

# The Big Bang Acrylamid

## 10 Jahre Acrylamid – Rückblick und Status quo

Marion Raters und Reinhard Matissek

Zehn Jahre sind nun vergangen, seit die Arbeitsgruppe um Margareta Törnquist von der Universität Stockholm am 24. April 2002 berichtete, dass verschiedene stark erhitzte Lebensmittel Acrylamid enthalten (Tareke et al., 2002).



Dr. Marion Raters

### » Zur Person

Staatl. gepr. Lebensmittelchemikerin, stellvertretende Institutsleiterin, LCI Köln «

Bei der Entdeckung von Acrylamid spielte der Zufall eine nicht unerhebliche Rolle: Die schwedische Gruppe arbeitete daran, Hämoglobinaddukte als Biomarker für eine beruflich bedingte Acrylamidexposition zu etablieren.

Als sie die Marker auch in der vermeintlich unbelasteten Kontrollgruppe nachwiesen, begannen sie, gezielt Lebensmittel auf Acrylamid zu untersuchen. Sehr schnell wurde dabei klar, dass Acrylamid Lebensmitteln nicht zugesetzt wird, sondern dass es sich hierbei um ein sogenanntes „foodborne toxicant“ handelt – sprich, eine unerwünschte Prozesskontaminante, die in einem komplexen Bildungsmechanismus beim Backen, Rösten und Frittieren (also bei relativ trockener Hitze > 100 °C), nicht aber beim Kochen (d. h. in feuchtem Medium < 100 °C), im Lebensmittel selbst entsteht.

### Der Bildungsmechanismus

Der chemische Bildungsweg von Acrylamid in Lebensmitteln gilt inzwischen als weitgehend aufgeklärt. In mehreren unabhängigen Studien konnte bereits kurz nach der Entdeckung von Acrylamid als „foodborne toxicant“ in einer Vielzahl stärkehaltiger Lebensmittel gezeigt werden, dass bei der Erhitzung der Aminosäure Asparagin mit bestimmten  $\alpha$ -Dicarbonylverbindungen (reduzierende Zucker, insbesondere Glucose und Fructose) im Rahmen der sog.

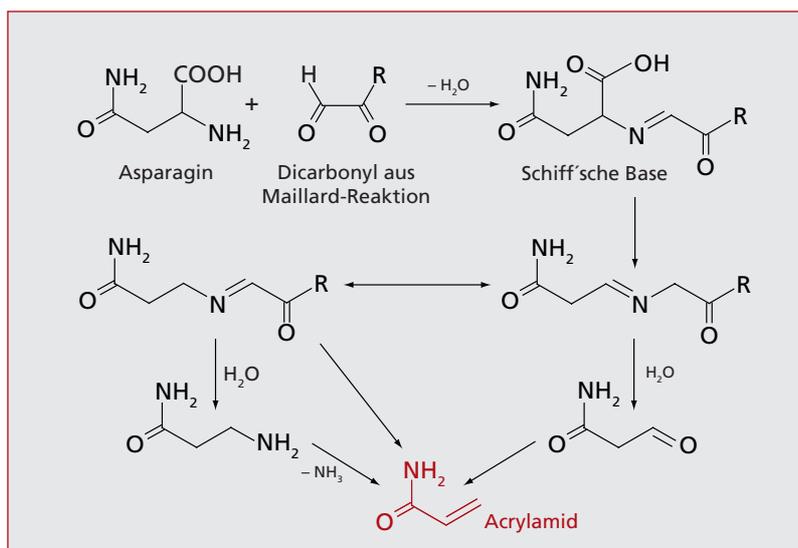
Maillard-Reaktion große Mengen Acrylamid gebildet werden können (Mottram et al., 2002; Stadler et al., 2002).

Da die Aminosäure Asparagin in freier Form – neben reduzierenden Zuckern – vor allem in Kartoffeln und Getreidearten vorkommt, liefert dies eine schlüssige Erklärung für die relativ selektive Belastung bestimmter Lebensmittelgruppen mit Acrylamid nach dem Erhitzen. Der konkrete Bildungsmechanismus läuft dabei wie folgt ab: Bei der Reaktion von Asparagin mit reduzierenden Zuckern (s. Abb. 1) kommt es durch Dehydrierung zur Bildung einer sog. Schiff'schen Base, aus der durch nachfolgende Decarboxylierung und dem Durchlaufen verschiedener Zwischenstufen entweder direkt oder über das Intermediat 3-Aminopropionamid (3-APA) Acrylamid gebildet wird. Die Reaktion ist pH-abhängig und wird begünstigt durch hohe Temperaturen und niedrige Wassergehalte (Zyzak et al., 2003). Neben dieser durch den Einfluss hoher Temperaturen hervorgerufenen thermischen Bildung wurde ferner ein biochemischer Bildungsweg von 3-APA – dem sog. biogenen Amin von Asparagin – aus Asparagin, der ohne Mitwirkung reduzierender Zucker und ohne jegliche Hitzeeinwirkung, sondern vielmehr durch Enzyme (sog. Decarboxylasen) abläuft, aufgezeigt (Granvogl et al., 2004 und 2006).

