

Übergang von Acrylamid in die Milch der Kuh und dessen Vorkommen in Milchleistungsfutter

Gemeinsame Veröffentlichung der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel und des BfR vom 1. September 2004

Im April 2002 publizierte die schwedische Lebensmittelbehörde die Ergebnisse erster Messungen über Gehalte an Acrylamid in verschiedenen Lebensmitteln. In die Fütterung gelangen Nebenprodukte der Öl-, Stärke- und Zuckerproduktion, die teilweise Verarbeitungsprozesse durchlaufen, bei denen Temperaturbehandlungen vorkommen, die zur Bildung von Acrylamid geführt haben könnten. Dazu zählt möglicherweise auch das Pelletieren von Milchleistungsfutter. Für den Fall des Vorkommens von Acrylamid in Futtermitteln sollte ein möglicher Übergang in das Lebensmittel Milch grundsätzlich geprüft werden. Dazu wurden einer Kuh in einer Provokationsstudie während 10 Tagen jeweils 1,5 g Acrylamid in einer Gelatinekapsel appliziert, also unabhängig von der Futtermatrix. Ein so hoher Gehalt würde weder in einem kg Einzelfuttermittel noch in der Tagesmilchleistungsfutterration erwartet. Das Ergebnis zeigte die Milchgängigkeit, der Übergang betrug im Mittel 0,24 %, die Halbwertszeit ergab 2,82 Stunden. Acrylamid wurde wahrscheinlich hauptsächlich im Pansen der Kuh schnell umgewandelt, eine Ausschleichphase nach Ende der Behandlung gab es nicht. Weder an der Kuh selbst noch an deren Milchleistung konnten Einflüsse der Behandlung beobachtet werden.

Drei Milchleistungsfuttermittel wurden auf einen Gehalt an Acrylamid hin analysiert. Dazu wurden, um einen möglichen Effekt des Pelletierens zu prüfen, die Randschichten (ca. 1 mm) zusätzlich untersucht. Dabei gab es zwischen letzteren und den Gesamtpellets praktisch keine Unterschiede. Die gemessenen Werte lagen zwischen 136 und 182 µg/kg Futtermittel. Eine sichere Interpretation der Entstehung der Acrylamidgehalte war danach jedoch nicht möglich, weil eine Gleichverteilung im Pellet nicht auszuschließen war. Würde für den Übergang aus dem Futtermittel in die Milch die selbe Übergangsrate angenommen wie in der Provokationsstudie gefunden, so würde ein Gehalt von ca. 0,2 µg/kg Milch erwartet, der weit unterhalb der hier erreichten Bestimmungsgrenze von 5 µg/kg liegt.

Einleitung

Im April 2002 publizierte die schwedische Lebensmittelbehörde die Ergebnisse erster Messungen über Gehalte von Acrylamid ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$) in verschiedenen Lebensmitteln (Rosen 2002). Dieser unerwünschte Stoff kann als ein sog. foodborn toxicant in einem komplexen Bildungsmechanismus (Maillard-Reaktion) bei höheren Temperaturen (Backen, Rösten und Frittieren, nicht beim Kochen) aus Asparagin und reduzierenden Zuckern (Fructose, Glucose) entstehen (Stadler 2003, Vattem 2003, Tareke 2000). Hohe Gehalte wurden in stärkereichen Lebensmitteln gemessen, insbesondere in Kartoffelprodukten wie Pommes frites und Kartoffelchips (bis zu 2000 µg Acrylamid/kg), in gerösteten Zerealien, Brot (besonders Knäcke- und geröstetes Toastbrot) und Backwaren (BVL 2004). Teilweise gelangen auch Nebenprodukte und Fehlproduktionen dieser Lebensmittel in die Fütterung.

