

Acrylamid – ein lohnender Fund zur Reduktion der Krebshäufigkeit?

Acrylamid entsteht in einer Vielzahl pflanzlicher Lebensmittel bei Erhitzung mit Krustenbildung und Bräunung, wie Rösti, Pommes frites, Kartoffelchips, Backwaren, Kaffee und Müesli. Es ist das wichtigste der heute bekannten Kanzerogene in Lebensmitteln und vermutlich für einen Anteil der Krebsfälle im untersten Prozentbereich verantwortlich, was die Hoffnung nährt, in Zukunft eine Anzahl Krebsfälle vermeiden zu können. Der Text beschreibt den Stand der Kenntnisse, die ausgelösten kontroversen Diskussionen um Lebensmittelsicherheit und schliesst mit einer Liste von einfachen Massnahmen, die zur Verringerung der Acrylamidgehalte umgesetzt werden sollten.

Koni Grob

Ausgangspunkt: Karzinogene Lebensmittelinhaltsstoffe

Vor bald 20 Jahren zeigten Doll und Peto (1) mit einer epidemiologischen Studie, dass mindestens 70 Prozent aller Krebsfälle vermeidbar sein sollten. Sie untersuchten die Häufigkeit der wichtigsten Krebsarten in verschiedenen Populationen der Welt und nahmen die tiefsten Fallzahlen als Mass dessen an, was erreichbar sein sollte – wären die Hintergründe einmal bekannt. Die Lebensmittel dürften dabei eine wichtige Rolle spielen, wobei offen ist, ob sie über die Belastung mit

Kanzerogenen vor allem negative oder über so genannte Antikanzerogene eher positive Einflüsse haben. Solche Befunde spornen natürlich dazu an, in unseren Lebensmitteln nach Kanzerogenen zu suchen.

Der heutige Stand des Wissens ist ernüchternd: Alle bekannten Kanzerogene in Lebensmitteln zusammengenommen (z.B. Polyaromaten, Ethylcarbamate, Nitrosamine und Mykotoxine) erklären gemäss heutiger Toxikologie nicht einmal 0,1 Prozent der Krebsfälle. Zwar ist auch Acrylamid keine Hauptursache von Krebs, könnte aber in der Schweiz immerhin jährlich für einige Hundert Fälle verantwortlich sein.

Acrylamid hat auch einer alten Vermutung Auftrieb gegeben: Nicht nur Chemikalien wie Pestizide, Konservierungsstoffe, technische Hilfsstoffe aller Art und Migrante aus Verpackungsmaterialien können toxisch ein, sondern auch Inhaltsstoffe der Lebensmittel selber. Natürlich ist bekannt, dass viele Pflanzen (und Pilze) giftig sind. Zudem haben wir unsere Lebensmittel fast nur auf mehr oder weniger akute Toxizität getestet (Bauchweh am folgenden Morgen?). Von einigen ist heute bekannt, dass sie potente Karzinogene enthalten (z.B. Methyleugenol, Isothiocyanate). Nun wurde eine toxische Substanz gefunden, die sich in der wilden und unkontrollierten Chemie bildet, die beim Erhitzen von Lebensmitteln abläuft und in der Natur nicht vorkommt.

Toxizität von Acrylamid

Die Toxizität von Acrylamid, eine im Grossmassstab eingesetzte Chemikalie, ist besser untersucht als jene vieler anderer Substanzen, für die wir längst harte gesetzliche Massnahmen durchsetzen. Acrylamid wirkt neurotoxisch. Die verursachten Lähmungen sind reversibel. Ob im Hirn oder bei der Entwicklung auch bleibende Schäden entstehen können, ist weniger klar. Über den Umweg von Blutadukten wurde abgeschätzt (2), dass der Schwellenwert (NOAEL) für Neurotoxizität im Bereich von 10–40 µg/kg Körpergewicht (KG)/Tag liegt, was bei einer

Extrembelastung, beispielsweise durch dunkle Rösti, knapp erreicht werden kann.

Die eigentlichen Bedenken betreffen aber die Gentoxizität und Karzinogenität. Acrylamid ist ein kleines, gut wasserlösliches Molekül, das sich schnell im Körper ausbreitet, leicht mit Proteinen reagiert oder innerhalb eines Tages wieder ausgeschieden wird. Ein Teil wird metabolisch zum Glycidylamid epoxidiert (auch im Menschen nachgewiesen), dessen Bindung ans Genom nachgewiesen ist.

Versuche mit Ratten und Mäusen zeigten Tumorbildung mit einem Sicherheitsabstand, der besorgniserregend gering ist. Die «Margin of Exposure» (MoE) bezeichnet die Differenz zwischen der Dosis, die in 10 Prozent der Versuchstiere Tumore auslöst und der menschlichen Belastung (3). Für die Durchschnittsbelastung (ca. 1 µg/kg KG/Tag) beträgt der Abstand 300, für eine mässig hohe Belastung (das 95. Perzentil, 4 µg/kg KG/Tag) noch 75. Beim Konsum von 250 g Rösti mit 4000 µg/kg Acrylamid durch einen 25 kg schweren Jugendlichen erreicht die Belastung allerdings 40 µg/kg KG/Tag, was zeigt, dass die extreme Belastung noch viel höher liegt. Für die «klassischen» Karzinogene, wie Benzopyren, Ethylcarbamate, Aflatoxin und Dimethylnitrosamin, liegt die MoE im Bereich von 1000 bis 10 000.

Wie bei fast allen Karzinogenen ist die Extrapolation des Krebsrisikos von der höheren Dosis im Tierversuch zur Humanbelastung unsicher (wobei im Falle des Acrylamids der Abstand relativ gering ist). Insbesondere ist nicht nachgewiesen, dass die kanzerogene Wirkung auf der Gentoxizität beruht. Bei einem solchen Zusammenhang würde von einer ungefähr linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ausgegangen, was für eine mittlere Belastung ein Risiko entsprechend etwa 0,5 Prozent aller Krebsfälle ergäbe, bei hoher Belastung einige Prozente. Diese Schätzung gilt als obere Grenze, da Reparaturmechanismen bei geringerer Belastung das Risiko verringern könnten.

Das so hergeleitete Risiko ist also mindestens 1000-mal grösser als jenes,

das von schwarz gebratenen Würsten ausgeht. Es wäre mit den Strassenverkehrsoferten vergleichbar, also einem Risiko, das mit vielen Einschränkungen und enormen finanziellen Mitteln bekämpft wird.

Emotionale Diskussion

Leider wurde die Diskussion um die Toxizität von Acrylamid von Beginn weg ungewöhnlich emotional geführt (4): Für gewisse Leute kann oder darf Acrylamid kein Risiko sein. Selbst Chefs von Gesundheitsbehörden argumentierten, dass der Mensch schon seit Tausenden von Jahren Acrylamid ausgesetzt sei. Erstens trifft dies nicht zu, weil die Hauptbelastung von den Kartoffeln und in geringerem Masse vom Kaffee stammt, die beide erst vor wenigen hundert Jahren eingeführt wurden. Zweites ist das Argument nicht stichhaltig, da die Natur bisher keine Immunität gegen genotoxische Karzinogene entwickelt hat. Beispielsweise ist der Mensch in Afrika seit sehr langer Zeit Aflatoxinen ausgesetzt und erkrankt noch immer daran. Eine solch unsachliche Haltung erschwert die Diskussion und lähmt die Durchsetzung selbst einfacher Massnahmen.

