

Kurzbericht

Acrylamid - Wissensstand zwei Jahre nach der Entdeckung

Thomas Hebeisen und Theodor Ballmer, Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich

Werner Reust und Jean-Marie Torche, Agroscope RAC, Eidgenössische Forschungsanstalt für Pflanzenbau, CH-1202 Changins

Auskünfte: Thomas Hebeisen, E-Mail: thomas.hebeisen@fal.admin.ch, Fax +41 (0)1 377 72 01, Tel. +41 (0)1 377 74 50

Die tägliche Acrylamidaufnahme der Bevölkerung aus industriell hergestellten Verarbeitungsprodukten und hoherhitzten Kartoffelgerichten kann wesentlich vermindert werden, wenn für deren Herstellung Knollenmaterial verwendet wird, welches sich durch einen geringen Gehalt an reduzierenden Zuckern auszeichnet. Dies haben Forschungsprojekte ergeben, die die Kartoffelbranche der Schweiz nach der Entdeckung von Acrylamid vor zwei Jahren initiiert hat. Geeignete Sorten wie Panda, Lady Claire, Markies und Fontane stehen der Praxis zur Verfügung und ihr Anbau wurde für die Ernte 2004 bereits ausgedehnt. Ein Angebot an wärmer gelagerten und daher zuckerärmeren Speisekartoffeln für die Herstellung von Bratgerichten wie Rösti und Bratkartoffeln wird den Restaurateuren und den Konsumenten im Herbst 2004 zur Verfügung stehen.

Im April 2002 informierte die schwedische Lebensmittelbehörde (NFA) gemeinsam mit der Universität Lund die Weltöffentlichkeit über stark erhöhte Acrylamidgehalte in verschiedenen Lebensmitteln, die gebraten, gebacken oder frittiert waren (Tareke *et al.* 2002). Acrylamid bindet sich, wie auch andere reaktive Chemikalien oder Stoffwechselmetaboliten, nach oraler, dermal oder inhalativer Aufnahme sehr rasch an das Hämoglobin der roten Blutkörperchen (Hb-Addukte). In einer Kontrollgruppe von Personen, die keinen Kontakt zu bisher bekannten Expositionsquellen hatten, konnten im Blut erhöhte Mengen an Hb-Addukten gefunden werden. Der Eintragspfad via Ernährung wurde entdeckt. Besonders hohe Belastungen mit Acrylamid wurden in stärkereichen und hoherhitzten Lebensmitteln wie Pommes Chips und Pommes frites ge-

funden. In verschiedenen Ländern wurden diese Ergebnisse bestätigt. Andere Lebensmittel wie zum Beispiel Kaffee, Kakaopulver und Knäckebrot können ebenfalls beträchtliche Konzentrationen aufweisen (Tab. 1). Bemerkenswert waren die grossen Streuungen innerhalb der selben Produktgruppe. Bisher fehlen ausreichende humantoxikologische Kenntnisse. Zusammen mit dem Fehlen einer Nachweismethodik verstärkte dies die Verunsicherung in der gesundheitlichen Beurteilung. Intensive methodische Entwicklungsarbeiten, wie zum Beispiel diejenigen des Kantonalen Labors in Zürich, sowie Ringuntersuchungen zwischen verschiedenen Labors bestätigen, dass mit gaschromatographischen und massenspektrometrischen Verfahren Acrylamid aus verschiedenen Produkten genügend gut extrahiert und auch in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen werden kann. Dies ist insbesondere für Kindernahrungsmittel erforderlich.