Untersuchungen beim Menschen und bei Tieren bzw. vom Tier stammenden Lebensmitteln sind nur aus zwei Quellen bekannt. Der Übergang von Acrylamid in Muttermilch wurde von Sörgel et al. (Sörgel 2002) bei zwei Müttern geprüft. Wie die Ergebnisse dieser Humanstudie zeigten, konnte für Monogastrier, zu denen biologische betrachtet auch die Menschen gehören, der Übergang von Acrylamid aus der Lebensmittelmatrix in die Milch eindeutig belegt werden.

Ranz et al. (Ranz 2003) verfütterten industriell gewonnenes Kartoffelmehl an Japanische Wachteln. Es gab zwei Versuchsgruppen mit 10 bzw. 40 % Anteil an Kartoffelmehl in der Futtermischung. Das Kartoffelmehl war bei einer Futteruntersuchung aufgefallen, es enthielt 6,4 mg Acrylamid/kg. In den Versuchsfuttermischungen waren je kg 663 bzw. 2473 µg. In den Eierproben wurden an den Tagen 1 und 5 der Fütterung Acrylamidgehalte in gleicher Größenordnung gefunden mit 7,8 µg/kg Frischgewicht von den Wachteln, die 10 % Anteil an Kartoffelmehl im Futter hatten und 24,5 µg/kg in den Proben von den Tieren mit 40 %. Es wird berichtet, dass auch in den Brustmuskeln Acrylamid nachgewiesen wurde, Meßwerte wurden aber dazu nicht angegeben. Auch hier wurde der Übergang in bzw. die Einlagerung von Acrylamid in vom Tier gebildete Substanzen aus einer Kartoffelmatrix heraus nachgewiesen.

Es wird allseits akzeptiert, dass die Belastung der Verbraucher mit Acrylamid soweit wie vernünftigerweise möglich gesenkt werden sollte (Madle 2003). In diesem Zusammenhang kommt neben den Lebensmitteln auch den Futtermitteln eine Bedeutung zu, da von einem Übergang des Acrylamids vom Futter in die Lebensmittel auszugehen ist (Takatsuki 2004). Ziel unserer Untersuchungen ist es, am Beispiel der Milch im Rahmen einer Provokationsstudie den Übergang des Acrylamids (Milchgängigkeit) zu prüfen und das Ausmaß der durch Futtermittel verursachten Belastung an Acrylamid im Lebensmittel Milch abzuschätzen (Carry-over). Die Versuchsanordnung erlaubte darüber hinaus, die Halbwertszeit des Acrylamids in der Milch überschlägig zu berechnen. Da keine Metabolite (Glycidamid) und Addukte untersucht wurden, basieren sämtliche Ergebnisse auf der Bestimmung des "freien" Acrylamids.

Milchleistungsfuttermittel sind energiereiche Futtermischungen, die i.d.R. vom landwirtschaftlichen Betrieb zugekauft werden. Sie sind zusammengesetzt aus Getreide, Nebenprodukten der Öl-, Stärke und Zuckergewinnung sowie Ergänzungen an Salzen, Mineralstoffen und Vitaminen. Diese Produkte haben teilweise Verarbeitungsprozesse durchlaufen, während derer Temperaturbehandlungen zur Bildung von Acrylamid geführt haben können. Dazu zählt möglicherweise auch das Pelletieren bei der Herstellung von Milchleistungsfutter. Da bei den Pellets die Randzonen die stärkste Temperaturerhöhung erfahren haben, stellt sich die Frage, ob diese erhöhte Gehalte an Acrylamid aufweisen. Bei den drei von uns untersuchten Futtermitteln wurden daher die Randzonen abgetrennt und zusätzlich zu den gesamten Pellets auf Acrylamid untersucht. Wegen der geringen Probenzahl sind aus diesen vergleichenden Messungen allerdings keine repräsentativen Aussagen abzuleiten.