Zufallsfund

Die Entdeckung von Acrylamid in Lebensmitteln ist einer Verknüpfung von Zufällen zu verdanken, denn von einer systematischen toxikologischen Kontrolle der bei Erhitzung von Lebensmitteln entstehenden Substanzen ist man weit entfernt. Bei einem Tunnelbau in Südschweden 1997 versuchte man, mit einer Acrylamid-haltigen Dichtungsmasse den Einbruch von Wasser einzudämmen. Dabei wurde viel Acrylamid ausgeschwemmt, was Fischtod und Lähmungen bei Kühen verursachte sowie zur Frage nach der Belastung der Arbeiter führte. Wegen der schnellen Ausscheidung war eine direkte Analyse aussichtslos. Zufällig benützte aber M. Törnqvist in Stockholm seit Jahren die Analytik von Addukten an Hämoglobin für ihre Projekte. Hämoglobin bleibt rund vier Monate im Umlauf, und die Acrylamidaddukte liessen sich messen. Dabei überraschte, dass auch Personen mit Acrylamid belastet waren, die beruflich nichts damit zu tun hatten. Nach hartnäckiger Suche möglicher Belastungsquellen wurden 2001/2002 die hohen Gehalte in Kartoffelchips und einigen anderen Lebensmitteln gefunden.

Der Entstehungsprozess

Im Herbst 2002 war klar, dass Acrylamid vor allem ein Produkt der Maillard-Reaktion ist, die Tausende von Substanzen bildet. Diese sind dafür bekannt, dass sie Lebensmittel bräunen und ihnen das typische Aroma von Rösten, Braten oder Backen verleihen. Den vielen dabei ablaufenden Reaktionen ist gemeinsam, dass sie von freien Aminosäuren und reduzierendem Zucker, vor allem Glukose und Fruktose, ausgehen (normaler Zucker, d.h. die Saccharose, spielt keine Rolle). Acrylamid entsteht aus der Aminosäure Asparagin (siehe *Abbildung 1*), die nach einer Reaktion des Amins mit Glukose oder Fruktose decarboxyliert wird. Die Doppelbindung bildet sich über die Elimination des Amins.

Daraus ergibt sich Folgendes:

■ Acrylamid bildet sich vor allem in jenen Lebensmitteln, die viel Asparagin und reduzierenden Zucker enthalten. Kartoffeln enthalten viel Asparagin (1–2% bezüglich Trockenmasse). Die Acrylamidbildung kann aber in Schranken gehalten werden, wenn der Gehalt an Glukose und Fruktose gering ist (siehe unten). Bei Süssgebäck mit Honig und Invertzucker (weitgehend Glukose und Fruktose), zum Beispiel Lebkuchen, ist die Situation umgekehrt: Wenig Asparagin steht viel reduzierendem Zucker gegenüber.

■ Aus bis anhin unbekanntem Gründen erhöhen basische Ammoniumsalze die Ausbeute der Acrylamidbildung aus Asparagin vom Bereich einiger Promille in die Prozente. Aus dem gleichen Ausgangsmaterial entsteht also 3- bis 20-mal mehr Acrylamid (5). Wichtig ist hier das als Triebmittel für Backwaren verwendete Ammoniumkarbonat (Hirschhornsalz).

■ Die Maillard-Reaktion läuft nur in trockenem Material ab, das heisst in Krusten. Selbst im Dampfkochtopf bei zirka 120 °C gekochte Kartoffeln enthalten fast kein Acrylamid, gebratene oder frittierte Kartoffeln aber viel, sobald sich durch Wasserabdampfung eine Kruste gebildet hat.

■ Bei höherer Temperatur und längerer Erhitzung entsteht mehr Acrylamid, bis zum Punkt, wo die Elimination (Weiterreaktion) schneller wird als die Neubildung. In der Realität wird dieser Punkt allerdings nur beim Kaffee erreicht: stärker gerösteter Kaffee enthält weniger Acrylamid.

Der Acrylamidbildung kann quasi zugeschaut werden, da sie mit der Bräunung einhergeht. Allerdings ist die Bräunung nicht über verschiedene Lebensmittel vergleichbar, da sie auch aus anderen Aminosäuren entsteht. So enthält ein schwarzes Bürli rund 100 Mal weniger Acrylamid als eine braune Rösti.

Dieses kohärente und plausible Bild weist eine bis anhin ungeklärte Lücke auf: Sterilisierte schwarze Oliven enthalten viel Acrylamid, obwohl die vorgängige lange Lagerung in Salzlake das Asparagin und die Zucker praktisch vollständig extrahiert hat und sich auch keine Kruste bildet.

Gehalte in Lebensmitteln

Tabelle 1 listet die wichtigsten belasteten Lebensmittel auf. Die Gehalte schwanken oft stark, weil die Rohstoffe keine konstante Zusammensetzung aufweisen und die Zubereitung variiert. Die angegebenen Bereiche erfassen nicht die Extremwerte, sondern Eckwerte, die typisch sind. Grosse Datentabellen finden sich unter (6, 7).

Die Einschätzung, welche Konzentration als hoch gelten soll, hängt von der Risikobewertung ab. Vielleicht hilft die Aussage, dass für direkte Krebserreger bisher eine Konzentration über 1 µg/kg als kritisch eingestuft wurde.

Kartoffelprodukte

Da rund die Hälfte der freien Aminosäuren der Kartoffel aus Asparagin besteht, steigt der Acrylamidgehalt schon bei geringer Bräunung schnell an.

■ Eine qualitativ gute Rösti aus geeigneten Kartoffeln und optimaler Zubereitung enthält 150–400 µg/kg Acryl-

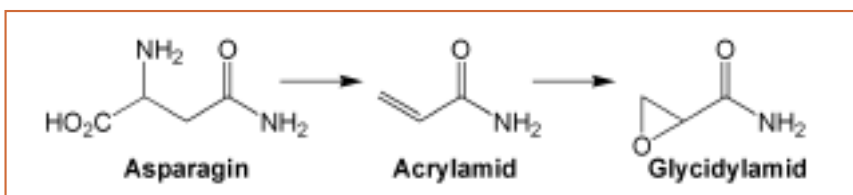


Abbildung 1: Bildung von Acrylamid aus Asparagin im erhitzten Lebensmittel und metabolische Epoxydierung zum Glycidylamid.

amid. Der Gehalt steigt aber schnell über 1000 µg/kg und kann auch 5000 µg/kg erreichen.

■ Pommes frites mit geringer Bräunung an den Spitzen enthalten 50–100 µg/kg Acrylamid, braune im Bereich von 1000 µg/kg. Im Öl und im Ofen zubereitete Frites unterscheiden sich kaum.

