfdichtedichte  $\rho_D$ . Wird die Temperatur auf  $T_2$  erhöht, wird auch die zugehörige Dampfdichtedichte höher. Bei der sogenannten kritischen Temperatur  $T_{krit.}$  gleichen sich die Dichten an. Oberhalb von  $T_{krit.}$  gelingt es auch durch noch so hohen Druck nicht, ein Gas zu verflüssigen.



druckabhängig eine Dissoziation (Aufspaltung) der Caseinmicellen und eine Denaturierung der Molkenproteine. Das kann unabhängig von Temperatureinwirkung, Säuerung oder Labzusatz gelartige Strukturen erzeugen (*Heinrich, Kulozik 2009*).

**Druckwechseltechnologie**

Die Druckwechseltechnologie gilt als sehr neues Verfahren unter den nicht-konventionellen Technologien. Auch hier setzt man Druck zur Abtötung von Mikroorganismen ein, das Verfahren basiert jedoch auf einem inerten (reaktionsträgen) Arbeitsgas, das man zusammen mit der zu behandelnden Probe unter Druck setzt. Nach Diffusion des Gases in die Zellen wird das System entspannt, die rasche Druckabsenkung zerstört die Zellen. Bislang wurde nur eine Studie publiziert, die den Einfluss dieser Technologie auf Keimzahl und Inhaltsstoffe von Orangensaft untersuchte (*Aschoff, Knoblauch et al. 2016*). Angesichts des großen Potenzials und der Vielzahl möglicher Anwendungen ist jedoch davon auszugehen, dass die Druckwechseltechnologie künftig mehr Aufmerksamkeit erhalten wird.

**Überkritische Lösungsmittel-extraktion**

Große Bedeutung unter den Druckanwendungen hat die Extraktion von Wertstoffen mit überkritischem Kohlendioxid. Wird Kohlendioxid bei 31 Grad Celsius unter einen Druck von etwa 74 bar

(7,4 MPa) gesetzt, gehen die beiden Phasen (Gas, Flüssigkeit) in einen überkritischen Zustand über, in dem sie eine homogene Flüssigkeit darstellen (**Abb. 2**). In dieser Form ist Kohlendioxid in seinen Eigenschaften mit einem organischen Lösungsmittel vergleichbar (*Leitner 2003*). Es besitzt eine hohe Dichte, gute Benetzungseigenschaften und ein hohes Lösungsvermögen für unpolare Stoffe. Sollen polare Verbindungen extrahiert werden, lässt sich das durch Zugabe kleiner Mengen von Alkoholen oder Wasser erreichen. Möglich ist auch die Extraktion von unpolaren Substanzen mit reinem Kohlendioxid, an die sich die Extraktion polarer Stoffe anschließt (sequentielle Extraktion). Beispielsweise lassen sich aus einer pflanzlichen Probe erst die unpolaren, also fettlöslichen Carotinoide gewinnen, während die polaren, eher wasserlöslichen Polyphenole im Rückstand verbleiben. Danach werden diese mittels eines Gemisches von überkritischem Kohlendioxid und Alkohol oder Wasser extrahiert. So lassen sich Wertstoffe unter sehr schonenden Bedingungen gewinnen. Das Kohlendioxid sorgt dabei zusätzlich für eine Schutzgasatmosphäre, indem es Luftsauerstoff verdrängt und damit empfindliche Substanzen wie mehrfach ungesättigte Fettsäuren vor Oxidation schützt. Zudem ist Kohlendioxid farb- und geruchlos, geschmacksneutral und nicht brennbar. Nach dem Extraktionsprozess lässt sich das Kohlendioxid durch Verlassen des überkritischen Be-

reichs rückstandslos aus der Probe entfernen und recyceln (*Díaz-Reinoso, Moure et al. 2006*).

Die bekanntesten Anwendungen der überkritischen Lösungsmittel-extraktion in der Lebensmittelindustrie sind die Entkoffeinierung von Kaffee und die Gewinnung von Hopfenextrakten zur Bierherstellung.

Zur Extraktion des Coffeins werden die grünen Kaffeebohnen zunächst in Wasser eingeweicht und anschließend in einem verschlossenen Extraktionsgefäß mit flüssigem Kohlendioxid versetzt. Nach Erwärmen zirkuliert das Kohlendioxid zwischen dem Extraktionsgefäß und einem Gasabscheider und entfernt das gelöste Coffein (*Ramalakshmi, Raghavan 1999*).

Die Extraktion mit überkritischem Kohlendioxid ist auch die Methode der Wahl zur Gewinnung von Hopfenextrakten und erfolgt nach einem vergleichbaren Prinzip (*Knez Hrnčič, Španinger et al. 2019*). Aufgrund des schonenden Charakters dieser Technologie eignet sie sich auch für die Gewinnung von Aromen und Duftstoffen (*Capuzzo, Maffei et al. 2013*), Antioxidanzien (*Díaz-Reinoso, Moure et al. 2006*), Farbstoffen und Pharmazeutika (*Herrero, Mendiola et al. 2010*).

Nachteile der Methode sind ihre relativ hohen Kosten sowie ihre Komplexität. So ist es notwendig, die Prozessparameter an die jeweiligen Gegebenheiten der Matrix und der zu extrahierenden Substanzen anzupassen.

### Gepulste elektrische Felder

Gepulste elektrische Felder (pulsed electric fields, Hochspannungsimpulse) werden durch die rasche Entladung eines Kondensators erzeugt. Elektroden leiten die Impulse an das Medium weiter. Schon vor Jahrzehnten fand diese Technologie in der Molekularbiologie Anwendung, um durch eine lokale, reversible Erhöhung der Membrandurchlässigkeit den Austausch von genetischem Material und niedermolekularen Substanzen zu ermöglichen (Elektropermeabilisierung) (Zimmermann, Stopper 1987).

Wird eine Zelle einem elektrischen Feld ausgesetzt, so nimmt das sogenannte Transmembranpotenzial der Zelle zu und es bilden sich Poren. Wird eine kritische Feldstärke überschritten, ist die Porenbildung irreversibel. Durch den Verlust der Semipermeabilität der Zellmembran können intrazelluläre Substanzen aus der Zelle fließen und extrazelluläre Verbindungen in die Zelle gelangen. Die Zelle ist nicht mehr lebensfähig (Abb. 3).

Der Effekt der Porenbildung in Zellmembranen lässt sich in vielfältiger Weise in der Lebensmitteltechnologie nutzen. Vor allem die Abtötung von Mikroorganismen durch die Einwirkung gepulster elektrischer Felder wurde intensiv untersucht. Die Effizienz der Inaktivierung hängt unter anderem von der Größe der Mikroorganismen ab. Größere Hefezellen sind empfindlicher als die kleineren Bakterienzellen und gramnegative sind empfindlicher als grampositive Bakterien (Siemer, Töpfl et al. 2018). Da sich eine Behandlung als kontinuierlicher Prozess durchführen lässt, eignen sich flüssige Produkte wie Fruchtsäfte besonders gut für den Einsatz dieser

Technologie. Gerade an Säften fanden zahlreiche Untersuchungen statt. Das große Potenzial gepulster elektrischer Felder zur Produktion sensorisch und nutritiv hochwertiger Säfte wurde mehrfach herausgestellt, doch stellen sich nach wie vor wirtschaftliche und technologische Herausforderungen, zum Beispiel die hohen Kosten, die unvollständige Inaktivierung von Enzymen sowie die Resistenz bakterieller Sporen (Bevilacqua, Petruzzi et al. 2018; Roobab, Aadil et al. 2018; Jiménez-Sánchez, Lozano-Sánchez et al. 2017a,b; Morales-de la Peña, Welti-Chanes et al. 2019). Die durch die Impulsbehandlung hervorgerufene Porenbildung lässt sich auch zur Erhöhung der Saftausbeute heranziehen, da diese den Austritt des Zellsafts sowie wertgebender Inhaltsstoffe fördert. Ferner eignet sich die Technologie als vorbereitende Maßnahme bei der Trocknung von Lebensmitteln (Puértolas, Luengo et al. 2012).

### Kaltes Plasma

In der Physik bezeichnet der Begriff „Plasma“ ein teilweise ionisiertes Gas, das sich aus Ionen, Elektronen und Neutralteilchen zusammensetzt und durch Einwirken von Energie auf ein Gas entsteht. Als Arbeitsgase verwendet man beispielsweise Luft, Stickstoff oder Edelgase wie Helium oder Argon, teils unter Zusatz von Wasser. Aus diesen bilden sich infolge der eingetragenen Energie reaktive Teilchen und Verbindungen, etwa Wasserstoffperoxid, Singulett-Sauerstoff, Ozon, Hydroxylradikale, Stickstoffmonoxid oder ionisierte Edelgaspezies. Diese sind für den antimikrobiellen Effekt verantwortlich (Hertwig, Meneses et al. 2018; SKLM 2012). Die der Inakti-

vierung zugrunde liegenden Mechanismen beruhen auf der Schädigung von Zellwand und -membran, der DNA, von Lipiden und Proteinen, dem Abbau extrazellulärer Verbindungen, der Verhinderung der Biofilmbildung sowie im Eingriff in metabolische Prozesse der Mikroorganismenzelle (Bourke, Ziuzina 2017; Bourke, Ziuzina 2018).

Aufgrund seines antimikrobiellen Effekts dient kaltes Plasma zur Oberflächensterilisation in der Medizintechnik (SKLM 2012). Der Einsatz bei Lebensmitteln stellt allerdings eine wesentlich größere Herausforderung dar, da eine effiziente Keimzahlreduktion mit der Sicherstellung der Produktqualität einhergehen muss. Aussichtsreich ist die Dekontamination trockener Lebensmittel wie Gewürze und Schalenfrüchte, für die andere technologische Maßnahmen weniger geeignet sind. Demgegenüber ist eine Anwendung bei lipid- und proteinreichen Produkten fraglich, da Lipide äußerst anfällig gegenüber Oxidation sind und sich leicht Fehlgerüche bilden. Anwesende Proteine können die inaktivierende Wirkung der reaktiven Spezies beeinträchtigen (Hertwig, Meneses et al. 2018). Insgesamt besteht vor der Anwendung kalter Plasmen an Lebensmitteln noch sehr hoher Forschungsbedarf, zumal die Auswirkungen auf lebensmittelrelevante Mikroorganismen sowie die Inhaltsstoffe und damit den Nährwert noch völlig unzureichend beschrieben sind (SKLM 2012).

### Ultraschall

Das menschliche Ohr kann Schallwellen mit einer Frequenz zwischen 16 und 20.000 Hertz (Hz) wahrnehmen. Unterhalb von 16 Hertz spricht man von Infraschall, über 20.000 Hertz von Ultraschall. Aus Natur und Technik ist Ultraschall bekannt: Fledermäuse orientieren sich mittels Ultraschall bei ihrem Nachtflug und finden so ihre Beute. Auch Delfine nutzen das Prinzip der Echoortung durch Ultraschall. In der Seefahrt ist die Sonartechnik wichtig, um Schiffe sicher durch Untiefen zu navigieren. Die Materialwissenschaft zieht Ultraschall zur zerstörungsfreien Prüfung von Werkstoffen heran. In der Medizin wird Ultraschall seit Jahrzehnten zum Beispiel bei der Pränataldiagnostik und zur Detektion von Gallensteinen eingesetzt. In den Haushalt ist die Anwendung von Ultra-

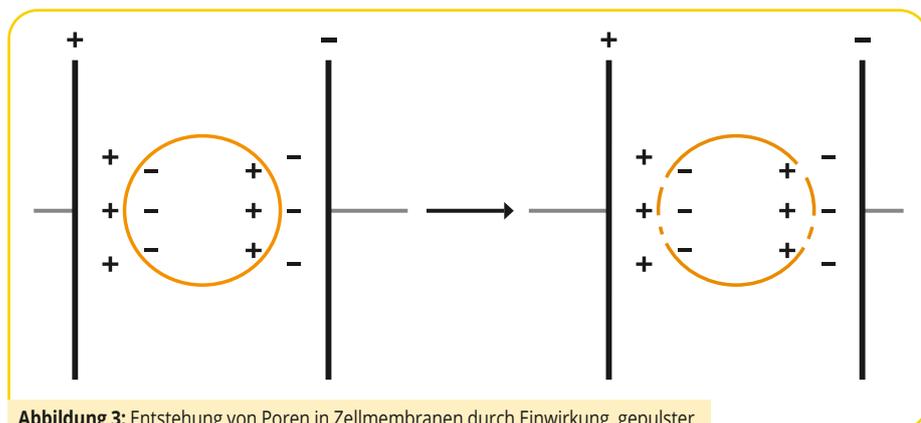


Abbildung 3: Entstehung von Poren in Zellmembranen durch Einwirkung gepulster elektrischer Felder (eigene Darstellung, nach Kulshrestha, Sarang et al. 2008)

Einsatz der Ultraschalltechnologie in der Materialwissenschaft: Lebensmittelverpackungen werden auf Dichtigkeit geprüft.



schall in Form von Zahnbürsten und Reinigungsgeräten eingezogen.

Schallwellen sind Longitudinalwellen, das heißt, die Schwingung erfolgt parallel zur Ausbreitungsrichtung. Im Unterschied zu den Transversalwellen wie Licht, Laser, die quer zur Ausbreitungsrichtung verlaufen, benötigen Schallwellen zur Ausbreitung ein Medium (Luft, Wasser, Gewebe, Knochen etc.). Die Erzeugung von Schwingungen erfolgt in einer Ultraschallquelle durch den sogenannten umgekehrten piezoelektrischen Effekt: Moleküle werden zur Schwingung um ihre Ruhelage angeregt und übertragen diese Schwingung auf benachbarte Moleküle. So kommt es abwechselnd zu Kompression und Expansion, Druck und Unterdruck (Sog) wechseln sich im Ausbreitungsmedium der Schallwellen ab. Die Geschwindigkeit, mit der sich Ultraschallwellen durch ein Medium fortpflanzen, ist auch abhängig von der Dichte des Materials. Je enger die einzelnen Atome oder Moleküle aneinander stehen, desto höher ist die Geschwindigkeit (z. B. in Luft ca. 340 m/s, in Wasser ca. 1.500 m/s). Wird in Flüssigkeiten während der Sogphase ein kritischer Druck unterschritten, können sich Gasbläschen bilden, die anschließend unter Ausbildung hoher Drücke und Temperaturen sowie von Radikalen wieder kollabieren. Solche Kavitationen können beispielsweise bei sich schnell drehenden Schiffsturbinen zu schweren Schäden führen (Carillo-Lopez, Alarcon-Rojo et al. 2017; Kentish, Feng 2014).

In der Lebensmitteltechnologie existieren bereits zahlreiche Anwendungen

der Ultraschalltechnologie, zum Beispiel auch zur Inaktivierung von Mikroorganismen. Allerdings hängt das Ausmaß der Abtötung stark von den Parametern des Ultraschalls sowie vom Typ der Mikroorganismen ab. Deshalb kommen oft kombinierte Verfahren mit Druck und Hitze zum Einsatz, die eine höhere Effizienz bieten. Zudem lassen sich Extraktionsausbeuten steigern, da Zellmembranen durch Ultraschallanwendung eine höhere Durchlässigkeit erlangen und ein verbesserter Stoffaustausch möglich ist. Ultraschall kann ferner konventionelle Technologien des Homogenisierens, Mischens, Dispergierens und Emulgierens ersetzen oder unterstützen sowie zum Entschäumen dienen. Bei Gefrierprozessen führt Ultraschall zu kleineren, homogeneren Eiskristallen, die sich etwa bei Speiseeis in einem angenehmeren Mundgefühl bemerkbar machen. Eine interessante Anwendung stellt das Ultraschallschneiden dar. Es gestattet das Zerteilen von brüchigen oder gefrorenen Produkten und ist auch für Lebensmittel geeignet, die leicht an der Messerklinge anhaften (Awad, Moharram et al. 2012; Kentish, Feng 2014).

### Fazit und Ausblick

In den vergangenen Jahrzehnten wurden zahlreiche Verfahren entwickelt, die eine interessante Alternative zu konventionellen Technologien darstellen. Eine Reihe damit hergestellter Produkte, wie zum Beispiel hochdruckkonservierte Lebensmittel, sind bereits auf dem Markt erhältlich. Bei einigen Verfahren besteht

vor dem Einsatz in der Lebensmittelindustrie noch Forschungsbedarf. So erfordert beispielsweise die Verwendung von kaltem Plasma zunächst umfangreiche Untersuchungen, inwieweit die entstandenen Radikale eine Veränderung von Lebensmittelinhaltsstoffen bewirken. Führt man sich vor Augen, dass die Lebensmittelwissenschaften seit Dekaden daran forschen, die Entstehung von Radikalen in Lebensmitteln zu unterbinden, erscheint es anspruchsvoll, nun Lebensmittel – wenn auch nur durch oberflächliche Behandlung – durch reaktive Radikale dekontaminieren zu wollen. Auch wenn einige Verfahren als „nichtthermisch“ gelten, führt ihre Anwendung doch zu einer gewissen Temperaturerhöhung im behandelten Lebensmittel, die allerdings üblicherweise unterhalb der bei konventionellen Pasteurisationsprozessen liegt. Bedarf für weiterführende Untersuchungen besteht zudem bei den Auswirkungen der Prozesse auf die Abtötung von Mikroorganismen und die Aktivität qualitätsbeeinträchtigender Enzyme. Schließlich ist das entscheidend für den Erfolg der Verfahren. In analytischer Hinsicht ist die Entwicklung von Methoden von Interesse, die eine Differenzierung herkömmlicher und nichtkonventioneller Verfahren gestatten, um beispielsweise Werbeaussagen bezüglich neuer Technologien kritisch zu prüfen. ●

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<

# Natürliche Konservierungsstoffe

## Entwicklung und Potenzial

DR. HANNES PATZKE • PROF. DR. ANDREAS SCHIEBER



**Synthetische Konservierungsstoffe sind allgemein in Verruf geraten, weil ihnen unterstellt wird, die Gesundheit des Verbrauchers zu beeinträchtigen und Lebensmitteln ihre Natürlichkeit zu nehmen. Der Einsatz dieser Stoffe ist bei vielen Produkten allerdings notwendig, um mikrobiellen Verderb einzuschränken und die Versorgung der Verbraucher mit sicheren Lebensmitteln zu gewährleisten. Eine Möglichkeit, Natürlichkeit und konservierende Eigenschaften miteinander zu kombinieren, ist der Einsatz von Pflanzenstoffen und -extrakten.**

Seit Beginn der Menschheit stellt das Haltbarmachen von Lebensmitteln einen entscheidenden Faktor für die Nahrungsmittelversorgung und damit das (Über-)Leben dar. Eine erfolgreiche Konservierung konnte, insbesondere in den nahrungsmittelknappen Wintermonaten, für unsere Vorfahren den Unterschied zwischen ausreichender Nahrungsversorgung, Mangelernährung oder Hungertod bedeuten.

Heute landet weltweit etwa jedes dritte Lebensmittel im Abfall. 24 Prozent dieser Verluste sind auf mangelhafte oder ungeeignete Konservierung zurückzuführen (Lipinski et al. 2013).

### Konservierungsmethoden

Lebensmittel unterliegen einem physikalischen (z. B. Austrocknung), chemischen (z. B. Lipidperoxidation) und mikrobiellen Verderb. Um diesen zu verzögern, kommen neben den klassischen Methoden – Erhitzen, Räuchern, Einfrieren und Trocknen – Zusätze von Speisesalz, Zucker, Säuren, Öl oder Alkohol zum Einsatz. Salz und Zucker führen in entsprechender Menge dazu, dass den Mikroorganismen Wasser nicht mehr in ausreichender Menge zur Verfügung steht, während das Bedecken mit Öl den Kontakt mit Sauerstoff verhindert. Die Zugabe von Säuren bedingt eine Absenkung des pH-Wertes, der bewirkt, dass mikrobielles Wachstum stark zu-

rückgeht. Ethanol besitzt keimtötende Wirkung (Russel, Gould 2003). Diese Maßnahmen gelten als natürliche Konservierungsmethoden, denn die Stoffe stellen laut Gesetz eine Lebensmittelzutat und keinen Zusatzstoff dar. Eine Ausnahme bilden einige Säuren.

### Konservierungsstoffe

Für die Haltbarmachung von Lebensmitteln unterscheidet die Zusatzstoff-Zulassungsverordnung (ZZuV) verschiedene Stoffgruppen:

- Antioxidanzien zur Verhinderung von Oxidationsprozessen,
- Säureregulatoren zur Einstellung des pH-Wertes und
- Konservierungsstoffe gegen den mikrobiellen Verderb.