Prüfung des Übergangs von Acrylamid in die Milch

Material und Methoden

Die Prüfung der Milchgängigkeit erfolgte in Form einer Provokationsstudie, in der eine Menge an Acrylamid an eine Kuh verabreicht wurde, von der man nicht annehmen würde, dass sie in einer Futtermittelmatrix und üblicherweise aufgenommenen Futtermengen vorkommt, um bei gegebenem carry over Acrylamid in der Milch sicher bestimmen zu können.

Aus der Herde schwarzbunter Deutscher Holsteins von der Versuchsstation Schaedtbek wurde eine nichttragende junge Kuh (Lebendgewicht von 486 kg) mit einer Milchleistung von ca. 20 kg Milch/Tag ausgewählt. Als Grundfutter zur freien Aufnahme wurde Kleeegrassilage mit einem Anteil an Lieschenkolbenschrotsilage von 20 % gefüttert. Zusätzlich erhielt die Kuh zur Deckung des Energie- und Proteinbedarfs 2 kg Weizen und 1 kg Ackerbohnen aus eigenem Anbau und damit Futtermittel, die keine Behandlung bei höheren Temperaturen (> 40° C) erfahren hatten.

Die praktikable analytische Bestimmungsgrenze lag zum Zeitpunkt der Festlegung der Versuchsbedingungen bei 20 µg Acrylamid/kg Milch. Die zu verfütternde Menge an Acrylamid (Tagesdosis) wurde unter Berücksichtigung der Tagesmilchleistung von 20 kg, einem überschlägig geschätzten Übergang von ca. 1 % in die Milch und erstrebten analytischen Messwerten um das Zehnfache über der Bestimmungsgrenze auf 1,5 g Acrylamid/Tag festgelegt. Bei dieser Dosis und der vorgesehenen Applikationszeit von 10 Tagen wurde davon ausgegangen, dass für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Kuh keine Beeinträchtigungen zu erwarten waren.

Das Acrylamid (Fa. Serva, Heidelberg, Art.–Nr. 10675) wurde als weißes kristallines Pulver in eine Gelatine kapsel eingebracht, die mit Zitronensäure verklebt wurde. Eine Gelatine kapsel wurde jeweils nach der Morgenmelkzeit verabreicht. Die Dosis entsprach 3,1 mg/kg Körpergewicht und Tag. Die Kuh stand während des Versuchs in einem Anbindestall und wurde auf ungewöhnliches Verhalten, Fressverhalten und Gesundheitsprobleme hin beobachtet.

Die im Versuch gewählte Applikationsform für das Acrylamid (Gelatine kapsel) sollte der Sicherheit im Umgang mit dem Stoff dienen und die vollständige Aufnahme durch die Kuh gewährleisten. Das Acrylamid war damit nicht in die Futtermatrix eingebunden, wie z. B. beim kommerziellen Milchleistungsfutter, bei dem die Übergangsrate in die Milch wegen der Interaktion mit der Futtermittelmatrix möglicherweise anders sein kann.

Milchproben wurden über 19 Tage zu jeder Melkzeit (morgens und abends) genommen und bei –18 °C tiefgefroren. Im Bundesinstitut für Risikobewertung wurden die Proben von 15 Tagen (Tage 1 – 15) auf Acrylamid untersucht. An den Tagen 2 - 11 wurde nach dem Morgenmelk Acrylamid appliziert. Die anschließende behandlungsfreie Nachperiode umfasste 8 Tage (Tage 12-19).

Die Fett- und Proteingehalte, Zellzahlen und Harnstoffgehalte wurden wöchentlich von einer Melkzeit beim Landeskontrollverband Schleswig-Holstein in Kiel gemessen.