Bildung von Acrylamid

Acrylamid entsteht durch die thermische Zersetzung der Aminosäure Asparagin

unter Mitwirkung der reduzierenden Zucker Fruktose und Glukose ab einer Temperatur von 120°C (Stadler *et al.* 2002). Diese Zersetzung ist eine Nebenreaktion der Maillard-Reaktionen, die für die typische Bräunung sowie die Geruchs- und Geschmacksausprägung von Brat- und Röstprodukten verantwortlich sind. Je stärker die Austrocknung des Produktes ist, desto höher ist die Acrylamidbildung. Daher sind Pommes Chips zum Beispiel stärker belastet als Pommes frites. Glücklicherweise werden nur sehr geringe Asparaginmengen zersetzt, ansonsten wären die Acrylamidgehalte noch höher. Rohe oder gekochte Knollen weisen kein Acrylamid auf.

Kartoffelknollen zeichnen sich im Vergleich zum Getreidekorn durch hohe Gehalte an reduzierenden Zuckern und freien Aminosäuren aus. Die Gehalte an reduzierenden Zuckern werden durch die Sortenwahl, den Reifegrad der Knollen sowie durch die Lagerungsbedingungen bestimmt. Die Variation zwischen den Knollen ist viel grösser als bei Getreide- oder Maiskörnern, da die Knollen zu

Tab. 1. Acrylamid-Gehalte in verschiedenen Lebensmitteln (EU-Datenbank, Stand Juni 2004)

Produkte / Gerichte	Konzentrationsbereich [Min/Max, µg pro kg]	Median [µg pro kg]	Anzahl Muster
Pommes Chips	5-3770	600	569
Pommes frites	5-2228	178	741
Rösti	60-2000 ¹	450 ¹	-
Brot	50- 100 ¹	50 ¹	-
Bratkartoffeln	15-2779	492	75
Knäckebrot	5-2838	251	261
Lebkuchen	5-7834	299	414
Frühstückszerealien	5- 846	60	162
Kaffee	79- 975	264	102
Kakaopulver	102- 200 ¹	-	-

¹Werte des Bundesamts für Gesundheit BAG, Stand Oktober 2002

unterschiedlichen Zeitpunkten angelegt werden und daher physiologisch nicht gleich ausgereift sind.

Über eine Beeinflussung der freien Aminosäuren ist sehr wenig bekannt. Die beträchtlichen Unterschiede im Acrylamidgehalt zwischen den verschiedenen Verarbeitungsprodukten als auch innerhalb des selben Produktes deuten daraufhin, dass mit einem günstigen Rohstoff und angepassten Herstellungsverfahren, wie sie von den schweizerischen Verarbeitungsbetrieben geprüft und zum Teil bereits eingeführt wurden, die erhofften Verminderungen erzielt werden können.

Toxikologie von Acrylamid

Acrylamid, der Einzelbaustein des Polyacrylamids, ist bis auf geringe Mengen fest in die Makromoleküle eingebunden. Polyacrylamide werden als Verpackung- und Dichtungsmaterialien, in der Abwasserreinigung, in der Papier-, Zellstoff-, Farb- und Kosmetikherstellung in grossen Mengen eingesetzt. Bei Verpackungsmaterialien und im Trinkwasser bestehen Grenzwerte, die den Konsumenten vor der Aufnahme des Monomers Acrylamid schützen. Die internationale Agentur für Krebsforschung (IACR) beurteilte das Monomer Acrylamid bereits 1994, basierend auf Fütterungsversuchen mit Ratten und Mäusen, als für den «Menschen möglicherweise krebserregend» (Klasse 2A, IARC 1994). Das Epoxid Glycidamid, welches beim oxidativen Abbau im Stoffwechsel gebildet wird, wurde bereits 1991 als erbgutverändernde Substanz beurteilt. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt eine maximale Aufnahmemenge von 1 µg pro kg Körpergewicht pro Tag (WHO 1996). Die Experten des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) ermittelten in einer Diätstudie tägliche Aufnahmeraten von 0,28 µg pro kg Körpergewicht. Der Anteil der Kartoffelgerichte und -produkte war in diesen Diäten eher unterdurchschnittlich. Ausländische Studien zeigten höhere Aufnahmeraten von bis zu 0,7 µg pro kg Körpergewicht. Zu den Risikogruppen zählen Jugendliche, die deutlich mehr Kartoffelverarbeitungsprodukte konsumieren, sowie Kleinkinder wegen ihres geringen Körpergewichts.