■ Kartoffelchips sind besonders gefährdet, da der ganze Chip ausgetrocknet und erhitzt wird. Zudem bezieht sich der Gehalt wegen der praktisch vollständigen Wasserverdampfung quasi auf das Konzentrat. Zu Hause aus normalen Kartoffeln hergestellte Chips enthalten 3000–10 000 µg/kg Acrylamid. Es ist der seit Langem auf geringe Bräunung optimierten Wahl von Kartoffeln (Sorte, Lagerung) zu verdanken, dass die durchschnittlichen Gehalte in der Schweiz heute etwas unter 500 µg/kg liegen.

■ Gratin enthält wenig Acrylamid, weil die Bräunung weitgehend im Aufguss erfolgt, der nicht zur Acrylamidbildung neigt. Dasselbe gilt für Kroketten mit eihaltiger Panade (8).

aber meistens unter 50 µg/kg. Die freien Aminosäuren befinden sich vor allem im äusseren Teil des Korns, dunkles Mehl bildet also mehr Acrylamid als weisses.

Für Gehalte über 100 µg/kg sind spezielle Gründe nötig:

■ Knäckebrot kann bis zu 1000 µg/kg erreichen, weil es hochoverhitzt wird.

■ Toasten erhöht den Acrylamidgehalt. Wie der Zwieback zeigt, bleibt der Gehalt aber tief, wenn dies vorsichtig geschieht.

■ Das Triebmittel Ammoniumkarbonat (Hirschhornsalz, E 503) erhöht die Acrylamidbildung auf ein Mehrfaches.

■ Die ungünstigen Faktoren werden akkumuliert, wenn Ammoniumkarbonat mit Fruktose/Glukose (Honig, Invertzucker) kombiniert wird, wie in manchem braunem Gebäck, beispielsweise Lackerli oder Lebkuchen.

■ Müesli (für das Frühstück oder als Stängel) enthält oft Bestandteile, die wegen der besseren Verdaubarkeit erhitzt werden müssen.

Nudeln sind praktisch frei von Acrylamid, weil sie wenig Asparagin und reduzierende Zucker enthalten und schonend bei mässigen Temperaturen getrocknet werden.

Weitere Produkte

Kaffee und in geringerer Masse Kakao (Schokolade) sind acrylamidhaltig, weil die Bohnen geröstet werden. Kaffeeersatz bildet rund 5-mal mehr als echter Kaffee. Manche geröstete oder überbackene Gemüse bilden Acrylamid, wobei geröstete Zwiebeln am ehesten relevant sind.

Geröstetes Fleisch und Fisch bilden kaum Acrylamid. Zudem ist die Elimination (wohl durch Bindung an Proteine) derart schnell, dass selbst zugefügtes Acrylamid rasch verschwindet.

Die quantitativ wichtigsten Quellen

Das Gesundheitsrisiko ergibt sich aus der totalen Acrylamidaufnahme. Beispielsweise wird hochbelastete Rösti erst dann zum Risiko, wenn sie häufig oder kombiniert mit anderen stark acrylamidhaltigen Lebensmitteln gegessen wird. Nicht zu vergessen ist, dass bereits ein mittlerer Raucher mindestens so viel Acrylamid inhaliert, wie er durch die Nahrung aufnimmt.

Für die Neurotoxizität kann eine sehr hohe kurzfristige Belastung von

Bedeutung sein, für die kanzerogene Wirkung aber nur das mehrjährige Total. Eine extrem belastete Mahlzeit verursacht also noch lange keinen Krebs.

Die Relevanz eines belasteten Lebensmittels ergibt sich aus der Kombination von Gehalt und Verzehrsmenge: Beispielsweise trägt für fast alle Personen hochbelastete geröstete Zwiebel weniger bei als Brot, auch wenn dieses viel weniger Acrylamid enthält.

Modellrechnungen

Aus Ernährungsstatistiken lässt sich kaum ein anregendes Bild der Situation zeichnen. Deswegen werden hier Szenarien von hohem Konsum der kritischen Produkte vorgestellt. Der Leser mag sich selber ein Urteil über die Konsummengen und -häufigkeit bilden. Natürlich ist nicht anzunehmen, dass eine Person die angeführten hohen Belastungen kombiniert.

Wie *Tabelle 2* zeigt, enthält mässig starker Kaffee 20 µg/kg Acrylamid, eine Tasse (100 g) also etwa 2 µg. Wenn täglich vier Tassen konsumiert werden, ergibt sich daraus eine Belastung von 8 µg/Tag. Drei Scheiben Brot (150 g) mit 30 µg/kg Acrylamid tragen zirka 5 µg/Tag zur täglichen Gesamtbelastung bei, drei Scheiben Knäckebrot zirka 12 µg, 50 g zum Frühstück in die Milch oder ins Joghurt gemischtes Müesli 15 µg/Tag.

Wenn jemand mässig dunkle Rösti (2000 µg/kg Acrylamid) schätzt und an jedem dritten Tag eine Normalportion von 250 g isst, wird er durchschnittlich mit 150 µg Acrylamid pro Tag belastet, was beispielsweise 75 Tassen Kaffee entspräche und alle oben erwähnten Belastungen bedeutungslos werden lässt. Eine einzige dunkle Rösti (4000 µg/kg, d.h. 1000 µg Acrylamid auf dem Teller) enthält mehr, als manche über einen ganzen Monat zu sich nehmen. Wenn jemand alle drei Wochen einmal Rösti im Restaurant konsumiert (typischerweise zirka 1000–1500 µg/kg), erreicht der Beitrag noch 15 µg/Tag, was bei regelmässigem Konsum von Pommes frites und Chips nicht mehr ins Gewicht fällt, sonst aber immer noch die Hälfte der Totalbelastung ausmachen kann. Bratkartoffeln in Deutschland enthalten etwas weniger Acrylamid, aber im Nordosten wird verbreitet mindestens einmal täglich davon gegessen, was eine mindestens ähnlich hohe Belastung ergibt.

Eine Portion mässig gebräunte Pom-

Tabelle 1:
Typische Acrylamidgehalte
in Lebensmitteln

Produkt	Acrylamid (µg/kg)
Kartoffelprodukte	
Rösti	150–3000
Pommes frites	70–500
Chips	300–1000
Gratin	50
Backwaren	
Brot	20–50
Brauner Toast	250
Knäckebrot	200–800
Zwieback	20–40
Pumpernickel	100–250
Lebkuchen	300–1300
Apéro-Gebäck	50–700
Weihnachtsgebäck	10–100
Müeslimischungen	10–300
Kaffeepulver	200–600
Gebratenes Gemüse	100–3000

Getreideprodukte

Mehl enthält etwa 50-mal weniger Asparagin als Kartoffeln, und der Anteil des Asparagins an den freien Aminosäuren ist geringer, das heisst, selbst bei dunkler Farbe sind die Acrylamidgehalte tiefer. In dunkler Brotkruste überschreiten sie oft 100 µg/kg, auf das ganze Brot bezogen bleiben sie

mes frites enthält rund 100 µg Acrylamid. Fünf Portionen pro Woche ergeben eine mittlere Belastung von 70 µg/Tag. Wer jeden zweiten Tag einen grossen Sack Kartoffelchips mit 700 µg/kg Acrylamid verzehrt, isst letztlich mehr Kartoffeln als der Röstiesser (Chips enthalten kein Wasser), kommt aber auch dann erst auf einen Viertel seiner Belastung.