Die Analysen auf Acrylamid erfolgten nach einer von K. Grob (*Biedermann* 2002) modifizierten in house validierten Methode zur Bestimmung von Acrylamid in flüssigen Lebensmitteln (*BfR* 2004): Nach Einwaage von 20 g Milch wurde D₃-Acrylamid als interner Standard hinzugefügt und diese auf eine modifizierte Extrelut NT[®]-Säule (15 g Extrelut NT[®] mit 5 g Natriumchlorid) gegeben. Nach 45 Minuten Konditionierung erfolgte die Elution bei dieser festphasenunterstützten Flüssig-Flüssig-Extraktion mit 200 ml Dichlormethan. Nach Einengen des Extraktes wurde der Rückstand in Acetonitril aufgenommen, mit Methacrylamid als internem Spritzenstandard versetzt und zweifach mit Hexan entfettet. Die Acetonitrilphase wurde als Injektionslösung für GC-MS mit NCI (HP 5890 GC mit Finnigan MAT 90, Reaktantgas Ammoniak, Massen: 70,03 m/z (Acrylamid), 73,05 m/z (D₃-Acrylamid), 84,04 m/z (Methacrylamid)) und LC-MS/MS (Shimadzu LC-10AD VP mit SCIEX API 2000 LC-MS/MS, Massenübergänge: 72,07/55,15 m/z (Acrylamid), 75,07/58,00 m/z (D₃-Acrylamid), 84,04/58,13 m/z (Methacrylamid)) eingesetzt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Tagesmilchleistung der Kuh lag mit im Mittel 20,3 kg (s = 1,5 kg) im Rahmen der für den Versuch angestrebten Leistung. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der betrieblichen Milchleistungsprüfung dargestellt.

Tab. 1: Ergebnisse der betrieblichen Milchleistungsprüfung (Morgengemelk)

Versuchstag	Milch (kg)	Fett (%)	Protein (%)	Zellzahl (ml) x 1000	Harnstoff (mg/l)
Tag 3	11,8	4,59	3,41	49	180
Tag 10	11,3	3,77	3,38	50	193
Tag 17	12,4	4,65	3,39	46	200

Die Messwerte für die Milchmengen, die Fett- und Eiweißgehalte lagen innerhalb der üblichen Variation. Dies galt ebenso für die Zellzahlen als Maß für die Eutergesundheit und den Harnstoffgehalt in der Milch als Marker für die Energie- und Eiweißversorgung. Aus den Ergebnissen ließ sich kein Einfluss der Behandlung auf die Kuh ableiten.

Die Melkintervalle zwischen Morgen- und Abend- bzw. Abend- und Morgengemelken lagen bei 10 und 14 Stunden. Dadurch waren unterschiedliche Milchmengen zu den Melkzeiten bedingt.

Die ersten beiden Gemelke (vor der Applikation) enthielten erwartungsgemäß kein Acrylamid oberhalb der Bestimmungsgrenze von 5 µg Acrylamid/kg. Im ersten Gemelk nach Behandlungsbeginn (Tag 2, abends) wurden dagegen 351 µg Acrylamid/kg Milch gefunden, im folgenden Morgengemelk am 3. Tag 12 µg/kg Milch (Tab. 2).

Im weiteren Verlauf der Behandlung wiederholten sich die Analysenwerte in der Weise, dass das auf die Behandlung folgende Abendgemelk eine relativ hohe Menge an Acrylamid enthielt, das folgende Morgengemelk hingegen eine relativ geringe. An den Behandlungstagen 8 und 10 lag diese sogar unterhalb der Bestimmungsgrenze (<5 µg/kg).