Neurotoxische Nervenbeschädigungen sind nach unfallbedingten, hohen Kon-

taminationen bei Fabrikarbeitern in China und bei einer mit verseuchtem Wasser versorgten Kuhherde in Schweden aufgetreten. Diese Störungen sind nach einiger Zeit abgeklungen. Da die Gehalte in Lebensmitteln deutlich geringer sind, sind solche Schädigungen nicht zu erwarten.

Im Vergleich zu anderen bekannten krebsauslösenden Stoffen wie Aflatoxin, Urethan und Benzpyren, für welche Grenzwerte in Lebensmitteln bestehen, sind die Acrylamidgehalte in Lebensmitteln vergleichsweise hoch. Auch wenn die beiden, bisher publizierten, retrospektiven epidemiologischen Studien von Mucci *et al.* (2003) beziehungsweise von Pelucchi *et al.* (2003) keinen Zusammenhang zwischen der Ernährung mit Acrylamid belasteten Nahrungsmitteln und einer möglichen Bildung verschiedener Krebsarten beim Menschen aufgezeigt haben, ist aus Sicht der Gesundheitsbehörden keine Entwarnung gerechtfertigt. Experten sind sich bewusst, dass mit dieser Art von Studien nur hohe Krebsrisiken nachgewiesen werden können. Zudem waren die Abschätzungen der verzehrten Kartoffelprodukte und -gerichte relativ grob, da diese Studien auf andere Fragestellungen ausgerichtet waren.

Ungenügende Kenntnisse bestehen über die Bioverfügbarkeit von Acrylamid im menschlichen Körper. Ein Übertritt zum Beispiel in den Fötus oder in die Frauenmilch ist bestätigt worden. Bilanzierungsversuche mit markiertem Acrylamid zeigten, dass im Fleisch und in den Eiern von Wachteln (Modelltier für Geflügel), die Acrylamidhaltiges Futter erhielten, nur geringe Mengen an Acrylamid gefunden wurden.

Insgesamt dürfte das durch Acrylamid bedingte Krebsrisiko nach heutigem Kenntnisstand weniger bedeutend sein als anfänglich befürchtet wurde. Dennoch müssen zum Schutz der Konsumenten nach dem Alara-Prinzip (**as low as reasonable achievable**) alle realisierbaren Möglichkeiten zur Verminderung ausgeschöpft werden. Die Kartoffelbranche initiierte mehrere Forschungsprojekte, die zum Beispiel von der ETH Zürich sowie von Agroscope FAL Reckenholz und RAC Changins, den Eidge-

nössischen Forschungsanstalten, bearbeitet werden. Swisspatat koordiniert als Branchenorganisation den Informationsaustausch zwischen der Branche und den Vollzugstellen des Bundes und der Kantone, um Empfehlungen für die Verarbeitungsbetriebe und die Haushalte abgeben zu können. Das Kantonale Labor Zürich erarbeitete zusammen mit der Hotelfachschule Belvoir Park Empfehlungen für die Zubereitung von Pommes frites und Rösti für Restaurants und Haushalte. Ihre Untersuchungen zur Herstellungspraxis und der Acrylamidbelastung von Pommes frites in zürcherischen Restaurationsbetrieben wiesen Pilotcharakter auf und erlangten auch im Ausland Beachtung. Mit einigen Ausnahmen waren die Acrylamidgehalte sehr günstig. Diese zielgerichteten Aktivitäten, die durch eigene Forschungsarbeiten der Verarbeitungsbetriebe ergänzt wurden, bewogen das BAG auf das Festlegen von Signalwerten zu verzichten. In Deutschland sind solche Werte für verschiedene Produkte festgelegt worden. Sie verpflichten den Hersteller bei deren Überschreiten, Anpassungen an seinem Herstellungsprozess vorzunehmen.

