

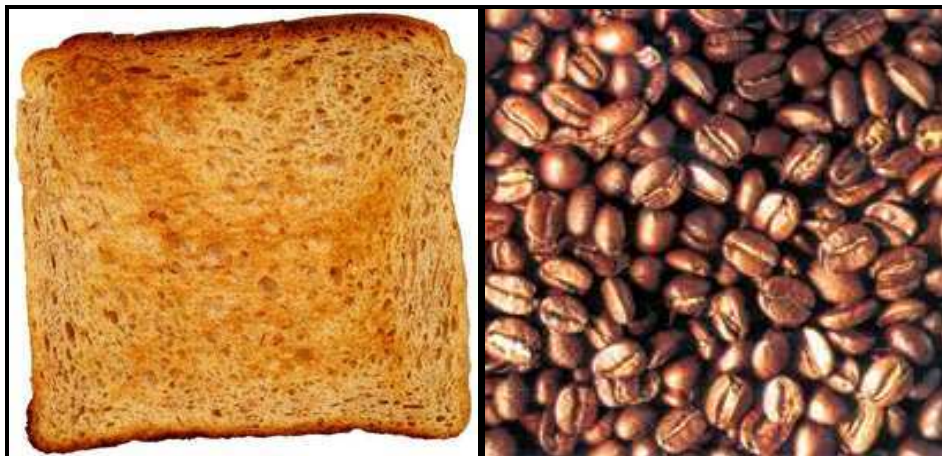
Staatliche Fachschule für Lebensmitteltechnik

An der Emil-Fischer-Schule zu Berlin

„Acrylamid

unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter
Lebensmittel.“

„- Eine Bestandsaufnahme. -“



vorgelegt von

Bianca Ruddat

Staatliche Fachschule für Lebensmitteltechnik - Berlin
an der Emil – Fischer – Schule

5. Mai 2006

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	2
2	Einleitung	4
3	Entdeckung von Acrylamid in Lebensmitteln	4
3.1	Was ist Acrylamid eigentlich?	6
3.2	Aus dem Sicherheitsdatenblatt	7
4	Wie gelangt Acrylamid in die Nahrung?	8
4.1	Die Maillard - Reaktion	8
4.2	Vorraussetzungen für die Entstehung von Acrylamid während der Maillard - Reaktion	10
4.3	Asparagin	11
5	Entstehung von Acrylamid	12
5.1	Die Amadori - Verbindung	12
5.2	Der Strecker - Abbau	13
5.3	3-Aminopropionamid	13
6	Acrylamid und der Mensch	14
6.1	Rechtliche Bestimmungen in der Bundesrepublik	15
6.2	Wie wird Acrylamid aufgenommen?	15
6.3	Wie viel Acrylamid nimmt ein Mensch täglich auf?	16
6.4	Tierversuche: Ergebnisse	17
6.5	Problematik	17
7	Risikoabschätzung und wie man dazu kommt	19
8	Stand der Forschung	20
8.1	Metabolismus von Acrylamid	20
8.2	Die karzinogene Wirkung von Acrylamid	22
8.3	Die genotoxische und mutagene Wirkung von Acrylamid	23
8.4	Fazit und Folgen für Gesundheit und Industrie	25
9	Schutz des Verbrauchers	27
9.1	Das Minimierungskonzept der Bundesregierung	29
9.2	Signalwertermittlung	30
9.3	Acrylamid - Analyse	31
10	Möglichkeiten für industrielle Acrylamidreduzierung	32

11	Schwellenwertentwicklung	36
11.1	Auswertung	37
11.2	Reaktionen der Industrie	37
11.3	Wirtschaftliche Folgen	39
12	Fazit	40
12.1	Zusammenfassung.....	41
12.2	Summary	41
13	Quellen und Literatur	43
14	Danksagung	48
14.1	Erklärung	49

2 Einleitung

Diese Techniker - Arbeit soll durch Sichtung umfangreicher Fachliteratur einen Überblick über die Entdeckung, die möglichen Gefahren und den momentanen Stand der Forschung über Acrylamid in Lebensmitteln geben.

Ziel ist es einen umfassenden Einblick in die Vorgänge der Acrylamidbildung in Lebensmitteln, sowie den dafür nötigen Voraussetzungen und Folgen zu geben.

Auch soll über die mögliche gesundheitliche Konsequenz einer erhöhten Acrylamidaufnahme durch Lebensmittel berichtet werden.

Abschließend sollen die Ermittlung der Grenz- und Richtwerte sowie die Vermeidungskonzepte einer Prüfung unterzogen werden.

3 Entdeckung von Acrylamid in Lebensmitteln

Im April 2002 veröffentlichten Wissenschaftler, die chemische Substanz Acrylamid, bekannt aus der Wasseraufbereitung oder Herstellung von Verpackungsmaterial, in vielen unserer Nahrungsmittel in unerwartet hoher Konzentration entdeckt zu haben.

Wie kam es dazu, dass Wissenschaftler so eine Entdeckung machten?

Diese Erkenntnis verdanken die Wissenschaftler und Forscher einem Zufall.

1997 kam es bei Tunnelarbeiten im Straßenbau am Hallandsås -Tunnel in Schweden zu Wassereinbrüchen.

Zur Abdichtung der defekten Stellen wurden mehrere hundert Tonnen einer acrylamidhaltigen Dichtungsmasse verwendet.

Offenbar gelangten große Mengen des Monomers, bedingt durch eine unvollständige Polymerisation, in das Grundwasser eines nahe gelegenen Dorfes.

Die Folgen waren Fischsterben und schwerwiegende neurologische Störungen bei Rindern, die das verseuchte Wasser aufgenommen hatten.

Da Acrylamid schon seit längerem als neurotoxisch eingestuft wird, wurde eine Blutuntersuchung bei Tunnelarbeiter und Dorfbewohnern sowie Rindern durchgeführt.

Die Belastung der Tunnelarbeiter und Dorfbewohner sollte im Vergleich mit einer Kontrollgruppe aufgezeigt werden.

Dazu wurden die im Blut der Arbeiter und Dorfbewohner gefundenen Werte der Hämoglobin - Acrylamid - Addukte mit denen derer Menschen verglichen, die, da sie nicht mit Acrylamid oder Polyacrylamid arbeiteten, keine erhöhten Werte im Blut hätten haben dürfen. Zum Erstaunen der Wissenschaftler erwies sich die Differenz der Werte als viel geringer als erwartet.

Nach der Entdeckung, dass die eigentlich nicht belasteten Vergleichspersonen ebenfalls Acrylamid im Blut aufwiesen, wurden Untersuchungen darüber angestellt wie die potentiell krebserregende Substanz dorthin gelangt war.

Üblicherweise suchen Wissenschaftler zuerst nach nahe liegenden Ursachen.

1. Atemluft
2. Trinkwasser
3. Nahrung

Atemluft kam nicht in Frage, da bekannterweise Zigarettenrauch Acrylamid zwar enthält, aber der normale Luftsauerstoff acrylamidfrei ist und auch Nichtraucher erhöhte Konzentrationen aufwiesen.

Trinkwasser wird zwar mit Hilfe von Acrylamid wiederaufbereitet, unterliegt aber strengen Grenzwerten. Dazu mehr in Kapitel 6.1.

Die Wissenschaftler stießen schließlich in der Nahrung, speziell in gerösteten, frittierten, gebratenen sowie gebackenen Produkten auf hohe Vorkommen von Acrylamid.

Sie informierten die Europäische Kommission, die ihrerseits am 24.04.2002 über das Schnellwarnsystem für Lebensmittel alle anderen Staaten informierte.

Nach anfänglicher Kritik an angeblich unseriösen Untersuchungsmethoden, bestätigten auch andere Länder, wie zum Beispiel Deutschland, England, Kanada, Norwegen, Schweiz und die USA diese Untersuchungsergebnisse.

Seit diesem Zeitpunkt besteht in der Forschung und auch in der Politik ein großes Interesse an der Problematik.

3.1 Was ist Acrylamid eigentlich?

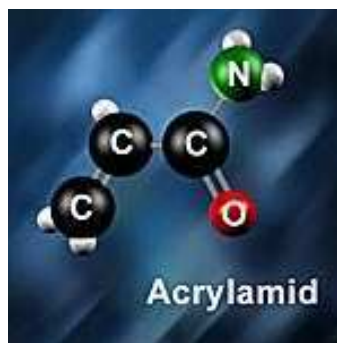
Acrylamid ist nicht nur im chemischen Bereich eine wohlbekannte Substanz. Es dient als monomere Ausgangssubstanz für die Polyacrylamid - Bildung. Polyacrylamid wird unter anderem in Verpackungsmaterialien, in Kosmetika, als Bindemittel in Papier und Pappe und in Dichtungsmassen und Fugenkiten verwendet.

Acrylamid findet aber auch bei der Produktion von Farben Verwendung und wird im Labor zur Herstellung von Gelen für die Elektrophorese benutzt.

Die Hauptverwendung in Europa und USA ist allerdings im Bereich der Abwasserbehandlung und Wasseraufbereitung zu suchen, in der es hauptsächlich als Flockungshilfsmittel Verwendung findet.

Acrylamid ist außerdem, wie bereits oben genannt, Bestandteil von Tabakrauch.

$C_3 \cdot H_5 \cdot NO$, so die Summenformel des Acrylamids, auch als Propensäureamid oder Acrylsäureamid bekannt, ist ein weißer, geruchloser Stoff, dessen Aggregatzustand normalerweise fest ist und eine kristalline Struktur besitzt.



Der Schmelzpunkt von Acrylamid liegt bei 84°C, der Siedepunkt bei 125°C.

Acrylamid hat die UN-Nummer: 2074¹

¹ Die UN-Nummer, auch Stoffnummer genannt, ist eine von einem Expertenkomitee der Vereinten Nationen festgelegte vierstellige Nummer, die für alle gefährlichen Stoffe und Güter (Gefahrgut) festgelegt wird.

3.2 Aus dem Sicherheitsdatenblatt

Dass es sich hier um keinen ungefährlichen Stoff handelt, zeigen schon die Risiko und Sicherheitssätze, die so genannten R+S Sätze und die Gefahrenbezeichnung.

ACRYLAMID



T

R	45	= Kann Krebs erzeugen
R	46	= Kann vererbare Schäden verursachen
R	20/21	= Auch gesundheitsschädlich beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut
R	25	= Auch giftig beim Verschlucken
R	36/38	= Reizt die Augen und die Haut
R	43	= Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich
R	48/ 23/ 24/ 25	= Auch giftig; Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken
R	62	= Kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen
S	53	= Exposition vermeiden; vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen. Nur für den berufsmäßigen Verwender
S	45	= Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt zuziehen

Acrylamid ist sehr gut in Wasser löslich und gut löslich in Aceton und Ethanol.

4 Wie gelangt Acrylamid in die Nahrung?

Die Frage, die sich nicht nur dem Verbraucher nach den vorab beschriebenen Entdeckungen stellt, ist verständlicherweise die Frage nach der Ursache der Kontamination.

Im Gegensatz zu den bisher bekannten Lebensmittelskandalen wie z.B. Nematoden in Fisch oder Dioxin in Eiern ist Acrylamid ein so genanntes „food borne toxicant“, d.h. das die Verunreinigung nicht von außen kommt sondern im Lebensmittel selbst entsteht.

Acrylamid entsteht beim Braten, Rösten, Frittieren oder Backen im Lebensmittel selbst. Und das schon seit der Mensch Lebensmittel erhitzt.

Es ist also kein neues Risiko, sondern nur ein neu entdecktes.

Die Reaktion, die hierbei die entscheidende Rolle spielt, ist die „Maillard - Reaktion“.

4.1 Die Maillard - Reaktion

Die Maillard - Reaktion (benannt nach dem Chemiker Louis Camille Maillard, der um 1912 mit diesen Verbindungen experimentierte) ist eine so genannte nicht - enzymatische Bräunungsreaktion.

Die Maillard - Reaktion ist keine einfache chemische Reaktion, wie sie uns aus Lern- und Lehrmaterialien bekannt ist, sondern die Bezeichnung komplexer Folgen von Reaktionen von Aminosäuren, Peptiden und Proteinen mit reduzierenden Zuckern und Abbauprodukten.

In der mehrstufigen Reaktion wird zuerst bei der Verbindung einer Aminosäure mit einem Saccharid ein Wassermolekül abgespalten, und es entsteht eine Schiff'sche Base², die sich in mehreren Schritten zu einer ringförmigen³ Verbindung umlagert. Es entstehen hochreaktive α -Dicarbonylverbindungen und daraus viele weitere, zum Teil farbige Verbindungen, die so genannten Melanoidine. Das sind braungefärbte stickstoffhaltige Makromoleküle.