Tab. 2: Acrylamidgehalte und Übergang in Milch

Versuchstag	Applikation	Morgengemelk			Abendgemelk		
		Milch (kg)	Acrylamid (µg/kg)	Übergang (%)	Milch (kg)	Acrylamid (µg/kg)	Übergang (%)
1	ohne	-	-	-	8,6	< 5	-
2	mit*)	11,7	< 5	-	7,0	351	0,16
3	mit	11,8	18	0,014	8,4	367	0,21
4	mit	12,6	16	0,013	8,2	298	0,16
5	mit	12,9	17	0,015	7,9	459	0,24
6	mit	12,8	22	0,019	8,5	373	0,21
7	mit	12,6	15	0,013	8,0	316	0,17
8	mit	13,1	< 5	-	7,9	403	0,21
9	mit	12,2	15	0,012	9,0	467	0,28
10	mit	11,3	< 5	-	8,2	627	0,34
11	mit	14,2	23	0,022	7,8	629	0,33
12	ohne	13,3	12	0,011	7,7	11	0,006
13	ohne	13,4	< 5	-	6,5	5	0,002
14	ohne	9,2	< 5	-	6,9	< 5	-
15	ohne	12,0	< 5	-	9,0	< 5	-

*) für das Morgengemelk ist die Applikation am Tag 2 ohne Bedeutung

Die Acrylamidgehalte in den Teilgemelken lagen während der Behandlung abends bei mit der Versuchsdauer sich andeutender leicht zunehmender Tendenz zwischen 298-629 µg/kg

(Mittelwert: 429 µg/kg) und morgens zwischen <5-23 µg/kg (Mittelwert: 15 µg/kg). Damit ist die bereits für den Menschen belegte Milchgängigkeit von Acrylamid (Sörge 2002) bei gleichzeitiger möglicher Verstoffwechslung auch in der Kuh (wahrscheinlich hauptsächlich Umwandlung im Pansen) erwiesen, denn der mittlere Übergang in das Abendgemelk während der Behandlungszeit lag bei 0,23 %, der in das Morgengemelk bei 0,01 %. Diese nach Gemelken aufgegliederte Darstellung deutet darauf hin, dass Acrylamid schnell abgebaut wird und demzufolge nach dem Absetzen der Behandlung nicht mehr in der Milch vorhanden ist. Das erste Abendgemelk nach dem Behandlungsende (Tag 12) enthielt demzufolge lediglich 11 µg/kg Milch. Danach wurden nur noch Messwerte in der Nähe der Bestimmungsgrenze bzw. unter der Bestimmungsgrenze (5 µg/kg) gefunden. Die Abschätzung der Halbwertszeit mit der Formel von Forth et al. (Forth 1987) ergab im Mittel 2,82 Stunden (1,85 – 3,39 Stunden).

Stellt man die Ergebnisse bezogen auf das Tagesgemelk (hier wegen der Applikation nach dem Morgengemelk: Abendgemelk und folgendes Morgengemelk) dar, so waren in der Milch zwischen 120 - 244 und im Mittel 175 µg Acrylamid/kg (s = 44 µg/kg) vorhanden. Daraus errechnet sich ein durchschnittlicher Übergang von 0,24 % (s=0,07 %) in die Milch (Forth 1987).

Tab. 3: Acrylamidgehalte in Milch bezogen auf Tagesgemelke (rechnerisch aus Abend- und folgendem Morgengemelk) und Übergang

Tag	Milch (kg)	Acrylamid (µg/kg)	Übergang (%)
2/3	18,8	142	0,18
3/4	21,0	157	0,22
4/5	21,1	126	0,18
5/6	20,7	188	0,26
6/7	21,1	159	0,22
7/8	21,1	120	0,17
8/9	20,1	167	0,22
9/10	20,3	207	0,28
10/11	22,4	244	0,36
11/12	21,1	240	0,34

Untersuchung von Milchleistungsfutter

Material und Methoden

Zur ersten Orientierung wurden Proben von drei Milchleistungsfuttermischungen untersucht. Die ausgewählten Futtermittel unterschieden sich durch den Proteingehalt und den Zeitpunkt der Herstellung. Sie waren deshalb wahrscheinlich nicht aus gleichen Komponenten zusammengesetzt, was allerdings wegen fehlender offener Deklaration nicht nachgeprüft werden konnte. Die Futterproben wurden in Gesamtpellets und Randzonenmaterial aufgeteilt. Dieses wurde gewonnen, indem die Pellets mit Spiralbohrern so ausgebohrt wurden, dass eine Randschicht von etwa 0,5 – 1 mm entnommen werden konnte. Für die Analyse wurden diese Materialien mit einem elektrischen Zerkleinerungsgerät (Moulinette, Fa. Moulinex, Frankreich) vermahlen (Partikelgröße <1 mm).