Backversuche von FAL und RAC

Aus den Sortenversuchen von FAL und RAC wurden mit Knollenmaterial der Ernte 2002 und 2003 standardisierte Pommes Chips, Pommes frites und Rösti hergestellt. Das Knollenmaterial wurde bei 8 °C eingelagert. Pommes frites wurden ohne vorherige Dampfblanchierung für die Zuckerauswaschung hergestellt, obwohl dies in der Industrie üblich ist. Die Untersuchungen sollten folgende Fragen beantworten:

- Gibt es Sortenunterschiede in der Acrylamidbildung in verschiedenen Kartoffelverarbeitungsprodukten und -gerichten, die man für Anbauempfehlungen nutzen könnte?
- Wie beeinflussen die Gehalte an reduzierenden Zuckern und freien Aminosäuren als Vorläufersubstanzen den Acrylamidgehalt in Kartoffelverarbeitungsprodukten?
- Eignet sich die Backfarbe von Pommes Chips als ein Indikator für den Acrylamidgehalt?

Die vorgestellten Ergebnisse sind zur Hauptsache mit Knollenmaterial aus der Ernte 2002 erarbeitet worden, da die Auswertung für die Ernte 2003 zum Teil noch ausstehend ist.

Erste Erkenntnisse und Empfehlungen

Erste Ergebnisse des durch swisspatat unterstützten Projekts zeigten, dass Sortenunterschiede in der Acrylamidbildung bestehen und unbedingt auszunützen sind. Sorten wie Lady Claire, Panda und Markies wiesen in den Pommes Chips tiefere Konzentrationen von Acrylamid auf als Erntestolz, Agria und Hermes. Herkunft und Lagerungsdauer der Knollen übten einen geringeren Einfluss aus als die Sorte. Mit durchschnittlich 215 µg/kg war der Acrylamidgehalt in Pommes frites deutlich kleiner als bei Pommes Chips (783 µg/kg). Markies und Agria wiesen tiefere Konzentrationen auf als die Sorten Eba und Innovator. In der Rösti wurden im Durchschnitt über sechs Sorten 144 µg/kg Acrylamid gefunden. In der Kruste waren die Konzentrationen wesentlich höher als im Innern der Rösti.

Zwischen der Backfarbe der Pommes Chips und dem Acrylamidgehalt zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang (Abb. 1). Helle Pommes Chips wiesen in beiden Jahren tiefere Acrylamidgehalte auf (Abb. 2). Es sind jedoch grosse jahresbedingte Unterschiede in den Acrylamidgehalten aufgetreten. Zu dunkle Pommes Chips sowie zu stark gebräunte Pommes frites-Stäbchen oder Krustenstücke in der Rösti sollten daher optisch ausgeschieden werden oder bei haushaltsmässiger Herstellung entfernt werden (Abb. 3).

Bei 8 °C gelagerte Speisekartoffeln wiesen deutlich geringere Gehalte an reduzierenden Zuckern auf als bei 4 °C gelagerte, was eine beträchtliche Abnahme der Acrylamid-Konzentration in der Rösti bewirkte. Sorten wie Agria und Victoria eignen sich wegen ihrer guten Keimruhe für eine Lagerung bei höheren Temperaturen. Ein Angebot an wärmer gelagerten Speisekartoffeln trägt sehr wirksam zur Verminderung der Acrylamidbelastung der Konsumenten bei, vorausgesetzt, dass die Knollen von