Zusätzlich zu dem in Abbildung 1 beschriebenen Hauptbildungsweg geht ein weiterer – jedoch nicht bevorzugter – Bildungsmechanismus von der Fettdegeneration der Triacylglyceride aus. Diese Fettbestandteile setzen bei Temperaturen von ca. 200 °C Glycerin frei, aus welchem im Anschluss durch Dehydrierung Acrolein entsteht. Die anschließend oxidativ aus Acrolein entstehende Acrylsäure kann entsprechend Abbildung 2 in Gegenwart eines Stickstoffdonors wie einer Aminosäure zu Acrylamid umgesetzt werden. Acrylsäure kann außerdem aus dem Gerüst verschiedener Aminosäuren oder durch Pyrolyse von Glucose über Methylglyoxal gebildet werden, sodass die Bildung von Acrylamid aus Peptiden oder Kohlenhydraten möglich ist (Ehling et al., 2005; Gertz, 2002; Grivas et al., 2002).

### Neueste Erkenntnisse zur Toxizität

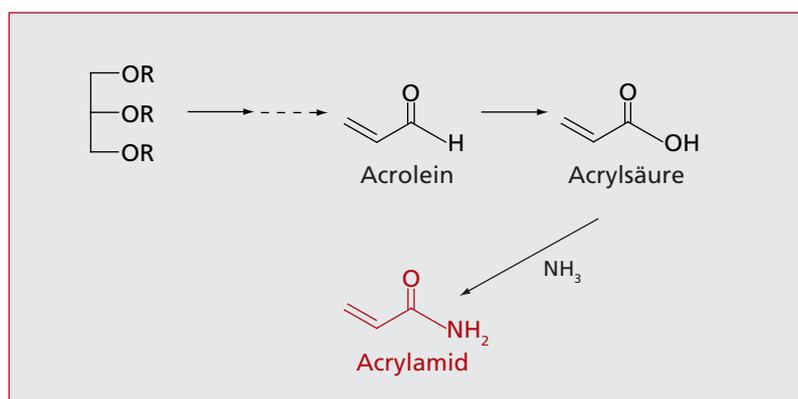
Acrylamid wirkt im Tierversuch krebserzeugend und erbgutverändernd. Für die krebserzeugende Wirkung wurde ein genotoxischer Mechanismus, der durch den Acrylamidmetaboliten Glycidamid verursacht wird, angenommen (NTP, 2011). Für eine tragfähige Risikobewertung der Acrylamidexposition beim Menschen werden fortlaufend auf nationaler und internationaler Ebene diverse Studien durchgeführt. In seiner aktuellen Studie aus Juni 2011 kommt das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) nach umfassender Auswertung einer Vielzahl an Human- und Tierstudien sowie 13 epidemiologischen Untersuchungen aus den Jahren 2009 und 2010 zu dem Schluss, dass ein Zusammenhang zwischen der Acrylamidaufnahme und einer Krebserkrankung beim Menschen weder angenommen noch ausgeschlossen werden kann [BfR, 2011]. Zusätzlich dazu wurde vom BfR die mittlere Aufnahme von Acrylamid für das Jahr 2010 im Rahmen der Auswertung verschiedener Expositionsabschätzungen mit 0,14 µg/kg KG für die gesamte deutsche Bevölkerung ermittelt. Das Risiko an Krebs zu erkranken, charakterisierte das