Die Analysen auf Acrylamid erfolgten nach der für die Futtermittelanalytik modifizierten hauseigenen und validierten Methode (BfR 2004, modifiziert nach K. Grob (Biedermann 2002)) zur Bestimmung von Acrylamid in festen und pastösen Lebensmitteln: 30 g Futtermittel wurden in einen Stomacherbeutel eingewogen, mit 60 ml Wasser versetzt und mittels

Stomacher zu einer pastösen Nassaufschlämmung (Slurry) verknetet. 30 g der Slurry wurden abgewogen, mit D₃-Acrylamid als internem Standard und 50 ml 1-Propanol versetzt. Die Extraktion erfolgte 30 Minuten turbulent im Überkopfschüttler und danach 30 Minuten im Ultraschallbad. Von der überstehenden Extraktionslösung wurden 2 ml entnommen und diese nach Zusatz von 200 µL 1-Octanol als Retainer nahezu zur Trockne eingedampft. Der Rückstand wurde in Acetonitril aufgenommen, mit Methacrylamid als Spritzenstandard versetzt und zweimal mit Hexan entfettet. Die Acetonitrilphase wurde als Injektionslösung für die GC-MS mit NCI (HP 5890 GC mit Finnigan SSQ 700, Reaktantgas Methan, Massen: 70,03 m/z (Acrylamid), 73,05 m/z (D₃-Acrylamid), 84,04 m/z (Methacrylamid)) und LC-MS/MS (Angaben s.o.) eingesetzt.

Ergebnisse und Diskussion

Die in Tabelle 4 zusammengestellten Analysenergebnisse für diese drei Futtermittelproben sind sehr ähnlich (136-182 µg Acrylamid/kg). Da in den Gesamtpellets die gleichen Konzentrationen ermittelt wurden wie in den Randzonen, ist es wahrscheinlich, dass beim Pelletieren dieser Futterproben kein Acrylamid entstanden ist, weil die Haltezeiten in der Pelletiermatrize relativ kurz sind und damit Acrylamid bereits in den Nebenprodukten enthalten war. Andererseits ist eine Gleichverteilung des beim Pelletieren möglicherweise in den Randzonen entstandenen Acrylamids in den Pellets nicht auszuschließen. Eine sichere Interpretation der Entstehung der Acrylamidgehalte war damit nicht möglich.

Tab. 4: Untersuchungsergebnisse von Milchleistungsfuttermitteln aus verschiedenen Mischungen

Milchleistungs-futterproben	Material	Acrylamid µg/kg
1	Gesamtpellet	180
	Randzone	183
2	Gesamtpellet	145
	Randzone	141
3	Gesamtpellet	140
	Randzone	132

Die Verfütterung von Milchleistungsfutter an Kühe erfolgt zur Optimierung pansenphysiologischer Vorgänge nicht als Tagesration, sondern - je nach Tagesmilchmenge - in Portionen von max. 2-3 kg. Bei hohen Tagesleistungen (> 30 kg Milch) werden Futtermengen von > 10 kg aufgenommen. Als Summe des dann aufgenommenen Acrylamids würde sich bei 10 kg Milchleistungsfutter mit den in der Tabelle 3 angegebenen Konzentrationen eine Tagesmenge von etwa 1,5 mg Acrylamid für eine Kuh ergeben, was bei Übernahme der ermittelten mittleren Übergangsrate in die Milch aus dem Versuch (0,24 %) zu ca. 0,2 µg Acrylamid/kg Milch führen würde. Diesen in etwa die Hintergrundbelastung repräsentierenden Wert experimentell zu bestätigen (Buhlert 2004), erfordert einen hohen analytischen Aufwand, da die Bestimmungsgrenzen für Acrylamid üblicherweise höher sind. Dies träfe bei alternativer Fütterung mit Milchleistungsfutter für die Kuh in der Provokationsstudie verstärkt zu.