Mit dem Zusatz von Speisesalz, Zucker, Säuren, Öl oder Alkohol lässt sich bei Weitem nicht jedes Lebensmittel konservieren, da für eine ausreichende Haltbarmachung vergleichsweise große Mengenanteile nötig sind. So kann der Zuckergehalt bei Konfitüren 60 Prozent überschreiten (Lück, Jäger 1995). Solche Mengen, oder etwa der Einsatz von Alkohol, sind äußerst prägend für die sensorische Wahrnehmung eines Lebensmittels und aus diesem Grund häufig unerwünscht oder schlicht nicht umsetzbar. Außerdem kann diese Form der Konservierung nicht für alle Lebensmittel eine mikrobielle Unbedenklichkeit gewährleisten. In solchen Fällen ist der Zusatz von synthetischen Konservierungsstoffen eine effektive und sichere Methode. Gegenwärtig sind in der Europäischen Union 43 Konservierungsstoffe für Lebensmittel zugelassen, wobei diese in der Regel einer Beschränkung in Bezug auf Höchstmengen und einzelne Lebensmittelgruppen unterliegen. Diese Reinstoffe haben den Vorteil, dass sie bereits in vergleichsweise geringen Mengen effektiv gegen ein breites Spektrum an Mikroorganismen wirken und ihre Anwendung aufgrund einer strengen Dosis-Wirkungsbeziehung einfach ist (Lück, Jäger 1995).

## Zulassung

Jede Substanz wird sorgfältig auf ihre gesundheitliche Unbedenklichkeit hin untersucht, bevor sie eine Zulassung als Zusatzstoff erhält und in den Verkehr gebracht werden darf. Die gesetzliche Grundlage einer Positivliste für Zusatzstoffe gilt auch für natürlich vorkommende Stoffe und bedeutet entsprechend, dass diese zunächst zugelassen werden müssen. Eine erfolgreiche Zulassung endet mit der Zuweisung einer E-Nummer. Diese ist für viele Verbraucher – ob zu Recht oder zu Unrecht – der Inbegriff eines unnatürlichen Lebensmittelinhaltsstoffs.

Alle in der EU zugelassenen Konservierungsstoffe sind auf ihre gesundheitliche Unbedenklichkeit hin überprüft und dürfen deshalb nur in entsprechenden Höchstmengen eingesetzt werden. Dennoch gibt es Verbraucher, die hochsensibel auf Konservierungsstoffe reagieren. So kann etwa der Verzehr von Sulfiten zu Übelkeit, Kopfschmerzen, Durchfall, pseudoallergischen Reaktionen und in Einzelfällen zu einem anaphylaktischen Schock führen (*Pisoschi et al. 2018*).

Unabhängig davon lehnen viele gesundheits- und umweltbewusste Verbraucher Zusatzstoffe in Lebensmitteln ab, die Nachfrage nach frischen, natürlichen, möglichst unbehandelten Produkten nimmt zu (clean eating). Parallel fördert der moderne Lebensstil die Bequemlichkeit der Verbraucher und ruft nach immer mehr Convenience-Produkten. Um sich dem sich wandelnden Markt anzupassen, wächst bei Lebensmittelherstellern das Interesse an schonenden Verfahren zur Haltbarmachung wie Pulsed Electric Fields oder Hochdruckbehandlung sowie an natürlichen Alternativen zu Konservierungsstoffen.

## Entwicklung natürlicher Konservierungsstoffe

Der Begriff „natürlicher Konservierungsstoff“ löst bei vielen Verbrauchern ein Gefühl des Vertrauens und der Sicherheit aus. Fakt ist jedoch, dass ein Großteil der heute bekannten synthetischen Wirkstoffe, sei es im Bereich der Medizin oder als Zusatzstoff in einem Lebensmittel, aus der Natur übernommen ist oder sich von Naturstoffen ableitet (*Li, Vederas 2009*).

Der Begriff „natürlich“ ist zum einen im Sinne eines in der Natur vorkommenden Stoffes zu verstehen und zum anderen im Sinne von ungiftigen Ausgangsmaterialien, die im Idealfall schon als Lebensmittel verzehrt werden. Aus diesen Gründen bieten Pflanzenstoffe und -extrakte ein großes Potenzial zur natürlichen Konservierung.

## Wirksamkeit

Biologisch aktive Substanzen sind ubiquitär in der Natur verbreitet und bieten ein großes Potenzial bei der Suche nach natürlichen Konservierungsstoffen. Ihnen gemeinsam ist, dass sie meist in verhältnismäßig geringen Konzentrationen vorkommen und für das Überleben des Organismus zunächst nicht notwendig erscheinen. In der Abgrenzung zu den lebensnotwendigen Stoffen des Primärstoffwechsels (u. a. Kohlenhydrate, Aminosäuren, Fette) ordnet man diese Substanzen den Sekundärmetaboliten zu. Für das Überleben eines Organismus sind diese Stoffe trotzdem entscheidend, da sie essenzielle Aufgaben ausüben wie UV- oder Fraßschutz, Signalwirkung oder antimikrobielle und antioxidative Aktivität (*Pisoschi et al. 2018; Wink 2015*).

## Gesundheitliche Unbedenklichkeit

Innerhalb dieser stark heterogenen Stoffklasse mit momentan rund 200.000 identifizierten Verbindungen gibt es einige Untergruppen, die sich als alternative Konservierungsstoffe eignen, während der Einsatz anderer nicht vertretbar ist (*Wink 2015*). Beispielsweise besitzen Substanzen aus der Gruppe der Alkaloide häufig starke pharmakologische Wirkungen. Bekannte Vertreter dieser Gruppe sind Morphin, Solanin, Nicotin und Mutterkorn-Alkaloide. Auch das Botulinustoxin ist ein Naturstoff. Es zeigt, dass ein romantischer Blick auf Naturstoffe und die Annahme, diese seien pauschal ungefährlich, nicht angebracht ist (*Caesar 2000*). Biologisch aktive Substanzen werden in der Natur als Verteidigungsstoffe produziert, um Angreifer zu schädigen oder abzuwehren (*Wink 2015*). Die Grenze zwischen der gewünschten Hemmung oder Abtötung von Mikroorganismen im Lebensmittel

und einer unerwünschten Schädigung des Menschen ist daher nicht klar zu ziehen. Letztlich hängt der Unterschied von der aufgenommenen Menge oder der Verstoffwechslung des Fremdstoffs ab.

## Finanzierbarkeit

Neben gesundheitlichen Aspekten spielen bei der Entwicklung natürlicher Konservierungsstoffe auch ökonomische Faktoren eine Rolle. Ein geeigneter Pflanzenstoff muss in ausreichender Reinheit vorliegen; seine Gewinnung aus natürlichen Ausgangsmaterialien kann technisch aufwendig sein. Häufig sind Methoden erforderlich, die für die Extraktion und die anschließende Aufreinigung Chemikalien, etwa organische Lösungsmittel und komplexe Technologie, verwenden. Ein solcher Aufwand kann schnell unrentabel sein. Schließlich muss das Substituieren eines synthetischen Konservierungsstoffs neben Wirksamkeit und gesundheitlicher Unbedenklichkeit auch finanzierbar sein.

## Pflanzenextrakte als natürliche Konservierungsstoffe

Extrakte werden aus Ausgangsmaterialien pflanzlichen, tierischen oder mikrobiellen Ursprungs gewonnen. Eine Extraktion liefert allerdings keinen Reinstoff, sondern immer ein Stoffgemisch. Die Extraktionsart und insbesondere das eingesetzte Lösungsmittel sind ausschlaggebend für die stoffliche Zusammensetzung.

Ein Vorteil des Einsatzes von Extrakten kann das Auftreten synergistischer Effekte sein. So nimmt man beispielsweise an, dass das Verteidigungssystem von

### Begriffsabgrenzung

**Konservierungsstoff:** ein Stoff mit konservierender Wirkung, der in der Regel als Reinstoff vorliegt

**Reinstoff:** eine isoliert vorliegende oder stark aufgereinigte Substanz

**Synthetischer Stoff:** ein Reinstoff, der durch chemische Synthese gewonnen wird

**Pflanzenstoff:** ein bestimmter Inhaltsstoff einer Pflanze; als Reinstoff aus Pflanzenextrakten oder durch chemische Synthese gewonnen

**Pflanzenextrakt:** Auszug aus Pflanzen(-teilen); enthält immer mehrere Pflanzenstoffe

Pflanzen gegenüber Mikroorganismen oder Fraßfeinden auf der Wechselwirkung unterschiedlicher Sekundärmetaboliten beruht. Im Idealfall addiert sich die Wirkung mehrerer Stoffe nicht nur, sondern geht darüber hinaus. Diese Effekte sind für Forschung und Entwicklung von großem Interesse, da solche Synergien wenig anfällig für Resistenzbildung sind (Wink 2015). Für Lebensmittelhersteller wird die Anwendung allerdings eine größere Herausforderung darstellen als der Einsatz von synthetischen Konservierungsstoffen. Während letztere ein sehr breites Wirkspektrum und eine strikte Dosis-Wirkungsbeziehung zeigen (Lück,

Jäger 1995), wirken sekundäre Pflanzenstoffe häufig nur gezielt gegen einzelne Mikroorganismen-Gattungen. Ihre Anwendung setzt folglich ein genaueres Verständnis des Verderbnisprozesses im Lebensmittel voraus. Entsprechend ist die eingesetzte Menge richtig zu wählen, vor allem im Hinblick auf die Sicherheit des Lebensmittels. Die benötigte Konzentration natürlicher Extrakte ist dabei tendenziell höher als die synthetischer Konservierungsstoffe.

Mit steigender Konzentration stößt man allerdings auf eine weitere Schwierigkeit: Während synthetische Konservierungsstoffe die sensorischen Eigenschaften eines Produkts in der Regel nicht merklich beeinflussen, kann die Zugabe sekundärer Pflanzenstoffe das Produkt farblich oder geschmacklich verändern. Das tritt vor allem beim Einsatz ätherischer Öle auf, die zwar starke antimikrobielle Eigenschaften aufweisen, jedoch auch Aromastoffe darstellen und zum Aromaprofil des Produkts passen müssen. Im Idealfall lässt sich beides kombinieren und ein Gewürz- oder Kräutereextrakt finden, der sowohl einen positiven geschmacklichen als auch einen konservierenden Nutzen entfaltet (Pisoschi et al. 2018).

### Aus der Forschung

Für mehrere Wissenschaftsdisziplinen stellen die Bioaktivitäten von Pflanzenextrakten und Einzelsubstanzen ein interessantes Forschungsfeld dar. Ziel ist es, die natürlichen Verteidigungsstrategien von Pflanzen gegenüber äußeren Stressoren zu verstehen und für den Menschen nutzbar zu machen. Potenzielle oder bereits bewährte Anwendungsgebiete sind insbesondere die Pharmakologie sowie die Kosmetik- und die Lebensmittelindustrie.

Gewürze, Kräuter oder Reststoffe eignen sich als Ausgangsmaterialien zur Gewinnung potenzieller Konservierungsstoffe. Während der Verarbeitung pflanzlicher Lebensmittel fallen häufig große Mengen an Reststoffen, meist die Randschichten der Rohstoffe an (z. B. Obst- und Gemüseschalen oder Kleie bei Getreidekörnern). In der Regel enthalten diese Schichten die höchsten Konzentrationen an Sekundärmetaboliten. Deshalb stellen Reststoffe ökologisch wie ökonomisch ein interessantes Ausgangsmaterial dar

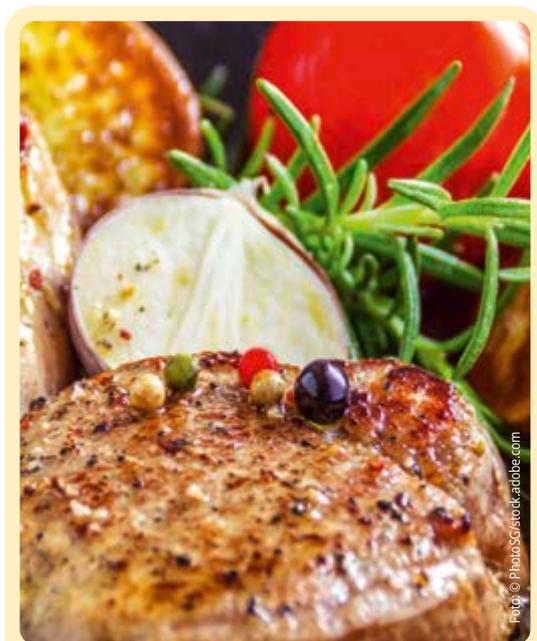
(Schieber 2017). Da die stoffliche Zusammensetzung der extrahierten Substanzen nicht nur von der Pflanze und dem verwendeten Pflanzenteil (z. B. Blätter, Blüten, Früchte, Samen), sondern auch von den Extraktionsparametern abhängt, ist die Auswahl an potenziellen Stoffen und Stoffgemischen enorm.

### Pflanzenextrakte

Innerhalb der Gruppe der sekundären Pflanzenstoffe stellen Phenole eine vielversprechende Stoffklasse dar. Phenolische Substanzen sind im Pflanzenreich weit verbreitet. Man schreibt ihnen unterschiedlichste Bioaktivitäten zu. Zur Konservierung von Lebensmitteln sind sie aus mehreren Gründen interessant. Im Idealfall zeigt eine phenolische Substanz nicht nur die notwendige antimikrobielle Wirkung, sondern auch eine mehr oder weniger starke antioxidative Kapazität. Dadurch verlangsamt sich im Lebensmittel, sowohl der mikrobielle als auch der chemische Verderb. Des Weiteren sind phenolische Substanzen aus ernährungsphysiologischer Sicht von Interesse, da ihnen in vielen Studien gesundheitsfördernde Wirkungen zugeschrieben werden (Fraga et al. 2010).

Ein Beispiel für ein polyphenolreiches Gemüse ist die Zwiebel, weshalb sie sich nicht nur aus organoleptischen Gesichtspunkten für den Einsatz in Lebensmitteln, sondern auch aufgrund ihrer antimikrobiellen und antioxidativen Wirkung eignet. Extrakte, die reich an Quercetin und Kämpferol sind, wirken zum Beispiel gegen die grampositiven Bakterien *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* und *Listeria monocytogenes* (Santas et al. 2010b). Möglichkeiten des Einsatzes bieten sich in Fleischprodukten und in Öl-in-Wasser-Emulsionen (Mayonnaise und Margarine) sowie zum Unterbinden von Braunfärbungen von Obst und Gemüse. Hier ist allerdings der starke Eigengeschmack von Zwiebelextrakten zu berücksichtigen (Santas et al. 2010a).

Ähnliches ließ sich für Knoblauch zeigen. Frisch oder getrocknet als Pulver in Geflügelwurst konnte der Extrakt das Ranzigwerden von Fett und das mikrobielle Wachstum signifikant verlangsamen. Auch hier ist eine sensorische Beeinflussung zu berücksichtigen (Sallam et al. 2004).



### Vom Pflanzeninhaltsstoff zum zugelassenen Zusatzstoff: Rosmarinextrakt

Zunächst gab man Rosmarinextrakte aus geschmacklichen Gründen zu Fleisch hinzu. Man beobachtete, dass der Zusatz zu einer signifikanten Verlängerung der Haltbarkeit des Produkts führte.

Die Wirkung des Extrakts beruht auf einer Inhibierung der Lipidperoxidation, der Ursache des Ranzigwerdens von Fett. Man konnte die beiden verantwortlichen Stoffe Carnosolsäure und Carnosol identifizieren.

Ist heute auf einer Lebensmittelverpackung „Rosmarinextrakt“ zu lesen, so muss dieser nicht aus aromatischen Gründen zugesetzt worden sein; er kann auch als Antioxidationsmittel dienen. Zu diesem Zweck werden den Extrakten teilweise die Aromen entzogen, damit der starke Eigengeschmack keinen unerwünschten sensorischen Effekt auf das Lebensmittel hat. Rosmarinextrakt trägt die E-Nummer 392 und wird allgemein als gesundheitlich unbedenklich eingestuft (Bomgardner 2014; ZZuV).

Für die Konservierung von Fleischprodukten eignen sich außerdem Extrakte aus Rosmarin, Reiskleie, Seekieferrinde, Traubenkernen, Tee, Trauben, Hopfen, Sumach oder Berberitze sowie Blätter von Kirschen und schwarzen Johannisbeeren (*Pisoschi et al. 2018*).

Die Zugabe von Rosinenextrakten oder -konzentraten zu Brot verlangsamt dessen mikrobiellen Verderb, zum Beispiel durch *Bacillus*-Spezies und die Schimmelpilze *Aspergillus flavus* und *Penicillium chrysogenum*. Die Wirkung war dabei vergleichbar mit der des zugelassenen Konservierungsstoffs Calciumpropionat (E 282). Die benötigte Extraktkonzentration lag jedoch weitaus höher (*Wei et al. 2009*).

### Ätherische Öle

Diese leicht flüchtigen, fettlöslichen und aromatischen Stoffgemische (Mono- und Sesquiterpene oder Phenole und Phenolester) lassen sich mittels Wasserdampfdestillation, Extraktion oder Pressen aus natürlichen Ausgangsstoffen gewinnen. Sie sind eine weitere Quelle natürlicher Konservierungsstoffe. Aufgrund ihres intensiven Aromas und ihrer Fettlöslichkeit bietet sich die Anwendung in Lebensmitteln wie Fisch-, Fleisch-, Reis-, Milch- Obst- und Gemüseprodukten an. Die Aktivität lässt sich durch niedrige Temperaturen und einen geringen pH-Wert noch steigern.

Da es sich um Stoffgemische handelt, weisen ätherische Öle vermutlich Wechselwirkungen auf und wirken gegen eine Reihe von Zielorganismen. Für einen zuverlässigen Schutz des Lebensmittels gegenüber Bakterien wie *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Shigella dysenteria*, *Bacillus cereus* und *Staphylococcus aureus* werden Konzentrationen zwischen 0,5 bis 20 Mikroliter ätherisches Öl je Gramm Lebensmittel benötigt. In etwas geringerer Dosis eignen sich ätherische Öle auch als Zusatz zu Waschwasser von Obst und Gemüse (*Burt 2004*).

Für Kochwürste ließ sich zeigen, dass 50 Prozent des Pökelsalzes durch ätherische Öle aus Ceylon-Zimt substituiert werden können, ohne dass farbliche, geschmackliche oder mikrobielle Unterschiede festzustellen waren (*Moarefian et al. 2013*).

Einen wirksamen Schutz von Käse gegenüber chemischem und mikrobiellem Verderb konnte der Einsatz von ätherischen Ölen aus Salbei und Basilikum erzielen (*Azizkhani et al. 2016*). Vor dem Wachstum von Schimmelpilzen in Lebensmitteln kann Thymol, ein Monoterpen aus Thymian, Oregano und Bohnenkraut, wirksam schützen (*Marchese et al. 2016*).

Die Kombination moderner Verfahren mit alternativen Konservierungsstoffen ist ein weiterer Ansatzpunkt, um mit der Wirksamkeit synthetischer Stoffe Schritt halten zu können. So konnte der terpenoide Naturstoff Carvacrol, der beispielsweise in Oregano und Thymian vorkommt, in Verbindung mit einer Hochdruckbehandlung die Haltbarkeit von Truthahnbrustschinken signifikant verbessern. Eine deutliche Wirkung zeigte sich vor allem gegenüber Listerien (*Oliveira et al. 2015*).

### Fazit

Sekundäre Pflanzenstoffe bieten ein großes Potenzial für die Substitution synthetischer Konservierungsstoffe. Eine Reihe dieser Substanzen werden von Pflanzen produziert, die sich so vor Fraßfeinden und mikrobiellem Be-

fall schützen. Die Substanzen können auch im Lebensmittel entsprechende Schutzfunktionen übernehmen. Allerdings lässt sich dazu nicht jede natürlich wirksame Substanz nutzen. Insbesondere bei aufgereinigten Stoffen ist eine gesundheitliche Unbedenklichkeit nicht pauschal vorauszusetzen. Diese muss zunächst sichergestellt werden. Alternativ bietet sich der Einsatz von Lebensmittelextrakten und -konzentraten an. Auch hier liegen vielversprechende Forschungsergebnisse vor.

Allerdings bietet der rechtliche Rahmen gegenwärtig wenig Spielraum für die Substituierung von Konservierungsstoffen. Hier ist der Gesetzgeber gefragt, um – analog zu färbenden Lebensmitteln – den Einsatz außerhalb der Zusatzstoff-Zulassungsverordnung zu ermöglichen und die Verwendung natürlicher Alternativen voranzutreiben. ●

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<

### Rechtliche Einordnung

Bislang ist die Zugabe von Pflanzenextrakten als *Konservierungsstoff* nur als Zusatzstoff möglich und unterliegt der Zusatzstoff-Zulassungsverordnung und den entsprechenden Zulassungs- und Kennzeichnungspflichten.