**Abb. 1**  
Bildungsmechanismus von Acrylamid im Rahmen der Maillard-Reaktion; nach Zyzac et al. (2003)

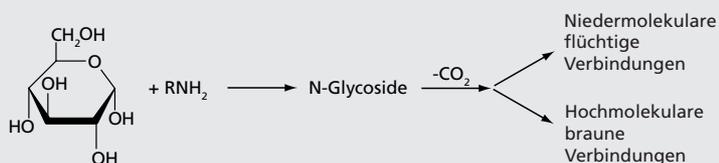
BfR ferner mithilfe des von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) vorgeschlagenen Bewertungskonzeptes „Margin of Exposure“ (MOE-Ansatz) (EFSA, 2005). Die hierbei vorgenommene Modellrechnung zeigte, dass der Sicherheitsabstand zwischen der aufgenommenen Acrylamidmenge und einer im Tierversuch als gesundheitsschädlich festgelegten Menge bei Kindern und Verbrauchern, die häufig Lebensmittel mit hohen Acrylamidgehalten verzehren, gering ist und somit ein Gesundheitsrisiko darstellen könnte. Aus Sicht des BfR sollten deshalb weiterhin Anstrengungen unternommen werden, die Acrylamidgehalte in industriell hergestellten Lebensmitteln zu minimieren. Für Verbraucher und Gastronomiebetriebe gilt nach wie vor die Regel „Vergolden statt Verkohlen“.

**Abb. 2**  
Bildungsmechanismus von Acrylamid im Rahmen der Fettdegeneration; nach Ehling et al. (2005)



## 100 Jahre Maillard-Reaktion (1912–2012)

Der französische Forscher *L. C. Maillard* berichtete 1912 – also vor genau 100 Jahren – im Rahmen seiner Doktorarbeit über eine Reaktion, die er beim Erhitzen eines Gemisches aus D-Glucose und Glycin beobachtet hatte und in deren Verlauf unter  $\text{CO}_2$ -Abspaltung ein brauner Niederschlag erhalten worden war (*Maillard*, 1912). In einer mehrstufigen Reaktion kommt es hierbei ausgehend von sog. reduzierenden Zuckern und Aminverbindungen unter Einwirkung hoher Temperaturen (150–180 °C) zur Bildung heterocyclischer Verbindungen, die für die Farbgebung, das Aroma und als Indikator einer Erhitzung von Lebensmitteln von großer Bedeutung sind (s. stark vereinfachtes Reaktionsschema [LCI, 2003]). Neben sehr erwünschten Verbindungen können aber auch gesundheitlich unerwünschte Stoffe (wie Acrylamid) entstehen.



### Nationale und internationale Minimierungsstrategien

Seit der nun zehn Jahre zurückliegenden Entdeckung von Acrylamid in Lebensmitteln sind in Deutschland immense Bestrebungen sowohl vonseiten der Lebensmittelindustrie als auch der Behörden und Forschungseinrichtungen unternommen worden, relevante Erkenntnisse zu gewinnen, um die Gehalte auf breiter Linie zu senken. Weltweit laufen diverse Forschungsprojekte zu Acrylamid in verschiedenen Disziplinen mit unterschiedlichen Ansätzen (*Taeymans et al.*, 2005).

Im Lebensmittelchemischen Institut des Bundesverbandes der Deutschen Süßwarenindustrie (LCI des BDSI) wurden im Zeitraum 2002–2005 für die einzelnen Fachsparten des BDSI sog. Koordinierungskreise gegründet. Im Rahmen dieser Koordinierungskreise wurde durch zahlreiche Analysen nach einer im LCI entwickelten Analysenmethode mittels LC-MS/MS fachspartenbezogen wissenschaftlich-empirische Acrylamid-Forschung betrieben (*Matissek et al.*, 2005). Die erzielten Ergebnisse und die daraus gewonnenen

Erkenntnisse führten zu beachtlichen Minimierungserfolgen.

Auf internationaler Ebene hat der europäische Ernährungsverband FoodDrink Europe (FDE, ehemals CIAA) in den vergangenen Jahren fortlaufend unter Mit Hilfe der deutschen und europäischen Süßwaren- und Knabberartikel-Hersteller und in enger Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission umfangreiche Informationsmaterialien in Form eines „Werkzeugkasten-Systems (sogenannte Toolbox) erarbeitet, das Verfahren zur Reduzierung des Acrylamidgehaltes in Keksen, Brot, Frühstückscerealien, Kartoffelchips und Pommes Frites aufzeigt. Diese Informationen richten sich insbesondere an kleine und mittlere Unternehmen und nennen Wege, mit denen die Acrylamidgehalte erfolgreich reduziert werden können. Am 30. September 2011 hat FoodDrinkEurope seine neueste, überarbeitete und dem aktuellen Wissensstand angepasste Toolbox mit Ansatzpunkten und Maßnahmen zur Reduzierung von Acrylamid in verschiedenen Lebensmittelgruppen veröffentlicht [<http://www.fooddrinkeurope.eu>].

