

I Bericht und Schlussfolgerungen

1 Einleitung

Die Senatskommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zur Beurteilung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von Lebensmitteln (SKLM) hat vom 25. bis 27. September 2005 unter Beteiligung von Experten aus dem In- und Ausland ein Symposium zum Thema „Thermal Processing of Food: Potential Health Benefits and Risks“ durchgeführt. Zur Diskussion standen gesundheitlich positive und Risikoaspekte der thermischen Behandlung von Lebensmitteln, insbesondere auch unter dem Blickwinkel der hiermit verbundenen Potentiale innovativer Lebensmitteltechnologie. Die SKLM hat hieraus in Wahrnehmung ihrer bewertenden und beratenden Funktion Schlussfolgerungen formuliert und Wissenslücken aufgezeigt.

2 Allgemeine und lebensmitteltechnologische Aspekte

Das Erhitzen ist eines der ältesten, bewährtesten und das heute gebräuchlichste Verfahren der Lebensmittelbehandlung, das entscheidend zur nachhaltigen Sicherung der Ernährung beigetragen hat. Die thermische Behandlung von Lebensmitteln, wie beispielsweise Kochen, Trocknen, Rösten, Braten, Grillen und Frittieren verändert diese auf vielfältige Art und Weise. Beispielsweise werden Geschmack und Aroma sowie Textur verändert, und die Haltbarkeit kann verbessert werden. Ein Großteil dieser im erhitzten Lebensmittel stattfindenden Prozesse beruht auf der sog. nicht enzymatischen Bräunung, der Maillard-Reaktion.

Die thermische Behandlung von Lebensmitteln lässt sich mit anderen konventionellen Verfahren oder neuartigen Technologien kombinieren, wodurch eine produktschonende und energieeffiziente Verarbeitung eines Lebensmittels ermöglicht wird. So lassen sich beispielsweise durch den Synergieeffekt von Hochdruckbehandlung und schonender Erhitzung effizient Mikroorganismen

abtöten oder Enzyme inaktivieren, während wertgebende Verbindungen, wie Vitamine, Farb- und Aromastoffe, weitgehend unbeeinflusst bleiben.

Generell ist beim Einsatz neuartiger technologischer Behandlungs- und Verarbeitungsverfahren sicherzustellen, dass sich hieraus keine zusätzlichen mikrobiellen, toxikologischen oder allergenen Risiken als Folge ergeben. Bei der Anwendung solcher Verfahren hat der Gesetzgeber mit der Verordnung EG Nr. 258/97 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten ein Instrument zur Gewährleistung der Sicherheit entsprechend behandelter Lebensmittel geschaffen.

3 Gesundheitliche Aspekte thermischer Behandlung von Lebensmitteln

Bei der Beurteilung der thermischen Behandlung von Lebensmitteln sind sowohl positive als auch nachteilige Aspekte zu berücksichtigen, die exemplarisch im Rahmen des Symposiums diskutiert wurden.

3.1 Vorteilhafte Aspekte

Aspekte der Ernährung und Akzeptanz

Das Erhitzen von Lebensmitteln schafft vielfach erst die Voraussetzung für den bestimmungsgemäßen Verzehr. Häufig entsteht erst durch den thermischen Prozess ein Lebensmittel, z.B. im Falle von Brot oder Backwaren. Andere Lebensmittel, wie gewisse Rohgemüse, Kartoffeln, Reis und Teigwaren, werden erst nach dem Kochen für den Menschen genießbar. Die thermische Behandlung von Lebensmitteln ist also ein Prozess, der zur Genießbarkeit und Bekömmlichkeit von Lebensmitteln beiträgt und eine nachhaltige und ausgewogene Ernährung ermöglicht. Auch die Entstehung von Aroma und Geschmack und die damit verbundene geschmackliche Aufwertung sind weitere wichtige Funktionen der Lebensmittelerhitzung. Geruch, Geschmack, Farbe, Textur und das äußere Erscheinungsbild werden durch die Erhitzungsvorgänge erheblich beeinflusst und tragen so maßgeblich zur Akzeptanz des Lebensmittels bei.