Die Zugabe von Pflanzenextrakten als *Aromaextrakte* oder *färbende Extrakte* zu Lebensmitteln ist mittlerweile weit verbreitet. Ihre Herstellung, Anwendung und Kennzeichnung ist über die EG-Aromenverordnung 1334/2008 und einen EU-Leitfaden „Guidance Notes on the Classification of Food Extracts with Colouring Properties“ rechtlich geregelt. Demnach kann beispielsweise ein nicht angereichertes Karottenkonzentrat als (färbendes) *Lebensmittel* gekennzeichnet werden, obwohl es zum (technologischen) Zweck der Färbung eingesetzt wurde und damit als *Zusatzstoff* eigentlich der Zusatzstoff-Zulassungsverordnung unterliegt. Das Karottenkonzentrat wird in diesem Fall jedoch nicht als Zusatzstoff angesehen, weil solche Konzentrate oder Extrakte selbst als Lebensmittel konsumiert werden. Die Gesetzgebung ist hier allerdings nicht einheitlich, da weiterhin entscheidend ist, zu welchem Zweck ein Extrakt einem Lebensmittel zugegeben wird.

Liegen *technologische* Gründe (z. B. die konservierende Wirkung) vor, so greift grundsätzlich die Kennzeichnungspflicht als Zusatzstoff und damit auch die Beschränkung auf die zugelassenen Stoffe.

Wird das Konzentrat oder der Extrakt dem Lebensmittel aus *geschmacklichen* Gründen zugesetzt, so kann eine Lebensmittelzutat vorliegen.

Das verdeutlicht ein Fall, bei dem Gemüseextrakte und -konzentrate Nitritpökelsalz bei der Wurstherstellung substituiert hatten und erstere als Lebensmittelzutat ausgewiesen worden waren. Das Bundesverwaltungsgericht in Leipzig verbot den Einsatz, da es die Alternativen nicht als Zutat, sondern als Zusatzstoffe ansah, und für diese Stoffgemische keine Zulassung vorlag. Die Tatsache, dass die Ausgangsstoffe (getrocknete Zucchini und Rote-Bete-Saft) auch als Lebensmittel verzehrt werden, spielte in der Argumentation der Richter keine Rolle (*Fröhlich 2016*).



Foto © Daniel Wincel/stock.adobe.com

# Betalaine als natürliche Lebensmittelfarbstoffe

PROF. DR. FLORIAN KUGLER • PROF. DR. FLORIAN C. STINTZING • PROF. DR. DR. REINHOLD CARLE

**Neben Geruch und Geschmack eines Lebensmittels ist dessen Farbe ein nicht zu unterschätzendes Qualitätsmerkmal, denn „das Auge des Verbrauchers isst immer mit“. Die Färbung von Lebensmitteln mit synthetischen und zunehmend auch natürlichen Farbstoffen spielt daher eine bedeutende Rolle in der Lebensmittelproduktion.**

Der Einsatz von Farbstoffen ist nicht uneingeschränkt möglich; er wird durch die Zusatzstoff-Zulassungsverordnung (ZZuV) geregelt. So dürfen laut ZZuV Grundnahrungsmitteln wie Milch, Brot, Teigwaren, Fleisch und Fisch keine Farbstoffe zugesetzt werden. Eine Farbgebung darf bei Grundnahrungsmitteln nur durch Zugabe färbender Lebensmittel (z. B. Rote Bete, Eigelb) oder durch Zusätze zum Tierfutter bei Lebensmitteln tierischer Herkunft (z. B. Carotinoide im Hühner- oder Fischfutter) erfolgen. Für einige Farbstoffe ist die Verwendung strikt auf spezielle Produktgruppen beschränkt, wie im Fall von Amaranth (E 123), einem Azofar-

stoff, der ausschließlich der Färbung von Aperitifweinen und Fischrogen dienen darf. Mit den Beschränkungen, die zum Teil auch festgelegte Höchstmengen für den Einsatz von Farbstoffen in Lebensmitteln beinhalten, verfolgt der Gesetzgeber im Wesentlichen zwei Ziele: den Schutz des Verbrauchers vor Täuschung und die Begrenzung des Einsatzes von Farbstoffen, deren toxikologische Unbedenklichkeit nicht vollständig geklärt ist.

Lebensmittel werden in der Praxis aus folgenden Gründen gefärbt:

- um Farbverluste auszugleichen, die zum Beispiel bei der Verarbeitung oder während der Lagerung eintreten;
- zur Korrektur von jahreszeitlich bedingten oder von der Qualität der eingesetzten Rohware abhängigen Schwankungen der Farbintensität;
- um die Farbe von Produkten zu verstärken, bei denen der Verbraucher vom Erzeugnis oder vom Geschmackstyp her einen intensiveren Farbton erwartet;

- zum Schutz von lichtempfindlichen Vitaminen und Aromastoffen während der Lagerung („sun-screen“-Effekt);
- um farblosen, unansehnlichen und auf den Verbraucher unappetitlich wirkenden Produkten eine attraktive Farbe zu verleihen;
- um die Identität und den Charakter eines Produktes zu verstärken und damit die Wiedererkennung durch den Verbraucher sicherzustellen;
- zur Färbung von neuen Trend-Produkten, die insbesondere für junge Konsumenten bestimmt sind;
- zugesetzte Farbstoffe können neben ihrer Funktion als farbgebende Komponente auch als Indikator für die Qualität des Produktes zum Beispiel während der Lagerung dienen und daher auch in der Qualitätssicherung von Bedeutung sein.

## Natürliche Färbung mit färbenden Lebensmitteln

Bei den natürlichen Pigmenten lassen sich im Wesentlichen vier Pigmentklassen unterscheiden: Anthocyane, Betalaine, Carotinoide und Chlorophylle. Farbextrakte aus verzehrfähigen pflanzlichen Rohwaren werden als färbende Lebensmittel in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. Mit carotinoidhaltigen Karotten-Extrakten wird beispielsweise ein gelblicher Farbton in Speiseeis erzielt, chlorophyllhaltiger Spinat kommt unter anderem bei der Färbung von Teigwaren zum Einsatz. Anthocyanhaltige Konzentrate aus dem Saft von Schwarzen Johannisbeeren finden bei der Färbung von Süßwaren wie zum Beispiel Gelatineprodukten Anwendung, während betalainhaltige Konzentrate aus dem Saft von Roten Rüben unter anderem zur Färbung von Fruchtzubereitungen eingesetzt werden.

Ein färbendes Lebensmittel muss nach herrschender Meinung (EU-Farbstoffrichtlinie 94/36 vom 30. Juni 1994) die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Das färbende Lebensmittel muss aus einem üblichen Lebensmittel gewonnen worden sein. (Spinat ist ein gebräuchliches Lebensmittel, nicht aber Gras.)
- Die Verarbeitung der Rohware, aus der das färbende Lebensmittel gewonnen wird, muss ausschließlich unter Anwendung physikalischer Verfah-

ren wie Zerkleinern, Abpressen, Konzentrieren oder Trocknen erfolgen.

- Das färbende Lebensmittel muss noch charakteristische Inhaltsstoffe der ursprünglichen Rohware enthalten.

Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, wie im Fall der selektiven Extraktion oder selektiven Aufkonzentrierung von natürlichen Farbstoffen, ist bei Zusatz der färbenden Komponente zum Lebensmittel die Deklaration mit einer E-Nummer gesetzlich vorgeschrieben. Im Gegensatz dazu ist bei färbenden Lebensmitteln zum Beispiel der Hinweis „gefärbt mit Rote Bete-Extrakt“ in der Zutatenliste ausreichend. Der Einsatz von färbenden Lebensmitteln bietet damit gegenüber der Verwendung von isolierten natürlichen Pigmenten oder synthetischen Farbstoffen den Vorteil, dass das färbende Lebensmittel eine Zutat – also kein Zusatzstoff – ist und daher nicht mit einer E-Nummer zu deklarieren ist. In diesem Zusammenhang spricht man auch vom „clean labeling“. Produkte mit einem „clean label“ stoßen aufgrund des gewachsenen Gesundheitsbewusstseins bei vielen Verbrauchern auf größere Akzeptanz.

Für färbende Lebensmittel werden bis 2008 auf dem Europäischen Markt jährliche Zuwachsraten von 10 bis 15 Prozent prognostiziert. Dieser Trend ist auf die nach wie vor ablehnende Haltung der Verbraucher gegenüber synthetischen Farbstoffen zurückzuführen. Die Vorbehalte gehen nicht zuletzt auf die in der Vergangenheit in Verruf geratenen Azofarbstoffe zurück. So stellten japanische Wissenschaftler im Fall des für kurze Zeit zum Färben von Margarine eingesetzten Buttergelbs bei Ratten ein gehäuftes Auftreten von Lebertumoren fest. Auch werden heute einige Azofarbstoffe mit pseudoallergischen Reaktionen sowie dem Hyperkinetischen Syndrom bei Kindern in Verbindung gebracht.

### Betalaine

Das Vorkommen der Betalaine beschränkt sich auf 13 Pflanzenfamilien in der Ordnung Caryophyllales und einige Gattungen der Basidiomyceten. Die in den Vakuolen der Pflanzenzellen lokalisierten Betalaine ersetzen in diesen

Familien und Gattungen die Anthocyane, die man interessanterweise noch nie zusammen mit Betalainen vorgefunden hat. Die Pigmentklasse der Betalaine lässt sich in die rot-violetten Betacyane (von griechisch kyanos = blau) und die gelben Betaxanthine (von griechisch xanthós = gelb) unterteilen. Die wasserlöslichen Betalaine zeichnen sich durch eine gute Farbstabilität zwischen pH 3 und pH 7 aus. Im Unterschied zu den lediglich im stark sauren pH-Bereich (pH < 2) farbtreuen Anthocyanen eignen sich Betalaine daher vor allem für die Färbung mildsaurer („low acid“) Lebensmittel wie Milchmischprodukte und Babynahrung. Ähnlich wie andere natürliche Pigmente sind Betalaine empfindlich gegenüber Sauerstoff, Licht und erhöhten Temperaturen. Deshalb erfolgt die Färbung von Lebensmitteln erst am Ende des Verarbeitungsprozesses.

### Betalainhaltige Rohwaren und ihre Verarbeitung

#### Rote und Gelbe Bete

Bisher wird unter den betalainhaltigen Rohwaren nur die zur Familie der Gänsefußgewächse gehörige Rote Bete (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *conditiva*) kommerziell als färbendes Lebensmittel genutzt. Zum Einsatz kommt sowohl Saftkonzentrat als auch durch Sprühtrocknung gewonnenes Rote-Bete-Pulver. Die Gewinnung von Ro-

te-Bete-Saft (**Abb. 1**) beginnt mit dem Entfernen von Wurzelendabschnitt und Hypokotylansatz der Rüben, bevor sie gewaschen und in einem weiteren Schritt zum Beispiel mittels einer Rätzmühle zerkleinert werden. Die resultierende Maische wird gepresst und der gewonnene Saft mit Citronensäure angesäuert. Dadurch wird der natürliche pH-Wert der Rohware von 6,0 bis 6,4 auf das Stabilitätsoptimum des Hauptpigments Betanin von pH 4 bis 5 eingestellt. Ferner kann durch die Ansäuerung beim Haltbarmachen des Saftes auf die farbschädigende Sterilisation verzichtet werden. Außerdem führt das Ansäuern zur Ausfällung und Sedimentation von Proteinen und höhermolekularen Kohlenhydraten. Dies beugt der Belagbildung im Röhrenerhitzer und Verdampfer vor. Nach der Sedimentation wird der klare Saft abgezogen, pasteurisiert und gegebenenfalls vergoren (**Abb. 1**). Das Vergären der Zucker erlaubt das Eindampfen zu pigmentreicheren Konzentraten. Dabei wird jedoch ein weiterer Erhitzungsschritt zur Inaktivierung der Hefen notwendig. Nach dem Abtrennen von Feinpartikeln durch Zentrifugation wird der Klarsaft im Verdampfer aufkonzentriert. Im Fall von fermentiertem Rote-Bete-Saft, bei dem es sich nicht mehr um ein färbendes Lebensmittel, sondern um den natürlichen Farbstoff E 162 handelt, wird bei der Aufkonzentrierung das bei der Fermentation ge-

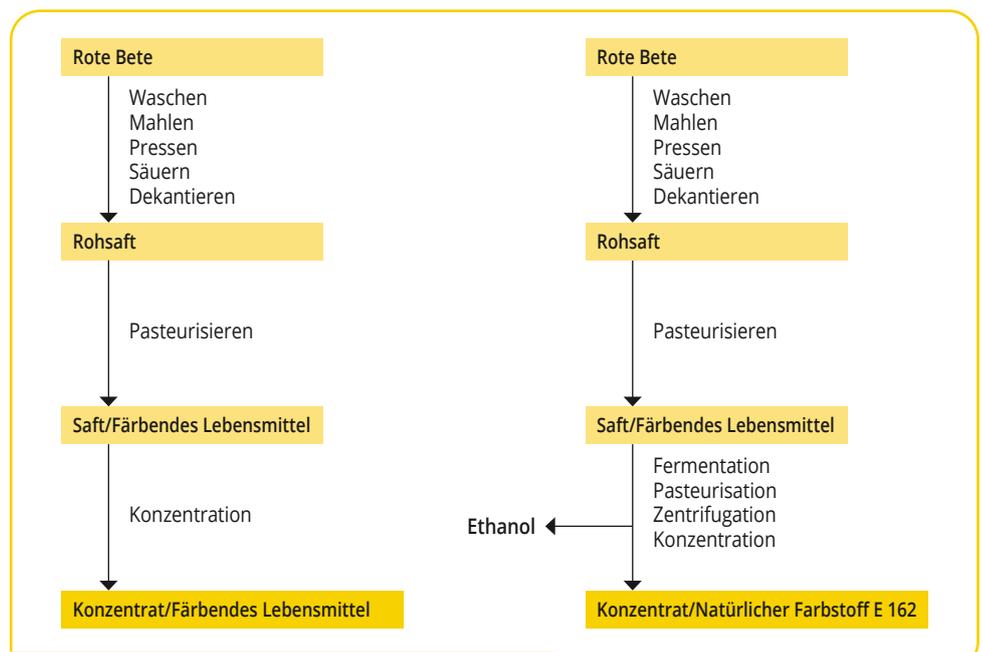


Abbildung 1: Färbendes Lebensmittel oder E 162 aus Roter Bete

bildete Ethanol entfernt. In der Praxis werden beispielsweise Erdbeer-Fruchtzubereitungen, die in Milchmischprodukten wie Joghurt und Eiskrem zum Einsatz kommen, mit Rote-Bete-Konzentrat gefärbt. Auch bei der Herstellung von Wurst- und Fleischwaren, Süßwaren, Backwaren, Fruchtcocktails sowie Trockenmischungen für Instantgetränke, Suppen und Nahrungsmittel finden Rote-Bete-Produkte Verwendung.

Hohe Nitratgehalte (etwa 195 mg/100 g Frischgewicht) und vergleichsweise hohe Oxalsäuregehalte (etwa 75 mg/100 g Frischgewicht) sowie die Gefahr der Übertragung von hitzestabilen Endosporenbildnern in das gefärbte Produkt sind Nachteile beim Einsatz von Zubereitungen aus Roter Bete. Der typisch erdige Betegeschmack, für den Geosmin und verschiedene pflanzeigene Methoxypyrazine verantwortlich sind, ist im färbenden Lebensmittel unerwünscht und stellt einen weiteren Nachteil von Rote-Bete-Produkten dar. Bei der Aufkonzentrierung von Rote-Bete-Saft werden diese nachteiligen Aromakomponenten nur teilweise ausgetrieben. Der Gehalt an rot-violetten Betacyanen und gelben Betaxanthinen schwankt je nach Sorte. So enthielten 20 relativ stark ausgefärbte Sorten Betacyan-Gehalte von 235 bis 387 Milligramm je Kilogramm Frischgewicht und Betaxanthin-Gehalte von 96 bis 219 Milligramm je Kilogramm Frischgewicht. Außerdem weist die Rote Bete als weitere wertgebende Komponente Folsäure mit vergleichsweise hohen Gehalten (etwa 83 µg/100 g Frischgewicht)

**Tabelle 1: Betacyan- und Betaxanthin-Gehalte unterschiedlich gefärbter Mangoldpflanzen**

Pigmentgehalt (mg/kg FG)	violett	rot-violett	gelb-orange	gelb
Betaxanthine	16,7	20,3	19,9	49,7
Betacyane	58,7	30,3	13,7	-
Betalaine	5,4	50,6	33,6	49,7

auf. Aus der im Vergleich zur Roten Bete eher unbekanntem Gelben Bete (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* cv. „Bejo Zaden“; **Abb. 2**) sind insgesamt zehn verschiedene Betaxanthine bekannt. Allerdings wird für die Färbung von Lebensmitteln die Gelbe Bete bisher nicht genutzt, da es bei der Verarbeitung der Rohware sehr schnell zu unerwünschten Bräunungsreaktionen kommt, die die attraktive gelbe Farbe überdecken.

### Farbstieliger Mangold

Ein bei uns in Vergessenheit geratenes großblättriges Gemüse ist der ebenfalls zu den Gänsefußgewächsen zählende Mangold (*Beta vulgaris* L. ssp. *cicla*). Neben dem farblosen Mangold sind auf dem Markt inzwischen auch Kultivare mit farbigen Stielen erhältlich. So weist das gemischte Kultivar „Bright Lights“ eine breite Farbpalette von violett über rot-violett, gelb-orange bis gelb auf (**Abb. 3**). In den unterschiedlich gefärbten Mangoldstielen konnten bis zu 19 Betaxanthine und bis zu neun Betacyane nachgewiesen werden. Das Zustandekommen von verschiedenen Farbausprägungen wird beim Betrachten der

Betacyan- und Betaxanthin-Gehalte (**Tab. 1**) deutlich. Während die violett, rot-violett und gelb-orange gefärbten Mangoldstiele vergleichbare Betaxanthin-Gehalte aufweisen, unterscheiden sie sich relativ stark in ihren Betacyan-Gehalten. In gelbstieligem Mangold konnten erwartungsgemäß nur Spuren von Betacyanen nachgewiesen werden. Das im Vergleich zur Roten Bete breitere Farbspektrum macht farbstieligen Mangold zu einer interessanten Quelle für die natürliche Färbung von Lebensmitteln. Auch ist die Gefahr der Kontamination mit Endosporenbildnern, wie sie bei der Färbung mit Rote-Bete-Produkten besteht, geringer. Allerdings sind die Betalain-Gehalte im Vergleich zur Roten Bete relativ niedrig. Ähnlich wie bei der Roten Bete sind jedoch durch züchterische Maßnahmen nennenswerte Steigerungen des Pigmentgehalts zu erwarten.

### Kaktusfrüchte

Auch Früchte von Kaktusfeigen (*Opuntien*) sowie Drachenfrüchte (*Pitayas*) stellen eine vielversprechende Alternative zur Roten Bete dar. Sie bieten nicht nur eine breite Farbpalette von gelb über orange, rot und violett, sondern sind auch frei von sensorisch unerwünschtem Geosmin und Pyrazinverbindungen. Ebenso weisen Kaktusfrüchte im Vergleich zur Roten Bete geringe Nitratgehalte auf. Auch die Gefahr der Verschleppung von Endosporenbildnern ist nicht gegeben. Daher könnte aus Kaktusfrüchten gewonnener Saft schon bald als färbendes Lebensmittel Verwendung finden.

Die ursprünglich aus Mexiko stammenden Opuntien werden heutzutage auch in Südamerika, Kalifornien, Texas, im Mittelmeerraum und inzwischen auch in Indien angebaut. Bei den Opuntien findet man neben Früchten mit farblosem Fruchtfleisch (z. B. *Opuntia ficus*



Foto: © Institut 1504, Uni-Hohenheim

**Abbildung 2:** Rote und Gelbe Bete im Querschnitt



**Abbildung 3:** Breite Farbpalette des Mangoldkultivars „Bright Lights“ mit violett, rot-violett, gelb-orange bis gelb gefärbten Stielen und ein weißstielliges Kultivar

Foto: © Institut 1500, Uni-Hohenheim

*indica* cv. „Bianca“) auch gelb-orange (z. B. *O. ficus-indica* cv. „Gialla“) und rot (z. B. *O. ficus-indica* cv. „Rossà“) gefärbte Früchte (**Abb. 4**). Im gelborange gefärbten Saft des Kultivars „Gialla“ ließen sich zwei Betacyane und insgesamt acht Betaxanthine nachweisen. Der Betaxanthin-Gehalt überstieg mit 48 Milligramm je Liter deutlich den Betacyan-Gehalt von einem Milligramm je Liter. Außerdem fanden sich im Saft von Opuntienfrüchten zum Teil sehr hohe Konzentrationen an freien Aminosäuren (z. B. in *O. ficus-indica* cv. „Aplastillada“: 1769 mg Prolin und 572 mg Taurin je l Saft). Säfte aus Kaktusfrüchten könnten daher in Zukunft auch bei der Herstellung funktionseller Lebensmittel Verwendung finden.