Das in Deutschland praktizierte – EU-weit bisher einzigartige – dynamische Minimierungskonzept mit den sog. Signalwerten wurde 2002 zwischen dem BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) und den Ländern, der Wirtschaft und dem BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) abgestimmt und soll eine stufenweise aber stetige Absenkung der Acrylamid-Gehalte bewirken. Bei der Ermittlung der Signalwerte werden vom BVL zusammen mit den Länderbehörden Untersuchungsergebnisse für einzelne Lebensmittelgruppen zusammengetragen. Dabei stellt der unterste Wert der 10 % am höchsten belasteten Lebensmittel in einer Warengruppe den Signalwert dar (90. Perzentil). Die Signalwerte werden in regelmäßigen (inzwischen zweijährigen) Abständen durch Datenaktualisierung überprüft und entsprechend angepasst. Bisher hat es acht

» Die nächste turnusgemäße Signalwert-Berechnung wird voraussichtlich im 2. Halbjahr 2012 stattfinden. <<

Signalwert-Berechnungen gegeben, die in Abbildung 3 grafisch zusammengefasst sind [http://www.bvl.bund.de].

Entsprechend dem Vorbild des deutschen Minimierungskonzeptes existiert seit Januar 2011 nunmehr ein einheitliches europäisches Niveau für die Überwachung der Acrylamid-Belastung in Lebensmitteln in Form von sog. Richtwerten. Diese Richtwerte („indicative values“) wurden nach Empfehlung der Europäischen Kommission für annähernd alle Lebensmittelgruppen eingeführt, für die bisher in Deutschland nationale Signalwerte galten und sollen diese ablösen. Für Lebkuchen, Kartoffelpuffer und Kaffeeersatz sind bisher keine europäischen Richtwerte veröffentlicht worden, sodass die deutschen Signalwerte für diese Warengruppen zunächst weiter ihre Gültigkeit behalten (EU-Kommission, 2011). In Abbildung 4 sind die deutschen Signalwerte den europäischen Richtwerten gegenübergestellt.

### Minimierung von Acrylamid bei Kartoffelchips

Kartoffelchips zählten noch vor 10 Jahren – insbesondere aufgrund der für die Bildung optimalen Rohstoffzusammensetzung sowie des Herstellungsprozesses – zu den eher stark mit Acrylamid belasteten Lebensmitteln. Seit dem ersten Bekanntwerden der Acrylamidproblematik hat die deutsche Kartoffelchips-Industrie im Sinne des vorbeugenden gesundheitlichen Verbraucherschutzes gehandelt und entsprechende weitreichende Maßnahmen zur Reduzierung frühzeitig und äußerst erfolgreich eingeleitet und umgesetzt. Zu diesem Zweck wurden im verbandseigenen Institut LCI für die Mitgliedsfirmen des Bundesverbandes der deutschen Süßwarenindustrie (BDSI) zahlreiche systematische Analysen durchgeführt (Raters et al., 2010).

Wesentlichen Einfluss auf die Acrylamidgehalte der Kartoffelchips hat insbesondere der natürliche Rohstoff – die Kartoffel – selbst. Eine potenzielle Acrylamidbildung wird u. a. beeinflusst durch

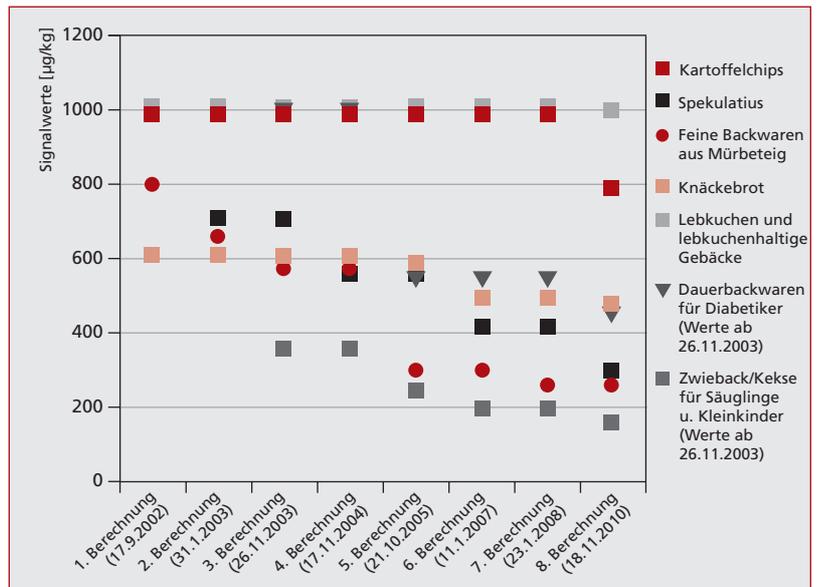


Abb. 3 Übersicht der acht Signalwertberechnungen von 2002–2010 (Auswahl)