Oft entstehen auch heterozyklische Verbindungen.⁴

² Die Schiffsche Base ist ein wichtiges Zwischenprodukt, weil durch sie Carbonylverbindungen an Proteine fixiert werden können.

³ Eine besondere und bedeutende Form der cyclischen Verbindungen bilden die Aromate.

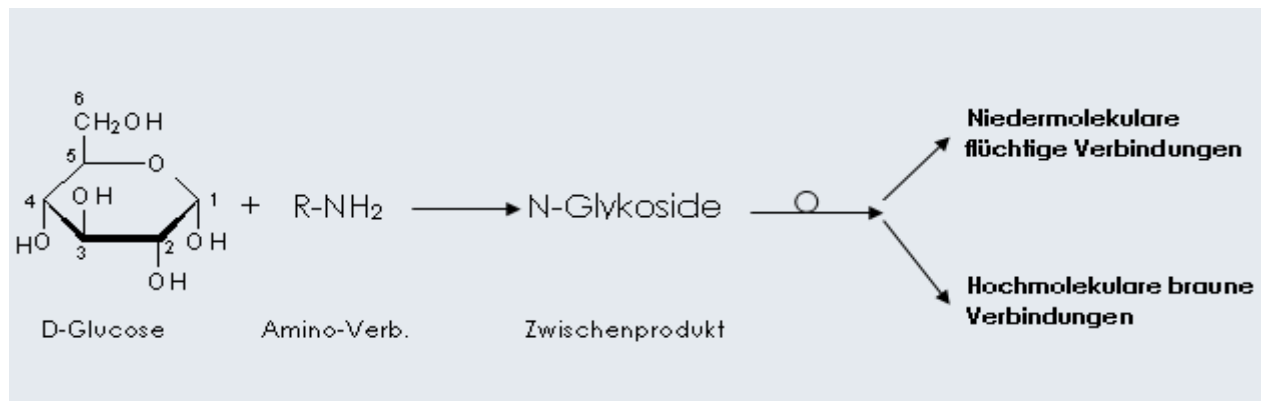
⁴ Eine ringförmige organische Verbindung (Cyclus), Zur Gruppe der Heterocyclen gehören die organischen Basen, die in der DNA und RNA enthalten sind, viele Vitamine, einige Aminosäuren und ein großer Teil der Pharmazeutika.

Die Anzahl möglicher Reaktionsprodukte ist sehr hoch. Viele Verbindungen sind noch unbekannt. Auch viele Einzel- oder Zwischenschritte der Reaktion sind noch unbekannt.

Die Entdeckung von Acrylamid als Folge der „Maillard - Reaktion“ stellte sowohl die Nahrungsmittelindustrie als auch die Hausfrau vor ein kaum lösbares Problem.

Bei der Maillard - Reaktion entstehen genau die Stoffe, die für das Aroma und die Bräunung von Lebensmitteln so wichtig und verantwortlich sind.

Genau die Stoffe, die wir beim Veredeln von Rohstoffen und Halbfertigprodukten erreichen wollen.



(Stark vereinfachtes Schema der Maillard - Reaktion[1])

Wie man inzwischen weiß, tragen Melanoidine nicht nur als Duft- und Geschmacksstoffe zur Qualität von Nahrungsmitteln bei. Sie verzögern auch deren Verderb, da sie Luftsauerstoff binden können. Zudem haben sie, wie Forscher aus Madrid ermittelt haben, eine schwache antibakterielle Wirkung, unterdrücken also das Wachstum von Keimen.

Die aktuellsten Ergebnisse zum Thema Melanoidine bilden die Forschungen von Somoza [2]. Es wurde festgestellt, dass bestimmte Melanoidine, in diesem Fall handelt es sich um Pronyl-Lysin, in vitro,⁵ eine hohe antioxidative Aktivität⁶ aufweisen und somit auch chemopräventive⁷ Eigenschaften besitzen.

⁵ im Reagenzglas

⁶ Antioxidantien wirken dem Verderb von Körpergewebe und Nahrungsmitteln durch Sauerstoff, Licht und Metallspuren entgegen.

⁷ Kebsvorbeugende

4.2 Voraussetzungen für die Entstehung von Acrylamid während der Maillard - Reaktion

Bisher konnten einige Faktoren als wesentlich für die Bildung von Acrylamid in Lebensmitteln identifiziert werden.

- Asparagin
- Reduzierende Zucker (Glucose oder Fructose)
- Temperaturen über 100°C
- Wassergehalt

Weitere Forschungen [3] haben ergeben, dass Asparagin, alleine erhitzt, nahezu kein Acrylamid bildet.

Erst die Zugabe von Zuckern ließ die gebildete Acrylamidmenge in die Höhe steigen. Allerdings zeigen sich hier große Unterschiede bei der verwendeten Zuckerart.

Bei einer Erhitzung mit Laktose oder Saccharose wurde im Vergleich zur Erhitzung mit Glucose oder Fructose nur wenig Acrylamid gebildet.

Laktose und Saccharose entwickelten 6000 bis 8000 $\mu\text{mol} / \text{mol}$ Asparagin, während Glucose und Fructose ca. 10.000 $\mu\text{mol} / \text{mol}$ Asparagin bildeten.

Auch das Austauschen der Aminosäure Asparagin gegen Threonin, Cystein oder Methionin brachte nur geringe Mengen an Acrylamid.

Ebenfalls Ergebnis dieser Forschung ist, dass bei einem pH-Wert von 5 die Acrylamidbildung bei 160°C begann, bei pH-7 jedoch schon bei 140°C.

Auch die gebildete Menge an Acrylamid ist bei pH-7 grundsätzlich höher.

Daraus ließe sich schließen, dass mit Sauerteig gebackenes Brot weniger Acrylamid bildet als nicht versäuerte Backwaren.

Diese Forschungsergebnisse sind allerdings mit Vorsicht zu genießen, da sie auf Laboruntersuchungen basieren und nicht zwangsläufig in die Praxis umgesetzt werden können.

In Praxi haben noch viele weitere Faktoren Einfluss auf die Bildung von Acrylamid, wie z.B. die Verteilung der benötigten Stoffe in der Lebensmittelmatrix und die jeweiligen Konzentrationen.

Im Fall von Brot und Backwaren zeigt zum Beispiel die verwendete Mehltypen ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf die gebildete Menge an Acrylamid.

Bekanntermaßen hat auch die Dauer der Erhitzung Einfluss auf das Ergebnis.

Wie schon in Kapitel 3.2. erwähnt, ist Acrylamid sehr gut in Wasser löslich. Das heißt, dass es erst in getrockneten Bereichen, wie z.B. Brotkruste, Pommes oder Kartoffelchips, konzentriert entsteht.

An der TU München Garching ist Mitte 2004 [4] nachgewiesen worden, dass Acrylamid auch im wässrigen System auftritt, allerdings in extrem niedriger Konzentration.

4.3 Asparagin

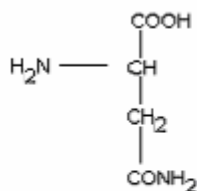
Um die komplizierte Problematik der Acrylamidvorkommen in Lebensmitteln besser verstehen zu können und um zu vermeiden, dass ein falscher Eindruck entsteht, soll an dieser Stelle kurz auf das Asparagin eingegangen werden

Asparagin ist eine nicht essentielle Aminosäure. Das heißt, sie kann aus der Asparaginsäure gewonnen werden und muss nicht mit der Nahrung speziell aufgenommen werden. Asparaginsäure wird wiederum aus anderen Aminosäuren im Körper selbst produziert. Asparagin findet sich in besonders hoher Konzentration in Kartoffeln und einigen Getreidesorten sowie in tierischen Proteinen und hat eine ähnliche Struktur wie die Asparaginsäure. Asparagin wird benötigt, um Stickstoff im Körper zu transportieren, der für viele biochemische Reaktionen im Körper benötigt wird. Asparagin ist weiter an der Bildung von Glykoproteinen⁸ beteiligt. Diese sind für das Immunsystem (Immunrezeptoren) wichtig und tragen dazu bei, die Zellidentität zu erkennen. Weizen enthält ca. 3,8 % Asparaginsäure.

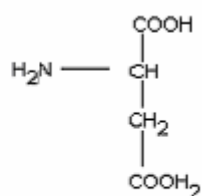
Asparaginsäure ist ein Baustein im Harnstoffzyklus, trägt zur Entgiftung von Ammoniak bei und wird für die Bildung des DNS - Moleküls benötigt.

Die Asparaginsäure verbindet den Citrat- und den Harnstoffzyklus. Sie ist außerdem ein Baustein für die Nukleinsäure Pyrimidin und ein Neurotransmitter im Gehirn.

Und letztlich Voraussetzung für die Bildung von Acrylamid.



L-Asparagin



L Asparaginsäure

⁸ Zucker-Eiweiß-Moleküle

5 Entstehung von Acrylamid

Die tatsächliche chemische Reaktion für die Bildung von Acrylamid ist, genau wie die einzelnen Schritte der Maillard - Reaktion, immer noch nicht genau geklärt. Das heißt auch, dass es nicht möglich ist, eine gesicherte Reaktionsgleichung anzugeben.

Es gibt allerdings einige Wirkungsbeziehungen, die als gesichert gelten.

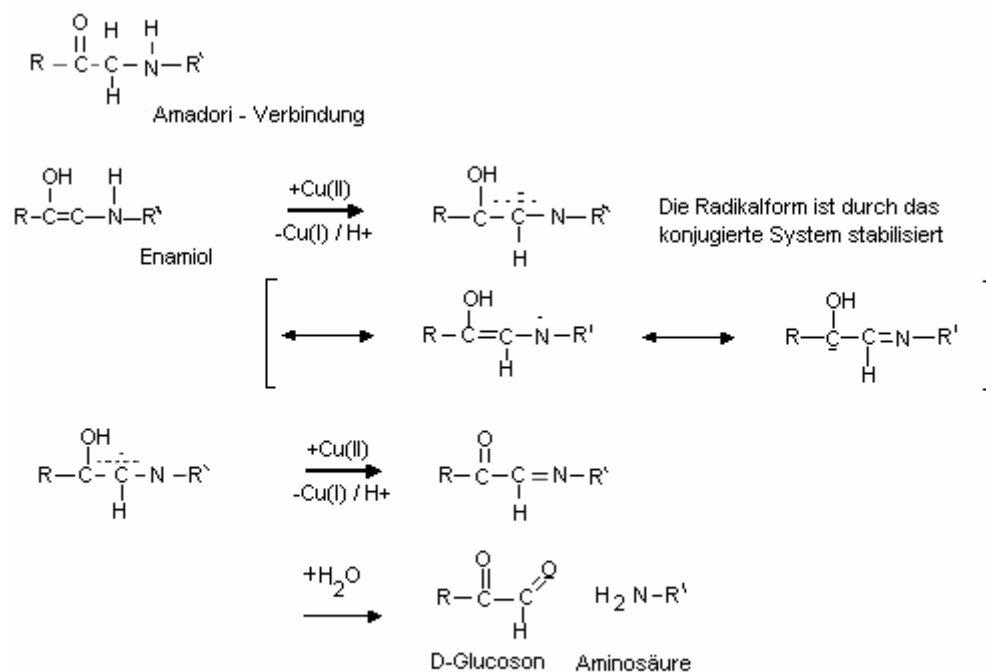
Wie schon erwähnt, muss im Lebensmittel Asparagin vorhanden sein, um eine signifikante Menge Acrylamid zu bilden.

Die neuesten Erkenntnisse über den Bildungsweg von Acrylamid kommen von Schieberle, Köhler und Granvogel (Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie. [3])

Sie haben systematische Untersuchungen zum Bildungsweg von Acrylamid durchgeführt und sind dabei auf zwei mögliche Systeme gestoßen.

5.1 Die Amadori - Verbindung

Bei der Amadori - Verbindung [5] entsteht aus Asparagin und α -Hydroxycarbonylverbindungen durch verschiedene „Umlagerungen“, Abgabe von CO_2 und Elektronen sowie der Anlagerung von Wasser, schließlich 3-Aminopropionamid und eine Dicarbonylverbindung. Diese Dicarbonylverbindung kann über den Strecker - Abbau wiederum 3-Aminopropionamid bilden.