Literatur

Biedermann, M., Biedermann-Brem, S., Noti, A., Grob, K., Egli, P. & Mändli, H. 2002, "Two GC-MS Methods for the Analysis of Acrylamide in Foodstuffs, Mitt. Lebensm. Hyg., vol 93, 638-652

BfR-Methode 2004,
http://www.bfr.bund.de/cms/media.php/70/bestimmung_von_acrylamid_in_festen_und_pastosen_lebensmitteln.pdf

Buhlert, J., Maier, M., Gröner, D., Flohr, G. 2004:
Bestimmung von Acrylamid in Milch, Muttermilch und Kleinkindernahrung mittels LCMS/MS. Proceedings of Deutscher Lebensmittelchemikertag (Germany, Bonn)

BVL, Acrylamid kurz und bündig 2004
http://www.bvl.bund.de/acrylamid/dl/Ergebnisuebersicht_2.pdf

Forth, W., Henschler, D., Rummel, W (ed) 1987:
Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie. (Mannheim, Wien, Zürich: Wissenschaftsverlag)

Madle, S., Broschinski, L., Mosbach-Schulz, O., Schöning, G. & Schulte, A. 2003: "Zur aktuellen Risikobewertung von Acrylamid in Lebensmitteln"
Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz , vol 46, no 5, 405–415

Ranz, D., Jezussek, M., Thielen, C., Schieberle, P. & Kienzle, E. 2003: Carry over of Acrylamide from heated potato meal into Japanese Quails-a pilot study. Proceedings of 7th (3.-4.10.2003) Conference of the European Soc. of Veterinary and Comparative Nutrition (Germany,Hannover)

Rosen, J. & Hellenas, K. E. 2002: "Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry", Analyst, vol. 127, no. 7, pp. 880-882.

Stadler, R. H., Verzeznassi, L., Varga, N., Grigorov, M., Studer, A., Riediker, S. & Schilter, B. 2003: "Formation of vinylogous compounds in model Maillard reaction systems", Chem Res Toxicol, vol. 16, no. 10, pp. 1242-1250.

Sörgel, F., Weissenbacher, R., Kinzig-Schippers, M., Hofmann, A., Illauer, M., Skott & A., Landersdorfer, C. 2002: "Acrylamide: increased concentrations in homemade food and first evidence of its variable absorption from food, variable metabolism and placental and breast milk transfer in humans", Chemotherapy, vol 48, no 6, 267-274

Takatsuki, S., Nemoto, S., Sasaki, K., & Maitani, T. 2004:
"Determination of acrylamide in processed foods by LC/MS using column switching." J. Food Hyg. Soc. Japan; vol 44, no 2, 89-95

Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S. & Tornqvist, M. 2002: "Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs", J Agric Food Chem, vol. 50, no. 17, pp. 4998-5006.

Vattem, D. & Shetty, K. 2004: "Acrylamide in food: a model for mechanism of formation and its reduction", Innovative Food Science & Emerging Technologies, vol. 4, no. 3, pp. 331-338.

Verfasser:

BfRK. Pabst¹, W. Mathar², R. Palavinkas², H. Meisel¹, A. Blüthgen¹, H. Klaffke²

¹Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel (Standort Kiel), Hermann-Weigmann-Straße 1, D 24103 Kiel

²Bundesinstitut für Risikobewertung, Thielallee 88-92, D 14195 Berlin

Danksagung

Für die äußerst sorgfältige Durchführung der Analysen bedanken wir uns sehr bei:
W. Blaas, G. Gebhardt, A. Stock und A. Thürling.