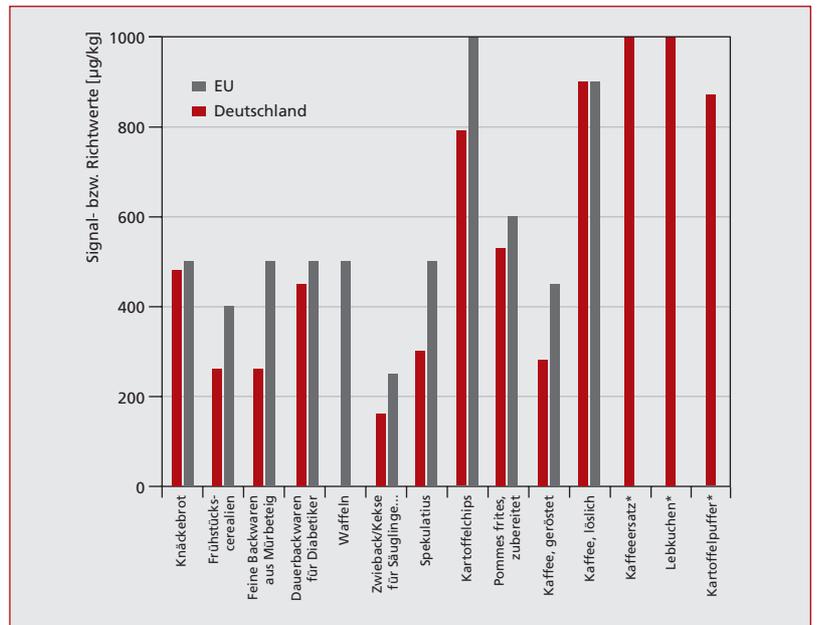
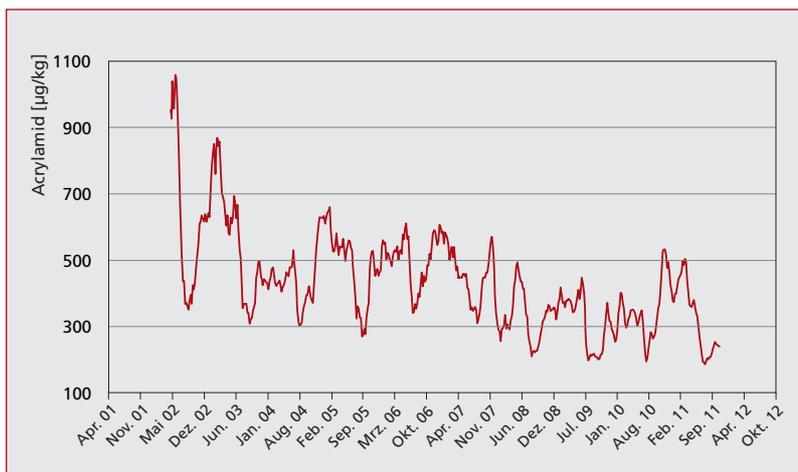


Abb. 4 Signal- bzw. Richtwerte für Acrylamid, Signalwerte: BVL, 8. Berechnung, 2010; EU-Richtwerte: Kommissions-Empfehlung vom 10.10.2011 (EU-Kommission, 2011), \* EU-Richtwert nicht festgelegt

die verwendete Kartoffelsorte, die Anbau- und Lagerbedingungen sowie den Reifegrad. Zusätzlich zur Möglichkeit einer gezielten Rohstoffauswahl hat bei der Kartoffelchipsherstellung vor allem die Prozess- und Zubereitungstechnik einen wesentlichen Einfluss auf die Acrylamidgehalte. Neben einer Verbesserung des Temperatur-Zeit-Profiles durch ein neues Vakuum-Verfahren, das die Zube-