Mikrobielle Aspekte

Erfahrungsgemäß kann die Erhitzung von Lebensmitteln die mikrobiologische Sicherheit und Haltbarkeit verbessern. Über die hitzeinduzierte Inaktivierung

von pathogenen Organismen/Mikroorganismen, Toxinen oder Enzymen hinaus können zusätzlich antimikrobiell wirksame Substanzen bzw. enzyminhibitorische Verbindungen entstehen, die sich ebenfalls günstig auf die Haltbarkeit auswirken können.

Allergene

In der Regel scheinen thermische Verfahren eher eine Inaktivierung von Allergenen in Lebensmitteln zu begünstigen als das allergene Potential von Lebensmitteln zu erhöhen. So wurde eine schnelle Abnahme der Allergenität schon nach milder thermischer Behandlung z.B. für bestimmte Allergene in Früchten beobachtet. In Studien zum Einfluss des Röstens von Erdnüssen auf das allergene Potential wurde vereinzelt über einen Anstieg berichtet.

Der Nachweis einer Veränderung der Allergenität nach thermischer Behandlung erweist sich meist als schwierig, da u.a. die Löslichkeit der Proteine nach thermischer Behandlung häufig abnimmt. Derzeit weist aber wenig darauf hin, dass während der thermischen Prozessierung von Lebensmitteln neue Epitope gebildet werden. Es gibt zwar einige Beispiele dafür, dass die Maillard-Reaktion in Einzelfällen zu einer Verstärkung der IgE-Antikörperreaktivität von Lebensmittelproteinen führen kann, jedoch konnte das Auftreten von „Maillard-Epitopen“, die im Rohzustand nicht vorhanden sind, bisher nicht gezeigt werden.

Weitere Aspekte

Die Aufklärung von Mechanismen bzw. Verfahren, die die Ausprägung gesundheitlich positiver Effekte thermischer Lebensmittelbehandlung begünstigen, ist ein Schwerpunkt des gegenwärtigen wissenschaftlichen Interesses. Mechanistische Aspekte betreffen beispielsweise die Bildung resistenter Stärke und deren Einfluss auf die Darmgesundheit, die Generierung von Substanzen mit antioxidativem oder anderweitigem chemopräventivem Potential oder die Steigerung der Bioverfügbarkeit wertgebender Lebensmittelinhaltsstoffe, wie z.B. von Lycopin in Tomaten bzw. Tomatenprodukten. Gezielte Sortenauswahl und/oder entsprechende Prozesssteuerung kann ebenfalls dazu beitragen, gesundheitlich positive Effekte zu verstärken bzw. nachteilige zu vermindern.

3.2 Nachteilige Aspekte

Thermische Behandlung von Lebensmitteln kann aber auch unerwünschte Folgen haben, z.B. den Verlust an Nährstoffen wie Vitaminen, essentiellen Amino-

säuren und ungesättigten Fettsäuren. Ebenso ist eine thermisch induzierte Bildung von gesundheitlich bedenklichen Stoffen möglich. Dies stellte einen weiteren wesentlichen Teil der wissenschaftlichen Diskussion dar, wobei Acrylamid, heterozyklische aromatische Amine, Furan und 3-Monochlorpropan-1,2-diol vertieft behandelt wurden.

Acrylamid

Acrylamid kann beim Backen, Rösten und Frittieren von Lebensmitteln entstehen, besonders in Kartoffelprodukten (z.B. Pommes Frites, Bratkartoffeln, Kartoffelchips), Getreideprodukten (z.B. geröstete Cerealien, Brot, Backwaren), Kaffee und Kakao. Die Bildung erfolgt beim Erhitzen von Lebensmitteln über 120°C im Zuge der Maillard-Reaktion, im Wesentlichen durch Kondensation der Aminosäure Asparagin mit reduzierenden Zuckern wie Fructose und Glucose.