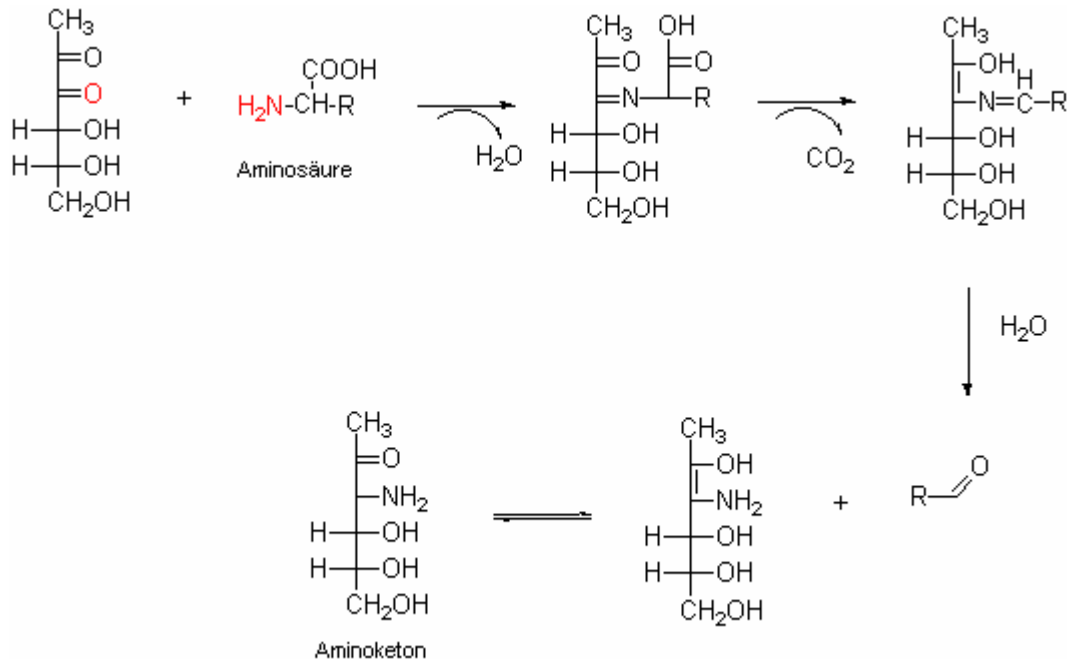


[24]

5.2 Der Strecker - Abbau.

Ein thermischer Abbau von Aminosäuren, an dessen Ende die Bildung von aromabildenden Pyrazinen steht (Kapitel 4.1 „heterocyclische Verbindung“).

Aus Asparagin und Glucose entsteht unter Hitzeeinfluss und Abgabe von Wasser als Intermediat 3-Aminopropionamid und daraus bildet sich schließlich Acrylamid. [5]



[25]

5.3 3-Aminopropionamid

3-Aminopropionamid wurde als der potenteste Vorläufer der Acrylamidbildung identifiziert. Die Acrylamidausbeute liegt bei bis zu 63 Mol %.

Je mehr 3-Aminopropionamid entsteht, desto mehr Acrylamid bildet sich schließlich.

Bei anderen Intermediaten war die Ausbeute im Laborversuch wesentlich geringer.

Das enorme Potential entsteht aus der leichten thermischen Eliminierung von Ammoniak.

3-Aminopropionamid entsteht aber nicht unbedingt erst durch Erhitzen.

Schon 2004 wurde ein enzymatischer Entstehungsweg für 3-Aminopropionamid aus Asparagin beschrieben.

Dabei wurden in Kartoffeln, mit Hilfe von Flüssigchromatographie (H.P.L.C.) und zwei anschließenden Massenspektrometern, bis zu 1,75 ppm 3-Aminopropionamid im Kartoffel - Frischgewicht gefunden. Das sind 1,75 mg / Kg.

Später wurde 3-Aminopropionamid auch in anderen Lebensmitteln nachgewiesen.

Das bedeutet, dass neben dem Asparagingehalt auch andere im Rohstoff vorkommende Substanzen Einfluss auf die gebildete Menge Acrylamid haben und diese zum Teil über z.B. Lagerbedingungen beeinflussbar sind.

Es lässt sich also an diesem Punkt feststellen, dass die Bildung von Acrylamid in frittierten, gebratenen und gegrillten Lebensmitteln nicht verhindert werden kann. Im besten Fall lässt sich der Acrylamidgehalt kontrollieren bzw. reduzieren.

So weit zur Entstehung im Lebensmittel. Und was passiert mit aufgenommenem Acrylamid im Körper?

6 Acrylamid und der Mensch

Die neurotoxikologische Wirkung des Acrylamids im menschlichen Organismus ist schon länger bekannt.

Die Auswirkungen, wie z.B. Taubheitszustände und Kribbelgefühle an den Gliedmaßen, wurden durch unbeabsichtigte starke Aussetzungen des Menschen durch berufsbezogene Umstände beobachtet.

Wie Acrylamid aus der Nahrung auf den menschlichen Körper wirkt, wird zur Zeit noch untersucht.

Es gibt aus verständlichen Gründen keine Studie über Acrylamid und dessen Gefährlichkeit, die an Menschen direkt durchgeführt wurde.

Da es Acrylamid als Substanz in der Industrie schon lange gibt, wurden allerdings schon früh umfangreiche Tierversuche an Ratten zu dessen Toxizität durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studien führten unter anderem zu einigen rechtlichen Bestimmungen in der Verarbeitung von Acrylamid.

6.1 Rechtliche Bestimmungen in der Bundesrepublik

Die meisten rechtlichen Bestimmungen der Bundesrepublik Deutschland, die im Zusammenhang mit Acrylamid stehen, wurden schon vor seiner Entdeckung in Lebensmitteln getroffen.

Hierbei ist anzumerken, dass die Grenzwerte, die festgelegt wurden, nicht auf der Basis toxikologischer Daten, sondern auf der „Machbarkeit“ seitens der Industrie basieren. Damit bewegen sich die Grenzwerte weit unter dem, was man aufgrund toxikologischer Daten ableiten würde.

In der gesamten Europäischen Union gilt für Acrylamid in Trinkwasser ein Grenzwert von 0,1 µg pro Liter (0,1ppb), die WHO empfiehlt einen Grenzwert von 0,5 µg pro Liter (0,5ppb). Das sind gerade mal 0,0001 mg Acrylamid pro Liter in der EU [6].

Bei Kunststoffen, in denen Acrylamid verwendet wird, geht man davon aus, dass Teile des Acrylamid´s nicht vollständig polymerisieren und als Monomer zurückbleiben. Diese Monomere könnten, in Verbindung mit Lebensmitteln, in das Lebensmittel übergehen.

In der Bedarfsgegenständeverordnung vom 16.4.1992 [7] ist für Acrylamid eine Grenze von „Nicht Nachweisbar“ (n.n.) bei einer Nachweisgrenze von $\leq 0,01$ ppm gegeben. Das sind 10 ppb, die für das verwendete Verfahren als Nachweisgrenze festgelegt werden. Das heißt, dass kein Acrylamid aus der Verpackung im Lebensmittel nachweisbar sein darf.

6.2 Wie wird Acrylamid aufgenommen?

Neben der Aufnahme über die Nahrung kann Acrylamid auch über die Atmung aufgenommen werden und möglicherweise auch über die Haut.

Ein gutes Beispiel für die Aufnahme über die Lunge ist Zigarettenrauch. Im Rauch einer Zigarette befinden sich etwa 3000 bis 4000 chemische Substanzen [8], darunter auch Acrylamid. So sind Raucher, unabhängig von anderen Ursachen wie Nahrung, mit durchschnittlich 1,5 ppb im Blut etwa dreimal höher belastet als Nichtraucher mit 0,4 ppb im Blut [9]. Laut Schömig [10], Institut für Pharmakologie an der Universität Köln, werden pro Zigarette etwa ein bis zwei Mikrogramm Acrylamid aufgenommen. Ein starker Raucher, der zwei Päckchen pro Tag raucht (30 - 40 Zigaretten), nimmt so zusätzlich 20 bis 40 Mikrogramm Acrylamid auf.

Die Aufnahme im Körper erfolgt, egal ob über die Lunge oder den Magen, schnell, vollständig und gleichmäßig.

Laut einer Studie des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit [11] wird Acrylamid auch in die Muttermilch und den Fötus übertragen, allerdings in sehr geringen Mengen, die meist kleiner als 0,3 ppb sind. Bemerkenswert an dieser Studie ist auch, dass kein Zusammenhang zwischen der aufgenommenen Nahrung und dem festgestellten Acrylamidgehalt in der Muttermilch festgestellt wurde. Da hierfür verschiedene Ursachen in Frage kommen, wird Schwangeren weiterhin empfohlen die Aufnahme von Acrylamid möglichst gering zu halten.

6.3 Wie viel Acrylamid nimmt ein Mensch täglich auf?

Eine Frage, die nicht leicht zu beantworten ist, ist die nach der täglich aufgenommenen Dosis. Die Schätzungen hierzu sind alle mit großen Unsicherheitsfaktoren versehen. So nehmen Kinder im Verhältnis zu Ihrem Körpergewicht mehr Nahrung zu sich als ein Erwachsener. Kombiniert mit einem für Kinder und Jugendliche typischen Hang zu „Fast Food“ und Kartoffelchips bilden diese eine Risikogruppe für eine erhöhte Acrylamidaufnahme, die zwei- bis dreifach höher sein könnte als bei einem Erwachsenen.

Allerdings hängt auch dies stark von persönlichen Essensgewohnheiten ab. Alle existierenden Schätzungen basieren außerdem auf Acrylamidwerten für industrielle Produkte. Die Acrylamidaufnahme durch das „Frisch Kochen“ wird und kann, aufgrund der großen Schwankungsbreite, auch nicht berücksichtigt werden.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung [12] schätzt die tägliche Aufnahme von Acrylamid über die Nahrung in der Bundesrepublik Deutschland auf ca. 0,5 ppb bezogen auf das Körpergewicht.

Dazu kommen nicht ganz 0,1ppb aus anderen Quellen wie z.B. Trinkwasser (ca. 0,0036 ppb) und Kosmetika.

Ein Raucher nimmt, abhängig von seinem Rauchkonsum und seiner „Marke“, wie schon erwähnt, zusätzlich 0,5 bis 2 ppb auf.

Allerdings lässt sich an der aufgenommenen Menge noch kein Krebsrisiko berechnen. Mit der geschätzten Aufnahmemenge von 50 µg / Tag über die Nahrung liegt man immerhin um den Faktor 1000 unterhalb der Dosis, die im Tierversuch Krebs ausgelöst hat.

6.4 Tierversuche: Ergebnisse

Es wurden verschiedene Langzeitstudien an Ratten durchgeführt, wobei den Tieren über einen längeren Zeitraum Acrylamid in unterschiedlich hoher Dosis mit dem Trinkwasser und der Nahrung zugeführt wurde.

Eine nervenschädigende Wirkung setzte erst ab einer bestimmten Aufnahmemenge, der so genannten Schwellendosis, ein. Dies ist auch der so genannte N.O.E.L. Wert. N.O.E.L. steht für „**No observable effect level**“. Es ist die höchste Dosis einer Substanz, die keinen statistisch messbaren Effekt hervorruft.

Bei Ratten liegt dieser Wert bei 0,5 mg Acrylamid pro Kilogramm Körpergewicht. [13] Das ist eine Dosis von 500 ppb bezogen auf das Körpergewicht. Zur Erinnerung: Das ist 10-mal soviel wie ein durchschnittlicher Erwachsener Mensch vermutlich täglich über die Nahrung aufnimmt.

Die niedrigste Dosis, die zur Krebsbildung bei Ratten führte, lag bei 0,5 über 1 bis 2 mg pro Kilogramm Körpergewicht, je nach Krebsart. Das sind immerhin 1000 bis 2000 ppb.

6.5 Problematik

Die Problematik an diesen Studien ist, dass sie genau das Problem haben was auch die meisten Menschen denken, wenn sie davon hören. Dass man selbst wenig Ähnlichkeit mit einem Nagetier hat. Dies ist ein viel gebrauchtes Argument gegen Tierversuche und Ergebnissen aus solchen.

Versuchsergebnisse lassen sich oftmals schwer oder nur schlecht von einer Spezies auf die andere übertragen.

Weitere Argumente gegen die Tierversuchsstudien liefert auch der Umstand, dass unterschiedliche Rattenarten und auch Mäuse unterschiedliche Grenzwerte aufweisen [13].