Es fällt schwer, ein aussagekräftiges Bild zum Gebäck zu zeichnen. Lebkuchen enthält im Durchschnitt mehr als 600 µg/kg Acrylamid, wird aber nur um Weihnachten gegessen. Biberli und Läckerli enthalten meistens weniger. Die Annahme, dass jemand täglich 50 g mit durchschnittlich 600 µg/kg Acrylamid belastetes Gebäck verzehrt, ist eher hoch gegriffen und zeigt, dass Gebäck für kaum jemanden die dominante Quelle darstellt.

Verringerungsmöglichkeiten

Weltweit setzen die Behörden darauf, die Belastung durch Verringerung der Acrylamidbildung in den Risikoprodukten zu reduzieren, statt vom Konsum abzuraten. Wenn Produkte in den Bereich des Verbotenen gerückt werden, vergrössert sich oft deren Attraktivität. Zudem rechtfertigt das Risiko so drastische Empfehlungen kaum (das Krebsrisiko ist mindestens 10-mal geringer als das des Rauchens). Die Möglichkeiten zur Verringerung der Acrylamidbildung müssen für jedes Produkt untersucht werden. Dabei darf weder die Qualität des Produktes vermindert noch ein anderes Risiko vergrössert werden.

Geröstete Kartoffeln

Für die gerösteten Kartoffeln ist das Verbesserungspotenzial gross und



Abbildung 2:

Im Labor erzeugte Rösti zur Illustration der Bedeutung der reduzierenden Zucker. Ein Posten Knollen der Sorte Agria wurde halbiert: Die eine Hälfte wurde bei ca. 10 °C gelagert, die andere im Kühlraum bei 4 °C. Nach ca. 3 Wochen enthielten die bei 10 °C gelagerten Knollen 0,2 g/kg Glukose und Fruktose, die kalt gelagerten 3,2 g/kg. Die beiden wurden getrennt gekocht, am folgenden Tag geräffelt, in der Bratpfanne wieder zusammengefügt und gemeinsam nach Regeln minimaler Acrylamidbildung bis zur Knusprigkeit geröstet. Die linke Hälfte wurde nur wenig gebräunt (sehr wenig Zucker), enthielt aber auch nur 120 µg/kg Acrylamid, die rechte war stärker gebräunt und enthielt 1100 µg/kg Acrylamid.

wurde in einer Zusammenarbeit zwischen Köchen der Hotelfachschule Belvoirpark Zürich und Analytikern des Kantonalen Labors Zürich eingehend studiert (9). Der Asparagingehalt der Kartoffel variiert wenig und ist auch nicht in kurzer Zeit durch züchterische Massnahmen beeinflussbar (Asparagin dient der Kartoffel zur Speicherung von Stickstoff). Andererseits schwanken die Gehalte an reduzierendem Zucker im Bereich von 0,1 bis 15 g/kg Frischgewicht. Bei gleichen Bratbedingungen ist die Acrylamidbildung proportional zum Zucker (10), variiert also ebenfalls um zwei Zehnerpotenzen. Deswegen sind es die Zuckergehalte, die unter Kontrolle gehalten werden müssen.

Ein geeigneter Zuckergehalt hat allerdings nicht nur mit Acrylamidbildung, sondern auch mit kulinarischer Qualität zu tun: Bei hohem Gehalt ist die Bräunung derart schnell, dass die Rösti aus der Pfanne geholt werden muss, bevor sie knusprig ist und eher einem leicht bitter schmeckenden Kartoffelbrei entspricht. Umgekehrt bräunt eine Rösti aus zuckerarmen Kartoffeln sehr langsam, und im

Extremfall erhält man getrocknete Kartoffeln ohne viel Röstaroma.

Als Richtgrössen (10) zeigte sich, dass die Qualität der Rösti leidet, wenn die Kartoffel weniger als 0,3 g/kg reduzierenden Zucker enthält. Andererseits bleibt bei einem Gehalt von 1 g/kg die Acrylamidbildung in einer guten, knusprigen Rösti nur dann knapp unter 500 µg/kg, wenn sorgfältig nach gewissen Regeln gebraten wird. Die untere Grenze wird bei normalen Konsumkartoffeln selten unterschritten (am ehesten kurz nach der Ernte), die obere aber leicht.

Das Schweizer Kompetenzzentrum für Kartoffeln ist die Agroscope Reckenholz (11). Der Gehalt an reduzierendem Zucker hängt zuerst einmal von der Sorte ab, wobei die Mehrzahl der wichtigen Sorten die 1 g/kg weit unterschreiten, so beispielsweise Agria, Victoria, Bintje und Charlotte. Schwieriger ist es, bei der Lagerung einen Anstieg zu vermeiden. Seit nicht allzu langer Zeit werden Kartoffeln bei 4 °C gelagert, was die Knollen frisch hält und bei den meisten Sorten die Keimung über lange Zeit unterdrückt. Allerdings baut die Knolle Stärke zu Fruktose und Glukose ab (um sich gegen Frost zu schützen) und lässt die Gehalte auch der ursprünglich zuckerarmen Sorten drastisch auf 5–15 g/kg steigen.

Seit 2004 bieten die meisten Grossverteiler Kartoffeln an, die als «geeignet für Rösti und Pommes frites» beschrieben sind (roter Sack bei Coop, blauer mit entsprechender Kennzeichnung bei Migros). Deren Zuckergehalt liegt um einen Faktor 5 tiefer als bei den übrigen, was zu etwa 5-mal weniger Acrylamid führt, wenn die Rösti gleich zubereitet wird.

Auch die Zubereitung kann so optimiert werden, dass der Acrylamidgehalt auf einen Bruchteil sinkt – oft

Tabelle 2:
Modellrechnungen zu hohem Konsum kritischer Lebensmittel

Portion (g)	Lebensmittel	Acrylamid		Anzahl Portionen pro Tag	Exposition (µg/Tag)
		Konzentration (µg/kg)	Gehalt (µg)		
100	Kaffee	20	2	4	8
50	Scheibe Brot	30	5	3	5
10	Scheibe Knäckebrötli	400	12	3	12
50	Müesli	300	15	1	15
250	Rösti	2000	500	0,3	150
200	Pommes frites	500	100	0,7	70
100	Kartoffelchips	700	70	0,5	35
50	Gebäck	600	30	1	30



Abbildung 3:
Kartoffeln mit wenig reduzierendem Zucker für die Zubereitung gerösteter und frittierter Produkte (Farben von Coop). Wenig Zucker schadet auch für andere Anwendungen nicht, insbesondere nicht für Gschwellli, wenn die Reste später zu Rösti verarbeitet werden.

verbunden mit besserer Qualität. Die Rösti soll knusprig und gleichmässig hellbraun sein. Eine Anleitung dazu ist in (9) beschrieben.