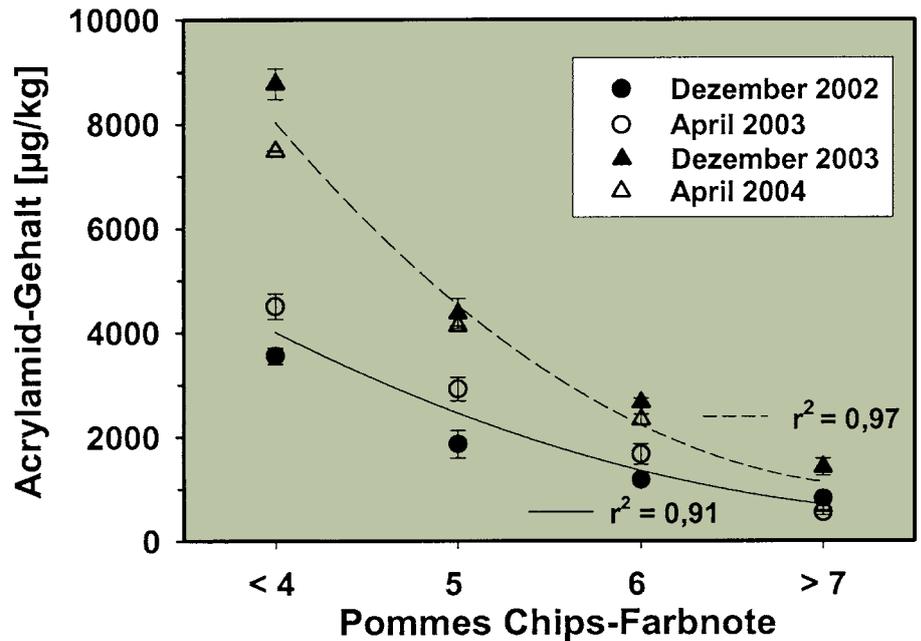


Abb. 1. Beziehung zwischen Acrylamidgehalt und Pommes Chips-Backfarbe; nach Backfarbe zugeordnete Muster gebildet aus verschiedenen Sorten; Erntematerial 2002 und 2003; Mittelwerte ± Standardabweichung von zwei Stichproben, gebacken bei 170 °C während drei Minuten, Backtermin zu Beginn und am Ende der Lagerungsperioden, acht Muster pro Backfarbe und Jahr, Backfarbe < 4 = sehr dunkel, > 7 = hell, r^2 = Bestimmtheitsmass.



Abb. 2. Der Bräunungsgrad der Pommes Chips weist auf den Acrylamidgehalt hin: die helleren Pommes Chips sind deutlich weniger mit Acrylamid belastet als dunkle. (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope FAL Reckenholz)