Zusätzlich kommt das Argument, dass Ratten und Mäuse unter Umständen anfälliger sind für Acrylamid, da sie im Gegensatz zum Menschen nicht seit ca. 500.000 Jahren das Feuer beherrschen [14]. Man geht nach Knochen- und Zahnfunde davon aus, dass der moderne Mensch, Homo sapiens - sapiens, zunehmend auf gegarte Kost angewiesen war [15]. Dies bedeutet, dass schon seit 45.000 bis 9.000 Jahren vor unserer Zeitrechnung die Menschen gegarte, gebratene und zubereitete Lebensmittel und damit auch Acrylamid zu sich nehmen. Diese Argumentation stützt sich auf die Vermutung, dass sich der menschliche Organismus, aufgrund des langen Zeitrahmens, in der der Mensch schon gebratene Lebensmittel und somit auch Acrylamid zu sich nimmt, an die Substanz gewöhnt hat, und Organismen entwickelt hat, mit Acrylamid

zurechtzukommen ohne Schäden davonzutragen.

Dies ist eine zwar nachvollziehbare, aber auch schwer zu beweisende Argumentation.

Dabei darf nicht vergessen werden, dass auch die Wissenschaftler Schwierigkeiten haben, die krebsauslösende Wirkung tatsächlich zu beweisen.

Eine Ratte mit Krebs ist nämlich genau genommen kein guter Beweis für die Gefährlichkeit von Acrylamid.

Viele Stoffe, die für uns lebensnotwendig sind, haben in erhöhter Konzentration schlechte, zum Teil sogar sehr schlechte Auswirkungen auf unsere Gesundheit.

Die Frage, die sich angesichts dieser Problematiken stellt, ist, wie kommt eine verlässliche Risikobewertung für Acrylamid zustande?

7 Risikoabschätzung und wie man dazu kommt

Schon 1999, also drei Jahre vor der Entdeckung von Acrylamid in Lebensmitteln, hat der „Rat von Sachverständigen für Umweltfragen“ ein Sondergutachten erstellt mit dem Titel „Umwelt und Gesundheit - Risiken richtig einschätzen“ [16].

Darin wird unter anderem erläutert, wie eine Risikobewertung in der Toxikologie vorgenommen wird.

Grundlage der toxikologischen Risikoabschätzung eines für den Menschen relevanten Stoffes sind Beobachtungen am Menschen, Daten aus tierexperimentellen Versuchen und Ergebnisse aus „In vitro“ - Untersuchungen.

Das heißt, die Beobachtungen, die an Menschen gemacht wurden, die versehentlich Acrylamid ausgesetzt waren, die Auswertungen aus den Tierversuchen und die Ergebnisse aus Versuchen und Untersuchungen „im Reagenzglas“ bilden zusammen die Grundlage der Risikobewertung.

Diese Informationen müssen im Zusammenhang mit pharmakokinetischen Daten beurteilt werden. Die Pharmakokinetik beschreibt, wie rasch und in welchem Ausmaß nach der Verabreichung eines Stoffes dieser anschließend im Blutplasma und in den verschiedenen Körpergeweben auftritt und wo und in welcher Weise er wieder ausgeschieden wird.

Die Ergebnisse der toxikologischen Risikoabschätzung stehen – bei aller Vorsicht gegenüber der Übertragbarkeit von Tierversuchen auf den Menschen – nach Auswertung der entsprechenden Versuche direkt zur Verfügung, so dass vorrausschauende Aussagen gemacht werden können.

Wenn ein Stoff „neu“ entdeckt wird, ist es oft schwierig, direkte Aussagen über seine Gefährlichkeit zu treffen. Normalerweise benötigt man für eine verlässliche Aussage, so genannte Langzeitstudien, wie sie z.B. bei Rauchern im Zusammenhang mit Lungenkrebs, der Fall sind.

Diese Langzeitstudien setzen allerdings gewisse Vorstudien und vor allem eine länger dauernde Belastung mit dem zu untersuchenden Stoff voraus. Nachteilig ist außerdem, dass nur bedingt rechtzeitige Maßnahmen zum Schutz der Verbraucher getroffen werden können.

Risikoabschätzung ist demnach ein komplexer Prozess, der vor allem auch von der Qualität der verfügbaren wissenschaftlichen Informationen abhängt.

8 Stand der Forschung

Seit der Entdeckung von Acrylamid in Lebensmitteln ist seitens der Forschung eine Menge passiert.

Viele Daten, die zur Risikoabschätzung 2002 nur ungenügend oder gar nicht vorhanden waren, sind mittlerweile erforscht worden oder werden gerade erforscht.

Erkenntnisse über die Wirkung von Acrylamid im menschlichen Metabolismus und sein tatsächliches Gefährdungspotential mehren sich und ergeben nach und nach ein immer genaueres Bild.

Einige der wichtigsten Forschungen beziehen sich auf die genotoxische und karzinogene Wirkung von Acrylamid im menschlichen Körper. Dazu ist vorher allerdings der Metabolismus von Acrylamid im menschlichen Körper erklärungsbedürftig.

8.1 Metabolismus von Acrylamid

Nach der Aufnahme von Acrylamid in den Körper wird es, da leicht wasserlöslich, durch die Darmwand direkt in das Blut transportiert und so schnell und gleichmäßig im gesamten Körper verteilt. Im Blut reagiert es mit freien Aminogruppen oder Thiolgruppen, beispielsweise im Hämoglobin. Diese Acrylamid – Hämoglobin – Addukte sind mittels chromatographischer und massenspektrometrischer Verfahren nachweisbar und werden daher als Biomarker für die aufgenommene Acrylamiddosis genutzt.

Als Fremdstoff wird das Acrylamid schließlich in die Leber transportiert, wo es durch das Enzym Cytochrom P450 2E1 oder kurz Cyp 2E1, unter Anlagerung eines Sauerstoffatoms zu Glycidamid umgewandelt wird [17].

Diese Wirkungsweise ist vor allem aus Tierversuchen bekannt.

Blutuntersuchungen an mit Acrylamid belasteten Arbeitern deuten darauf hin, dass im menschlichen Körper Stoffwechselforgänge ablaufen, die mit denen der untersuchten Mäuse qualitativ vergleichbar sind [18].

Dem gebildeten Glycidamid werden die hauptsächlich schädigenden Wirkungen durch Acrylamid zugeschrieben, da es nachweislich direkt mit den Basen der DNA reagiert.

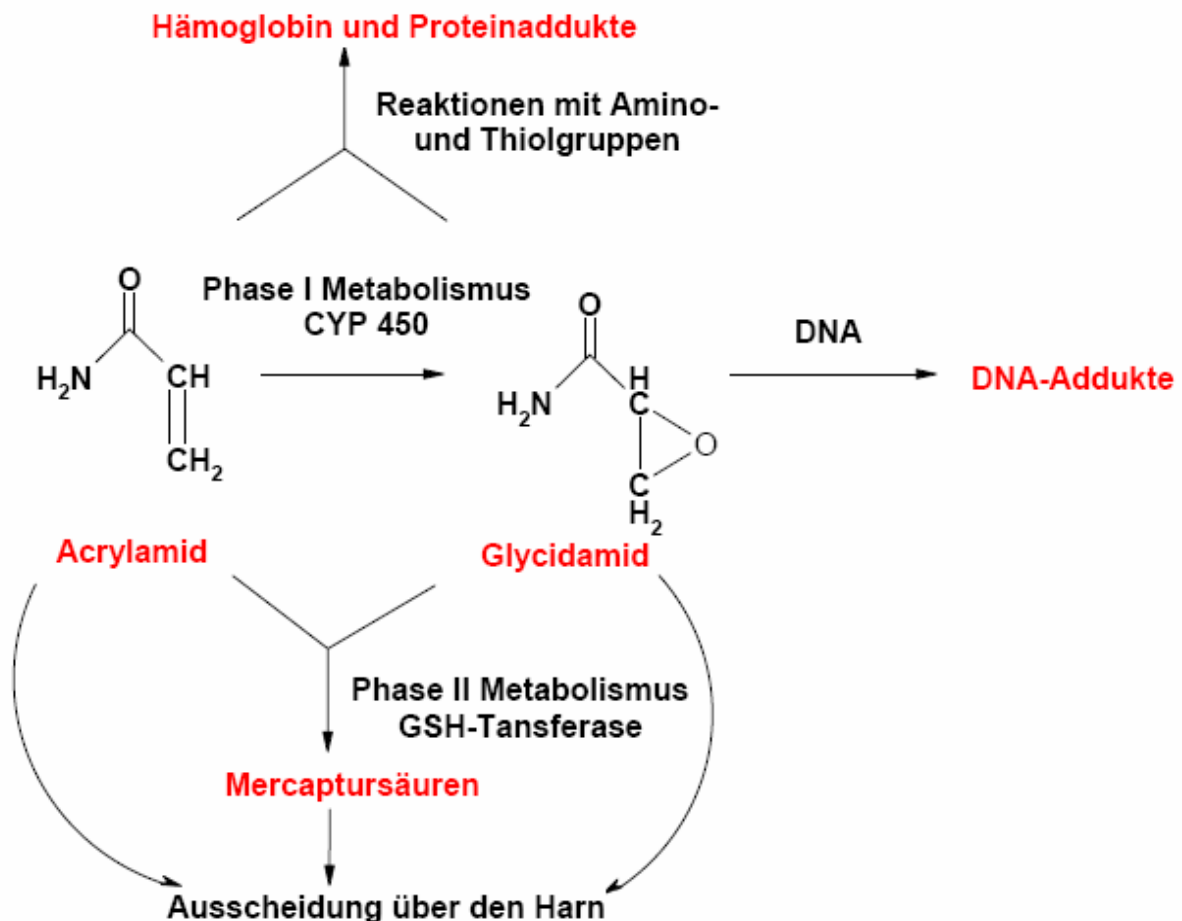
Dieser Wirkung stehen im Körper wiederum Prozesse entgegen, die sowohl Acrylamid direkt, als auch Glycidamid unwirksam machen. Dabei wird sowohl Acrylamid als auch Glycidamid mittels GSH-Transferase an Glutathion gebunden und als Mercaptursäure über den Harn ausgeschieden. Das Ausmaß der schädigenden Wirkung von Acrylamid ergibt sich somit aus der Bilanz zwischen aktivierender und inaktivierender Prozesse im menschlichen Metabolismus.

Erste Forschungen haben gezeigt, dass ca. 50% einer verabreichten Acrylamiddosis innerhalb von zwei Tagen als Mercaptursäure wieder ausgeschieden werden. Der Anteil an wieder ausgeschiedenem Glycidamid liegt allerdings nur bei 5% [19].

Weitergehende Untersuchungen stützen die Ergebnisse, dass Acrylamid auch noch nach zwei Tagen in erheblicher Menge im Körper verfügbar ist und damit außerordentlich lange Halbwertszeiten im Körper aufweist [20].

Allerdings ist in dieser Studie Acrylamid in reiner Form verabreicht worden und die Ergebnisse sind daher nicht direkt auf das Lebensmittel zu übertragen.

Die Bioverfügbarkeit von Acrylamid durch orale Aufnahme liegt bei 30- 40 % innerhalb von vier Stunden [21], wobei nicht berücksichtigt wird, in welcher Lebensmittelmatrix Acrylamid vorliegt und wie leicht es vom Körper herausgelöst wird.



[17]

8.2 Die karzinogene Wirkung von Acrylamid

Die krebserzeugende Wirkung eines Stoffes tatsächlich zu beweisen erfordert, die unter Kapitel 7. bereits erwähnten, Langzeitforschungen, so genannte epidemiologische Studien.

Hierbei wird die Krebshäufigkeit von Personen, die Acrylamid über langen Zeitraum zu sich genommen haben, verglichen mit der Krebshäufigkeit von Personen, die keinem Acrylamid ausgesetzt waren.

Solche Studien liegen zum Teil vor, sind aber aufgrund der geringen Teilnehmeranzahl nicht sehr aussagekräftig. Die geringe Teilnehmerzahl ist allerdings nicht das einzige Problem. Auch eine Gruppe von Menschen zu finden, die keinem Acrylamid ausgesetzt ist, ist aufgrund der Verfügbarkeit in der täglichen Nahrung schwierig.

Ein weiteres Problem bei solchen Langzeitstudien ist, dass, je länger eine Wirkung auf sich warten lässt, desto größer die Möglichkeit wird, dass sich Krebstumore aus anderen Gründen bilden.

Das heißt zu beweisen, dass der Krebs tatsächlich von der erhöhten Acrylamidexposition herrührt, wird über längere Zeiträume immer schwieriger.

Nicht desto trotz ist nicht zu widerlegen, dass eine stark erhöhte Acrylamidaufnahme bei Ratten und Mäusen über kurzen Zeitraum verschiedene Krebsarten hervorgerufen hat. Allerdings ist für Acrylamid eine eindeutige Zuordnung der Wirkung auf eine oder mehrere spezifische Tumorarten nicht möglich. In Tierversuchen an Ratten zeigten sich nach 24 Monaten und täglicher Gabe von 2 ppm, Tumore in der Maulhöhle, der Schilddrüse, den Nebennieren, der Brustdrüse und Gebärmutter bei weiblichen Tieren und dem Hodensack bei männlichen Tieren [12].