Pommes frites

Auch bei Pommes frites ist eine starke Verbesserung möglich, wiederum verbunden mit einer reduzierten Bräunung. Ziel ist ein knuspriger Stängel mit leicht gebräunten Spitzen, die das Aroma beisteuern. Auch diese Optimierung erfolgte in Zusammenarbeit mit der Hotelfachschule Belvoirpark (12–14).

Entscheidend sind wiederum Kartoffelstängel mit wenig reduzierendem Zucker. Da die meisten Pommes frites aus vorgefertigten Stängeln zubereitet werden, liegt es an deren Herstellern, geeignete Sorten zu wählen und die Knollen nicht zu kalt zu lagern (normal sind 9–10 °C, was aber bedeutet, dass nur bis in den späten Winter produziert werden kann). Als Regel sollte der Zuckergehalt unter 0,7 g/kg bleiben (15).

Für die Zubereitung ist die Temperatur des Öls oder des Backofens wichtig: Die Acrylamidbildung steigt mit der Temperatur stark an. Wie die *Abbildung 4* zeigt, bildet sich das Acrylamid erst gegen Ende des Prozesses, näm-

lich in der ausgetrockneten Kruste. Entsprechend ist nicht die Anfangstemperatur wichtig, sondern jene der letzten 1 bis 2 Minuten. Dieser Unterschied ist beim Frittieren im Öl relevant, weil die Kartoffelstängel das Öl kräftig abkühlen, abhängig von der Menge Stängel und der Heizleistung der Friteuse. Eine Öltemperatur unter 140 °C sollte vermieden werden, da sich Kruste und Aroma nur unbefriedigend ausbilden und die Stängel mehr Öl aufnehmen (16). Die Anfangstemperatur sollte aus Qualitätsgründen mindestens 170 °C erreichen, darf aber höher sein, wenn sie anschliessend durch die Abkühlung auf zirka 150 °C sinkt. Leider sind die heutigen Friteusen nicht so gebaut, dass sich die Temperatur gegen Ende steuern lässt.

Backwaren

Mit Ausnahme des Knäckebrots ist bei allen Backwaren mit hohem Acrylamidgehalt das Ammoniumkarbonat mitverantwortlich und sollte deswegen durch ein anderes Triebmittel ersetzt werden. Zu diesem Thema ist an der ETH Zürich viel Arbeit geleistet worden (17, 18). In einigen Produkten ist ein solcher Ersatz ziemlich problemlos, in anderen werden aber wichtige Eigenschaften verändert: Die Bräu-

nung ist schwach, das Produkt zerfließt wegen vorzeitiger Wirkung des Triebmittels, oder das Aroma entspricht nicht mehr der Erwartung.

Das Enzym Asparaginase könnte das Asparagin im Mehl zu Asparaginsäure umsetzen und so die Acrylamidbildung grundsätzlich unterbinden. Dieser Ansatz ist allerdings noch weit von der kommerziellen Anwendung entfernt. Für Kartoffelprodukte ist er nicht praktikabel, weil das Enzym nicht durch die Zellwände geschleust werden kann.

Entwicklung in der Schweiz

In den Jahren 2002 und 2003 wurde regelmässig über Acrylamid informiert, einschliesslich Empfehlungen, wie die Bildung vermindert werden kann. Im Herbst 2003 führte das Kantonale Labor Zürich mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) das Pilotprojekt «STOP.Acrylamid» durch, das sich an alle Zürcher Gastronomiebetriebe richtete. Diese wurden zusammen mit Hintergrundinformationen eingeladen, qualitativ gute Pommes frites mit wenig Acrylamid zuzubereiten und zur Analyse einzusenden. Die 157 erhaltenen Proben enthielten in der Tat viel weniger Acrylamid, was bewies, dass dies in der Praxis machbar ist (19). Das Echo war gross, und die Wirkung ist bis heute an den helleren Pommes frites abzulesen.

Leider wurde das Projekt nie landesweit umgesetzt. Das BAG veröffentlichte am 18. Februar 2004 eine Einschätzung, welche die Presse als Entwarnung aufnahm. Als wichtigstes Argument wurden epidemiologische Studien angeführt, die keinen Zusammenhang zwischen Acrylamidbelastung und Krebsinzidenz fanden (20, 21). An Krebs erkrankte und gesunde Personen wurden über ihre Verzehrsgewohnheiten befragt. Die Unsicherheit in der Datenerhebung ist allerdings gross, weil die Verzehrsmengen über die letzten vielen Jahre und der Gehalt an Acrylamid in den entsprechenden Produkten nur ungenau abzuschätzen sind. Diese Studien können Acrylamid als Hauptverursacher von Krebs ausschliessen, sind aber nicht dazu geeignet, das toxikologisch abgeschätzte Risiko zu überprüfen (22). Damit wurde die Sache in einen emotional gefärbten Strudel gerissen, der die Initiativen versanden liess.

Glücklicherweise befasste sich Swisspatat schon im Jahr 2003 mit der Ver-

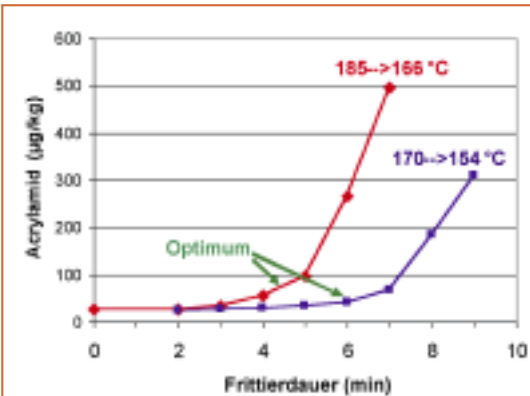


Abbildung 4:
Beim Frittieren von Pommes frites in Öl entsteht das Acrylamid nach der Krustenbildung gegen Ende des Prozesses. Die Anfangsgehalte (ca. 25 µg/kg) stammen von der Vorfrittierung aus der Herstellung des tiefgekühlten Vorprodukts. Bei einer Anfangstemperatur von 185 °C und einer Abkühlung auf 166 °C bildete sich in den hier verwendeten Stängeln mit 0,6 g/kg reduzierendem Zucker nach ca. 4,5 min (optimales Produkt) 80 µg/kg Acrylamid. Auch das nach 7 min erhaltene,

deutlich braune Produkt würde oft noch serviert, enthält aber 500 µg/kg Acrylamid. Bei 170 °C Anfangstemperatur und einer Abkühlung auf 154 °C wurde nach 6 min ein vergleichbares, ebenfalls gutes Produkt erhalten, das aber nur 42 µg/kg Acrylamid enthielt.

marktung von zuckerarmen Frischkartoffeln und setzte diese im Herbst 2004 zuerst einmal mit Migros und Coop um (23). Dabei mussten vor allem Probleme der wärmeren Lagerung gelöst werden. Diese auf freiwilliger Basis erreichte und für die Acrylamidminimierung wichtige Errungenschaft findet im Ausland viel Anerkennung, wurde aber bisher in keinem anderen Land umgesetzt.