Acrylamid gilt als wahrscheinliches Kanzerogen für den Menschen (IARC Gruppe 2A, MAK-Kommission Krebserzeugend Kategorie 2), wobei sein Metabolit Epoxypropanamid (Glycidamid) als eigentlich genotoxische Wirkform anzusehen ist. Glycidamid-DNA-Addukte wurden im Tierversuch an Nagern bei entsprechend hoher Dosierung in allen untersuchten Geweben gefunden. Darüber hinaus wirkt Acrylamid im Tierversuch toxisch auf das Nervensystem und die Reproduktionsorgane.

Der Abstand der im Tierversuch kanzerogenen Dosis zur höchsten geschätzten mittleren Acrylamidaufnahme beim Menschen ist verhältnismäßig gering. Die bisherigen Abschätzungen des Tumorrisikos für den Menschen durch verschiedene wissenschaftliche Gremien unterscheiden sich allerdings nicht unerheblich. Bislang vorliegende epidemiologische Studien geben keinen Hinweis auf eine Korrelation zwischen Acrylamidaufnahme und Krebsinzidenz, sind aber in ihrer Aussagekraft limitiert.

Heterozyklische aromatische Amine

Heterozyklische aromatische Amine (HAA) werden beim Braten oder Grillen bzw. vergleichbaren Erhitzungsverfahren von Fleisch und Fisch in Abhängigkeit von Proteintyp, Temperatur und Erhitzungsdauer in unterschiedlichen Konzentrationen gebildet. Die Bildung von HAAs lässt sich bei Einhaltung entsprechender Bedingungen aber weitgehend vermeiden.

Es werden zwei maßgebliche Klassen von HAAs unterschieden, die je nach Temperaturbedingungen und Vorläuferverbindungen in unterschiedlichem Maße entstehen: Isochinolin- (sog. IQ-Verbindungen) und Carbolin-Derivate.

Viele HAAs zeigen mutagenes Potential in bakteriellen und säugerzell-basierten Testsystemen und sind kanzerogen im Tierversuch. Die Bioaktivierung der HAAs zu krebserzeugenden Metaboliten unterliegt beim Menschen starken interindividuellen Unterschieden. Zwischen einzelnen Spezies können ebenfalls große Unterschiede bestehen.

Stark durchgebratenes bzw. übererhitztes rotes Fleisch kann zusätzlich zu HAAs auch weitere kanzerogene Substanzen in vergleichbaren Konzentrationen enthalten. Nicht eindeutig geklärt ist bisher, ob nur HAAs oder eher ein komplexes Gemisch thermisch induzierter genotoxischer Verbindungen als Krebsrisikofaktoren anzusehen sind.

Furan

Furan ist eine flüchtige Verbindung, die in einer Vielzahl erhitzter Lebensmittel wie Kaffee, Brot sowie Gemüse- und Fleischkonserven und in Gläschennahrung für Kleinkinder nachgewiesen wurde. Das Vorkommen in den unterschiedlichsten Lebensmitteln lässt verschiedene Bildungswege vermuten. Die Datenlage zum Vorkommen in verschiedenen Lebensmittelkategorien ist begrenzt, und die meisten Daten wurden nicht im verzehrsfertigen Lebensmittel bestimmt. Die Exposition kann bei dieser begrenzten Datenlage noch nicht zuverlässig abgeschätzt werden.

Nach oraler Gabe von Furan wurden in Ratten und Mäusen unterschiedliche Tumormuster gefunden. In Ratten traten dosisabhängig hepatozelluläre Karzinome, ein hoher Anteil cholangiozellulärer Karzinome und Leukämien auf, in Mäusen hepatozelluläre Adenome und Karzinome. Es wird vermutet, dass die kanzerogene Wirkung zumindest anteilig über einen genotoxischen Mechanismus ausgelöst wird, wobei vor allem der Metabolit *cis*-2-Buten-1,4-dial als genotoxisch wirkendes Mutagen infrage kommt. Auf der Basis der bisher vorliegenden begrenzten Daten zu Toxizität, Stoffwechsel und Exposition ist eine adäquate Sicherheitsbewertung derzeit nicht möglich.