Dieses breite Spektrum an verschiedenen Krebsarten zeigt zwei wichtige Dinge. Zum einen ist das häufige Auftreten von Tumoren nach erhöhter Acrylamidaufnahme ein schwerwiegender Anhaltspunkt für die karzinogene Wirkung von Acrylamid, zum anderen kann nicht mit Bestimmtheit gesagt werden, welche Krebsart von Acrylamid ausgelöst wird.

Auch ist nicht bekannt, auf welche Weise der Krebs im Körper ausgelöst wird.

In Frage kommen dafür unter anderem auch die mutagene und genotoxische Wirkung von Acrylamid.

Um die krebserregende Wirkung von Acrylamid besser einschätzen zu können, werden seit 2002 verschiedene Untersuchungen zur genotoxischen Wirkung durchgeführt.

8.3 Die genotoxische und mutagene Wirkung von Acrylamid

Als genotoxisch bezeichnet man Stoffe, die Schäden bzw. Veränderungen an der DNA, und damit Mutationen, auslösen. Man spricht hier fälschlicherweise synonym auch von der Mutagenität von Acrylamid.

Dabei sind beide Begriffe voneinander zu unterscheiden.

Genotoxische Stoffe bewirken Mutationen durch Schäden an der DNA. Erfolgen diese in den Keimzellen, werden sie an die Nachkommen weitergegeben und führen zu Geburts- oder Erbschäden. Sind Körperzellen betroffen, können Zelltod, ein erhöhtes Krankheitsrisiko oder auch Krebs die Folge sein.

Mutagene Stoffe erhöhen die normale Mutationsrate der DNA und können so Krankheiten wie z.B. Krebs oder in Keimzellen auch Erbkrankheiten hervorrufen. Die Folgen sind die gleichen, die Ursachen aber unterschiedlich.

Beide Ursachen werden untersucht.

Es gibt allerdings erste Ergebnisse zur Genotoxizität und Mutagenität von Acrylamid und seinem Stoffwechselprodukt Glycidamid [21]. Wie schon in 8.1 erwähnt, werden dem Glycidamid die hauptsächlich schädigenden Wirkungen durch Acrylamid zugeschrieben.

Eisenbrand und Baum haben dafür jetzt (2005) die ersten Beweise geliefert.

Es wurde menschliches Blut mit verschiedenen Konzentrationen von reinem Acrylamid und reinem Glycidamid versetzt und die Schäden an der DNA mittels Einzelzell - Gelelektrophorese nachgewiesen sowie die Mutationsrate bestimmt.

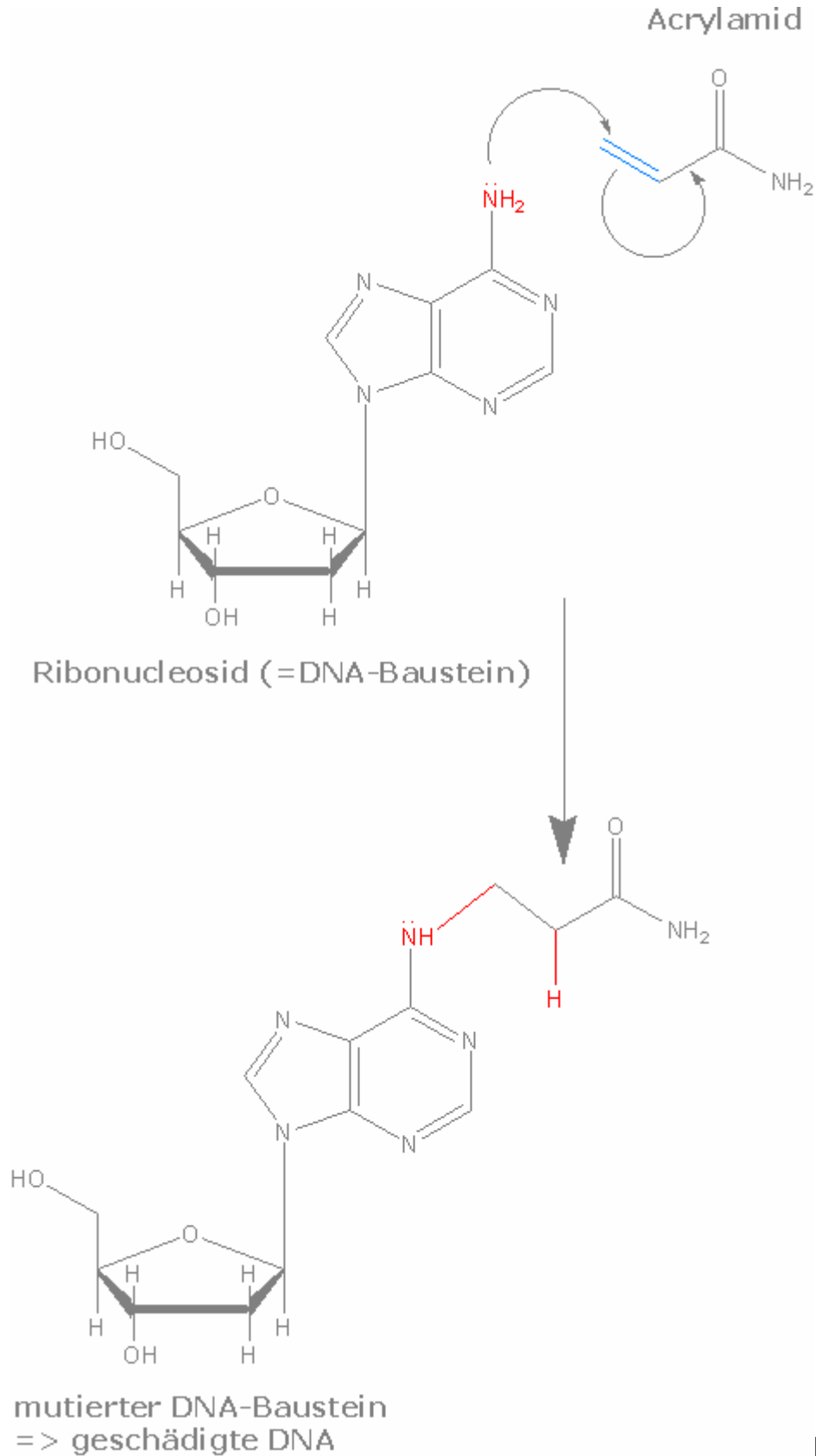
Die nach zehn bis dreizehn Tagen bestimmte Mutationsrate pro 10⁶ Zellen, zeigte für Acrylamid in keiner der getesteten Konzentrationen eine Erhöhung der Mutationsfrequenz. Bei Glycidamid wurde eine Erhöhung der Mutationsfrequenz bei 800 µM beobachtet.

Zur Ermittlung der Genotoxizität wurde frisch entnommenes Blut heparinisiert⁹ und für eine, zwei oder vier Stunden mit verschiedenen Konzentrationen Acrylamid oder Glycidamid versetzt. Anschließend wurden mittels Einzelzell - Gelelektrophorese die Schäden an der DNA gemessen.

Dabei zeigte sich, dass bis zu der höchsten getesteten Konzentration von 6000 µM Acrylamid keine DNA Schäden verursacht.

⁹ Heparin: Körpereigener Gerinnungshemmer

Glycidamid dagegen verursacht bei vier Stunden Inkubationszeit und einer Konzentration von 10 μM die ersten DNA – Schäden. Das genotoxische Potential von Glycidamid ist damit mit dem von N-Nitrosodiethanolamin, einem bekannten karzinogenem Nitrosamin, vergleichbar.



[22]

8.4 Fazit und Folgen für Gesundheit und Industrie

Schon lange bevor das Acrylamid – Problem in die Öffentlichkeit getragen wurde hat die World Health Organisation (WHO) mit verschiedenen Expertengruppen eine Klassifizierung für Acrylamid vorgenommen.

So unterteilt die WHO `möglicherweise krebserregende Stoffe´ in drei Kategorien [23]:

1. **karzinogen beim Menschen**

Dies sind Risikofaktoren, bei denen es starke Beweise für eine Karzinogenität beim Menschen gibt, z.B. durch Asbest, Rauchen und Gamma-Strahlen (eine Form von ionisierender Strahlung).

2. **wahrscheinlich karzinogen beim Menschen**

Dies sind vor allem Faktoren, bei denen es starke Hinweise aus Tierversuchen gibt, z.B. durch Aufnahme von Dieselabgase, UV-Strahlen und Formaldehyd, sei es über die Atmung oder Haut des Menschen.

3. **möglicherweise karzinogen beim Menschen**

Für diese Faktoren sprechen Beobachtungen beim Menschen, aber auch andere Erklärungen können für diese Erkrankung nicht ausgeschlossen werden. Beispiele sind Styrol, ein aromatischer Kohlenwasserstoff, der vor allem bei der Produktion von Kunststoffen verwendet wird, oder Benzinabgase, die entweder oral oder über die menschliche Haut aufgenommen werden.

Acrylamid wird unter Kategorie 2 „wahrscheinlich karzinogen“ eingestuft.

Normalerweise wird für die meisten Stoffe, die in eine der drei Kategorien fallen, ein so genannter A.D.I. – Wert festgelegt. A.D.I steht für „**A**ccceptable **D**aily **I**ntake“

Er soll dem Verbraucher Auskunft darüber geben, wie viel Milligramm Toxin pro Kilogramm Körpergewicht ein Mensch täglich und ein Leben lang von einer Substanz zu sich nehmen darf, ohne gesundheitliche Schäden davon zu tragen.

Dieser A.D.I. - Wert wird normalerweise mit Hilfe des unter 6.4 erwähnten

N.O.E.L. – Wertes berechnet. Dabei wird der N.O.E.L. - Wert meistens durch den Sicherheitsfaktor von 100 dividiert und ergibt so den A.D.I. - Wert.

Der Sicherheitsfaktor ist abhängig von den schon gesammelten Erfahrungen und adäquaten Langzeituntersuchungen. Er steigt, wenn Erfahrungen und Untersuchungen nicht oder nur unzureichend vorliegen.

Für Stoffe wie Acrylamid, die gleichzeitig das Potential haben wahrscheinlich Krebs auszulösen und mit großer Sicherheit das Erbgut schädigen, werden allerdings grundsätzlich keine A.D.I. - Werte festgelegt. Bei solchen Stoffen geht man davon aus, dass schon die geringste Dosis zu einer gesundheitlichen Schädigung führen kann.

Aufgrund dieser Tatsache gibt es keine gesundheitlich unbedenklichen Werte für eine nahrungsmittelbedingte Aufnahme von Acrylamid.

Die beste Vorsorge, die man treffen kann, ist, den Stoff so weit wie möglich zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, die Aufnahme so weit wie möglich zu reduzieren.

Auf diesen Tatsachen basiert auch das von der Bundesregierung ins Leben gerufene Minimierungskonzept, auf das in Kapitel 9.1. weiter eingegangen wird.

9 Schutz des Verbrauchers

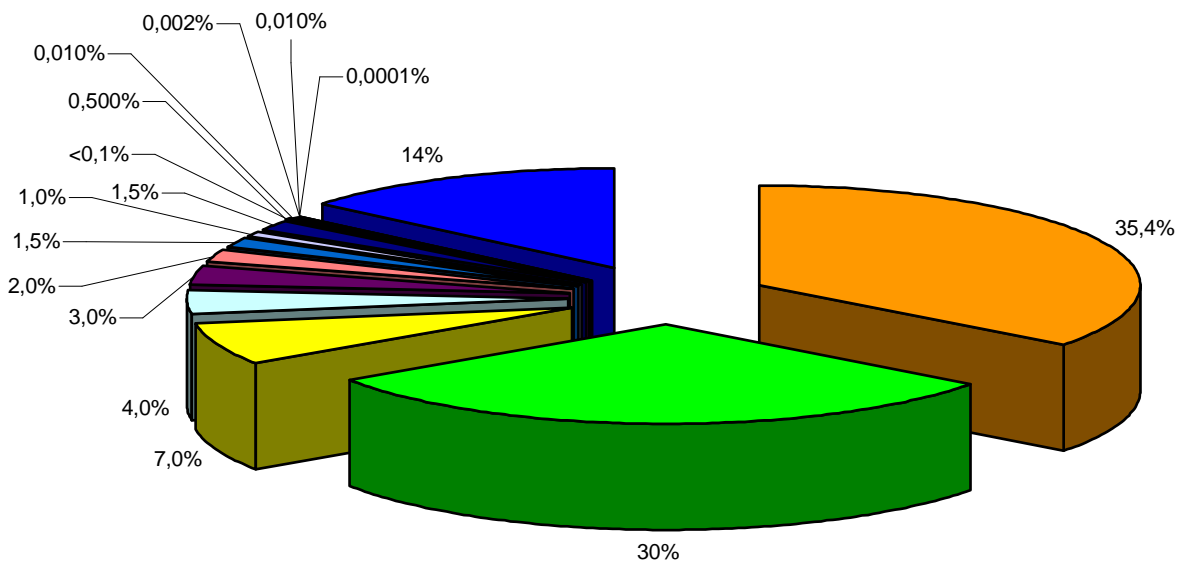
Die Tatsache, dass es keine Grenzwerte für Acrylamid geben kann, macht den Umgang des Verbrauchers mit acrylamidhaltigen Lebensmitteln zu einem Problem.