Anfang März 2005 veröffentlichte die WHO eine neue Beurteilung von Acrylamid (24, 25). Sie bestätigte jene aus dem Jahr 2002 und kam zum Schluss, dass die nationalen Gesundheitsbehörden zum präventiven Gesundheitsschutz die Industrie dazu «drängen» sollen, die Acrylamidbildung in ihren Produkten zu vermindern. Mit Empfehlungen an die Gastronomie und die Haushalte sollen sie zudem dafür sorgen, dass sich im Kochprozess weniger Acrylamid bildet. Die European Food Safety Authority (EFSA) schloss sich dieser Beurteilung an.

Trotzdem sind die Anstrengungen erlahmt. Manche Produzenten haben verbesserte Rezepte in der Schublade, warten aber auf klarere Signale der Behörden, bevor sie diese in die Praxis umsetzen. Im Herbst 2005 ging durch die Medien, dass das Kantonale Labor Zürich den Verkauf eines Kleinkinderbiscuits mit hohem Acrylamidgehalt stoppte. Allerdings sind solche Massnahmen nur in Extremfällen möglich, da spezifische gesetzliche Grundlagen zu Acrylamid fehlen.

Stand weltweit

Trotz hoher Priorität, die Expertengremien der Belastungsverminderung beimessen, sind nur in Deutschland staatliche Massnahmen umgesetzt worden: Für die wichtigsten Produktgruppen wurden «Signalwerte» eingeführt, um auf die Hersteller der am höchsten mit Acrylamid belasteten Produkte Druck auszuüben (26), allerdings ohne harte Massnahmen zu ergreifen.

In der EU wurden Meetings von Mitgliedsländern abgehalten, die vor allem dem Informationsaustausch dienen. Die Kommission lancierte ein Grossprojekt (Heatox), das im Februar 2007 zum Abschluss kommt. Am Meeting der Projektteilnehmer im Juni in Graz wurde wieder festgestellt, dass Krebsrisiken nur mit grosser Unsicherheit quantifizierbar sind, aber aufgrund der wissenschaftlichen Daten vorsorgli-

che Massnahmen ergriffen werden sollten. Wie so oft erzeugte die Arbeit zu den Verbesserungsansätzen ein hochkomplexes Bild, ohne aber über die oben gelisteten Möglichkeiten hinauszugehen.

Die Lebensmittelindustrie und ihr wichtigster europäischer Verband, die CIAA, unternahmen grosse Anstrengungen, Wege zur Senkung der Acrylamidbildung zu finden (27). Sie entwickelten eine «Toolbox» (Werkzeugkasten), welche für die verschiedensten Produkte Mittel bereithält. Damit wollen sie aber auch verhindern, dass die Behörden Massnahmen ergreifen. Die fehlenden Massnahmen bewirken nun wiederum, dass die Motivation zur Umsetzung der Toolbox nachlässt (vielleicht ähnlich den Aufrufen, freiwillig Energie zu sparen). Spätestens wenn es um die Vermarktung verteuender Massnahmen geht, wie beispielsweise die Verwendung von Asparaginase, werden dann allerdings auch gewisse Hersteller auf staatliche Regelungen drängen.

In den USA blockiert ein gerichtlicher Streit die Aktivitäten: In Kalifornien will die «Proposition 65», dass alle Lebensmittel, die krebserregende Substanzen enthalten, analog zu den Zigaretten mit einer Warnung versehen sind. Das würde die Pommes frites und manche andere Produkte betreffen.

Staatliche Massnahmen?

Acrylamid stellt unsere strengen Massstäbe für die Lebensmittelsicherheit infrage, denn manche Behörden sind der Meinung, dass bezüglich Acrylamid keine Massnahmen getroffen werden sollten. Argumente wie: «Es gibt noch grössere Risiken», «Wir sterben ohnehin» oder «Wir wollen uns die dunkle Rösti nicht vermiesen lassen» dominieren. Dann müssten allerdings auch alle bisherigen Regelungen überprüft werden.

Bisher galt für lebensmittelrechtliche Regelungen von Kanzerogenen ein (fast immer aus dem Tierversuch linear abgeleitetes) Risiko von einem Krebsfall pro 100 000 oder 1 000 000 Personen als tolerierbares Maximum. Ein Beispiel: Bei einem Benzpyren-Gehalt von 1–2 µg/kg in Olivenöl wurde ein Risiko in der Grössenordnung eines jährlichen Krebsfalles in Italien abgeschätzt. Der daraus abgeleitete Grenzwert bedeutet für die Praxis, dass die Olivenbauern die abgeschnittenen Äste nicht mehr im Olivenhain ver-

brennen können. Die Äste herauszuziehen ist eine beschwerliche Arbeit, die aber damals (vor Bekanntwerden von Acrylamid) bei solchem Risiko als zumutbar und unumgänglich eingestuft wurde.

Falls für Acrylamid ein Risiko von einigen tausend jährlichen Krebsfällen in Italien tatenlos hingenommen würde, könnten auch die Olivenbauern wieder die Äste im Hain verbrennen. Dann dürften die Hersteller von Lebensmittelverpackungen auch giftigere Substanzen verwenden, und die Aflatoxin-haltigen Pistazien sowie das Bier aus direkt gedarrtem Malz (Dimethylnitrosamin) wären auch keine Probleme mehr.

Die Diskussion über akzeptierbare Risiken muss geführt werden. Sie wird aber lange dauern und sollte uns nicht ausgerechnet bei einem grossen Risiko daran hindern, Verminderungen durchzusetzen – insbesondere wenn diese relativ einfach zu erreichen sind.

Welche Massnahmen?

Gesetzliche Grenzwerte für Acrylamid in den fertigen Produkten sind aus mindestens zwei Gründen problematisch.

1. Für das üblicherweise tolerierte Risiko (1 pro 100 000 oder 1 000 000) müssten sie im Bereich von 1 µg/kg liegen, was aber von vielen Grundlebensmitteln nicht einzuhalten ist (auch nicht vom Brot). Also müssten die Grenzen viel höher gelegt werden. Damit würde der Staat jedoch höhere Risiken legitimieren, denn Gehalte unter dem Grenzwert sind erlaubt und müssen nicht weiter gesenkt werden, selbst wenn dies technisch möglich ist.
2. In Haushalten gelten Grenzwerte nicht, und im Gastgewerbe sowie in kleineren Betrieben (z.B. Bäckereien) sind sie kaum durchsetzbar. In der Schweiz gibt es schätzungsweise 50 000 professionelle Zubereiter von Pommes frites (von denen längst nicht alle eine Landessprache verstehen) und eine grosse Zahl Bäcker, die eine Vielfalt belasteter Backwaren herstellen. Sie zu erreichen wäre schwierig. Zudem müssten sie zur Einhaltung eines Grenzwertes ihre Produkte immer wieder analysieren lassen, was zu Millionen von Analysen führen würde – eine Analyse kostet heute rund 300 Franken.