**Abb. 5**  
**Acrylamid-Gehalte**  
**von Kartoffelchips in**  
**Deutschland produzie-**  
**render Unternehmen;**  
**dargestellt sind die**  
**Wochenmittelwerte**  
**nach Produktionsdatum,**  
**letzte Aktualisierung:**  
**November 2011**  
**(www.lci-koeln.de)**

ereitung bei niedrigeren Temperaturen ermöglicht, sowie der Änderung der Produktfeuchte oder der Aussortierung stark gebräunter Chips, z. B. durch optoelektronische Sensoren, konnte auch durch eine Verringerung des Oberflächen/Volumen-Verhältnis – durch Schneiden dickerer Chipsscheiben – eine teilweise signifikante Reduzierung der Acrylamidgehalte im Enderzeugnis erreicht werden (Matissek et al., 2005). Seit 2006 kann bei dafür geeigneten Produkten ferner ein sehr innovatives und äußerst effektives Minimierungsverfahren zur Anwendung kommen: Der gezielte Einsatz des Enzyms Asparaginase, welches Asparagin in Asparaginsäure umwandelt, sodass dieses nicht mehr für die Acrylamidbildung zur Verfügung steht (Ciesarova et al., 2006).

Das LCI veröffentlicht – regelmäßig aktualisiert – die wöchentlichen Acrylamidmittelwerte der in Deutschland produzierenden Kartoffelchipshersteller in Form

einer sog. Wochenmittelwerte-Grafik (Abb. 5), an der die Wirksamkeit der seit April 2002 durchgeführten Minimierungsmaßnahmen erkannt werden kann [http://www.lci-koeln.de]. Die Grafik zeigt die Wochenmittelwerte beginnend im April 2002 bis Ende November 2011 und basiert auf weit über 20 000 vom LCI für die Kartoffelchips herstellenden Mitgliedsfirmen des BDSI systematisch durchgeführten Acrylamid-Analysen. Deutlich erkennbar sind die ab Mai/Juni 2002 durchgeführten technologischen Maßnahmen in einer stark absinkenden Kurve in den ersten Monaten. Überlagert wird dieser Effekt von den saisonalen, ernte- bzw. lagerbedingten Gegebenheiten. Die aktuellen Wochenmittelwerte der deutschen Hersteller liegen derzeit mit weniger als 300–500 µg Acrylamid/kg deutlich unter dem europäischen Richtwert von 1 000 µg/kg. Damit weisen Kartoffelchips in Deutschland dank innovativer Technologien und optimierter Rohstoffverarbeitung sicherlich die weltweit niedrigsten Acrylamidgehalte auf.

Das von allen deutschen Lebensmittelproduzenten praktizierte dynamische Minimierungskonzept auf der Basis von Signalwerten hat sich jedoch nicht nur für die in diesem Abschnitt im Fokus stehenden Kartoffelchips als eine beispiellose Erfolgsgeschichte herausgestellt. Auch in anderen Lebensmittelgruppen, wie z. B. den Feinen Backwaren konnten insbesondere durch Rezepturumstellungen sowie den gezielten Einsatz des Enzyms Asparaginase erhebliche Acrylamidminimierungen erlangt werden (vgl. hierzu Abb. 3).

### Fazit und Ausblick

Die größtmögliche Überraschung auslösende Entdeckung von Acrylamid im April 2002 hat die Wissenschaft, die Industrie und die zuständigen Behörden im Sinne eines Urknalls („Big Bang“) nachhaltig aufgeschreckt, den Terminus „Kontaminante“ revolutioniert und nicht zuletzt eine gänzlich neue Stoffklasse in das öffentliche Interesse gerückt. Thermische



#### Prof. Dr. Reinhard Matissek

Seit 1988 Institutsleiter und Direktor des LCI; apl. Professor am Institut für Lebensmittelchemie der TU Berlin; u. a. Vorstandsmitglied der Stiftung der Deutschen Kakao- und Schokoladenwirtschaft, Hamburg/Bonn, Mitglied in der Senatskommission zur gesundheitlichen Bewertung von Lebensmitteln (SKLM) der DFG und Mitglied des Wissenschaftlichen Ausschusses des FEI.