Die totale Vermeidung von Acrylamid ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich, und der Versuch würde zu einer einseitigen Ernährung und möglicherweise zu Mangelerscheinungen führen.

Eine nicht kontrollierte Aufnahme von Acrylamid wäre allerdings, angesichts der wahrscheinlich karzinogenen und genotoxischen Wirkung, unverantwortlich.

Dies zeigt sich auch in statistischen Untersuchungen für Krebserkrankungen, wie sie in der folgenden Abbildung dargestellt sind [26].

Relative Anteile verschiedener Ursachen für die Entstehung von Krebs



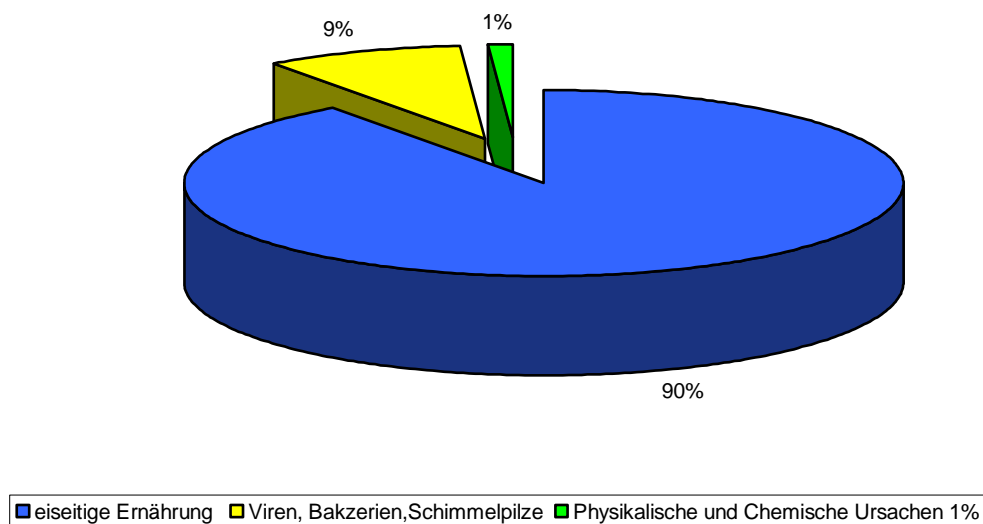
■ Nahrung, Ernährung 35,4%	■ Tabak 30 %
■ Fortpflanzung und Sexualverhalten 7%	■ Expositionen im Beruf 4%
■ Alkohol 3%	■ Luft und Wasserverunreinigungen 2%
■ Sonnenlicht, UV Strahlung 1,5%	■ Medikamente 1%
■ Natürliche Strahlenexposition 1,5 %	■ Nahrungszusätze, Haushaltschemikalien <1%
■ Medizinische Strahlenexposition 0,5 %	■ Kernwaffenversuche Weltweit 0,01%
■ Tschernobyl (Südbayern) 0,01%	■ Tschernobyl (Bundesrepublik) 0,002%
■ kernkraftwerke Normalbetrieb 0,0001 %	■ Ungeklärt ca. 14 %

Angesichts der Tatsache, dass vierunddreißig Prozent der Krebserkrankungen auf Ursachen aus dem Verzehr von Lebensmitteln aller Art zurückgehen, dass heißt auf Stoffe, die aus unserer Nahrung kommen oder mit denen unsere Lebensmittel belastet sind, und auf unser Ernährungsverhalten, war und ist es notwendig, die Verbraucher so weit es geht vor krebserregender Belastung jedweder Art möglichst weitestgehend zu schützen.

Dabei darf nicht unerwähnt bleiben, dass nur 1 % der allgemeinen gesundheitlichen Erkrankungen mit Ursachen aus Nahrung und Ernährung, darunter auch Übergewicht bedingte Erkrankungen wie Diabetes oder Bluthochdruck, aus chemischen oder physikalischen Ursachen, wie z.B. Acrylamid, entsteht. Der überwiegende Teil der Erkrankungen geht auf einseitige und falsche Ernährungsweise zurück.

[27]

Ursachen einer nachteiligen Beeinflussung, Gesundheitsgefährdung und Gesundheitsschädigung durch Lebensmittel



9.1 Das Minimierungskonzept der Bundesregierung

Wie schon erwähnt kann dem Verbraucher kein Wert für die maximale tägliche Acrylamidaufnahme gegeben werden.

Um den Verbraucher weitestgehend schützen zu können, werden üblicherweise umfangreiche Forschungen nötig. Diese Forschungen zu unterstützen ist eine Maßnahme des Minimierungskonzeptes der Bundesregierung, das August 2002 beschlossen wurde [28].

Im Mittelpunkt des Konzeptes steht allerdings ein dynamisches System zwischen Bund und Ländern zur Minimierung der Acrylamidgehalte in Lebensmitteln.

Die obersten Lebensmittelüberwachungsbehörden untersuchen und identifizieren jährlich mit Acrylamid belastete Warengruppen. Das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft sammelt die Untersuchungsdaten und identifiziert die zehn Prozent, der in der jeweiligen Warengruppe bundesweit am stärksten belasteten Lebensmittel.

Die Hersteller, dieser am stärksten belasteten Produkte werden von den Überwachungsbehörden angesprochen, und es wird gemeinsam versucht technische Lösungen zur Minimierung zu entwickeln.

Außerdem werden grundsätzlich alle Produkte mit mehr als 1 ppm Acrylamid in die Maßnahme mit einbezogen.

Gearbeitet wird nach dem so genannten A.L.A.R.A. – Prinzip. Dies bedeutet "as low as reasonably achievable" oder „so niedrig wie vernünftigerweise möglich“.

Mit diesem Konzept wird darauf gezielt die Spitzenbelastung von Lebensmitteln mit Acrylamid möglichst schnell zu senken und es auf das niedrigste machbare Level zu reduzieren.

Parallel hierzu führt das Bundesministerium Branchengespräche um einen Informationsaustausch zwischen betroffenen Unternehmen zu fördern und technische Lösungen zu verbreiten.

Allerdings erntet das Konzept nicht nur Zustimmung.

Speziell private Organisationen sehen die Maßnahme als nicht weitgehend genug an.

Die Bundesregierung würde Ihre Möglichkeiten, Druck auf die Hersteller zu erzeugen, nicht in vollem Umfang nutzen. Auch seien die gemessenen Höchstwerte der falsche Ansatz. Es sollten die niedrigsten Werte als Richtwerte festgelegt werden und nicht die höchsten [29].

Auch bemängeln die Kritiker, dass die Namen der Hersteller mit den am höchsten belasteten Produkten nicht veröffentlicht werden und es keine Kennzeichnungspflicht für belastete Lebensmittel gibt.

9.2 Signalwertermittlung

Die Festlegung der Signalwerte erfolgt, wie schon erwähnt, an den jeweils oberen 10 % einer belasteten Warengruppe.

Bei Warengruppen die mehr als 1000 µg Acrylamid pro Kg enthalten, gilt grundsätzlich 1000 µg Acrylamid pro Kg als Obergrenze. Dabei spielt es keine Rolle ob ein Erzeugnis im Einzelfall zu den am stärksten belasteten Produkten zählt oder nicht.

Sinkt im darauf folgenden Jahr die Acrylamidbelastung der Warengruppe, so dient der jetzt niedrigste der obersten 10% als Signalwert. An diesem Wert sollen alle Hersteller sich orientieren und versuchen, diesen mit den eigenen Produkten möglichst zu unterschreiten. Durch die jährlichen Untersuchungen sollten die Signalwerte dynamisch gesenkt werden.

Der Signalwert wird allerdings nicht erhöht. Bei Überschreiten sind keine Strafen vorgesehen. Der Druck auf die Hersteller ist dementsprechend gering. Die Wirksamkeit dieses Konzeptes ist vom „guten Willen der Hersteller“ („good practice factory“) abhängig.

Der Nachteil ist, dass der Verbraucher von den öffentlichen Behörden nicht informiert wird, welche Hersteller die geringste oder die stärkste Acrylamidbelastung vorweisen. Informationen dieser Art können nur über private Organisationen bezogen werden, die Ihre eigenen Acrylamid - Testreihen durchführen.

Allerdings kann dort aufgrund der recht hohen Kosten einer einzelnen Untersuchung oft nur ein Ausschnitt aus dem Warenspektrum untersucht werden und zeigt somit ein oft einseitiges oder zumindest nur bedingt aussagekräftiges Bild.

Zum besseren Verständnis soll hier die Untersuchungsmethode kurz dargestellt werden.

9.3 Acrylamid - Analyse

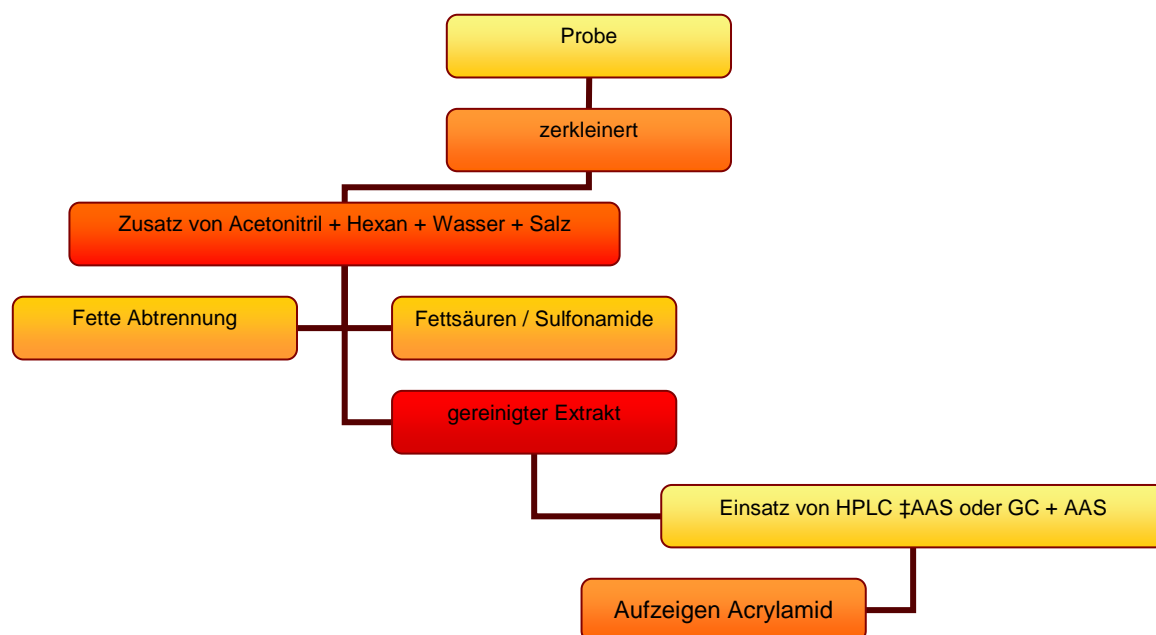
Eine einzelne Untersuchung einer Lebensmittelprobe kostet im Labor rund 150 € [30]. Die hier beschriebene so genannte „Dispersive SPE¹⁰ – Acrylamid – Analyse in stärkehaltigen Lebensmitteln“ [31] ist nur eine mögliche Untersuchungsmethode. Da sie zu den neueren Methoden gehört, soll sie hier exemplarisch beschrieben werden.

Bei der Dispersiven Acrylamid – Analyse wird das zu untersuchende Lebensmittel zuerst zerkleinert und anschließend mit einer Kombination aus Hexan zur Fettlösung, Acetonitril zur Polymerlösung, Wasser und großen Mengen von Salz extrahiert. Die meisten der problematischen Fette diffundieren in die Hexanphase, die verworfen wird.

Die stark salzhaltige Umgebung hilft bei der Trennung des Acetonitrils von der Wasserphase und treibt das Acrylamid in die Acetonitrilphase.