Die Lebensmittelbehörden verwenden neben der toxikologischen Risikoabschätzung auch das ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable – «so tief wie mit vernünftigen Mitteln

erreichbar»). Es wird dort eingesetzt, wo die Möglichkeiten beschränkt sind, ein Risiko auf ein vernachlässigbares Niveau zu reduzieren. Dieser pragmatische Ansatz wird von den Experten auch für das Acrylamid gefordert. Regelungen müssen zudem nicht Acrylamid direkt betreffen. Sie sollten möglichst zentral greifen, damit sie einfach umzusetzen sind. Aus der obigen Risikoanalyse ergeben sich folgende Vorschläge:

1. Für die gerösteten Kartoffelprodukte wird die grösste Wirkung durch die Versorgung mit zuckerarmen Kartoffeln erzielt – was in der Schweiz erfolgreich angelaufen ist. Es bestehen allerdings noch Lücken: Im letzten Winter hielten sich nicht alle Lebensmittelverteiler daran, und eine entsprechende Versorgung der Restaurants ist nicht in Sicht. Schliesslich sind die Konsumenten ungenügend informiert.

2. Ein tiefer Gehalt an reduzierendem Zucker ist die Voraussetzung für knusprige Pommes frites mit geringem Acrylamidgehalt. Durch eine Limite für diese Zucker würde automatisch auch dem Zusatz von Glukose zur stärkeren Bräunung (in der Schweiz selten), der Zugabe von Gewürzen in Glukose als Matrix und der Verwendung von sogenannten «Frischprodukten», die bei der Lagerung im Kühlschrank Zucker freisetzen, ein Riegel vorgehoben.

3. Für das optimale Frittieren im Öl sollte eine relativ hohe Anfangstemperatur für das Frittiergut in den Bereich von 145–155 °C abgesenkt werden. Friteusen mit einer aktiven Steuerung der Endtemperatur sind machbar, werden aber erst entwickelt, wenn die Behörden solche auch einfordern.

4. Für die Kartoffelchips ist das Verbesserungspotenzial beschränkt. Der weit aus grösste Schweizer Hersteller legte seine Bemühungen regelmässig offen. Daraus ist ersichtlich, dass gemäss heutigem Wissensstand keine weitere Senkung realisierbar ist, ohne das Produkt wesentlich zu verändern. Die Frage bleibt, wie mit gewissen Konkurrenzprodukten mit substantiell höheren Acrylamidgehalten verfahren werden soll.

5. Im Bereich der Backwaren ist der Ersatz von Ammoniumkarbonat von zentraler Bedeutung. Die Verwendung dieses Triebmittels könnte für gewisse Backwaren unterbunden werden. Für andere sind allerdings noch keine Alternativen bereit.

Die beschriebenen fünf Massnah-

men bedeuten nicht unbedingt gesetzliche Restriktionen: Wenn alle zuständigen Stellen sich freiwillig in ausreichendem Masse einsetzen, genügt eine transparente Arbeit. Die Behörden müssen allerdings klar kommunizieren, dass diese Massnahmen gefordert sind und notfalls mit Gesetzen durchgesetzt werden.

Abgeschätzte Wirkung dieser Massnahmen

Die Wirkung solcher Massnahmen hängt von den Konsumgewohnheiten ab und lässt sich deswegen wiederum am besten in Modellen darstellen. *Abbildung 5* geht von der *Tabelle 2* aus, die Annahmen für hohen Konsum von Schlüsselprodukten vorschlug, zum Beispiel 3 Portionen Rösti oder 5 Portionen Pommes frites pro Woche, 50 g Chips pro Tag. Zusätzlich wird angenommen, dass alle einen Zehntel dieses Grosskonsums verzehren, also monatlich einmal Rösti, 2 Portionen Pommes frites und 150 g Chips. Schliesslich bestehe eine momentan nicht veränderbare Grundbelastung von 15 µg/Tag, was Kaffee, Brot und andere kleinere Beiträge umfasst. Für die Acrylamidgehalte wird eine Senkung vom Ausgangswert aus dem Jahr 2002 auf das heute Erreichbare angenommen (28).

Wenn der Acrylamidgehalt in Rösti von 2000 auf 300 µg/kg reduziert wird, sinkt die Belastung des grossen Röstiessers aus dieser Quelle von 150 µg/Tag auf 22,5 µg/Tag. Werden die Grundbelastung sowie die Beiträge der übrigen Risikoprodukte dazugezählt, von denen er nur einen Zehntel des hohen Konsums verzehrt, so sinkt die mittlere totale Belastung von 180 auf 40 µg/Tag, also um einen Faktor 4,5. Für den Liebhaber von Pommes frites (der auch einmal pro Monat Rösti isst) sinkt die Belastung von 107 auf

30 µg/Tag. Derjenige, der von keinem der angegebenen Produkte viel konsumiert (also nur immer den Zehntel, in der *Abbildung 5* als «Keine» bezeichnet), profitiert von einer Senkung von 46 auf 22 µg/Tag.

Dieses Modell zeigt die mit relativ einfachen Mitteln erreichbare massive Verbesserung für die heute am stärksten belasteten Personen. Aber auch für einen ausgeglichenen Konsumenten ist die Halbierung ein lohnendes Resultat.

Das Modell zeigt aber auch, dass die Bemühungen nur für die herausragenden Risikoprodukte einen namhaften Effekt auf die Gesamtbelastung haben. Ziemlich bald wird eine Sockelbelastung erreicht. Eine weitere Senkung um einen Faktor 2 könnte nur durch namhafte Verbesserungen vieler Produkte erreicht werden – auch jener, für die heute keine Strategie bekannt ist, wie etwa für den Kaffee. Für die Kartoffelprodukte wäre nochmals eine Senkung nötig, die aber nach heutigem Wissen entweder eine unrealistische Perfektion voraussetzt oder eine Einbusse an Qualität bedeutet.

Botschaft an die Ärzte?

Die «Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin» ist in erster Linie an Ärzte gerichtet. Wie sollen Ärzte auf Fragen reagieren?

Vielleicht ist es ein Glück, dass durch Acrylamid verursachte Tumore im Tierversuch ziemlich unspezifisch waren, also als solche kaum identifizierbar sind. Eine Schuldzuweisung, wie beispielsweise im Falle von Lungenkrebs und Rauchen, ist also nicht möglich.