Auch unter den Pitayas, die zum Teil epiphytisches Wachstum zeigen, sind neben Früchten mit weißem Fruchtfleisch (*Hylocereus undatus* [Haworth] Britton & Rose) solche mit intensiv rot bis violett gefärbter Pulpe zu finden. So weist die in Nicaragua und Guatemala angebaute Drachenfrucht *H. costaricensis* [Weber] Britton & Rose ein tief rot und die vorwiegend in Israel angebaute Sorte *H. polyrhizus* [Weber] Britton & Rose (**Abb. 5**) ein intensiv rot-violett gefärbtes Fruchtfleisch auf. Im Saft der Früchte von *H. polyrhizus* ließen sich zehn verschiedene Betacyane nachweisen. Ihr Betacyan-Gehalt lag mit 525 Milligramm je Liter weit über dem der Roten Bete. Das angenehme melonenähnliche Aroma bietet außerdem eine gute Voraussetzung für den Einsatz in Getränken und Dessertprodukten.

### Ernährungsphysiologische Bedeutung von Betalainen

Neuere Studien bescheinigen den Betalainen ein hohes antioxidatives Potenzial. Einige Betacyane und Betaxanthine weisen demnach sogar eine höhere antioxidative Kapazität auf als typische Antioxidanzien wie Ascorbinsäure, Rutin und Catechin. Außerdem ließ sich in vitro zeigen, dass das Betacyan Betanin und das Betaxanthin Indicaxanthin in LDL-Partikel eingebaut werden und diese vor einer durch Kupferionen induzierten Lipidoxidation schützen können. Vor diesem Hintergrund ist von besonderem Interesse, inwieweit Betalaine für den Körper überhaupt bioverfügbar sind. Dass der Körper die roten Pigmente der Roten Bete wenigstens teilweise resorbiert, wird in der nach dem Verzehr von Roter Bete interindividuell unterschiedlich stark auftretenden Chromurie mit rötlich gefärbtem Urin deutlich. Dieses seit langer Zeit bekannte Phänomen (Beturie), das in der Vergangenheit gelegentlich zu der Fehldiagnose „Hämaturie“ führte, war auch Gegenstand einer neueren Untersuchung, bei der gesunden Probanden einmalig 500 Milliliter Rote-Bete-Saft verabreicht und die Pharmakokinetik der im Urin unverändert ausgeschiedenen Betacyane sowie ihre Gesamtmenge im 24-Stunden-Urin ermittelt wurden. Der im 24-Stunden-Urin wiedergefundene prozentuale Anteil der unveränderten Betacyane an der aufgenommenen Menge lag zwischen 0,21 und 0,39 Prozent und damit in der Größenordnung, die man auch für Anthocyane ermittelt hat.

Die Ergebnisse der Humanstudie deuten auf eine geringe Bioverfügbarkeit der Betacyane hin. Allerdings ist noch nicht geklärt, in welchem Umfang Metabolite der Betacyane gebildet werden und welche ernährungsphysiologische Rolle diesen zukommt. Im Gegensatz dazu ergaben Untersuchungen für das Betaxanthin Indicaxanthin nach dem Verzehr von Kaktusfeigen eine Bioverfügbarkeit von 76 Prozent. Da bisher nur wenige Untersuchungen zu den ernährungsphysiologischen Effekten und der Bioverfügbarkeit von Betalainen vorliegen, ist eine abschließende Beurteilung noch nicht möglich. Allerdings mehren sich die Hinweise, dass eine betalainreiche Kost bei der Prävention von Krankheiten, die mit oxidativen Schädigungen einhergehen, von Bedeutung sein könnte.

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<



**Abbildung 4:** Kaktusfeige „Gialla“ (Mitte) und Längsschnitte der Kultivare „Gialla“ (links) und „Rossà“ (rechts)

Foto: © Institut 1500, Uni-Hohenheim



**Abbildung 5:** Drachenfrucht *H. polyrhizus* ganz (rechts) und im Querschnitt (links)

Foto: © Institut 1500, Uni-Hohenheim



Foto © Jasztonce/stock.adobe.com

# Reststoffverwertung bei pflanzlichen Lebensmitteln

PROF. DR. ANDREAS SCHIEBER

**Nebenprodukte der Verarbeitung pflanzlicher Rohstoffe bergen ein enormes Potenzial als Quelle von Wertstoffen. Insbesondere Ballaststoffe sowie sekundäre Pflanzenstoffe sind gewöhnlich reichlich vorhanden. Sie können als biofunktionelle oder technofunktionelle Lebensmittelzutaten Verwendung finden.**

Auch die Lebensmittelindustrie muss sich mit Fragen der Nachhaltigkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette beschäftigen – vom Rohstoffeinsatz über die Verarbeitung bis zum Umgang mit den anfallenden Nebenprodukten einschließlich des Abwassers (Wang, Serventi 2019; Iriondo-DeHond, Miguel et al. 2018).

Zahlen zum Aufkommen von Nebenprodukten sind häufig ungenau, da die Literatur nicht immer zwischen „Abfall“ und „Nebenprodukt“ unterscheidet (z. B. van Dyk, Gama et al. 2013). „Rückstände“ und „Nebenströme“ sind weitere Begriffe, die in diesem Zusammenhang auftauchen können (Schieber 2017; Barrera, Cornish 2019).

## Rechtlicher Rahmen und Definitionen

In Deutschland ist der rechtliche Rahmen der Entsorgung durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) gegeben,

das in seinen Paragraphen 3 und 4 die Begriffe „Abfall“ und „Nebenprodukt“ definiert.

So sind gemäß Paragraph 3 Absatz 1 unter „Abfällen“ alle Stoffe oder Gegenstände zu verstehen, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung.

Im Unterschied dazu ist nach Paragraph 4 Absatz 1 KrWG ein Stoff oder Gegenstand, der bei einem Herstellungsverfahren anfällt, dessen hauptsächlicher Zweck nicht auf die Herstellung dieses Stoffes oder Gegenstandes gerichtet ist, als „Nebenprodukt“ und nicht als Abfall anzusehen. Das gilt unter der Maßgabe, dass

- die Weiterverwendung des Stoffes oder Gegenstandes sichergestellt ist,
- eine weitere, über ein normales industrielles Verfahren hinausgehende Vorbehandlung nicht erforderlich ist,

- der Stoff oder Gegenstand als integraler Bestandteil eines Herstellungsprozesses erzeugt wird, und
- die weitere Verwendung rechtmäßig ist.

Typische Nebenprodukte der Lebensmittelherstellung im Sinne von Paragraph 4 Absatz 1 KrWG sind damit Apfeltrester, Traubentrester, Zuckerrübenschnitzel und Getreidespelzen sowie Molke, Knochen, Innereien oder Blut (Dippel, Ottensmeier 2019).

Nebenprodukte haben ein Janusgesicht, denn einerseits fallen sie in großen Mengen und häufig saisonal an. Schon allein daraus ergeben sich Herausforderungen im weiteren Umgang. Zusätzlich sind sie in der Regel durch einen hohen Wassergehalt bei gleichzeitig beträchtlichem Restanteil an Nährstoffen gekennzeichnet, was eine hohe Anfälligkeit für mikrobiellen Verderb bedeutet. Andererseits enthalten viele Nebenprodukte Wertstoffe, die sich entweder unmittelbar durch Extraktion oder Fraktionierung oder durch biotechnologische oder chemische Konversion erschließen lassen.

## Nebenprodukte der Herstellung pflanzlicher Lebensmittel

Schon seit mehreren Jahren ist ein Konsumtrend hin zu pflanzlichen Lebensmitteln zu verzeichnen. Dafür sind zum einen ethische Aspekte und Fragen des Tierwohls verantwortlich, die für die Verbraucher an Bedeutung gewonnen haben. Zum anderen sind sich die Verbraucher zunehmend des Zusammenhangs von Ernährung und Umwelt bewusst und haben erkannt, dass eine pflanzenbetonte Kost mit gesundheitlichem Nutzen einhergehen kann. Für die protektiven Effekte einer pflanzlichen Kost machen Wissenschaftler insbesondere sekundäre Pflanzenstoffe und Ballaststoffe verantwortlich. Infolge der gesteigerten Verarbeitung pflanzlicher Rohware kommen vermehrt Reststoffe auf, vor allem Pressrückstände der Frucht- und Gemüsesaft- sowie Weinherstellung, Schalen, etwa aus der Verarbeitung von Zitrusfrüchten, Bananen, Kartoffeln und Zwiebeln, sowie Kerne, beispielsweise aus der Mango- und Avocadoverarbeitung. Aus der häuslichen Küche bekannt, fallen sie auf industrieller Ebene in ungleich höheren Mengen an.

Eine weitere wichtige Entwicklung im Lebensmittelsektor ist die wachsende Reserviertheit der Verbraucher gegenüber synthetischen Lebensmittelzusatzstoffen. Sie geben natürlichen, vornehmlich aus Pflanzen abgeleiteten Zutaten den Vorzug.

Nebenprodukte der Verarbeitung pflanzlicher Rohware sind in mehrerer Hinsicht interessant. Zunächst erfüllen sie den Verbraucherwunsch nach natürlichen pflanzlichen Quellen. Weniger offensichtlich ist die Tatsache, dass viele Nebenprodukte reichlich sekundäre Pflanzenstoffe und Ballaststoffe enthalten, also genau die Verbindungen, die aus ernährungsphysiologischer Sicht wertvoll sind. Sekundärmetaboliten dienen in der Regel den Pflanzen als Abwehrstoffe gegenüber Mikroorganismen, als Fraßschutz gegenüber Tieren („biotischer Stress“) oder dem Schutz vor UV-Licht („abiotischer Stress“). Daher finden sich diese Stoffe vorwiegend in den äußeren Schichten des pflanzlichen Gewebes, die im Zuge der Ver-

arbeitung häufig entfernt werden. Ballaststoffe sind in erster Linie die hochmolekularen Verbindungen der pflanzlichen Zellwand, die ebenfalls als Reststoffe anfallen, etwa nach dem Abpressen von Fruchtsäften. Der Verarbeitungsprozess konzentriert also Wertstoffe in den Reststoffen. Seit drei Jahrzehnten bilden letztere die Grundlage zahlreicher Studien, die in der Regel

- Verbindungen als biofunktionelle oder technofunktionelle Zutaten von Lebensmitteln aus den Reststoffen gewinnen und
- anfallende Nebenströme reduzieren wollen.

Auf den ersten Blick erscheint das Gewinnen von Wertstoffen zur weiteren Wertschöpfung der einzige Grund für die Bemühungen der Industrie zu sein. Gleichzeitig sind Entsorgung oder Rückführung auf Ursprungsflächen, etwa beim Weinanbau, aufgrund restriktiver Rechtsvorschriften (z. B. Bioabfallverordnung, Düngemittelverordnung) nicht oder nur eingeschränkt möglich. Darüber hinaus kann das ungeheure Potenzial der Reststoffe gewinnbringend für die Gesundheit des Menschen eingesetzt werden.

**Zu den Möglichkeiten der Verwertung von Apfeltrester lesen Sie den Beitrag „Der Apfel – Lebensmitteltechnische und gesundheitliche Aspekte“ in Ernährung im Fokus 4 2019, Seite 322 bis 325.**

## Traubentrester

Traubentrester ist der Pressrückstand, der bei der Weinherstellung als Nebenprodukt anfällt. Im Jahr 2018 wurden weltweit 77,8 Millionen Tonnen Trauben produziert, von denen 57 Prozent (44,3 Mio. t) auf die Weinerzeugung, 36 Prozent (28 Mio. t) auf Tafelobst und sieben Prozent (5,4 Mio. t) auf Rosinen entfielen (OIV 2019). Legt man einen Anteil von rund 20 Prozent an Reststoffaufkommen zugrunde, so entstehen global rund 8,9 Millionen Tonnen Traubentrester pro Jahr. Andere Autoren geben sogar einen Tresteranteil von bis zu 40 Prozent an (Friedman 2014 und dort zitierte Literatur).

Traubentrester besteht ganz überwiegend aus den weichen Schalen und den holzigen Kernen der Weinbeere. Die Kerne enthalten bis zu 20 Prozent Traubenkernöl, das aufgrund seines hohen Gehalts an Linolsäure (ca. 70 %) als hochwertiges Speiseöl gilt (Garavaglia, Markoski et al. 2016). Die Qualität des Öls hängt allerdings sehr stark von der Vorbehandlung der Kerne ab; wichtig ist die sofortige Trocknung des Tresters, um die Entstehung von Fehl- aromen zu verhindern (Matthäus 2008). Neben Traubenkernöl ist der Tresterbrand („Trester“) ein weithin bekanntes Produkt, das durch Vergären des Traubentresters und anschließende Destillation gewonnen wird. Sein Mindestalkoholgehalt beträgt 37,5 Volumenprozent. „Grappa“ darf sich nur das entsprechende in Italien produzierte Erzeugnis nennen.

## Molke als Nebenprodukt der Käseherstellung

Paradebeispiel für die Verwertung von Reststoffen aus tierischen Lebensmitteln ist die im Zuge der Käseproduktion anfallende Molke, die 85 bis 95 Prozent des Volumens der eingesetzten Milch ausmacht und in der ungefähr 55 Prozent der in Milch vorkommenden Nährstoffe, darunter rund 20 Prozent Proteine, enthalten sind (Ryan, Walsh 2016). Schätzungen zufolge produziert die milchverarbeitende Industrie alleine in der Europäischen Union jährlich etwa 75 Millionen Tonnen Molke (Rosa 2018).

Aus Molke können die ernährungsphysiologisch hochwertigen Proteine sowie das milchtypische Disaccharid Laktose gewonnen und entweder direkt oder nach Umwandlung weiter genutzt werden. Hier ist für Laktose vor allem der Einsatz in Süßwaren, Backwaren, Säuglingsnahrung und Pharmazeutika sowie ihre Konversion zu Laktulose und Laktitol (Süßstoffe, Laxativa) und Laktosylharnstoff (Nährstoff in Ruminantenfutter) bedeutsam. Weiterhin lässt sich Laktose in ihre Bestandteile Glukose und Galaktose spalten; Lösungen hydrolysierter Laktose finden beispielsweise in Süßwaren, Speiseeis und alkoholfreien Getränken Verwendung. Ferner dient Laktose als Ausgangsmaterial für die Herstellung von bioabbaubaren Polymeren (Ryan, Walsh 2016; Rosa 2018).





Schalen von Zitrusfrüchten sind ein Wertstoffreservoir. Außerdem können sie zum Beispiel als Tierfutter oder Dünger dienen.

Die überwiegende Mehrzahl der Studien zur Verwertung von Traubentrestern ist den phenolischen Verbindungen gewidmet. Schon seit Langem werden im industriellen Maßstab Anthocyane als natürliche Lebensmittelfarbstoffe aus den Pressrückständen roter Trauben gewonnen. Dazu werden die Trester mit wässrig-alkoholischen Lösungen extrahiert. Die Löslichkeit der Anthocyane lässt sich durch Zugabe von Sulfid erhöhen. Zwar kann das Sulfid durch thermische Verfahren wieder entfernt werden, doch verbleiben in den Farbstoffextrakten noch Reste, die zu pseudoallergischen Reaktionen führen können. Alternative Ansätze zur effizienten Extraktion der Pigmente und weiterer phenolischer Verbindungen basieren auf dem enzymatischen Abbau des Zellwandmaterials (Kammerer, Kammerer *et al.* 2014; Kammerer 2016) oder auf neuartigen Technologien wie Ultraschall, gepulsten elektrischen Feldern, Mikrowellen oder überkritischer Lösungsmittelextraktion (Barba, Zhu *et al.* 2016). Mögliche Anwendungsfelder für Polyphenole sind ihre Verwendung in Nahrungsergänzungsmitteln oder als natürliche Antioxidanzien und Konservierungsstoffe. Neben den in freier Form vorliegenden und damit unmittelbar extrahierbaren phenolischen Verbindungen gewinnen seit einigen Jahren die gebundenen, nichtextrahierbaren Polyphenole an Bedeutung. Sie kommen auch in Traubentrestern in signifikanten Mengen vor. Da sie hauptsächlich mit Makromolekülen assoziiert sind, werden sie nach dem Verzehr erst im Dickdarm freigesetzt, wo sie die Mikrobiota metabolisiert. Die

entstehenden Metabolite entfalten eine Reihe gesundheitsfördernder Effekte, zum Beispiel

- Erhöhung des Stuhlgewichts,
- vermehrte Bildung fremdstoffmetabolisierender Enzyme,
- Reduktion der Anzahl und Größe von Polypen sowie
- Stimulation des Wachstums von Milchsäurebakterien (Pérez-Jiménez, Díaz-Rubio *et al.* 2013).

### Reststoffe von Zitrusfrüchten

2016 wurden über 124 Millionen Tonnen Zitrusfrüchte weltweit produziert, von denen rund 50 bis 60 Prozent als Frischfrucht verzehrt und 40 bis 50 Prozent industriell verarbeitet wurden. Im Zuge dieser Verarbeitung fallen Nebenprodukte, insbesondere Schalen, in Mengen von zehn bis 15 Millionen Tonnen an (Ledesma-Escobar, Luque de Castro 2014; Zema, Calabrò 2018). Nach Trocknen der Schalen zur Verhinderung von mikrobiellem Verderb kann deren Verwertung prinzipiell auf zwei Wegen erfolgen:

- direkt als Tierfutter, Dünger und Kompost sowie
- indirekt in Bioraffinerien durch Gewinnung von Wertstoffen.

Eine Verwertung als Energiequelle kann etwa nach Hydrolyse der hochmolekularen Kohlenhydrate zu Zuckern und deren Vergärung zu Ethanol mittels Hefen stattfinden. Das ist jedoch im Vergleich zu anderen Pflanzen wie Mais mit höheren Kosten verbunden. Anaerobe Mikroorganismen können die Schalen in Methan umwandeln, das als Heiz-

gas dienen kann (Zema, Calabrò 2018). Kommerziell relevante Wertstoffe für den Lebensmittelbereich sind vor allem Pektin und die Schalenöle. Neben Apfeltrester sind Zitruschalen die wichtigste Quelle für Pektin, das als Hydrokolloid in Lebensmitteln, Arzneimitteln und Kosmetika Einsatz findet. Seine Extraktion erfolgt mit verdünnten Mineralsäuren, die das unlösliche Protopektin in lösliches Pektin überführen. Nach Filtration des Extrakts und Aufkonzentrierung wird das Pektin durch Zugabe von Isopropanol als alkoholunlösliche Substanz ausgefällt. Die ätherischen Öle der Zitruschalen sind in der Flavedo lokalisiert, in der äußersten Schicht der Fruchtschale. Sie lassen sich entweder aus der intakten Frucht vor der Saftherstellung extrahieren oder sie werden während der Pressung freigesetzt. Ihre Gewinnung erfolgt durch Zentrifugieren aus einer Emulsion oder durch Destillation (Mahato, Sharma *et al.* 2019). Ätherische Öle aus Zitrusfrüchten, etwa das Limonen aus Orangenschalen, dienen zum Aromatisieren von Lebensmitteln und Kosmetika, als Konservierungsmittel sowie als Lösungsmittel (Chemat, Tomao *et al.* 2012; Mustafa 2015). Allerdings ist bei ihrer Verwendung als Konservierungsmittel Vorsicht geboten, da sie in relativ hohen Mengen zugegeben werden müssen und aufgrund ihres starken Eigengeschmacks und -geruchs die sensorischen Eigenschaften von Lebensmitteln beeinträchtigen können. Die Schalen oder der nach extraktiver Entfernung aller Wertstoffe verbliebene Rückstand können zur pyrolytischen Herstellung von Aktivkohle dienen („Verschmelzung“), die beispielsweise als Adsorptionsmittel in der Trinkwasseraufbereitung und Abwasserreinigung eingesetzt werden kann (Chavan, Singh *et al.* 2018; Mahato, Sharma *et al.* 2020).