Mit Hilfe von primären und sekundären Aminen werden übrig gebliebene Fettsäuren und weitere Störstoffe entfernt, indem sie Sulfonamide bilden.

Das gereinigte Extrakt wird anschließend mit Hilfe der Flüssigchromatographie in Verbindung mit zwei Massenspektrometern oder mittels Gaschromatographie und einem Massenspektrometer analysiert.



¹⁰ Solid Phase Extraction = Festphasenextraktion

10 Möglichkeiten für industrielle Acrylamidreduzierung

Viele Maßnahmen den Acrylamidwert zu senken sind durch die Medien auch einem Großteil der Verbraucher bekannt. Das Motto „Vergolden – nicht Verkohlen“ ist auch immer noch eine der wirksamsten Maßnahmen, um auch am heimischen Herd die Acrylamidbelastung niedrig zu halten. Gesenkte Gar-, Brat-, Frittier- und Backtemperaturen haben einen hohen Anteil an gesenkten Acrylamidwerten. Auch in der Industrie. Allerdings reichen die Maßnahmen, die man in privaten Haushalten treffen kann, in der Industrie oft nicht aus oder sind aufgrund spezieller Produktionsprozesse schwer zu realisieren.

Außer dem Temperaturbereich hat sich eine Erhöhung der Produktfeuchte ebenfalls als wirksame Maßnahme zur Acrylamidreduzierung erwiesen. Dies ist allerdings nur in begrenztem Umfang möglich, da ein höherer Wassergehalt auch immer eine steigende potentielle Gefahr auf der mikrobiellen Ebene darstellt.

Auch ist dies bei Produkten wie z.B. Zwieback keine realisierbare Maßnahme, da hier das Produkt in seiner ureigenen Charakteristika verändert werden würde.

Die Verbrauchererwartung könnte nicht mehr erfüllt werden.

Dies ist oft ein Problem bei Minimierungsmaßnahmen. Jede Änderung des Herstellungsprozesses oder der Rezeptur kann Auswirkungen auf den Geschmack, die Haltbarkeit oder die Qualität eines Produktes haben. Spezielle Hersteller so genannter Markenwaren stehen daher oft vor Problemen.

Dies zeigt sich z.B an den Acrylamidwerten der letzten zwei Jahre für einige Kartoffelchips im Vergleich.

	Rusti Crusti Croc Paprika 100g	Lorenz snack-world Crunchips Stackers / Chipsletten 100g	IBU Stapel Chips Paprika 100g	Lorenz snack-world Crunchips Paprika 175g	Chio Chips Red Paprika 175g
Mai 2004	240	929	106	247	403
Mai 2005	184	264	303	309	319
Tendenz (Vergleich 2005 zu 2004)	▼	▼	▲	▲	▼
Hitliste (nach Belastungswerten)	1	2	3	4	5

Alle Acrylamidwerte in Mikrogramm pro Kilogramm ($\mu\text{g}/\text{kg}$), Messtoleranz 10 Prozent.

	Crusti CrocChips 300g	IBU Chips Paprika 175g	Cross Chips Paprika 200g	Pringles Paprika 200g	Funny Frisch Chipsfrisch Ungarisch 175g
Mai 2004	678	150	366	662	333
Mai 2005	363	418	566	693	1050
Tendenz (Vergleich 2005 zu 2004)	▼	▲	▲	▲	▲
Hitliste (nach Belastungs- werten)	6	7	8	9	10

[32]

Der Verbraucher verzeiht Qualitätsschwankungen bei „No Name Herstellern“ leichter, weil er sie von diesen eher erwartet. Daher scheinen diese aber in der Lage ihre Acrylamidwerte stark zu reduzieren [33].

Möglichkeiten für die Acrylamidreduzierung in Kartoffelchips gibt es einige. Allerdings sind hier die Ausgangswerte auch besonders hoch gewesen. In einem neuen Vakuum-Verfahren kann bei niedrigeren Temperaturen produziert werden.

Zusätzlich kann der Acrylamid-Gehalt dadurch gesenkt werden, dass die Chips dicker geschnitten werden. Dadurch verringert sich das Oberflächen/ Volumen-Verhältnis, es bildet sich verhältnismäßig weniger Acrylamid an der Oberfläche

Auch die Rohstoffauswahl ist entscheidend. Gerade bei Kartoffeln kann über die richtige Sortenauswahl und den Lagerungsprozess viel Einfluss auf den späteren Acrylamidgehalt genommen werden. Bewährt hat sich auch ein Verfahren bei dem Kartoffelchips nach ihrer Farbe aussortiert werden, so genannte optoelektronische Sensoren sortieren fehlerfrei und leistungsstark. Dies erhöht allerdings die Ausschussquote.

Manchmal können Maßnahmen das Produkt sogar noch verbessern.

Laut Presseberichten gibt es Pommes frites - Hersteller, die das so genannte Coating von tiefgekühlten Pommes frites anwenden.

Dabei werden die einzelnen „Fritten“ mit einer Schicht aus Kartoffelstärke überzogen. So gelangt während des Frittierens das heiße Öl nicht direkt an die Pommes. Der Acrylamidgehalt sinkt dadurch beträchtlich und das Endprodukt ist sogar besonders knusprig [33].

Auch der Bio – Schokoladenhersteller „Vivani“ konnte durch eine einfache Maßnahme seine Schokolade schon im Jahre 2002 acrylamidfrei herstellen.

Er stieg von getrocknetem Voll - Rohrzucker auf die nicht getrocknete Roh - Rohrzucker Variante um. Die Acrylamidwerte liegen seitdem bei ihm unter der Nachweisgrenze. [34]

Neben dem Einfluss, den die Rohstoffauswahl hat, ist das Verfahren ein wichtiger Angriffspunkt.

Als Beispiel: Der Bio – Hersteller „Rapunzel“ verwendet ein Vakuumverfahren zur Herstellung seines Voll - Rohrzuckers. Durch diese Prozessoptimierung konnte der Acrylamidgehalt auf weniger als 0,1 – 0,4 ppm gesenkt werden [35].

Nicht immer sind die Maßnahmen so erfolgreich. Speziell, wenn die typischen Charakteristika eines Produktes unter einer Minimierung verloren gehen.

Als Beispiel sei hier der Herstellungsprozess von Lebkuchen erwähnt. Hier wird oft Ammoniumhydrogenkarbonat, besser bekannt als Hirschhornsalz, als Backtriebmittel verwendet. Dieses gibt dem Lebkuchen unter anderem seine spezielle geschmackliche Note.

Durch seinen Anteil an Stickstoff (NH_4HCO_3) ist es allerdings eine acrylamidbegünstigende Substanz. Ersetzt man Hirschhornsalz durch Backpulver, (findet oft in der Industrie Anwendung) so senkt sich der Acrylamidgehalt. Allerdings geht dabei eine wichtige geschmackliche Komponente verloren, die durch andere Aromastoffe nicht zu ersetzen ist.

Betrachtet man die gefundenen Acrylamidwerte in Lebkuchen, die mit Höchstwerten von 6141 ppb noch zur fünften Signalwertberechnung am 21.10.2005 immer noch keinen Schwellenwert unter dem vom Gesetzgeber festgesetzten 1000 ppb aufweisen konnten, so stellt man sich die Frage, was ist letztlich entscheidend: Der gewohnte Geschmack und die damit verbundenen Marktanteile der Hersteller oder die Gesundheit der Verbraucher?

Zusammenfassend kann man sagen, dass es sieben verschiedene grundsätzliche Ansatzpunkte zur industriellen Acrylamidreduzierung gibt.

- Temperaturregulierung
- Produktfeuchte
- Rohstoffauswahl und zum Teil deren Lagerung
- Rezeptur – Änderungen
- Verfahrens - Änderungen
- Verfahrens - Neuerungen
- Zusatzstoffe, die die Bildung von Acrylamid reduzieren sollen

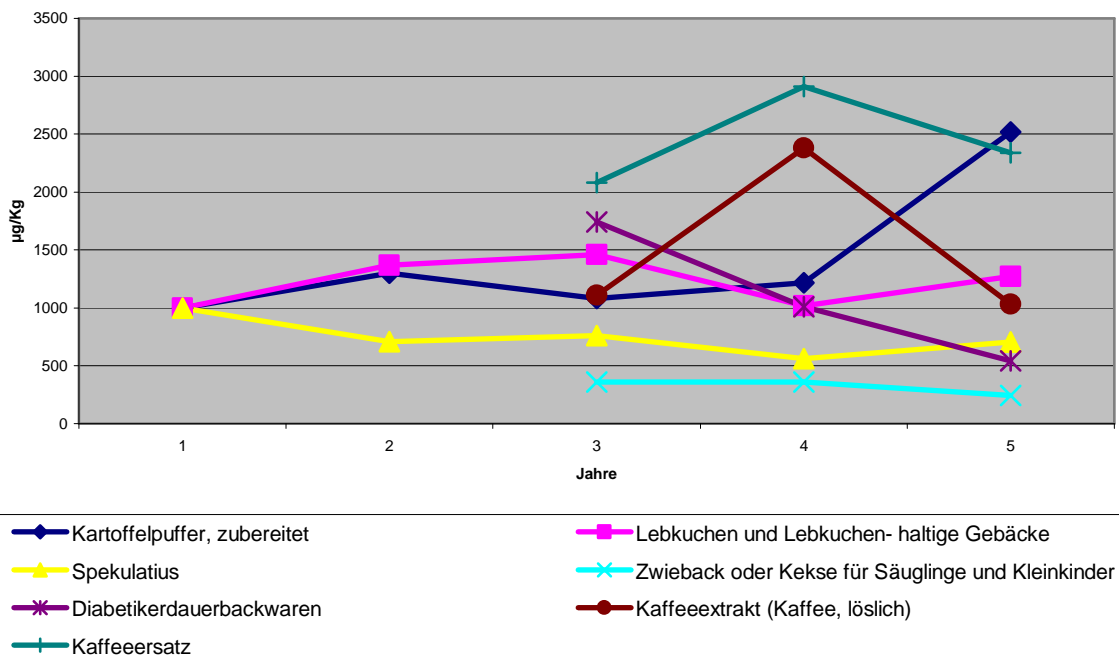
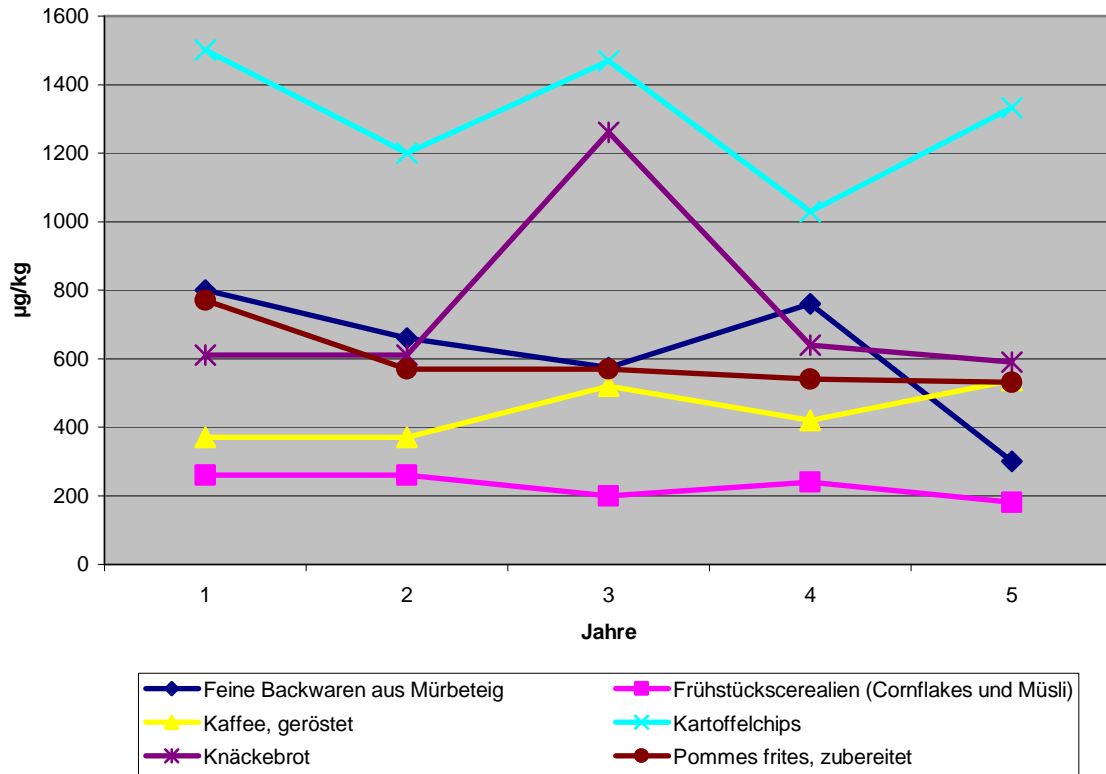
Gerade in den letzten Punkt der Zusatzstoffentwicklung setzt die Lebensmittelindustrie viel Hoffnung. Die Bildung von Acrylamid gänzlich zu verhindern wäre selbstredend der beste Verbraucherschutz und hätte keinerlei Auswirkungen auf das Produkt.