Wenn die lineare Risikoabschätzung zutrifft und vielleicht 1 Prozent der Krebsfälle durch Acrylamid verursacht wird, bedeutet das eine Opferzahl, die nach Massnahmen ruft. Für das Indivi-

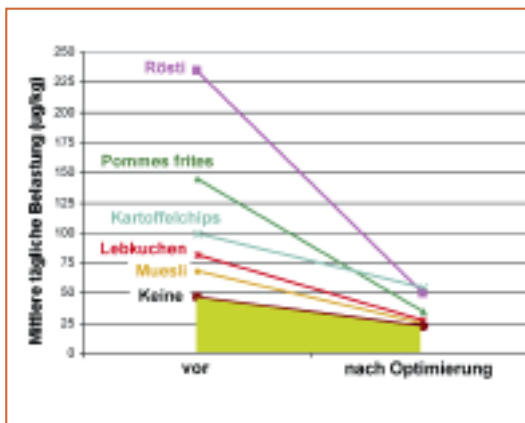


Abbildung 5: Die Reduktion der Acrylamidbelastung vom Ausgangspunkt 2002 auf das heute Machbare nach einem im Text beschriebenen Modell. «Lebkuchen» steht für die ganze Palette von ammoniumhaltigem Gebäck, «Keine» für Konsumenten, die von keinem Risikoprodukt viel essen.

duum sieht die Einschätzung aber anders aus: Im Falle einer Krebserkrankung ist diese mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht Acrylamid zuzuschreiben. Entsprechend wird der Einzelne wohl keine einschneidenden Opfer auf sich nehmen wollen. Viele Personen gehen zum Beispiel durch Übergewicht, Rauchen oder Alkohol viel grössere Risiken ein. ■

Korrespondenzadresse:

Dr. Konrad Grob
Kantonales Labor Zürich
Fehrenstrasse 15
8032 Zürich
Tel. 043-244 71 31
E-Mail: koni@grob.org

Literatur:

1. Doll R, Peto R: The causes of cancer: quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the Unites States today. *J Natl Cancer Inst* 1981; 66: 1191–1308.
2. Hagmar L, Tornqvist M, Nordander C, Rosen I, Bruze M, Kautiainen A, Magnusson AL, Malmberg B, Aprea P, Granath F, Axmon A: Health effects of occupational exposure to acrylamide using hemoglobin adducts as biomarkers of internal dose. *Scand J Work Environ Health* 2001; 27: 219–226.
3. WHO. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives sixty fourth meeting, Rome 8–17 February 2005. 7–17. 17.2.2005. www.who.int/ipcs/food/jecfa/summaries/summary_report_64_final.pdf
4. Ruden C: Acrylamide and cancer risk – expert risk assessments and the public debate. Review. *Food Chem Tox* 2004; 42: 335–349.
5. Biedermann M, Grob K: Model studies on acrylamide formation in potato, wheat flour and corn starch. *Mitt Lebensmittelunters Hyg* 2003; 94: 406–422.
6. Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM), Acrylamide Monitoring Database, laufend nachgeführt, www.irmm.jrc.be/html/activities/acrylamide/database.htm
7. US-FDA, Exploratory Data on Acrylamide in Food, www.cfsan.fda.gov/~dms/acrydata.html
8. Fiselier K, Grob K, Pfefferle A: Brown potato croquettes low in acrylamide by coating with egg/breadcrumbs. *Eur Food Res Technol* 2004; 219: 111–115.
9. Hintergründe und Tipps für eine gute und acrylamidarme Röstii. Mit Rezept. 2006, www.klzh.ch/downloads/roestirezept.pdf
10. Biedermann-Brem S, Noti A, Grob K, Imhof D, Bazzocco D, Pfefferle A: How much reducing sugar may potatoes contain to avoid excessive acrylamide formation during roasting and baking? *Eur Food Res Technol* 2003; 217: 369–373.
11. Hebeisen Th, Guthapfel N, Ballmer Th: Geeignete Kartoffelsorten vermindern Acrylamidbildung. *Agrar-Forschung* 2005; 12: 58–63.
12. .STOP.Acrylamid, Acrylamid in Pommes frites. 2003, www.klzh.ch/downloads/stop_acrylamid.pdf
13. Tipps zur Zubereitung von acrylamidarmen Pommes frites. Kurzanleitung für Zubereiter. www.klzh.ch/downloads/acrylamidarme_Pommes.pdf
14. Grob K, Biedermann M, Biedermann-Brem S, Noti A, Imhof D, Amrein Th, Pfefferle A, Baz-

- zocco D: French fries with less than 100 µg/kg acrylamide. A collaboration between cooks and analysts. *Eur Food Res Technol* 2003; 217: 185–194.
15. Fiselier K, Grob K: Legal limit for reducing sugars in prefabricates targeting 50 µg/kg acrylamide in French fries. *Eur Food Res Technol* 2005; 220: 451–458.
16. Fiselier K, Bazzocco D, Gama-Baumgartner F, Grob K: Influence of the frying temperature on acrylamide formation in French fries. *Eur Food Res Technol* 2006; 222: 414–419.
17. Vass M, Amrein TM, Schönbachler B, Escher F, Amado R: Ways to reduce the acrylamide formation in cracker products. *Czech J Food Sci* 2004; 22: 19–21.
18. Amrein TM, Schönbachler B, Escher F, Amado R: Acrylamide in Gingerbread: Critical Factors for Formation and Possible Ways for Reduction. *J Agr Food Chem* 2004; 52: 4282–4288.
19. Fiselier K, Gama-Baumgartner F, Fiscalini A, Biedermann M, Grob K, Imhof D, Beer M: Good manufacturing practice (GMP) for French fries low in acrylamide: results of a pilot project. *Mitt Lebensmittelunters Hyg* 2004; 95: 127–134.
20. Mucci LA, Dickman PW, Steinbeck G, Adami H-O, Augustsson K: Dietary acrylamide and cancer of the large bowel, kidney, and bladder: absence of an association in a population-based study in Sweden. *Brit J Canc* 2003; 88: 84–89.
21. Pelucchi C, Franceschi S, Levi F, Trichopoulos D, Borsetti D, Negri E, La Vecchia C: Fried Potatoes And Human Cancer. *Intern J Cancer* 2003; 105: 558–560.
22. Codex Alimentarius Commission, 38th Session, Discussion Paper on Acrylamide, April 2006, ftp://ftp.fao.org/codex/ccfac38/fa38_35e.pdf
23. Swisspatat: Weniger Acrylamid dank dem weltweit einzigartigen Projekt der schweizerischen Kartoffelbranche! www.kartoffel.ch/index.php?id=718
24. International Food Safety Authorities Network (INFOSAN): Acrylamide in Food is a potential health hazard. 2005; www.who.int/foodsafety/fs_management/No_02_Acrylamide_Mar05_en_rev1.pdf
25. www.who.int/mediacentre/news/notes/2005/np06/en/
26. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Acrylamid in Lebensmitteln, www.bvl.bund.de/cln_007/DE/01__Lebensmittel/03__UnerwStoffeUndOrganismen/04__Acrylamid/acrylamid__node.html_nn_n=true
27. Taeymans D, Wood J, Ashby P, Blank I, Studer A, Stadler RH, Gondé P, van Eijck P, Lalljie S, Lingnert H, Lindblom M, Matissek R, Müller D, Tallmadge D, O'Brian J, Thompson S, Silvani D, Whitmore T: A review of acrylamide: an industry perspective on research, analysis, formation, and control. *Critical Rev in Food Sci Nutr* 2004; 44: 323–347.
28. Grob K: Reduction of exposure to acrylamide: achievements, potential of optimization and problems encountered from the perspectives of a Swiss enforcement laboratory. *J. AOAC Intern* 2005; 88: 253–261.