3-Monochlor-1,2-propandiol (3-MCPD)

3-Monochlor-1,2-propandiol (3-MCPD) gilt als Leitsubstanz für eine Reihe unerwünschter Verbindungen, die sog. Chlorpropanole. 3-MCPD kann im µg/kg-(ppb-)Bereich bei der Herstellung von Würzsoßen aus Pflanzenproteinhydrolysat, aber auch beim Backen oder Rösten von Brot bzw. Toast, Getreide und Kaffeebohnen gebildet werden. Die Entstehung von 3-MCPD setzt bei Temperaturen ein, die deutlich über 100°C liegen, wobei verschiedene Bildungsmechanismen diskutiert werden. Neuere Studien zeigen, dass neben Chlorpropanolen auch deren Ester in Mengen vorkommen können, die in manchen Lebensmitteln um das 50–150-fache höher liegen als jene an 3-MCPD.

3-MCPD hat im Tierversuch bei höheren Dosierungen zur Bildung von Tumoren geführt. Da jedoch bei Wertung aller Daten ein genotoxischer Wirkmechanismus nicht anzunehmen ist, wurde sowohl vom SCF¹ als auch vom JECFA² eine tolerable tägliche Aufnahmemenge von 2 µg/kg Körpergewicht für den Menschen abgeleitet. Die Bildung von 3-MCPD in Würzen lässt sich durch Variation der Prozessbedingungen steuern und minimieren. Der Mechanismus der Bildung von 3-MCPD wurde bisher nur am Beispiel säurehydrolysierter Pflanzenproteine untersucht.

4 Fazit

Die thermische Behandlung von Lebensmitteln ist notwendig, um Lebensmittel verdaubar und bekömmlich zu machen, um die mikrobiologische Sicherheit zu gewährleisten und um einen spezifischen Geschmack, Aroma und Textur zu erzeugen. Dies kann zu weitreichenden Veränderungen im Lebensmittel führen. Die Prozesse bei der thermischen Behandlung von Lebensmitteln sind noch längst nicht vollständig verstanden, und eine Vielzahl durch thermische Reaktionen gebildeter Verbindungen ist noch nicht charakterisiert. Der Aufklärung des Einflusses der Zusammensetzung von Rohstoffen und deren Veränderung, z.B. bei Wachstums- und Lagerbedingungen kommt besondere Bedeutung zu. Dies gilt noch mehr für das Verständnis der Mechanismen, die zur Bildung von Farb-, Aroma-, Geschmackskomponenten und von Inhaltsstoffen sowohl mit positiver als auch mit gesundheitlich nachteiliger biologischer Wirkung führen. Diese Informationen erlauben eine gezielte Einflussnahme auf Bildung und Gehalte solcher Verbindungen im Lebensmittel, beispielsweise durch Rohstoffauswahl, Prozesssteuerung bzw. Kombination thermischer Prozessierung mit anderen Verfahren. Die Bewertung muss jeweils als Einzelfall unter Berücksichtigung von Nutzen und Risiko des jeweiligen thermischen Prozesses durchgeführt werden.

5 Forschungsbedarf

Die SKLM sieht Forschungsbedarf sowohl bezüglich positiver und negativer Effekte der thermischen Lebensmittelbehandlung im Allgemeinen als auch bezüglich der vertieft behandelten toxischen Stoffe/Stoffgruppen im Einzelnen.

¹ Scientific Committee on Food (2001): Opinion on 3-Monochloro-Propane-1,2-Diol.

² Joint Expert Committee on Food Additives (2002): 3-Chloro-1,2-Propanediol, WHO Food Add. Ser. 48.