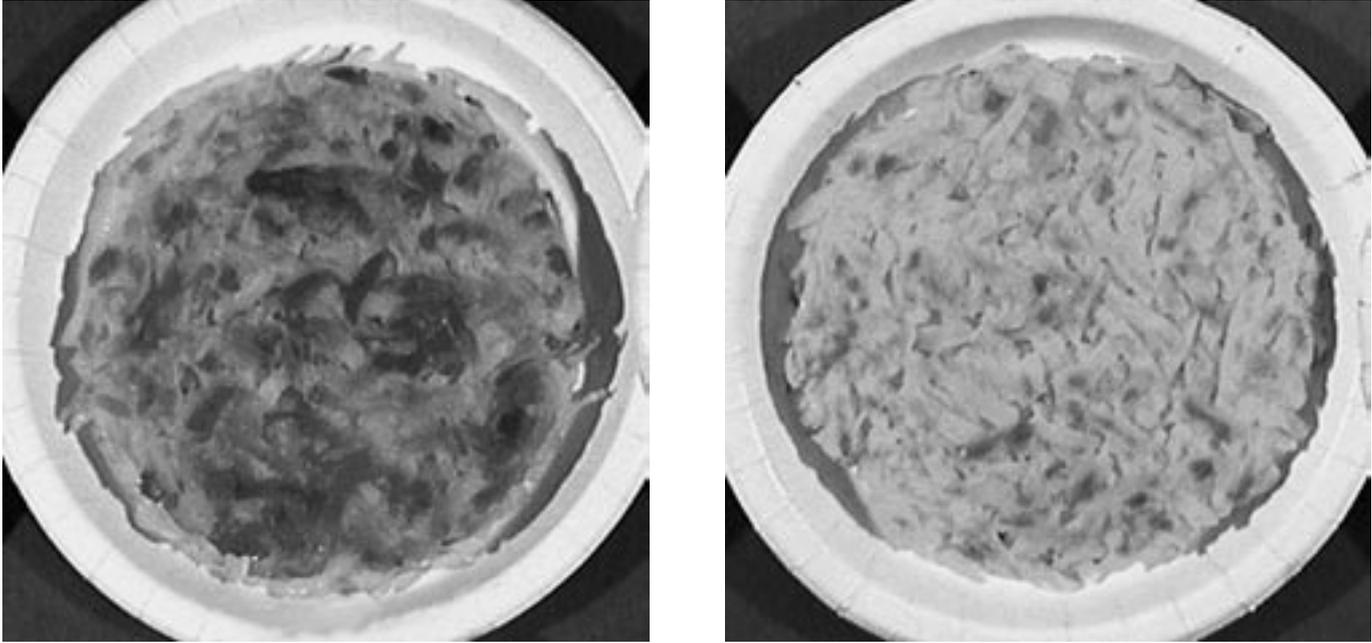


Abb.3. Röstis, zum Beispiel hergestellt aus bei 4°C (dunkle Rösti) oder bei 7°C (helle Rösti) gelagerten Knollen der Sorte Bintje, wiesen nach einer Bratzeit von jeweils 10 Minuten pro Seite, eine unterschiedliche Bräunung auf. Kühlgelagerte Knollen haben mehr reduzierende Zucker und bräunen bei einer Erhitzung stärker. Die Acrylamid-Belastung ist entsprechend höher. (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope FAL Reckenholz)

der Auslagerung bis zum Verbrauch im Haushalt keinen kälteren Temperaturen ausgesetzt werden.

Die erarbeiteten Ergebnisse sind konsistent mit anderen inländischen (Amrein *et al.* 2003) und ausländischen Erfahrungen (Haase *et al.* 2003). Die Interpretation wird durch die starke Streuung der Acrylamidgehalte, die wohl durch die fehlende Homogenität der Inhaltsstoffe in den Knollen bedingt ist, deutlich erschwert.

Literatur

■ Amrein T., Bachmann S., Noti A., Biedermann M., Barbosa M.F., Biedermann-Brem S., Grob K., Keiser A., Realini P., Escher F. and Amado R., 2003. Potential of Acrylamide formation, sugars, and free asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**, 5556-5560.

■ Haase N., Matthäus B. and Vosmann K., 2003. Acrylamide formation in foodstuffs. Minimising strategies for potato crisps. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* **99**, 87-90.

■ IARC (International Agency on Cancer Research), 1994. Acrylamide. *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans* **60**, 389-433.

■ Mucci L.A., Dickman P.W., Steineck G., Adami H.O. and Augustsson K., 2003. Dietary acrylamide and cancer of the large bowel, kidney and bladder: Absence of an association in a population-based study in Sweden. *British Journal of Cancer* **88**, 84-89.

■ Pelucchi C., Franceschi S., Levi F., Trichopoulos D., Borsetti C., Negri E. and La Vecchia C., 2003. Fried potatoes and human cancer. *International Journal of Cancer* **105**, 58-60.

■ Tareke E., Rydberg P., Karlsson P., Eriksson S. and Tronquist M., 2002. Analysis of Acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**, 4998-5006.

■ Stadler R.H., Blank I., Varga N., Robert F., Hau J., Guy P.A., Robert M.C. and Riediker S., 2002. Acrylamide from maillard reaction products. *Nature* **419**, 449-450.

■ WHO, 2002. Health implications of acrylamide in food: Report of a joint FAO/WHO consultation, Geneva, Switzerland, 39 p.

Webseiten mit Informationen zu Acrylamid siehe unter Internet-Links.