### Reststoffe der Verarbeitung exotischer Früchte

Exotische Früchte sind im Hinblick auf die Reststoffverwertung insofern von besonderem Interesse, als ihre nicht essbaren Teile häufig in sehr viel größeren Mengen anfallen als die von Früchten der gemäßigten Zonen. Das belegt beispielsweise ein Vergleich der Reststoffe von Bananen, Mangos oder Avocados mit denen von Äpfeln oder Birnen.

**Bananenschalen**

Bananenschalen machen bis zu 40 Prozent des Gewichts der Bananenfrucht aus und fallen angesichts einer jährlichen Produktion von über 100 Millionen Tonnen in sehr hohen Mengen an. Die Schalen bestehen vorwiegend aus den hochmolekularen Bestandteilen der pflanzlichen Zellwand wie Cellulose, Hemicellulose, Pektin und Lignin; zudem kommen Zucker wie Saccharose und Glukose sowie Proteine in nennenswerten Mengen vor. Einsatzfelder für die Schalen umfassen den Tierfutter- und Düngemittelsektor sowie die Energiegewinnung. Ferner können die Schalen durch fermentative Verfahren zur Produktion von Proteinen, industriellen Enzymen, Ethanol und Biogas dienen; auch die Kultivierung essbarer Pilze auf Bananenschalen ist in der Literatur beschrieben (Padam, Tin et al. 2014). Eine weitere Wertschöpfung ist mit der extraktiven Gewinnung von Stärke, Ballaststoffen, Carotinoiden und phenolischen Verbindungen verbunden (Pathak, Mandav-gane et al. 2016; Hüttner Kringel, Guerra Dias et al. 2020; Padam, Tin et al. 2014). In technologischer Hinsicht stellt die rasch eintretende Verfärbung der Bananenschalen nach braun-schwarz eine große Herausforderung dar, da die Farbe schwierig zu entfernen ist und die sensorischen Eigenschaften der Schalen selbst sowie der daraus gewonnenen Produkte stark beeinträchtigt.

**Mangoschalen und -kerne**

Aus der Verarbeitung von Mangofrüchten resultieren als Nebenprodukte in erster Linie die Schalen und Kerne, die einen Anteil von bis zu 60 Prozent des Fruchtgewichts ausmachen können. Die Kerne enthalten das sogenannte Mangokernfett, dessen sensorische Eigenschaften vergleichbar mit denen der Kakaobutter sind. Es darf gemäß Richtlinie 2000/36/EG Schokoladenerzeugnissen bis höchstens fünf Prozent unter Deklaration zugesetzt werden. Weiterhin finden sich in den Kernen Stärke, Ballaststoffe, Sterine und Tocopherole sowie hydrolysierbare Tannine (Jahurul, Zaidul et al. 2013; Schulze-Kaysers, Feureisen et al. 2015). Letztere weisen eine starke antimikrobielle Aktivität vor allem gegenüber grampositiven Bakterien mit Ausnahme der Laktobazillen auf, die auch auf die Bindung von Eisenionen zurückzuführen ist (En-

gels, Gänzle et al. 2010; Engels, Schieber et al. 2011). Tannine stellen daher vielversprechende natürliche Konservierungsstoffe dar, doch sind weiterführende Untersuchungen zum Einfluss auf die sensorischen Eigenschaften sowie auf Interaktionen mit Lebensmittelinhaltsstoffen und deren Auswirkungen auf die Aktivität der Tannine erforderlich.

**Avocadoschalen und -kerne**

Avocados wurden im Jahr 2018 weltweit in einer Größenordnung von über sechs Millionen Tonnen angebaut (Statista 2020). Das Fruchtfleisch enthält Triglyceride, die als Speiseöl und in Kosmetikprodukten Verwendung finden.

Nach der Abtrennung des essbaren Anteils verbleiben Schalen und Kerne, die ungefähr elf und 16 Prozent des Fruchtgewichts ausmachen (Jimenez, Garcia et al. 2020). Die Schalen und Kerne bestehen hauptsächlich aus Kohlenhydraten, Ballaststoffen, Proteinen und Lipiden sowie Polyphenolen. Beide Reststoffe können zur Energieerzeugung eingesetzt oder durch Verkohlung in Aktivkohle überführt werden. Studien zu den phenolischen Verbindungen belegen erwartungsgemäß deren antioxidative und antimikrobielle Aktivität (Colombo, Papetti 2019). Die Zerkleinerung der Kerne in Gegenwart von Wasser führt zur Entstehung einer orangefarbenen Verbindung, die vermutlich auf die enzymatische Oxidation von Polyphenolen zurückzuführen ist (Dabas, Elias et al. 2011).

**Kartoffelschalen**

Kartoffeln gehören zu den wichtigsten Grundnahrungsmitteln in vielen Teilen der Welt. Obwohl die verfügbaren Daten schwanken, ist von einer Weltjahresproduktion an Kartoffeln von über 360 Millionen Tonnen auszugehen (Potato-Pro 2020). Nach Angaben des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) lag der Pro-Kopf-Verbrauch von Kartoffeln in Deutschland im Wirtschaftsjahr 2017/18 bei rund 60 Kilogramm, von denen weit über die Hälfte in Form von Kartoffelerzeugnissen verzehrt wurde. Diesen Trend hin zu einem vermehrten Verbrauch verarbeiteter Produkte zu Lasten des Frischverzehr hatte die Food and Agriculture Organisation (FAO) bereits im „Internationalen Jahr der Kartoffel“ 2008 festgestellt.

Üblicherweise werden Kartoffeln vor der Verarbeitung gereinigt und geschält, da die Schalen aufgrund der Anwesenheit toxischer Alkaloide nicht zum Verzehr geeignet sind. Eine Ausnahme bilden solche Sorten, bei denen züchterische Maßnahmen die Alkaloide auf unbedenkliche Mengen reduzieren konnten. Der Anteil an Schalen beträgt 15 bis 40 Prozent und ist stark von der Art des Schälprozesses abhängig (Gebrecht, Chen 2018).

Neben den bereits erwähnten Alkaloiden sind in den Schalen phenolische Säuren enthalten. Beide Klassen pflanzlicher Sekundärmetaboliten zeigen synergistische Wirkung gegenüber Pilzen und sind ein Paradebeispiel für

Aus Kartoffelschalen lassen sich wertvolle Reststoffe extrahieren, zum Beispiel phenolische Verbindungen und Ballaststoffe.



Foto: © heljira/stock.adobe.com

die protektive Rolle in Pflanzen (*Sánchez-Maldonado, Schieber et al. 2016*). Trotz ihrer Toxizität sind Glycoalkaloide von großem Interesse für Medizin und Pharmazie, da sie eine Reihe pharmakologischer Aktivitäten aufweisen und als Ausgangsverbindungen für die Synthese von Hormonen dienen können (*Friedman 2006; Jayakumar, Murugan 2016; Gebrechristos, Chen 2018*). Die phenolischen Verbindungen eignen sich zum Beispiel als Antioxidantien (*Akyol, Riciputi et al. 2016*). Da für die genannten Anwendungsfelder die Gewinnung reiner Fraktionen oder sogar einzelner Substanzen erforderlich ist, wurden Verfahren zur Extraktion und Trennung der Phenole und Alkaloide entwickelt (*Schieber, Aranda Saldaña 2009; Sánchez-Maldonado, Mudge et al. 2014*).

Das Gros der Kartoffelschalen besteht, abgesehen von der anhaftenden Stärke, aus Zellwandbestandteilen, die als Ballaststoffe dienen können. Bereits in den 1990er-Jahren belegten in den USA durchgeführte Studien, dass sich Zusammensetzung sowie technologische und funktionelle Eigenschaften der Kartoffelschalen durch Extrusion beeinflussen lassen (*Camire, Violette et al. 1997*). Der Einsatz von Schalen in Backwaren führte zwar zur Erhöhung des Ballaststoffgehalts, beeinflusste allerdings auch technologische und sensorische Eigenschaften. Mit Kartoffelschalen angereicherte Muffins und Cookies zeichneten sich durch ein geringeres Volumen aus und waren dunkler und härter (*Arora, Camire 1994*). Wurde in Biscuits das Weizenmehl durch fünf Prozent einer Ballaststofffraktion ersetzt, die mittels enzymatischer Behandlung und Säureextraktion gewonnen worden war, so galten die resultierenden Produkte als sensorisch akzeptabel, eine Erhöhung des Schalenanteils führte jedoch zur geschmacklichen Abwertung (*Dhingra, Michael et al. 2012*).

### Nebenprodukte der Getreideverarbeitung

Obwohl es zahlreiche Getreidearten gibt, dominieren Mais, Weizen und Reis den Weltmarkt. Sie machen mehr als 90 Prozent der globalen Produktion aus und wurden 2017 in einer Menge von über 2,5 Milliarden Tonnen produziert (*FAO 2019*). Der genutzte Pflanzenteil ist die Karyopse, eine Fruchtform, bei

der die Fruchtwand mit der Samenschale verwachsen ist. Zur Mehlgewinnung müssen diese äußeren Schichten entfernt werden, wobei in erster Linie Kleie und Keimling anfallen.

#### Reis

Beim Spelzgetreide Reis entfernt man zusätzlich die nicht essbaren Spelzen in Mühlen. Aus dem Reiskorn entstehen rund 70 Prozent Endosperm zum direkten Verzehr oder zur Weiterverarbeitung, während ungefähr 20 Prozent Spelzen und zehn Prozent Kleie als Nebenprodukte verbleiben. Die Spelzen können zur Energiegewinnung genutzt werden und kommen wegen ihres hohen Mineralstoffgehalts auch als Dünger in Betracht. Die Reiskleie wird gemahlen und zur Inaktivierung der Lipase erhitzt. Danach lässt sie sich zur Verbesserung der ernährungsphysiologischen und sensorischen Eigenschaften in Lebensmitteln einsetzen. Das in Anteilen von zehn bis 23 Prozent in der Kleie enthaltene Reiskleieöl ist insbesondere in Asien populär und wird dort in Lebensmitteln und Kosmetika verwendet (*Bodie, Micciche et al. 2019*). Aus Reiskleieöl wird durch Hydrolyse von Gamma-Oryzanol die Hydroxyszimtsäure Ferulasäure gewonnen, aus der durch mikrobielle Umsetzung der Aromastoff Vanillin hergestellt wird (*Gallage, Lindberg Møller 2018*).

#### Weizen

Weizenkleie ist das primäre Nebenprodukt der Weizenverarbeitung, das laut Schätzungen jährlich in einer Menge von 150 Millionen Tonnen anfällt (*Prückler, Siebenhandl-Ehn et al. 2014*). Neben den Hauptbestandteilen, also Kohlenhydraten (50–60 %), Proteinen (10–18 %), Lipiden (3–5 %) und Mineralstoffen (3–8 %), enthält die Kleie auch eine Reihe von Sekundärmetaboliten. Dazu zählen etwa die Ferulasäure und die zu den phenolischen Lipiden zählenden Alkylresorcine. Der Einsatz von Kleie in Lebensmitteln, beispielweise in Broten, Teigwaren, Keksen und extrudierten Produkten, führt zu einer Erhöhung des Gehalts an Ballaststoffen und phenolischen Verbindungen, doch sind dem Einsatz hier – wie bei Kartoffelschalen auch – aufgrund der sensorischen und technologischen Eigenschaften Grenzen gesetzt. Durch Fraktionierung der Kleie lassen sich Polysaccharide, Prote-

ine und Alkylresorcine gewinnen. Biotechnologische Ansätze zur Verwertung von Weizenkleie liegen in der Produktion von Bioethanol, organischen Säuren, Polysacchariden und Enzymen (*Patzke, Schieber 2019*).

### Fazit und Ausblick

Die vorgestellten Nebenprodukte der Lebensmittelherstellung sind nachwachsende Rohstoffe mit immensem Potenzial. Ihre Verwertung ist für die beteiligten Unternehmen mit großen Chancen zur Diversifizierung und zusätzlichen Wertschöpfung verbunden. Gleichzeitig führt sie zur Verminderung des Aufkommens zu entsorgender organischer Masse. Allerdings ergeben sich eine Reihe von Herausforderungen, denn die extraktive Gewinnung einzelner Fraktionen oder Substanzen wird nicht zu einer nennenswerten Reduktion der Reststoffe beitragen, sondern im schlimmsten Fall einen Rückstand hinterlassen, der eventuell noch schwieriger zu entsorgen ist. Das kann dann der Fall sein, wenn die Extraktion mit organischen Lösungsmitteln erfolgte. Daher ist bei der Entwicklung von Verwertungskonzepten solchen Strategien der Vorzug zu geben, die entweder eine vollständige Nutzung gestatten oder die verbleibenden Rückstände auf ein Minimum beschränken. Im Zusammenhang mit der Gewinnung bioaktiver Substanzen und deren Einsatz in Lebensmitteln stellen regulatorische Hemmnisse ein gravierendes Problem dar, da bislang nur für wenige Verbindungen Health Claims zugelassen sind. Auch wenn Verbindungen als natürliche Lebensmittelzusatzstoffe eingesetzt werden sollen, sind die rechtlichen Rahmenbedingungen zu beachten. Die fast schon unüberschaubare Anzahl einschlägiger Publikationen belegt die hohe Relevanz und Dynamik des Themas in der Forschungslandschaft. Vor diesem Hintergrund ist es erstaunlich, dass bislang nur relativ wenige Ansätze industriell umgesetzt werden. Es bedarf daher noch gewaltiger Anstrengungen der beteiligten Akteure, um das Potenzial der Reststoffe umfassend und nachhaltig auszuschöpfen. ●

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnis“ als kostenfreie pdf-Datei. <<

## IMPRESSUM

### Ernährung im Fokus

Bestell-Nr. 5185, ISSN 1617-4518

#### Herausgeberin:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)  
Präsident: Dr. Hanns-Christoph Eiden  
Deichmanns Aue 29  
53179 Bonn  
Telefon 0228 6845-0  
www.ble.de

#### Abonnentenservice:

Telefon +49 (0)38204 66544, Telefax 0228 6845-3444  
abo@ble-medienservice.de

#### Redaktion:

Dr. Birgit Jähmig, Chefredaktion  
Telefon 0228 6845-5117  
E-Mail: birgit.jaehmig@ble.de  
Ruth Rösch, Online-Redaktion und Social Media  
Telefon 0211 69560466  
E-Mail: eif@fachinfo-ernaehrung.de  
Dr. Claudia Müller, Lektorat und Schlussredaktion  
Telefon 02241 9446443  
E-Mail: info@ernaehrungundgesundheit.de  
Walli Jonas-Matuschek, Redaktionsbüro und Bildrecherche  
Telefon 0228 6845-5157  
E-Mail: waltraud.jonas-matuschek@ble.de  
www.bzfe.de – Bundeszentrum für Ernährung  
E-Mail-Adressen stehen nur für die allgemeine Kommunikation zur Verfügung, über sie ist kein elektronischer Rechtsverkehr möglich.

#### Fachliches Beratungsgremium:

Prof. Dr. Sibylle Adam, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fakultät Life Sciences/Department Ökotrophologie  
Prof. Dr. Silke Bartsch, Technische Universität Berlin, Institut für Berufliche Bildung und Arbeitslehre (IBBA), Fachgebiet: Fachdidaktik Arbeitslehre  
Prof. Dr. Anette Buyken, Institut für Ernährung, Konsum und Gesundheit, Fakultät für Naturwissenschaften, Universität Paderborn  
Prof. Dr. Andreas Hahn, Leibniz Universität Hannover, Institut für Lebensmittelwissenschaft und Humanernährung  
Prof. Dr. Gunther Hirschfelder, Universität Regensburg, Institut für Vergleichende Kulturwissenschaft  
PD Dr. Rainer Hufnagel, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Weidenbach, Fachbereich Konsumökonomik  
Prof. Dr. Christoph Klotter, Hochschule Fulda, Fachbereich Öcotrophologie, Gesundheits- und Ernährungspsychologie  
Dr. Friedhelm Mühleib, Zülpich, Fachjournalist Ernährung  
Prof. Dr. Andreas Pfeiffer, Freie Universität Berlin, Innere Medizin, Deutsches Institut für Ernährungsforschung Potsdam-Rehbrücke, Abteilung Klinische Ernährung, Charité Universitätsmedizin Berlin, Abteilung Endokrinologie, Diabetes und Ernährungsmedizin  
Dr. Annette Rexroth, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Referat 315  
Prof. Dr. Andreas Schieber, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften

Ernährung im Fokus erscheint alle drei Monate als Informationsorgan für Fach-, Lehr- und Beratungskräfte. Es werden nur Originalbeiträge veröffentlicht. **Die Beiträge geben nicht in jedem Fall die Meinung des Herausgebers wieder.** Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Bücher wird keine Haftung übernommen. Nachdruck oder Vervielfältigung – auch auszugsweise oder in abgeänderter Form – sowie Weitergabe mit Zusätzen, Aufdrucken oder Aufklebern **nur mit Zustimmung der Redaktion gestattet.**

Sonderausgabe 01 2021

© BLE 2021

#### Grafik:

grafik.schirmbeck, 53340 Meckenheim  
E-Mail: mail@grafik-schirmbeck.de

#### Druck:

Kunst- und Werbedruck GmbH & Co KG  
Hintertorn Schloss 11, 32549 Bad Oeynhausen

Dieses Heft wurde in einem klimaneutralen Druckprozess mit Farben aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. Das Papier ist 100 Prozent Recyclingpapier.

#### Titelfoto:

© industrieblick/stock.adobe.com



# VORSCHAU

Die nächste Sonderausgabe erscheint im Herbst 2021.

## SONDERAUSGABE 02 2021



## Ernährung und Gesundheit

Die Ernährung hat wesentlichen Einfluss auf Erkrankungsrisiko und Sterblichkeit. So sind Ernährungsfaktoren für über 20 Prozent der Todesfälle mitverantwortlich. Das vorbeugende Potenzial vieler Lebensmittel trägt wesentlich dazu bei, die Gesundheit zu erhalten und zu fördern. Dabei soll eine optimale Zufuhr aller Nährstoffe bestimmten Risikofaktoren entgegenwirken und ernährungsmitbedingte Krankheiten verhindern helfen.

Gelingt Prävention mit vegetarischer Ernährung besser? Wo beeinflusst eine Ernährungsmodifikation eindeutig Gesundheit und Lebensqualität mit? Wie sieht der Zusammenhang zwischen Schlafstörungen, Depressionen, Kopfschmerzen, ADHS sowie Endometriose und Ernährung aus? Antworten auf diese und viele weitere Fragen bietet Ihnen unsere Sonderausgabe „Ernährung und Gesundheit“.

## Unser Zusatzangebot für Sie

Online unter  
[www.ernaehrung-im-fokus.de](http://www.ernaehrung-im-fokus.de)

- Leseprobe und Literatur zum aktuellen Heft
- alle Jahresinhaltsverzeichnisse für Ihre Recherche
- alle Ausgaben zum Download im Archiv (für Abo-Kunden kostenfrei)
- aktuelle Online-Meldungen, Spezials sowie unsere Highlights – jede Woche neu

Täglich Neues und Interessantes!  
Folgen Sie uns auf

- Instagram [@ernaehrungimfokus](https://www.instagram.com/ernaehrungimfokus)
- Twitter [@ErnaehrungF](https://twitter.com/ErnaehrungF)
- Facebook [@ErnaehrungimFokus](https://www.facebook.com/ErnaehrungimFokus)

Unser Newsletter nach Ihrer Anmeldung unter [www.bzfe.de/newsletter](http://www.bzfe.de/newsletter)

Ihr Abo und alle BZfE-Medien unter [www.ble-medienservice.de](http://www.ble-medienservice.de)

Zur Startseite  
[www.ernaehrung-im-fokus.de](http://www.ernaehrung-im-fokus.de)





## Viermal im Jahr: Themen aus der Praxis für die Praxis ...

- Neues aus der Forschung
- Ernährungsmedizin und Diätetik
- Ernährungsbildung und Kompetenzentwicklung
- Methodik und Didaktik
- Lebensmittelrecht – und vieles mehr!