Gesundheitlich positive Auswirkungen thermischer Lebensmittelbehandlung

Gesundheitlich positive Effekte thermischer Behandlung, die in experimentellen Systemen *in vitro* (Zellen) oder *in vivo* (Tierversuch) erhoben worden sind, müssen in ihrer Bedeutung für den Menschen wissenschaftlich belegt werden. Gleichzeitig muss die gesundheitliche Unbedenklichkeit gewährleistet sein. Die SKLM empfiehlt die weitere Erforschung von Mechanismen, auch unter technologischen Aspekten, die gesundheitlich positive Effekte thermischer Lebensmittelbehandlung verstärken. Dies gilt in erster Linie für die Aufklärung von Effekten auf Matrix- und Inhaltsstoffe und ihre Auswirkung auf Verdaulichkeit, Nährwert und Darmgesundheit. Besondere Beachtung verdienen dabei:

- Auswirkungen auf die Bioverfügbarkeit wertgebender Inhaltsstoffe;
- Förderung der Bildung von Stoffen mit antioxidativem oder anderweitigem chemopräventivem Potential;
- Entwicklung sensibler Biomarker für Exposition und Wirkung;
- Verminderung der Bioverfügbarkeit von gesundheitlich nachteiligen Stoffen, z.B. durch Bindung an die Matrix.

Gesundheitlich nachteilige Auswirkungen thermischer Lebensmittelbehandlung

Die Entstehung gesundheitlich bedenklicher Stoffe durch eine Behandlung von Lebensmitteln ist generell unerwünscht und sollte durch geeignete Verfahren minimiert werden. Die SKLM sieht Forschungsbedarf betreffend der Auswirkung solcher Minimierungsmaßnahmen auf andere Lebensmittelinhaltsstoffe. Dieser Forschungsbedarf besteht insbesondere hinsichtlich:

- Verbesserung der Datenbasis zur Exposition mit thermisch generierten, gesundheitlich bedenklichen Stoffen;
- Entwicklung sensibler Biomarker für Exposition und Wirkung;
- Verbesserung der Datenbasis zu toxikologisch relevanten Wirkungen vergleichend in Versuchstier und Mensch (soweit ethisch vertretbar), möglichst unter Einschluss von Kinetik, Metabolismus, Bioverfügbarkeit und molekularen Mechanismen;
- Fortentwicklung von Methoden der molekularen Epidemiologie zum Studium individueller Sensibilität bzw. zur Identifizierung von Risikogruppen;

- Verbesserung der Erfassungsmöglichkeiten der Allergenität nach thermischer Behandlung in Einzelfällen (wo sie geboten erscheint).

Forschungsbedarf zu speziell beim Symposium behandelten Stoffen

Acrylamid:

- Entwicklung/Optimierung von Biomarkern für Exposition und Wirkung, insbesondere verbesserte Methoden zur Erfassung von DNA-Schäden, Adduktbildung, Mutationen und Reparatur der Addukte sowie zur Frage einer Korrelation von Glutathion/Mercaptursäure/Hämoglobin-Addukten. Vordringlich ist der quantitative Vergleich dieser Prozesse zwischen Versuchstier und Mensch.
- Vertiefende Einsichten in den Mechanismus der Tumorentstehung: möglicher Einfluss von Acrylamid auf das Hormonsystem.

HAAs:

- Vertiefende Studien an definierten Risikogruppen mit Enzypolymorphismen und Erfassung von Zusammenhängen zwischen Exposition und möglichem Krebsrisiko;
- Klärung einer möglichen endogenen Bildung von HAAs bei hoher Creatininaufnahme.

Furan:

- Verbesserung der Datenlage zu Entstehung und Vorkommen von Furan in Lebensmitteln;
- Verbesserung der Datenbasis zur Toxikologie unter Einschluss von Entwicklungs- und Reproduktionstoxikologie;
- Vergleichende Untersuchungen an substituierten Furanen um deren toxikologische Bedeutung zu klären.

3-MCPD:

- Verbesserung der Datenbasis zu Entstehung und Vorkommen von 3-MCPD in Lebensmitteln sowie zu weiteren Monochlorpropandiolen und Dichlorpropanolen. Der Beitrag von veresterten Chlorpropanolen an der Gesamtbelastung ist ebenfalls bislang nur unzureichend untersucht. Die Daten zu Bioverfügbarkeit, Toxikokinetik und Toxizität von Chlorpropanolen und Estern sind zu ergänzen.