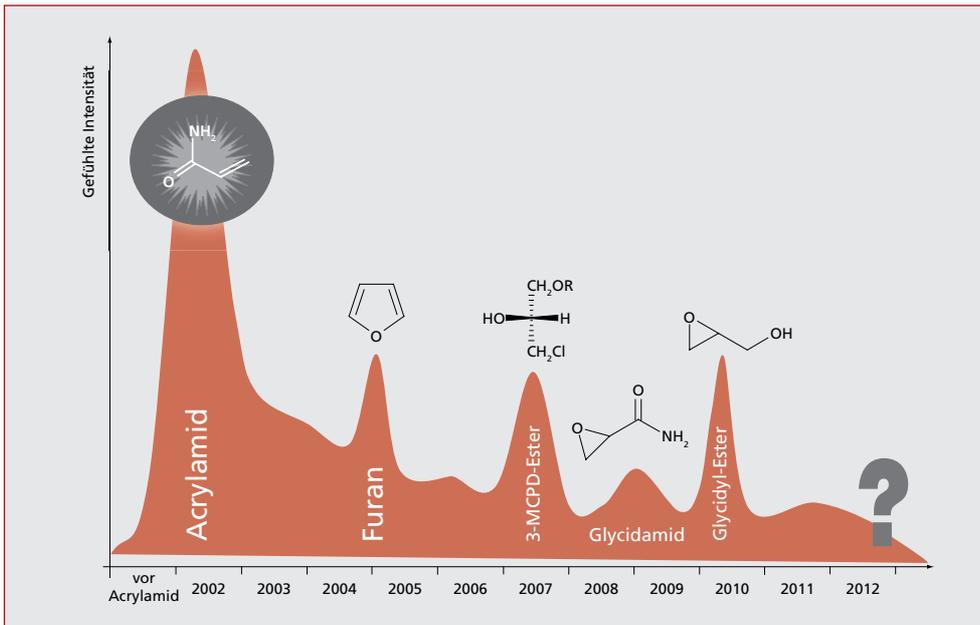


Abb. 6  
Skizzenhafte Darstellung der „Big Bang-Theorie im Bereich Prozesskontaminanten“, 2002 bis heute

Reaktionsprodukte – in gesundheitlich unerwünschter Form sog. Foodborne Toxicants bzw. Process Contaminants oder Prozesskontaminanten – meistens aus der Maillardreaktion (z. B. Acrylamid, Glycidamid) oder Lipidoxidationsprodukte (z. B. 3-MCPD-Ester, Glycidyl-Ester) hätten noch bis vor kurzer Zeit nur Insider-Kreise wie die Doktoranden/innen der Lebensmittelchemie bei ihren Dissertationen beschäftigt. Heute ist jedoch fast jeder im Lebensmittel neu entdeckte Einzelstoff sogleich von öffentlichem Interesse; selbst oder gerade wenn eine toxikologische Bewertung noch aussteht und eine Analysenmethode noch nicht entwickelt bzw. abschließend validiert ist (Abb. 6).

Doch was werden die nächsten, bisher noch unentdeckten, Stoffklassen bzw. Stoffe sein? Fakt ist, Acrylamid gilt und galt in der Stoffklasse der thermischen Reaktionsprodukte sicherlich als eine Art Präzedenzfall und hat bzw. hatte sowohl

im Bereich der Spurenanalytik als auch hinsichtlich neuartiger Minimierungsstrategien, bei der Risikobewertung und der Gesetzgebung teilweise deutlich wegweisenden Charakter.

Somit kann mit Blick auf denkbare ähnlich gelagerte Fälle für die Zukunft das Fazit gezogen werden: Stakeholder should learn from the „Big Bang Acrylamid“. ■

### Anschrift der Autoren

**Dr. Marion Raters**  
marion.raters@lci-koeln.de  
**Prof. Dr. Reinhard Matissek**  
Lebensmittelchemisches Institut (LCI)  
des Bundesverbandes der Deutschen  
Süßwarenindustrie e.V.  
Adamsstraße 52–54  
51063 Köln  
www.lci-koeln.de

Literaturverweise  
finden Sie unter  
[www.dlr-online.de](http://www.dlr-online.de)  
→ DLR Plus  
Passwort: Hase



### Mikrobiologie der Lebensmittel – Grundlagen

Der ideale Einstieg in die Mikrobiologie der Lebensmittel oder für Profis die perfekte Auffrischung: Der rundum erneuerte Band „Grundlagen“ ermöglicht durch seine klare Strukturierung eine schnelle Orientierung in der vielseitigen Themenlandschaft der Lebensmittel-Mikrobiologie.

Herausgeber: H. Weber

9. Auflage 2010, DIN A5, HC, 756 Seiten ISBN 978-3-89947-447-3 € 129,50 zzgl. MwSt.

Unsere aktuellen Angebote bestellen Sie per  
 Telefon: 040 - 227 008-0    Telefax: 040 - 220 10 91  
 E-Mail: [info@behrs.de](mailto:info@behrs.de)    Internet: [www.behrs.de](http://www.behrs.de)  
**BEHR'S**...bringt die Praxis auf den Punkt.