... und zusätzlich  
**zwei Sonderhefte**  
mit den interessantesten  
Artikeln einer  
**Ernährung im Fokus-**  
Themenreihe

## Sie haben die Wahl:

### 1 Print-Online-Abo 9104 **24,00 €/Jahr**

- Vier Ausgaben + zwei Sonderhefte per Post + Download

### 2 Online-Abo 9104-AO **20,00 €/Jahr**

- Vier Ausgaben + zwei Sonderhefte zum Download

### 3 Ermäßigtes Online-Abo 9104-AE **10,00 €/Jahr**

- Vier Ausgaben + zwei Sonderhefte zum Download für Schüler, Studierende und Auszubildende gegen Ausbildungsnachweis

## Unser Online-Zusatzangebot

[www.ernaehrung-im-fokus.de](http://www.ernaehrung-im-fokus.de)

- Leseprobe und Literatur zum aktuellen Heft
- alle Jahresinhaltsverzeichnisse für Ihre Recherche
- alle Ausgaben kostenfrei zum Download im Archiv
- aktuelle Online-Meldungen und Spezials
- unser Benachrichtigungsservice nach Ihrer Anmeldung unter [www.bzfe.de/newsletter](http://www.bzfe.de/newsletter)

Ihr Abo und alle BZfE-Medien unter [www.ble-medienservice.de](http://www.ble-medienservice.de)



@ErnaehrungimFokus



@ErnaehrungF



@ernaehrungimfokus

## Mein Abo<sup>1</sup>

- Ja**, ich möchte das **Print-Online-Abo** mit vier Heften + zwei Sonderausgaben der Zeitschrift *Ernährung im Fokus* und der Downloadmöglichkeit der PDF-Dateien für 24,00 € im Jahr inkl. Versand und MwSt.
- Ja**, ich möchte das **Online-Abo** mit vier Heften + zwei Sonderausgaben der Zeitschrift *Ernährung im Fokus* zum Download für 20,00 € im Jahr inkl. MwSt.
- Ja**, ich möchte das **Online-Abo für Schüler, Studierende und Auszubildende** mit vier Heften + zwei Sonderausgaben der Zeitschrift *Ernährung im Fokus* zum Download für 10,00 € im Jahr inkl. MwSt. Einen Nachweis reiche ich per Post, Fax oder Mailanhang beim **BLE-Medienservice IBRo<sup>2</sup>** ein.

Name/Vorname

Beruf

Straße, Nr.

PLZ, Ort

E-Mail-Adresse

Datum/Unterschrift

## Geschenk-Abo<sup>1</sup>

Ich möchte das angekreuzte Abo verschenken an:

Name/Vorname des Beschenkten

Straße, Nr.

PLZ, Ort

E-Mail-Adresse

Datum/Unterschrift

- Rechnung bitte an nebenstehende Anschrift senden.

<sup>1</sup> Ihr Abo gilt für ein Jahr und verlängert sich automatisch um ein weiteres Jahr, falls es nicht mindestens drei Monate vor Ablauf schriftlich gekündigt wird. Die Lieferung erfolgt mit der nächsten Ausgabe nach Bestellsingang, falls nicht anders gewünscht. Die Bezahlung erfolgt per Paypal, Lastschrift oder gegen Rechnung.

**Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:**

<sup>2</sup> **BLE-Medienservice c/o IBRo Versandservice GmbH, Kastanienweg 1, 18184 Roggentin**

Telefon: +49 (0)38204 66544, Fax: +49 (0)38204 66992, 0228 6845-3444

E-Mail: [abo@ble-medienservice.de](mailto:abo@ble-medienservice.de), Internet: [www.ble-medienservice.de](http://www.ble-medienservice.de)

Ihre Bestellung können Sie innerhalb einer Woche schriftlich widerrufen.



## Die Mango – Ein unbekannter Exot?

- Akkravessapong P, Vasununde S: Harvesting index of Kaew mango (*Mangifera indica*) for pickling. *Acta Hort* 2, 518–524 (1992)
- Askar A, Abd-El-Fadeel MG, El Samahy SK: Mango und Mangoprodukte (*Mangifera indica* L.). *Flüss Obst* 48, 186–189 (1981)
- Askar A, Treptow H: Verarbeitung von tropischen Früchten. In: Schöbinger U (Hrsg.): *Handbuch der Lebensmitteltechnologie. Frucht- und Gemüsesäfte*. Ulmer Verlag, Stuttgart, 234–275 (2001)
- Berardini N, Carle R, Schieber A: Characterization of gallotannins and benzophenone derivatives from mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Tommy Atkins') peels, pulp and kernels by high-performance liquid chromatography – electrospray ionization mass spectrometry. *Rapid Comm Mass Spectrom* 18, 2208–2216 (2004)
- Berardini N, Fezer R, Conrad J, Beifuss U, Carle R, Schieber A: Screening of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars for their contents of flavonol O- and xanthone C-glycosides, anthocyanins, and pectin. *J Agric Food Chem* 53, 1563–1570 (2005)
- Berardini N, Knödler M, Schieber A, Carle R: Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. *Innovative Food Sci Emerging Technol* 6, 443–453 (2005)
- Berardini N, Schieber A, Klaiber I, Beifuss U, Carle R, Conrad J: 7-O-Methylcyanidin 3-O--D-galactopyranoside, a novel anthocyanin from mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Tommy Atkins') peels. *Z Naturforsch B* 60, 801–804 (2005)
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: *Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland*. 50. Aufl., Landwirtschaft Verlag GmbH, Münster-Hiltrup, 218 (2006)
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE), Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE), Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (SGE): *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr*. Bonn, 2. Aufl., 6. aktual. Ausgabe (2020)
- Dube M, Zunker K, Neidhart S, Carle R, Steinhart H, Paschke A: Effect of technological processing on the allergenicity of mangoes (*Mangifera indica* L.). *J Agric Food Chem* 52, 3938–3945 (2004)
- FAOSTAT: *FAO Statistical Database, Agricultural data*. Last updated December 2004; [www.fao.org](http://www.fao.org) (2006)
- FAOSTAT: [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat) (2021)
- Friedrich G, Fischer M: *Physiologische Grundlagen des Obstbaus*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (2000)
- Galán Saúco V: *El cultivo del mango*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid (1999)
- Githaiti JK, Karuri EG: Pectolytic enzymes in producing mango juice. *Acta Aliment* 20, 97–102 (1991)
- Heiss R, Eichner K: Hitzesterilisierung. In: Heiss R, Eichner K (Hrsg.): *Haltbarmachen von Lebensmitteln. Chemische, physikalische und mikrobiologische Grundlagen der Verfahren*. Verlag, Berlin, Heidelberg, 229–278 (2002)
- Herrmann K: Über die Inhaltsstoffe und die Verwendung wichtiger exotischer Obstarten. I. Grundsätzliche Angaben zu den Inhaltsstoffen sowie über Mango. *Ind Obst- Gemüseverwert* 79, 9–18 (1994)
- Heß D: *Pflanzenphysiologie: Molekulare und biochemische Grundlagen von Stoffwechsel und Entwicklung der Pflanze*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (1999)
- Jagtiani J, Chan HAT, Sakai WS: Mango. In: *Tropical fruit processing*. Academic Press, San Diego, CA, 45–104 (1988)
- Janser E: Enzyme applications for tropical fruits and citrus. *Fruit Processing* 7, 388–393 (1997)
- Jonsson L: Thermal degradation of carotenes and influence on their physiological functions. *Adv Exp Med Biol* 289, 75–82 (1991)
- Ketsa S, Chidtragool S, Klein JD, Lurie S: Firmness, pectin components and cell wall hydrolases of mango fruit following low-temperature stress. *Sci Hort* 80, 181–188 (1999)
- Ketsa S, Phakawatmongkol W, Subhadrabhandhu S, Saichol K, Wandee P, Suranant S: Peel enzymatic activity and colour changes in ripening mango fruit. *J Plant Physiol* 26, 363–366 (1999)
- Knödler M, Berardini N, Kammerer DR, Carle R, Schieber A: Characterization of major and minor alk(en)ylresorcinols from mango (*Mangifera indica* L.) by high-performance liquid chromatography – atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Rapid Comm Mass Spectrom* 21, 945–951 (2007)
- Krishnamurthy S, Subramanyam H: Pre- and post-harvest physiology of the mango fruit: a review. *Tropical Science* 15, 167–193 (1973)
- von der Linden UM: Mango purée and concentrate – a versatile and complex tropical submarket. *Fruit Processing* 14 (9/10), 342–346 (2004)
- Litz RE: *The Mango. Botany, production and uses*. CAB International, Oxon, UK (1997)
- Mahayothee B, Mühlbauer W, Neidhart S, Carle R: Influence of postharvest ripening processes on appropriate maturity for drying mangoes 'Nam Dokmai' and 'Kaew'. *Acta Hort* 645, 241–248 (2004)
- Mahayothee B, Neidhart S, Leitenberger M, Carle R: Non-destructive determination of maturity of Thai mangoes by near-infrared spectroscopy. *Acta Hort* 645, 581–588 (2004)
- Mahayothee B, Neidhart S, Carle R, Mühlbauer W: Effects of variety, ripening condition and ripening stage on the quality of sulphite-free dried mango slices. *Eur Food Res Technol* 225, 723–732 (2007)
- Marin MA, Cano MP: Effects of freezing preservation on mango (*Mangifera indica* L.) peroxidase. *Z Lebensm Unters Forsch* 197, 537–540 (1993)
- Mercadante AZ, Rodriguez-Amaya DB: Effects of ripening, cultivar differences, and processing on the carotenoid composition of mango. *J Agric Food Chem* 46, 128–130 (1998)
- Mitra SK, Baldwin EA: Mango. In: Mitra SK (Hrsg.): *Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits*. CAB International, Oxon, 85–122 (1997)
- Nair N, Singh Z, Treptow H, Tan SC: Chilling injury adversely affects aroma volatile production in mango during fruit ripening. *Acta Hort* 645, 529–536 (2004)
- Nakasono HY, Paull RE: Mango. In: *Tropical fruits*. CAB International, 208–238 (1998)
- Pott I, Breithaupt DE, Carle R: Detection of unusual carotenoid esters in fresh mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Kent'). *Phytochem* 64 (4), 825–829 (2003)
- Pott I, Marx M, Neidhart S, Mühlbauer W, Carle R: Quantitative determination of  $\beta$ -carotene stereoisomers in fresh, dried and solar-dried mangoes (*Mangifera indica* L.). *J Agric Food Chem* 51, 4527–4531 (2003)
- Pott I, Neidhart S, Mühlbauer W, Carle R: Quality improvement of non-sulphited mango slices by drying at high temperatures. *Innovative Food Sci Emerging Technol* 6 (4), 412–419 (2005)
- Ramteke RS, Vijayalakshmi MR, Eipeson WE: Processing and value addition to mangoes. *Indian Food Industry* 18, 155–163 (1999)
- Ray PK: Mango. In: *Breeding tropical and subtropical fruits*. Alpha Science International, Pangbourne, UK, 16–43 (2002)
- Robinson DS: Peroxidases and their significance in fruits and vegetables. *Food Enzymol* 1, 399–426 (1991)
- Saby John K, Bhat SG, Prasada Rao UJS: Biochemical characterization of sap (latex) of a few Indian mango varieties. *Phytochem* 62, 13–19 (2003)
- Schieber A: Mango (*Mangifera indica* L.), a 'functional fruit'? *Fruit Processing* 17, 149–152 (2007)
- Schieber A, Ullrich W, Carle R: Characterization of polyphenols in mango puree concentrate by HPLC with diode array and mass spectrometric detection. *Innovative Food Sci Emerging Technol* 1, 161–166 (2000)
- Selvaraj Y, Rajiv K: Pyruvate kinase activity in ripening mango (*Mangifera indica* L.) fruit. *J Food Sci Technol* 26, 228–229 (1989)

Singh NI, Dhuique-Mayer C, Lozano Y: Physicochemical changes during enzymatic liquefaction of mango pulp (cv. Keitt). *J Food Process Preserv* 24, 73–85 (2000)

Spreer W, Nagle M, Neidhart S, Carle R, Ongprasert S, Müller J: Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. 'Chok Anan'). *Agric Water Manage* 88, 173–180 (2007)

Tharanathan RN, Yashoda HM, Prabha TN: Mango (*Mangifera indica* L.), "the king of fruits" – an overview. *Food Rev Int* 22, 95–123 (2006)

Torres JD, Talens P, Carot JM, Chiralt A, Escriche I: Volatile profile of mango (*Mangifera indica* L.) as affected by osmotic dehydration. *Food Chem* 101, 219–228 (2007)

Vásquez-Caicedo AL, Heller A, Neidhart S, Carle R: Chromoplast morphology and -carotene accumulation during postharvest ripening of mango cv. 'Tommy Atkins'. *J Agric Food Chem* 54, 5769–5776 (2006)

Vásquez-Caicedo AL, Neidhart S, Carle R: Postharvest ripening behavior of nine Thai mango cultivars and their suitability for industrial applications. *Acta Hort* 645, 617–625 (2004)

Vásquez-Caicedo AL, Neidhart S, Pathomrungsyounggul P, Wiriyacharee P, Chattrakul A, Sruamsiri P, Manochai P, Bangerth F, Carle R: Physical, chemical and sensory properties of nine Thai mango cultivars and evaluation of their technological and nutritional potential. In: *Internat.*

Symp. 'Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia – Challenges for the 21st Century', Chiang Mai, Thailand, 08.–11.01.2002, 1–13 (2002)

Vásquez-Caicedo AL, Schilling S, Carle R, Neidhart S: Effects of thermal processing and fruit matrix on  $\beta$ -carotene stability and enzyme inactivation during transformation of mangoes into purée and nectar. *Food Chem* 102 (4), 1172–1186 (2007)

Vásquez-Caicedo AL, Schilling S, Carle R, Neidhart S: Impact of packaging and storage conditions on colour and  $\beta$ -carotene retention of pasteurised mango purée. *Eur Food Res Technol* 224 (5), 581–590 (2007)

Vásquez-Caicedo AL, Sruamsiri P, Carle R, Neidhart S: Accumulation of all-trans- $\beta$ -carotene and its 9-cis and 13-cis stereoisomers during postharvest ripening of nine Thai mango cultivars. *J Agric Food Chem* 53, 4827–4835 (2005)

Wallrauch S, Hofsommer HJ: Zur Beurteilung von Mangomark. *Flüss Obst* 70 (3), 156–162 (2003)

Wu JSB, Sheu MJ: Tropical fruits. In: Somogyi LP, Barret DM, Hui YH (Hrsg.): *Processing fruits. Science and technology. Major processed products*, Bd. 2, Technomic Publishing CO., Lancaster, PA, 387–417 (1996)

Zauberman G, Fuchs Y, Rot I, Wexler A: Chilling injury, peroxidase, and cellulase activities in the peel of mango fruit at low temperature. *Hortscience* 23, 732–733 (1988)

## Smoothies – Flüssiges Obst und Gemüse

AIJN: Code of Practice for the Evaluation of Fruit and Vegetable Juice

Almiro-Roig E, Flores SY, Drewnowski A: No differences in satiety or in subsequent energy intakes between a beverage and a solid food. *Physiology and Behaviour* 82, 671–677 (2004)

Benini L, Castelloni G, Brighenti F, Heaton KW, Brentegani MT, Casiraghi MC, Sembenini N, Fioretta A, Minniti G: Gastric emptying of a solid meal is accelerated by the removal of dietary fibre naturally present in food. *Gut* 36, 825–830 (1995)

Carle R: Fruit Preparations – Possibilities and limitations of diversification for the fruit juice industry. *Fruit processing* 8, 299–306 (1997)

Dube M, Neidhart S, Carle R: Verminderung des allergenen Potentials pflanzlicher Lebensmittel. *Ernährung im Fokus* 5, 272–275 (2005)

Dube M, Zunker K, Neidhart S, Carle R, Steinhart H, Paschke A: Effect of technological processing on the allergenicity of mangoes (*Mangifera indica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 3938–3945 (2004)

He F, Nowson C, MacGregor G: Fruit and vegetable consumption and stroke: meta-analysis of cohort studies. *The Lancet* 367, 320–326 (2006)

[www.dge.de/ernaehrungspraxis/vollwertige-ernaehrung/10-regeln-der-dge/](http://www.dge.de/ernaehrungspraxis/vollwertige-ernaehrung/10-regeln-der-dge/)

[www.gov.uk/government/publications/5-a-day-external-reference-group-review](http://www.gov.uk/government/publications/5-a-day-external-reference-group-review)

Klein BP: Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables. *Journal of Food Quality* 10, 179–193 (1987)

Kurz C, Carle R: Smoothies – bottled fruits. *Fruit Processing* 18, 136–142 (2008)

Lee SK, Kader AA: Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20, 207–220 (2000)

Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel: Nationale Verzehrsstudie II. Ergebnisbericht Teil 2 (2008)

Nielsen T, Jägerstad M: Flavour scalping by food packaging. *Trends in Food Science & Technology* 5, 353–356 (1994)

Robertson A, Tirado C, Lobstein T, Marco J, Knai C, Jensen JH, Ferro-Luzzi A, James WPT eds.: *Food and health in Europe: a new basis for action*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe. WHO Regional Publications, European Series, No. 96 (2004)

Russo GL: Ins and outs of dietary phytochemicals in cancer chemoprevention. *Biochemical Pharmacology* 14, 533–544 (2007)

Salunke DK, Kadam SS: *Handbook of Fruit Science and Technology. Production, Composition, and Processing*. Marcel Dekker, New York (1995)

Schobinger U: *Frucht- und Gemüsesäfte*. Schobinger U (Hrsg.): Ulmer Verlag, Stuttgart (2001)

Senser F, Scherz H, Kirchhoff E: *Der Kleine Souci Fachmann Kraut, Lebensmitteltablette für die Praxis*. Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (Hrsg.): Garching, 3. Aufl., Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart (2004)

Statista: <https://de.statista.com/> (2021)

Vásquez-Caicedo AL, Schilling S, Carle R, Neidhart S: Effects of thermal processing and fruit matrix on  $\beta$ -carotene and enzyme inactivation during transformation of mangoes into puree and nectar. *Food Chemistry* 102, 1172–1186 (2007)

World Health Organisation: WHO Technical Report Series 916. *Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation*. World Health Organisation, Geneva (2003)

Williams AW, Boileau TWM., Erdmann JW: Factors influencing the uptake and absorption of carotenoids. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 218, 106–108 (1998)

World Health Assembly, May 2002, Resolution 55.23

[www.5amtag.de](http://www.5amtag.de)

## Zitrussäfte – Konzentrat oder Direktprodukt?

FAOSTAT: [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat) (2021)

N. N.: Der Weg der Orange. Flüssiges Obst, 65 (3), 154–158 (1998)

Schobinger U: Herstellung von Fruchtsäften. In: Frucht- und Gemüsesäfte. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (2001)

VdF (Verband der deutschen Fruchtsaft-Industrie): Geschäftsbericht des Verbandes der Deutschen Fruchtsaft-Industrie e.V., Bonn (2002)

VdF (Verband der deutschen Fruchtsaft-Industrie): [www.fruchtsaft.de](http://www.fruchtsaft.de) (2021)

## Saftherstellung und sekundäre Pflanzenstoffe

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. *New England Journal of Medicine* 330, 1029–1035 (1994)

Aschoff JK, Rolke CL, Breusing N, Bosity-Westphal A, Högel J, Carle R, Schweiggert RM: Bioavailability of  $\beta$ -cryptoxanthin is greater from pasteurized orange juice than from fresh oranges – a randomized crossover study. *Molecular Nutrition & Food Research* 59, 1896–1904 (2015)

Boeing H, Bechthold A, Bub A, Ellinger S, Haller D, Kroke A, Leschik-Bonnet E, Müller MJ, Oberritter H, Schulze M, Stehle P, Watzl B: Critical review: Vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition* 51, 637–663 (2012)

Bohn T, McDougall GJ, Alegria A, Alminger M, Arrigoni E, Aura AM, Brito C, Cilla A, El SN, Karakaya S, Martinez-Cuesta MC, Santos CN: Mind the gap – deficits in our knowledge of aspects impacting the bioavailability of phytochemicals and their metabolites – a position paper focusing on carotenoids and polyphenols. *Molecular Nutrition and Food Research* 59, 1307–1323 (2015)

Britton G, Liaaen-Jensen S, Pfander H: Carotenoids. Biosynthesis and Metabolism. Birkhäuser, Basel, Schweiz 3 (1998)

Buchert J, Koponen JM, Suutarinen M, Mustranta A, Lille M, Törrönen R, Poutanen K: Effect of enzyme-aided pressing on anthocyanin yield and profiles in bilberry and blackcurrant juices. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85, 2548–2556 (2005)

Canene-Adams K, Erdman JW: Absorption, transport, distribution in tissues and bioavailability. In: Britton G, Pfander H, Liaaen-Jensen S (eds.): Carotenoids. Nutrition and Health. Birkhäuser, Basel, Schweiz 5, 115–148 (2009)

Cervantes-Paz B, Ornelas-Paz JdJ, Pérez-Martínez JD, Reyes-Hernández J, Zamudio-Flores PB, Rios-Velasco C, Ibarra-Junquera V, Ruiz-Cruz S: Effect of pectin concentration and properties on digestive events involved on micellarization of free and esterified carotenoids. *Food Hydrocolloids* 60, 580–588 (2016)