## The Big Bang Acrylamid

### 10 Jahre Acrylamid – Rückblick und Status quo

Marion Raters und Reinhard Matissek

#### Literatur

- BfR: Acrylamid in Lebensmitteln. Stellungnahme Nr. 043/2011 des BfR vom 29. Juni 2011.
- [www.bvl.bund.de/DE/01\\_Lebensmittel/02\\_UnerwunschteStoffe-Organismen/04\\_Acrylamid/04\\_Signalwerte/02\\_8te\\_Berechnung/Im\\_acrylamid\\_signalwerte\\_achte\\_Berechnung\\_node.html](http://www.bvl.bund.de/DE/01_Lebensmittel/02_UnerwunschteStoffe-Organismen/04_Acrylamid/04_Signalwerte/02_8te_Berechnung/Im_acrylamid_signalwerte_achte_Berechnung_node.html).
- *Ciesarova Z, Kiss E, Boegl P*: Impact of L-asparaginase on acrylamide content in potato product. *J Food Nutr Res* **45**, 141–146 (2006).
- EFSA: Opinion of the scientific committee on a request from EFSA related to a harmonised approach for risk assessment of substances which are both genotoxic and carcinogenic, request no EFSA-Q-2004-020 (2005).
- *Ehling S, Hengel M, Shibamoto T*: Formation of Acrylamide from Lipids. In: *Friedman M, Mottram D* (eds.): *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*, p. 223–233. Springer Verlag (2005).
- EU-Kommission: Empfehlung der Kommission vom 10.1.2011 zur Untersuchung des Acrylamidgehalts von Lebensmitteln (2011).
- FDE: Food Drink Europe Acrylamide Toolbox 2011, [www.fooddrinkurope.eu](http://www.fooddrinkurope.eu).
- *Gertz CKS*: Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products. *Eur J Lipid Sci Technol* **104**, 762–771 (2002).
- *Granvogel M, Schieberle P*: Thermally generated 3-aminopropionamide as a transient intermediate in the formation of acrylamide. *J Agric Food Chem* **54**, 5933–5938 (2006).
- *Granvogel M, Jezussek M, Koehler P, Schieberle P*: Quantitation of 3-aminopropionamide in potatoes – a minor, but potent precursor in acrylamide formation. *J Agric Food Chem* **52**, 4751–4757 (2004).
- *Lingnert H, Grivas S, Jägerstad M, Skog K, Törnqvist M, Aman P*: Acrylamide in Food- Mechanisms of formation and influencing factors during heating of foods. *Scand J Nutr* **46**, 159–172 (2002).
- [www.lci-koeln.de/deutsch/verbraucherinformation-zur-thematik-acrylamid-bei-kartoffelchips](http://www.lci-koeln.de/deutsch/verbraucherinformation-zur-thematik-acrylamid-bei-kartoffelchips)
- *Maillard LC*: Réaction générale des acides aminés sur les sucres. *Journal de Physiologie* **14**, 813 (1912).
- *Matissek R, Raters M*: Analysis of Acrylamide in Food. In: *Friedman M, Mottram D* (eds.): *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*, p. 293–302. Springer Verlag (2005).
- LCI: Die Maillard-Reaktion. *süsswaren* **5**, 8 (2003).
- *Mottram DS, Wedzicha BL, Dodson AT*: Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature* **419**, 448–449 (2002).
- NTP, National Toxicology Program: NTP Technical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies of Acrylamide (CAS No. 79-06-1) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Drinking Water Study) (2011).
- *Raters M, Matissek R*: Das Minimierungskonzept von Acrylamid bei Kartoffelchips: Eine nachhaltige Erfolgsgeschichte. *Lebensmittelchemie* **64**, 40–41 (2010).
- *Stadler RH, Blank I, Varga N, Robert F, Hau J, Guy PA, Robert MC, Riediker S*: Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature* **419** (6906): 449–450 (2002).
- *Taeymans D, Andersen A, Ashby P, Blank I, Gonde P, Van Eijkck P, Faivre V, Lalljie S, Lingert H, Lindbloom M, Matissek R, Mueller D, Stadler P, Studer A, Silvani D, Tallmadge D, Thompson G, Whitmore T, Wood J, Zyzak D*: Acrylamide: An update on selected research activities conducted by the European Food and Drink Industries. *J AOAC Int* **88**, 234–241 (2005).
- *Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, Törnqvist M*: Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J Agric Food Chem* **50**, 4998–5006 (2002).
- *Zyzak DV, Sanders RA, Stojanovic M, Tallmadge DH, Eberhart BL, Ewald DK, Gruber DC, Morsch TR, Strothers MA, Rizzi GP, Villagran MD*: Acrylamide formation mechanism in heated foods. *J Agric Food Chem* **51**, 4782–4787 (2003).