Corte-Real J, Iddir M, Soukoulis C, Richling E, Hoffmann L, Bohn T: Effect of divalent minerals on the bioaccessibility of pure carotenoids and on physical properties of gastro-intestinal fluids. *Food Chemistry* 197, 546–553 (2016)

Croteau R, Kutchan TM, Lewis NG: Natural products (secondary metabolites). In: Buchanan BB, Grissem W, Jones RL (eds.): Biochemistry and Molecular Biology of Plants. Wiley, Hoboken, USA, 1250–1318 (2000)

Dillard CJ, German JB: Phytochemicals: nutraceuticals and human health. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80, 1744–1756 (2000)

Dinkova R, Heffels P, Shikov V, Weber F, Schieber A, Mihalev K: Effect of enzyme-assisted extraction on the chilled storage stability of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) anthocyanins in skin extracts and freshly pressed juices. *Food Research International* 65, Part A, 35–41 (2014)

Hanson JR, Abel EW, Davies AG, Phillips D, Woollins JD: Natural Products. Royal Chemistry Society, Cambridge, Vereinigtes Königreich (2003)

Heffels P, Bührle F, Schieber A, Weber F: Influence of common and excessive enzymatic treatment on juice yield and anthocyanin content and profile during bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) juice production. *European Food Research and Technology* 243, 59–68 (2017a)

Koponen JM, Buchert J, Poutanen KS, Törrönen AR: Effect of pectinolytic juice production on the extractability and fate of bilberry and black

currant anthocyanins. *European Food Research and Technology* 227, 485–494 (2008)

Landbo A-K, Meyer AS: Effects of different enzymatic maceration treatments on enhancement of anthocyanins and other phenolics in black currant juice. *Innovative Food Science and Emerging Technology* 5, 503–513 (2004)

Noble AC: Why do wines taste bitter and feel astringent? In: Waterhouse AL, Ebeler SE (eds.): Chemistry of Wine Flavor. American Chemical Society, Washington, DC, USA. ACS Symposium Series 714, 156–165 (1998)

Passon M: Dietary phenolic compounds in biological samples: current challenges in analytical chemistry. In: Mérillon J-M, Ramawat KG (eds.): Bioactive Molecules in Food. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1–30 (2018)

Quirós-Sauceda AE, Palafox-Carlos H, Sáyago-Ayerdi SG, Ayala-Zavala JF, Bello-Perez LA, Álvarez-Parrilla E, de la Rosa LA, González-Córdova AF, González-Aguilar GA: Dietary fiber and phenolic compounds as functional ingredients: Interaction and possible effect after ingestion. *Food & Function* 5, 1063–72 (2014)

Sandri IG, Lorenzoni CMT, Fontana RC, da Silveira MM: Use of pectinases produced by a new strain of *Aspergillus niger* for the enzymatic treatment of apple and blueberry juice. *LWT – Food Science and Technology* 51, 469–475 (2013)

Santos-Buelga C, Scalbert A: Proanthocyanidins and tannin-like compounds – nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80, 1094–1117 (2000)

Schieber A, Weber F: Carotenoids. In: Carle R, Schweiggert RM (eds.): Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages. Woodhead Publishing, 101–123 (2016)

Schweiggert RM, Carle R: Carotenoid deposition in plant and animal foods and its impact on bioavailability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57, 1807–1830 (2017)

Sensory I: A review on the relationship between food structure, processing, and bioavailability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54, 902–909 (2014)

Serrano J, Puupponen-Pimiä R, Dauer A, Aura A-M, Saura-Calixto F: Tannins: Current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. *Molecular Nutrition and Food Research* 53, S310–S329 (2009)

Shike M, Doane AS, Russo L, Cabal R, Reis-Filho JS, Gerald W, Cody H, Khanin R, Bromberg J, Norton L: The effects of soy supplementation on gene expression in breast cancer: A randomized placebo-controlled study. *Journal of the National Cancer Institute* 106, dju189–201 (2014)

Tiwari BK, Cullen PJ, Brennan CS, O'Donnell CP: Non thermal processing. In: Tiwari BK, Brunton NP, Brennan CS (eds.): Handbook of Plant Food Phytochemicals. Wiley-Blackwell, 273–299 (2013)

Weber F, Larsen LR: Influence of fruit juice processing on anthocyanin stability. *Food Research International* 100, 354–365 (2017)

Weber F, Passon M: Characterization and quantification of polyphenols in fruits. In: Watson RR (ed.): Polyphenols in Plants (Second Edition). Elsevier, Atlanta, USA, 111–121 (2018)

## Sojagetränke – Voll im Trend

Adlercreutz H: Phyto-oestrogens and cancer. *Lancet Oncology* 3, 364–373 (2002)

Clarkson TB: Soy, Soy phytoestrogens and cardiovascular disease. *Journal of Nutrition* 132, 5665–5695 (2002)

Cranney A, Wells GA: Hormone replacement therapy for postmenopausal osteoporosis. *Clinical Geriatric Medicine* 19, 361–370 (2003)

FAOSTAT: [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat) (2021)

Kroll J, Ranters H, Rawel H, Rohn S: Isoflavone als Bestandteil pflanzlicher Lebensmittel. *Deutsche Lebensmittelrundschau* 100, 211–224 (2004)

Kulling SE, Watzl B: Phytoöstrogene. *Ernährungs-Umschau* 50, 234–239 (2003)

Liu K: Expanding soybean food utilization. *Food Technology* 55, 46–58 (2000)

Liu K: Soybeans as functional foods and ingredients. AOCs Press Campaign, Illinois, USA (2004)

Messina M: Der Verzehr von Soja und das Risiko von Brust- und Prostatakrebs. *Deutsche Zeitschrift für Onkologie* 36, 9–16 (2004)

Rohr U: Phytoestrogene aus Soja und Rotklee. *Pharmazeutische Zeitung* 45, 3948–3958 (2004)

Stintzing FC, Hoffmann M, Carle R: Thermal degradation kinetics of isoflavone aglycones from soy and red clover. *Molecular Nutrition and Food Research* 50, 373–377 (2006)

Uzzan M, Labuza TP: Critical Issues in R&D of soy isoflavone-enriched foods and dietary supplements. *Journal of Food Science* 69, 77–86 (2004)

## Die Süßlupine

### Eine Alternative zur Sojabohne

Bee P Is soya a has-bean? *Daily Mail* vom 23. Mai 2006 (2006); [www.dailymail.co.uk](http://www.dailymail.co.uk)

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR): Allergie durch Lupineneiweiß in Lebensmitteln. *Gesundheitliche Bewertung Nr. 006/2006 des BfR vom 01.08.2005*; [www.bfr.bund.de](http://www.bfr.bund.de)

FAO: FAOSTAT Database (2006); <http://faostat.fao.org>

Grunert KG, Bredahl L, Scholderer J: Four questions on European consumers' attitudes toward the use of genetic modification in food production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 4, 435–445 (2003)

Hoffmann M, Stintzing FC, Carle R: Sojagetränke – Voll im Trend. *Ernährung im Fokus* 6, 147–151 (2005)

Hondelmann W: Die Lupine: Geschichte und Evolution einer Kulturpflanze. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 162 (1996)

Jiménez-Martínez C, Hernández-Sánchez H, Dávila-Ortiz G: Production of a yogurt-like product from *Lupinus campestris* seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 515–522 (2003)

Kammerer D, Schieber A, Carle R: Polyphenole in pflanzlichen Lebensmitteln – ein Paradigmenwechsel. *Ernährung im Fokus* 5, 91–95 (2005)

Mariotti F, Pueyo ME, Tomé D, Mahé S: The bioavailability and postprandial utilisation of sweet lupin (*Lupinus albus*)-flour protein is similar to that of purified soybean protein in human subjects: a study using intrinsically 15N-labelled proteins. *British Journal of Nutrition* 87, 315–323 (2002)

Martínez-Villaluenga C, Frías J, Vidal-Valverde C: Raffinose family oligosaccharides and sucrose contents in 13 Spanish lupin cultivars. *Food Chemistry* 91, 645–649 (2005)

Mellenthin O, Galensa R: Analysis of polyphenols using capillary zone electrophoresis and HPLC: Detection of soy, lupin, and pea protein in meat products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47, 594–602 (1999)

Molvig L, Tabe LM, Eggum BO, Moore AE, Craig S, Spencer D, Higgins TJV: Enhanced methionine levels and increased nutritive value of seeds of transgenic lupins (*Lupinus angustifolius* L.) expressing a sunflower seed albumin gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94, 8393–8398 (1997)

Noll B: Chemisch-physikalische Charakterisierung von Lupinenprotein, insbesondere der Emulgatorwirkung in Backwaren. *Getreide, Mehl und Brot* 55, 354–358 (2001)

Petterson DS: Composition and food uses of lupins. In: *Lupins as Crop Plants: Biology, Production and Utilization* (Gladstones JS Atkins C, Hamblin J, eds.). CAB International, Wallingford, UK, 353–384 (1998)

Ravindran V, Tabe LM, Molvig L, Higgins TJV, Bryden WL: Nutritional evaluation of transgenic high-methionine lupins (*Lupinus angustifolius* L.) with broiler chickens. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82, 280–285 (2002)

Sacks FM, Lichtenstein A, Van Horn L, Harris W, Kris-Etherton P, Winston M: Soy protein, isoflavones, and cardiovascular health. An American Heart Association science advisory for professionals from the nutrition committee. *Circulation* 113, 1034–1044 (2006)

Sirtori CR, Lovati MR, Manzoni C, Castiglioni S, Duranti M, Magni C, Moranti S, D'Agostina A, Arnoldi A: Proteins of white lupin seed, a naturally isoflavone-poor legume, reduce cholesterolemia in rats and increase LDL receptor activity in HepG2 cells. *Journal of Nutrition* 134, 18–23 (2004)

Torres A, Frías J, Vidal-Valverde C: Changes in chemical composition of lupin seeds (*Lupinus angustifolius*) after selective-galactoside extraction. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85, 2468–2474 (2005)

Trugo LC, von Baer D, von Baer E: Lupin. In: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* 6, 3623–3629 (2003)

Turnbull CM, Baxter AL, Johnson SK: Water-binding capacity and viscosity of Australian sweet lupin kernel fibre under in vitro conditions simulating the human upper gastrointestinal tract. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 56, 87–94 (2005)

Wink M: Chemische Verteidigung der Lupinen: Zur biologischen Bedeutung der Chinolizidinalkaloide. *Plant Systematics and Evolution* 150, 65–81 (1985)

Wrigley C: The lupin – The grain with no starch. *Cereal Foods World* 48, 30–31 (2003)

## Kartoffeln – Vielseitig nutzbare Knollen

BLE (Hrsg.): Bericht zur Markt- und Versorgungslage Kartoffeln (2020)

FAOSTAT: [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat) (2021)

Statista: <https://de.statista.com> (2021)

## Margarine – Vom Butterersatz zum Trendprodukt

Bockisch M (Hrsg.): Handbuch der Lebensmitteltechnologie: Nahrungsfette und -öle. Ulmer Verlag, Stuttgart (1993)

Bockisch M.: Margarine. In: Heiss R (Hrsg.): Lebensmitteltechnologie. Biotechnologische, chemische, mechanische und thermische Verfahren der Lebensmittelverarbeitung. 6. Aufl., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 122-128 (2004)

DGE (Hrsg.): D-A-C-H-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Frankfurt, 2000

Farr WE: Hydrogenation: Processing Technologies. In: Shahidi F (ed.): Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Vol. 5: Edible Oil and Fat Products: Processing Technologies. Wiley-Interscience, Hoboken 385-396 (2005)

Ghotra BS, Dyal SD, Narine SS: Lipid shortenings: a review. Food Research International 35, 1015-1048 (2002)

www.gs-as.com (Download Area)

Hunter JE: Dietary levels of trans-fatty acids: basis for health concerns and industry efforts to limit use. Nutrition Research 25, 499-513 (2005)

Jang ES, Yhung M, Min DB: Hydrogenation for low *trans* and high conjugated fatty acids. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 1, 22-30 (2005)

Korver O, Katan MB: The elimination of trans fats from spreads: How science helped to turn an industry around. Nutrition Reviews 64, 275-279 (2006)

Lebensmittelchemische Gesellschaft (Hrsg.): Fettsäuren – Risiken und Nutzen. Schriftenreihe, Band 28. Behr's Verlag, Hamburg (2007)

Precht D, Molkentin J: Recent trends in the fatty acid composition of German sunflower margarines, shortenings and cooking fats with emphasis on individual C16:1, C18:1, C18:2, C18:3 and C20:1 trans isomers. Nahrung 44, 222-228 (2000)

Rao CS, Hartel RW: Scraped surface heat exchangers. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 46, 207-2119 (2006)

Rousseau D, Marangoni AG: Chemical interesterification of food lipids: Theory and practice. In: Akoh CC, Min DB (eds.): Food Lipids, Marcel Dekker, Inc., New York, Basel (2002)

Statista: <https://de.statista.com> (2021)

Upritchard JE, Zeelenberg JM, Huizinga H, Verschuren PM, Trautwein EA: Modern fat technology: what is the potential for heart health? Proceedings of the Nutrition Society 64, 379-386 (2005)

Willis WM, Marangoni AG: Enzymatic interesterification. In: Akoh CC, Min DB (eds.): Food Lipids. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, 839-875 (2002)

## Kleine Organismen – Große Wirkung Fermentation von Lebensmitteln

Chilton SN, Burton JP, Reid G: Inclusion of fermented foods in food guides around the world. Nutrients 7, 390-404 (2015)

DFG Senatskommission zur gesundheitlichen Bewertung von Lebensmitteln: Mikrobielle Kulturen für Lebensmittel. [www.dfg.de/sklm](http://www.dfg.de/sklm) (2010)

Devanthi PVP, Gkatzionis K: Soy sauce fermentation: microorganisms, aroma formation, and process modification. Food Research International 120, 364-374 (2019)

Dimidi E, Cox SR, Rossi M, Whelan K: Fermented foods: Definitions and characteristics, impact on the gut microbiota and effects on gastrointestinal health and disease. Nutrients 11, 1806; doi: 10.3390/nu11081806 (2019)

Franz CMAP, Wenning M, Bockelmann W, Neve H, Heller KJ: Unser täglich Brot: Helfer in der Lebensmittelfermentation. BIOSpektrum 24, 27-30 (2018)

Gänzle MG: Brot aus Sauerteig. In: Renneberg R, Süßbier D (Hrsg.): Biotechnologie für Einsteiger. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (2010)

Gänzle MG: Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation. Food Microbiology 37, 2-10 (2014)

Gänzle MG: Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage. Current Opinion in Food Science 2, 106-117 (2015)

Gänzle M: Fermented foods. In: Doyle MP, Diez-Gonzalez F, Hill C (eds.): Food Microbiology – Fundamentals and Frontiers. 5th ed., ASM Press, Washington DC, 855-900 (2019)

Holzappel WH, Wood BJB: Lactic acid bacteria: Biodiversity and taxonomy. John Wiley & Sons, Chichester, UK (2014)

Hu Y, Stromeck A, Loponen J, Lopes-Lutz D, Schieber A, Gänzle MG: LC-MS/MS quantification of bioactive angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides in rye malt sourdough. Journal of Agricultural and Food Chemistry 59, 11983-11989 (2011)

Krämer J: Lebensmittel-Mikrobiologie. Verlag Eugen Ulmer, UTB, Stuttgart, 1421 (2011)

Leitsätze für Gemüseerzeugnisse: Neufassung vom 08.01.2008

Li H, Lin L, Feng Y, Zhao M, Li X, Zhu Q, Xiao Z: Enrichment of antioxidants from soy sauce using macroporous resin and identification of 4-ethylguajacol, catechol, daidzein, and 4-ethylphenol as key small molecule antioxidants in soy sauce. Food Chemistry 240, 885-892 (2018)

Luh BS: Industrial production of soy sauce. Journal of Industrial Microbiology 14, 467-471 (1995)

Mahony J, McAuliffe O, Cotter PD, Fitzgerald GF: Starter cultures. In: Doyle MP, Diez-Gonzalez F, Hill C (eds.): Food Microbiology – Fundamentals and Frontiers. 5th ed., ASM Press, Washington DC, 789-813 (2019)

Marco ML, Heeney D, Binda S, Cifelli CJ, Cotter PD et al.: Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. Current Opinion in Biotechnology 44, 94-102 (2017)

Patra JK, Das G, Paramithiotis S, Shin H-S: Kimchi and other widely consumed traditional fermented foods of Korea: a review. Frontiers in Microbiology 7, 1493 (2016); doi: 10.3389/fmicb.2016.01493

Schmidt K-H: Sauergemüse. In: Heiss R (Hrsg.): Lebensmitteltechnologie. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 283-288 (1996)

Zhao CJ, Hu Y, Schieber A, Gänzle M: Fate of ACE-inhibitory peptides during the bread-making process: Quantification of peptides in sourdough, bread crumb, steamed bread and soda crackers. Journal of Cereal Science 57, 514-519 (2013)

Zhu Y, Tramper J: Koji – where East meets West in fermentation. Biotechnology Advances 31, 1448-1457 (2013)

## Nichtkonventionelle Technologien der Lebensmittelverarbeitung

- Aschoff JK, Knoblauch K, Hüttner C, Vásquez-Caicedo AL, Carle R, Schweiggert M: Non-thermal pasteurization of orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) juices using continuous pressure change technology (PCT): a proof-of-concept. *Food and Bioprocess Technology* 9, 1681–1691 (2016)
- Awad TS, Moharram HA, Shaltout OE, Asker D, Youssef MM: Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food. *Food Research International* 48, 410–427 (2012)
- Balasubramaniam VM, Martínez-Monteaegudo SI, Gupta R: Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. *Annual Review of Food Science and Technology* 6, 435–462 (2015)
- Belitz H-D, Grosch W, Schieberle P: *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. Springer (2008)
- Bevilacqua A, Petrucci L, Perricone M, Speranza B, Campaniello D, Sinigaglia M, Corbo MR: Nonthermal technologies for fruit and vegetable juices and beverages. Overview and advances. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17, 2–62 (2018)
- Bourke P, Ziuzina D, Han L, Cullen PJ, Gilmore PF: Microbiological interactions with cold plasma. *Journal of Applied Microbiology* 123, 308–324 (2017)
- Bourke P, Ziuzina D, Boehm D, Cullen PJ, Keener K: The potential of cold plasma for safe and sustainable food production. *Trends in Biotechnology* 36, 615–626 (2018)
- Capuzzo A, Maffei ME, Occhipinti A: Supercritical fluid extraction of plant flavors and fragrances. *Molecules* 18, 7194–7238 (2013)
- Gugetzer G: *Die Feuerwehr kocht mit Feuer und Flamme*. Neuer Umschau-Buchverlag, Neustadt an der Weinstraße (2010)
- IN FORM: Rezeptdatenbank Job&Fit (o. J.). [www.jobundfit.de/rezepte/rezeptdatenbank/](http://www.jobundfit.de/rezepte/rezeptdatenbank/); abgerufen am 03.06.2020
- Schröder H (Hrsg.): *Fit for fire fighting: das bewährte Trainings- und Ernährungsprogramm für die Feuerwehr*. 3. Aufl., NV, Neckar-Verlag, Villingen-Schwenningen (2008)
- Wydra G, Winchenbach H, Schwarz M: Möglichkeiten und Grenzen der Gesundheitsförderung bei der Berufsfeuerwehr. In: Knoll M, Woll A (Hrsg.): *Sport und Gesundheit in der Lebensspanne*. Czwalina, Hamburg, 324–328 (2008)
- Carillo-Lopez LM, Alarcon-Rojo AD, Luna-Rodriguez L, Reyes-Villagrana R: Modification of food systems by ultrasound. *Journal of Food Quality* (2017). doi: <https://doi.org/10.1155/2017/5794931>
- Chemat F, Abert Vian M, Fabiano-Tixier A-S, Nutrizio M, Režek Jambak A, Munekata PES, Lorenzo JM, Barba FJ, Binello A, Cravotto G: A review of sustainable and intensified techniques for extraction of food and natural products. *Green Chemistry* 22, 2325–2353 (2020)
- Díaz-Reinoso B, Moure A, Domínguez H, Parajó JC: Supercritical CO<sub>2</sub> extraction and purification of compounds with antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 2441–2469 (2006)
- Heinrich M, Kulozik U: Hochdruckbehandlung von Lebensmitteln – Auswirkungen auf Milch und ihre Inhaltsstoffe. *Ernährung/Nutrition* 33, 505–515 (2009)
- Herrero M, Mendiola JA, Cifuentes A, Ibáñez E: Supercritical fluid extraction: Recent advances and applications. *Journal of Chromatography A* 1217, 2495–2511 (2010)
- Hertwig C, Meneses N, Mathys A: Cold atmospheric pressure plasma and low energy electron beam as alternative nonthermal decontamination technologies for dry surfaces: a review. *Trends in Food Science and Technology* 77, 131–142 (2018)
- Holleman AF, Wiberg E: *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*. Walter de Gruyter, Berlin, New York (1985)
- Jiménez-Sánchez C, Lozano-Sánchez J, Segura-Carretero A, Fernández-Gutiérrez A: Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 1: Techniques and applications. *Critical Reviews in Food Science and Technology* 57, 501–523 (2017a)
- Jiménez-Sánchez C, Lozano-Sánchez J, Segura-Carretero A, Fernández-Gutiérrez A: Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 2: Effect on composition, phytochemical content, and physicochemical, rheological, and organoleptic properties of fruit juices. *Critical Reviews in Food Science and Technology* 57, 637–652 (2017b)
- Kentish S, Feng H: Applications of power ultrasound in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology* 5, 263–284 (2014)
- Knez Hrncič M, Španinger E, Košir IJ, Knez Ž, Bren U: Hop compounds: Extraction techniques, chemical analyses, antioxidative, antimicrobial, and anticarcinogenic effects. *Nutrients* 11, 257 (2019). doi: 10.3390/nu11020257
- Knorr D: Novel approaches in food-processing technology: new technologies for preserving foods and modifying function. *Current Opinion in Biotechnology* 10, 485–491 (1999)
- Kulshrestha S, Sarang S, Loghavi L, Sastry S: Moderate electrothermal treatments of cellular tissues. In: Vorobiev E, Lebovka N (eds.): *Electro-technologies for Extraction from Food Plants and Biomaterials*. Springer 83–94 (2008)
- Leitner W: Chemische Synthese in überkritischem Kohlendioxid. *Chemie in unserer Zeit* 37, 32–38 (2003)
- Morales-de la Peña M, Welti-Chanes J, Martín-Belloso O: Novel technologies to improve food safety and quality. *Current Opinion in Food Science* 30, 1–7 (2019)
- Nünnerich P: Hochdruckbehandlung von Lebensmitteln. *DLG-Expertenwissen* 2/2017, 1–8 (2017)
- Puértolas E, Luengo E, Álvarez I, Raso J: Improving mass transfer to soften tissues by pulsed electric fields: Fundamentals and applications. *Annual Review of Food Science and Technology* 3, 263–282 (2012)
- Ramalakshmi K, Raghavan B: Caffeine in coffee: Its removal. Why and how? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 39, 441–456 (1999)
- Roobab U, Aadil RM, Madni GM, El-Din Bekhit A: The impact of nonthermal technologies on the microbiological quality of juices: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17, 437–457 (2018)
- Siemer C, Töpfl S, Witt J, Ostermeier R: Anwendung von gepulsten elektrischen Feldern (PEF) in der Lebensmittelindustrie. *DLG Expertenwissen* 5/2018, 1–12 (2018)
- SKLM: Stellungnahme zum Einsatz von Plasmaverfahren zur Behandlung von Lebensmitteln (2012)
- Zimmermann U, Stopper H: Elektrofusion und Elektropermeabilisierung von Zellen. *Physik in unserer Zeit* 18, 169–177 (1987)

## Natürliche Konservierungsstoffe

### Entwicklung und Potenzial

Azizkhani M, Tooryan F, Azizkhani M: Inhibitory potential of *Salvia sclarea* and *Ocimum basilicum* against chemical and microbial spoilage in cheese. *Journal of Food Safety* 36 (1), 109–119 (2016)

Bomgardner M: Extending shelf life with natural preservatives. *Chemical and Engineering News* 92 (6), 13–14 (2014)

Burt S: Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review. *International Journal of Food Microbiology* 94 (3), 223–253 (2004)

Food and Agriculture Organization of the United Nations: Food Loss and Food Waste; [www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en](http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en); abgerufen am 21.02.2019

Fraga C, Galleano M, Verstraeten S, Oteiza P: Basic biochemical mechanisms behind the health benefits of polyphenols. *Molecular Aspects of Medicine* 31 (6), 435–445 (2010)

Fröhlich M: Anklage: Wurst. Alternative zu Nitritpökelsalz (2016); [www.bioland.de/](http://www.bioland.de/); abgerufen am 26.02.2019

Li J, Vederas J: Drug discovery and natural products: end of an era or an endless frontier? *Science* 325 (5937), 161–165 (2009)

Lipinski B, Hanson C, Waite R, Searchinger T, Lomax J, Kitinoya L: Reducing food loss and waste (2013); [www.wri.org/publication/reducing-food-loss-and-waste](http://www.wri.org/publication/reducing-food-loss-and-waste); abgerufen am 25.02.2019

Lück E, Jäger M: Chemische Lebensmittelkonservierung. 3. Aufl., Springer Verlag, Berlin (1995)

Marchese A, Orhan I, Daglia M, Barbieri R, Di Lorenzo A, Nabavi S: Antibacterial and antifungal activities of thymol: A brief review of the literature. *Food Chemistry* 210, 402–414 (2016)

Moarefian M, Barzegar M, Sattari M: Cinnamomum zeylanicum essential oil as a natural antioxidant and antibacterial in cooked sausage. *Journal of Food Biochemistry* 37 (1), 62–69 (2013)

Oliveira T, Junior B, Ramos A, Ramos E, Piccoli R, Cristianini M: Phenolic carvacrol as a natural additive to improve the preservative effects of high pressure processing of low-sodium sliced vacuum-packed turkey breast ham. *Food Science and Technology* 64 (2), 1297–1308 (2015)

Pisoschi A, Pop A, Georgescu C, Turcuş V, Olah N, Mathe E: An overview of natural antimicrobials role in food. *European Journal of Medicinal Chemistry* 143, 922–935 (2018)

Russell N J, Gould GW: *Food Preservatives*. 2. Aufl., Springer, US Boston (2003)

Sallam K, Ishioroshi M, Samejima K: Antioxidant and antimicrobial effects of garlic in chicken sausage. *Lebensmittelwissenschaft und -Technologie* 37 (8), 849–855 (2004)

Santas J, Almajano PM, Carbó R: Antimicrobial and antioxidant activity of crude onion (*Allium cepa*, L.) extracts. *International Journal of Food Science and Technology* 45 (2), 403–409 (2010a)

Santas J, Almajano P M, Carbó R: Onion, a natural alternative to artificial food preservatives. *Agro Food Industry Hi-Tech* 21 (5), 44–46 (2010b)

Schieber A: Side streams of plant food processing as a source of valuable compounds: selected examples. *Annual Review of Food Science and Technology* 8, 97–112 (2017)

Wei Q, Wolf-Hall C, Hall C: Application of raisin extracts as preservatives in liquid bread and bread systems. *Journal of Food Science* 74 (4), M177–84 (2009)

Wink M: Sekundärstoffe – die Geheimwaffen der Pflanzen. *Biologie in unserer Zeit* 45 (4), 225–235 (2015)

Caesar W: Arzneistoffe: Gute Natur-böse Chemie? *Deutsche Apotheker Zeitung* 23, 80 (2000)

## Betalaine als natürliche Lebensmittelfarbstoffe

Classen HG, Elias PS, Hammes WP, Winter M: Toxikologisch-hygienische Beurteilung von Lebensmittelinhaltsstoffen und Zusatzstoffen. Behr's Verlag, Hamburg (2001)

Herrmann K: Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (Hohenheim) (2001)

Kugler F, Stintzing FC, Carle R: Identification of betalains from petioles of differently colored Swiss chard (*Beta vulgaris* L. ssp. *cicla* [L.] Alef. cv. Bright Lights) by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 2975–2981 (2004)

Newsome RL: Food colors. *Food Technology* 40, 49–56 (1986)

Schnitter C: Lebensmittelfärbung mit färbenden Lebensmitteln: das Auge trinkt mit. *Flüssiges Obst* 69, 158–161 (2002)

Stintzing FC, Schieber A, Carle R: Rote Bete als färbendes Lebensmittel – eine Bestandsaufnahme. *Obst-, Gemüse- und Kartoffelverarbeitung* 85, 196–204 (2000)

Stintzing FC, Schieber A, Carle R: Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology* 212, 396–407 (2001)

Stintzing FC, Carle R: Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science and Technology* 15, 19–38 (2004)

## Reststoffverwertung bei pflanzlichen Lebensmitteln

Akyol H, Riciputi Y, Capanoglu E, Caboni MF, Verardo V: Phenolic compounds in the potato and its byproducts: an overview. *International Journal of Molecular Sciences* 17, 835 (2016); doi: 10.3390/ijms17060835

Anal AK: *Food processing by-products and their utilization*. John Wiley & Sons, Newark (2017)

Arora A, Camire ME: Performance of potato peels in muffins and cookies. *Food Research International* 27, 15–22 (1994)

Barba FJ, Zhu ZZ, Koubaa M, Sant'Ana AS, Orlin V: Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: a review. *Trends in Food Science and Technology* 49, 96–109 (2016)

Barba FJ, Rosello-Soto E, Brnčić M, Lorenzo JM: *Green extraction and valorization of by-products from food processing*. CRC Press LLC, Boca Raton, London, New York (2020)

Barrera CS, Cornish K: Characterization of agricultural and food processing residues for potential rubber filler applications. *Journal of Composites Science* 3, 102 (2019); doi:10.3390/jcs3040102

Bodie AR, Micciche AC, Atungulu GG, Rothrock Jr MJ, Ricke SC: Current trends of rice milling byproducts for agricultural applications and alternative food production systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 3, 47 (2019); doi: 10.3389/fsufs.2019.00047

- Camire ME, Violette D, Dougherty MP, McLaughlin MA: Potato peel dietary fiber composition: effects of peeling and extrusion cooking processes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45, 1404–1408 (1997)
- Chavan P, Singh AK, Kaur G: Recent progress in the utilization of industrial waste and by-products of citrus fruits: a review. *Journal of Food Process Engineering* 2018, e12895; doi:10.1111/jfpe.12895
- Chemat S, Tomao V, Chemat F: Limonene as green solvent for extraction of natural products. In: *Green Solvents I* (Mohammad A, Inamuddin, Hrsg.): Springer, Dordrecht, 175–186 (2012)
- Colombo R, Papetti A: Avocado (*Persea americana* Mill.) by-products and their impact: from bioactive compounds to biomass energy and sorbent material for removing contaminants. A review. *International Journal of Food Science and Technology* 54, 943–951 (2019)
- Correddu F, Lunesu MF, Buffa G, Atzori AS, Nudda A, Battacone G, Pulina G: Can agro-industrial by-products rich in polyphenols be advantageously used in the feeding and nutrition of dairy small ruminants? *Animals* 10, 131 (2020); doi:10.3390/ani10010131
- Dabas D, Elias RJ, Lambert JD, Ziegler GR: A colored avocado seed extract as a potential natural colorant. *Journal of Food Science* 76, C1335–C1341 (2011)
- Dhingra D, Michael M, Rajput H: Physico-chemical characteristics of dietary fibre from potato peel and its effect on organoleptic characteristics of biscuits. *Journal of Agricultural Engineering* 49, 25–32 (2012)
- Dippel M, Ottensmeier K: Lebensmittelabfälle – Abfälle? AbfallR – Zeitschrift für das Recht der Abfallwirtschaft 3, 122–128 (2019)
- Engels C, Gänzle MG, Schieber A: Fractionation of gallotannins from mango (*Mangifera indica* L.) kernels by high-speed counter-current chromatography and determination of their antibacterial activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58, 775–780 (2010)
- Engels C, Schieber A, Gänzle MG: Inhibitory spectra and modes of antimicrobial action of gallotannins from mango kernels (*Mangifera indica* L.) *Applied and Environmental Microbiology* 77, 2215–2223 (2011)
- FAO: [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat) (2019)
- Faustino M, Veiga M, Sousa P, Costa EM, Silva S, Pintado M: Agro-food byproducts as a new source of natural food additives. *Molecules* 24, 1056 (2019); doi:10.3390/molecules24061056
- Friedman M: Potato glycoalkaloids and metabolites: roles in the plant and in the diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 8655–8681 (2006)
- Friedman M: Antibacterial, antiviral, and antifungal properties of wines and winery byproducts in relation to their flavonoid content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62, 6025–6042 (2014)
- Fritsch C, Staebler A, Happel A, Cubero Márquez MA, Aguiló-Aguayo I, Abadias M, Gallur M et al.: Processing, valorization and application of bio-waste derived compounds from potato, tomato, olive and cereal: a review. *Sustainability* 9, 1492 (2017); doi: 10.3390/su9081492
- Galanakis CM: Olive mill waste – Recent advances for the sustainable management. Academic Press (2016)
- Galanakis CM: Handbook of coffee processing by-products. US Academic Press (2017a)
- Galanakis CM: Handbook of grape processing by-products – sustainable solutions. US Academic Press (2017b)
- Galanakis CM: Sustainable recovery and reutilization of cereal processing by-products. Woodhead Publishing, Cambridge (2018)
- Gallage NJ, Lindberg Møller B: Vanilla: The most popular flavor. In: Schwab W, Lange BM, Wüst M (Hrsg.): *Biotechnology of Natural Products*. Springer, Cham, Switzerland, 3–24 (2018)
- Garavaglia J, Markoski MM, Oliveira A, Marcadenti A: Grape seed oil compounds: biological and chemical actions for health. *Nutrition and Metabolic Insights* 9, 59–64 (2016)
- Gebrechistos HY, Chen W: Utilization of potato peel as eco-friendly products: a review. *Food Science & Nutrition* 6, 1352–1356 (2018)
- Hüttner Kringel D, Guerra Dias AR, da Rosa Zavareze E, Avila Ganda E: Fruit wastes as promising sources of starch: extraction, properties, and applications. *Starch* 72, 1900200 (2020); doi: 10.1002/star.201900200
- Iriondo-DeHond M, Miguel E, del Castillo MD: Food byproducts as sustainable ingredients for innovative and healthy dairy food. *Nutrients* 10, 1358 (2018); doi: 10.3390/nu10101358
- Jahurul MHA, Zaidul ISM, Norulaini NAN, Sahena F, Jinap S, Azmir J, Sharif KM, Mohd Omar AK: Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics. *Journal of Food Engineering* 117, 467–476 (2013)
- Jayakumar K, Murugan K: Solanum alkaloids and their pharmaceutical roles: a review. *Journal of Analytical and Pharmaceutical Research* 3 (6), 00075 (2016); doi: 10.15406/japlr.2016.03.00075
- Jimenez P, Garcia P, Quitral V, Vasquez K, Parra-Ruiz C, Reyes-Farias M, Garcia-Diaz DF, Robert P, Encina C, Soto-Covasich J, Pulp, leaf, peel and seed of avocado fruit: a review of bioactive compounds and healthy benefits. *Food Reviews International*; doi: 10.1080/87559129.2020.1717520 (2020)
- Kammerer DR, Kammerer J, Valet R, Carle R: Recovery of polyphenols from the by-products of plant food processing and application as valuable ingredients. *Food Research International* 65, 2–12 (2014)
- Kammerer DR: Anthocyanins. In: Carle R, Schweiggert RM (Hrsg.): *Handbook on natural pigments in food and beverages*. Woodhead Publishing, San Diego, USA, 61–80 (2016)
- Kot AM, Pobiega K, Piwowarek K, Kieliszek M, Blasejak S, Gniewosz M, Lipinska E: Biotechnological methods of management and utilization of potato industry waste – a review. *Potato Research* (2020); doi:10.1007/s11540-019-09449-6
- Ledesma-Escobar CA, Luque de Castro MD: Towards a comprehensive exploitation of citrus. *Trends in Food Science and Technology* 39, 63–75 (2014)
- Mahato N, Sharma K, Koteswararao R, Sinha M, Raj Baral E, Dhyani A, Cho MH, Cho S: Citrus essential oils: extraction, authentication and application in food preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59, 611–625 (2019)
- Mahato N, Sharma K, Sinha M, Raj Baral E, Koteswararao R, Dhyani A, Cho MH, Cho S: Bio-sorbents, industrially important chemicals and novel materials from citrus processing waste as a sustainable and renewable bioresource: a review. *Journal of Advanced Research* 23, 61–82 (2020)
- Matthäus B: Virgin grape seed oil: is it really a nutritional highlight? *European Journal of Lipid Science and Technology* 110, 645–650 (2008)
- Mustafa NEM: Citrus essential oils: current and prospective uses in the food industry. *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture* 7, 115–127 (2015)
- OIV International Organisation of Vine and Wine: 2019 Statistical Report on World Vitiviniculture; [www.oiv.int/public/medias/6782/oiv-2019-statistical-report-on-world-vitiviniculture.pdf](http://www.oiv.int/public/medias/6782/oiv-2019-statistical-report-on-world-vitiviniculture.pdf)
- Padam BS, Tin HS, Chye FY, Abdullah MI: Banana by-products: an underutilized renewable food biomass with great potential. *Journal of Food Science and Technology* 51, 3527–3545 (2014)
- Pan Z, Zhang R, Zicari S: *Integrated processing technologies for food and agricultural by-products*. Academic Press, Cambridge (2019)
- Pathak P, Mandavgane S, Kulkarni B: Valorization of banana peel: a biorefinery approach. *Reviews in Chemical Engineering* 32, 651–666 (2016)
- Pathak PD, Mandavgane SA, Puranik NM, Jambhulkar SJ, Kulkarni BD: Valorization of potato peel: a biorefinery approach. *Critical Reviews in Biotechnology* 38, 218–230 (2018)
- Patzke H, Schieber A: By-products of cereal processing as a source of valuable compounds. *Cereal Technology* 73, 280–288 (2019)
- Pérez-Jiménez J, Díaz-Rubio ME, Saura-Calixto F: Non-extractable polyphenols, a major dietary antioxidant: occurrence, metabolic fate and health effects. *Nutrition Research Reviews* 26, 118–129 (2013)
- PotatoPro: [www.potatopro.com](http://www.potatopro.com) (2020)
- Prückler M, Siebenhandl-Ehn S, Apprich S, Höltinger S, Haas C, Schmid E, Kneifel W: Wheat bran-based biorefinery 1: composition of wheat bran and strategies for functionalization. *LWT-Food Science and Technology* 56, 211–221 (2014)

- Rosa F: Waste generated by food industry and reuse in a circular economy approach: the whey processing. *Concepts of Dairy & Veterinary Sciences* 2, 171–173 (2018)
- Ryan MP, Walsh G: The biotechnological potential of whey. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 15, 479–498 (2016)
- Sagar, NA, Pareek S, Sharma S, Yahia EM, Lobo MG: Fruit and vegetable waste: bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17, 512–531 (2018)
- Sánchez-Maldonado AF, Mudge E, Gänzle MG, Schieber A: Extraction and separation of phenolic acids and glycoalkaloids from potato peels using food grade solvents. *Food Research International* 65A, 27–34 (2014)
- Sánchez-Maldonado AF, Schieber A, Gänzle MG: Antifungal activity of secondary plant metabolites from potatoes (*Solanum tuberosum* L.): glycoalkaloids and phenolic acids show synergistic effects. *Journal of Applied Microbiology* 120, 955–965 (2016)
- Schieber A: Side streams of plant food processing as a source of valuable compounds: selected examples. *Annual Review of Food Science and Technology* 8, 97–112 (2017)
- Schieber A: Der Apfel – lebensmitteltechnologische und gesundheitliche Aspekte. *Ernährung im Fokus* 19, 322–325 (2019)
- Schieber A, Aranda Saldaña MD: Potato peels: a source of nutritionally and pharmacologically interesting compounds – a review. *Food* 3/2, 23–29 (2009)
- Schulze-Kaysers N, Feuereisen MM, Schieber A: Phenolic compounds in edible species of the Anacardiaceae family – a review. *RSC Advances* 5, 73301–73314 (2015)
- Statista Datenbank: [www.statista.com/statistics/577455/world-avocado-production](http://www.statista.com/statistics/577455/world-avocado-production); März (2020)
- Van Dyk JS, Gama R, Morrison D, Swart S, Pletschke BI: Food processing waste: problems, current management and prospects for utilization of the lignocellulose component through enzyme synergistic degradation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26, 521–531 (2013)
- Wang Y, Serventi L: Sustainability of dairy and soy processing: a review on wastewater recycling. *Journal of Cleaner Production* 237, 117821 (2019); doi:10.1016/j.clepro.2019.117821
- Zema DA, Calabrò PS, Folino A, Tamburino V, Zappia G, Zimbone SM: Valorisation of citrus processing waste: a review. *Waste Management* 80, 252–273 (2018)