Bis zu diesem Punkt scheint es allerdings noch ein langer Weg zu sein. Bis dahin müssen wir uns mit dem Minimierungskonzept des Gesetzgebers begnügen. Angesichts der enormen Lebkuchen - Acrylamidwerte muss man sich allerdings fragen, ob dieses Konzept überhaupt funktionstüchtig ist.

11 Schwellenwertentwicklung

Um das Minimierungskonzept auf Wirksamkeit zu überprüfen, ist es am einfachsten, die Schwellenwertentwicklung in den letzten fünf Jahren zu vergleichen.

Acrylamidwertentwicklung auf Schwellenwertbasis



Hierbei wurden nicht die Schwellenwerte verwendet, da diese nicht steigen dürfen, sondern die tatsächlich gefundenen Werte der oberen 10% einer Warengruppe. Die Schwellenwerte liegen grundsätzlich am niedrigsten Punkt. Der Übersichtlichkeit halber wurden die Warengruppen auf zwei Diagramme verteilt.

11.1 Auswertung

Bei der genauen Betrachtung der Werte ist zu erkennen, dass in einigen Bereichen die Acrylamidbelastung nicht zurückgegangen ist, sondern im Vergleich zu vorherigen Jahren sogar gestiegen ist. Die aktuellen Schwellenwerte liegen zum Teil weit unter den tatsächlich gemessenen Werten.

Die so genannten Beobachtungswerte, das wären die tatsächlichen Schwellenwerte (wenn sie steigen könnten), sind in diesem Jahr in einigen Produktgruppen gestiegen.

Bei Kaffee geröstet, Kartoffelchips, zubereiteten Kartoffelpuffern, Lebkuchen und lebkuchenhaltigen Gebäcken, Spekulatius, löslichem Kaffee und Kaffeeersatz sind die Beobachtungswerte gestiegen. Das heißt in sieben von dreizehn beobachteten Warengruppen ist das Minimierungskonzept bislang ohne Wirkung. Das sind immerhin fast 54 % der Bereiche, in denen sich in den letzten Fünf Jahren wenig getan hat. Den Herstellern drohen keine Konsequenzen aus überhöhten Werten. Erst wenn eine private Organisation die Hersteller mit den überhöhten Werten öffentlich macht, droht von Seiten der Verbraucher her ein Umsatzrückgang. Strafen von öffentlicher Seite sind bisher nicht vorgesehen.

11.2 Reaktionen der Industrie

Nicht alle Hersteller reagierten so schnell und verbraucherorientiert wie die oben genannten Betriebe „Rapunzel“ oder „Vivani“.

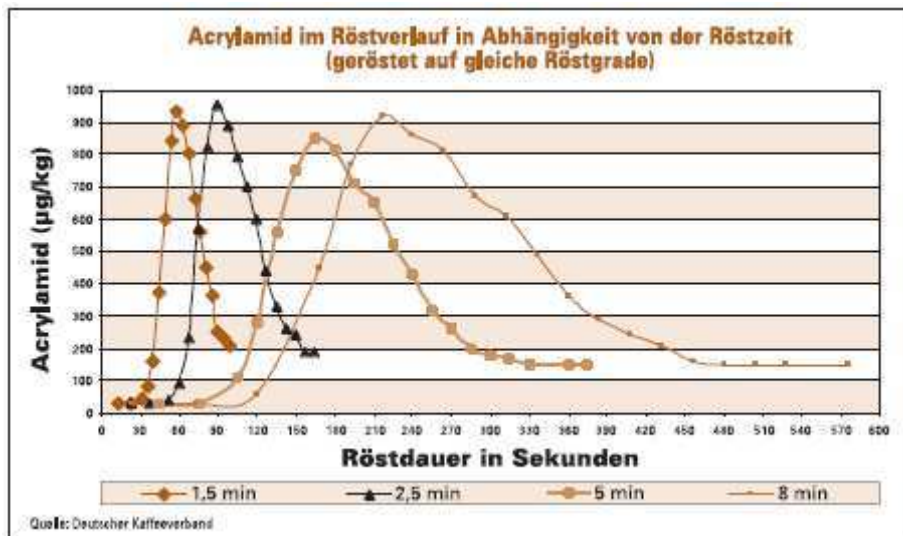
Manche Reaktionen der Lebensmittelindustrie fallen eher negativ aus.

Die Organisation „foodwatch“ testete einige Reaktionen der Industrie auf Verbrauchernachfragen:

„...Hier einige Beispiele: Procter&Gamble („Pringles“) gibt als einziger von elf Kandidaten eine Rufnummer an. Doch im Callcenter ist Acrylamid kein Begriff: "Ich hab' das nicht im System". Bei Lorenz-Bahlsen ist Acrylamid bekannt, doch statt aktueller Werte erfahren wir, dass Messwerte keine Aussagekraft hätten. Auch bei FN Organic Food ...gibt es keine aktuellen Zahlen. Dafür aber den Tipp, Chips mit besonders dunklen Stellen nicht zu essen...“ [36]

Im Jahresbericht 2004 des Deutschen Kaffeeverbandes [37] heißt es direkt, dass die eingeführten Signalwerte „...jedoch keinen gesetzlichen Charakter haben.“

Kaffee ist allerdings tatsächlich ein überaus interessantes Produkt im Hinblick auf Acrylamid. Studien zufolge unterscheidet sich die Acrylamidbildung in Kaffee erheblich von anderen Lebensmitteln. Demnach wird während der Startphase der Röstung schnell Acrylamid gebildet. Nach Erreichen eines Maximums fällt der Acrylamidgehalt deutlich ab auf nur noch 25 – 30 % des Maximalwerts, der in seiner Entstehung durch die Qualitätsvorgaben festgelegt ist. Die Höhe des Maximums und der Verlauf ist unabhängig von der Rösttemperatur und der sich daraus ergebenden Röstzeit.



[37]

Hier stellen das Bundesministerium für Verbraucherschutz und der Deutsche Kaffeeverband übereinstimmend fest, dass Kaffee ein geringes Minimierungspotential aufweist. Schon deshalb, da außerhalb des Röstprozesses oder der Sortenauswahl wenig Einflussmöglichkeiten bestehen. Dem Kaffee werden während der Herstellung keine weiteren Rohstoffe (wie Zucker oder Stärke) hinzugesetzt und die Möglichkeiten der Einflussnahme sind dementsprechend gering.

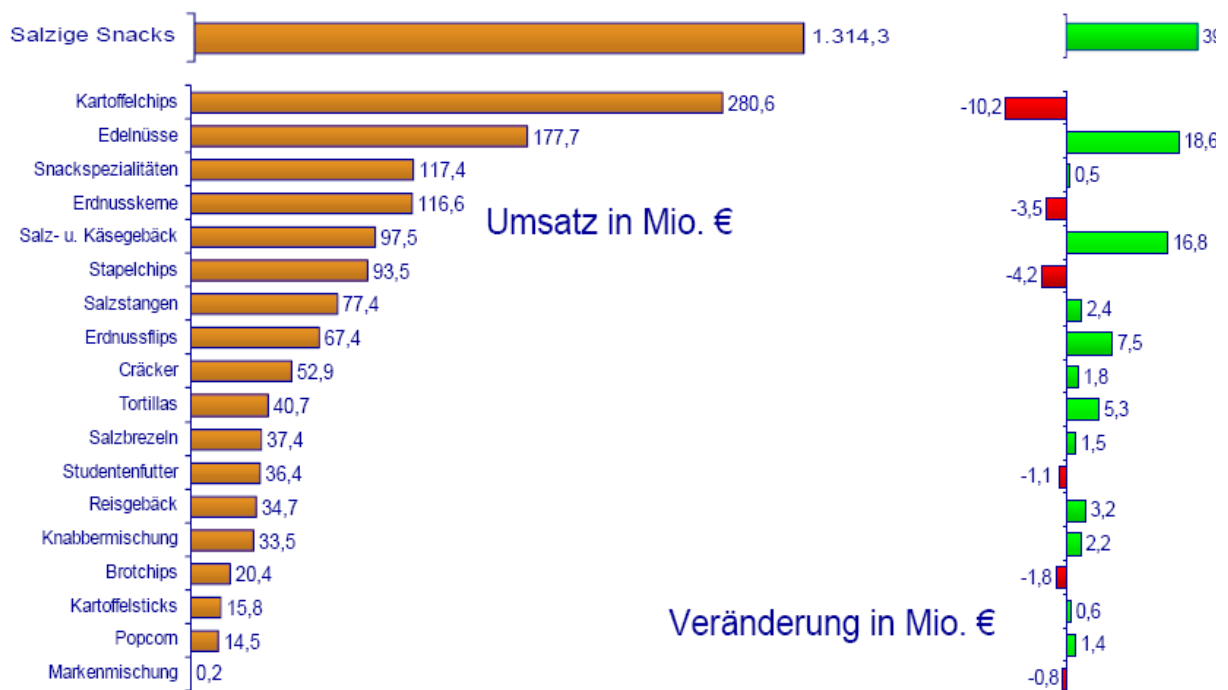
Da Acrylamid sehr gut in Wasser löslich ist kommt ein Grossteil des entstandenen Acrylamids allerdings auch tatsächlich in den Tassen der Verbraucher an.

11.3 Wirtschaftliche Folgen

Natürlich hat die ganze Problematik um Acrylamid und die damit einhergehende Verunsicherung des Verbrauchers auch wirtschaftliche Folgen für die einzelnen Industriezweige [38].

Die wirtschaftlichen Konsequenzen sind auch nicht nur auf den Umsatzverlust und den Verlust von Marktanteilen begrenzt. Weitere Kosten entstehen durch notwendige Finanzierung der Beschaffung von Informationen, der Erforschung der Zusammenhänge, Versuche, die Produktion auf weniger belastende Verfahren umzustellen, Rezepturänderungen und vielleicht sogar neue Maschinen. Vielleicht am schwerwiegendsten ist allerdings der Imageverlust. Dieses wieder aufzubauen kostet Investitionen in die Marktforschung, Werbeausgaben und natürlich Zeit, in der der Umsatz erstmal rückläufig ist.

Ein angeschlagenes Image wieder aufzubauen ist ein überaus kostspieliges Unterfangen.



Quelle: Nielsen Market Track, 2003 zu 2002, LEH+Impuls+Aldi

38]

Schon aus diesem Grund ist es falsch zu glauben, die Industrie würde nicht an dem Problem der Minimierung arbeiten. Aus wirtschaftlicher Sicht hat sie keine andere Wahl. Natürlich fördert hier aber auch der öffentliche Druck durch Verbraucherschützer die Forschung und Entwicklung der Industrie.

12 Fazit

Acrylamid ist ein neu entdeckter Stoff, der schon viele tausend Jahre in unserer Ernährung existiert. Deswegen ist er, wie diese Arbeit belegen konnte, nicht ungefährlich, aber eigentlich auch kein Grund zur Panik. Wir setzen uns täglich unzähligen Gefahren aus, die unsere Gesundheit beeinträchtigen oder beeinträchtigen können. Den meisten davon sogar ganz bewusst. Im Jahre 2005 gab es in Deutschland zum Beispiel ca. 17 Millionen Raucher. Jährlich gibt es in Deutschland laut Drogenbericht und der Deutschen Hauptstelle für Suchtfragen etwa 110.000 "tabakbedingte Todesfälle", etwa 300 pro Tag [39].

Im Jahre 2004 wurden auf Deutschlands Straßen 440.126 Menschen durch den Straßenverkehr verletzt und weitere 5842 getötet [40].

Schätzungen die zu Krebsfällen durch Acrylamid gemacht wurden, werden von den meisten Wissenschaftler als unseriös und äußerst ungenau abgelehnt.

Die Reaktion auf ein Risiko sollte überlegt und angemessen sein. Unsere Ernährung sollte ohnehin ausgewogen und gesund sein. Eine acrylamidreiche Ernährung setzt jedoch eine Ernährungsform voraus, die hauptsächlich aus gebratenen, frittierten und gebackenen Lebensmitteln besteht. Eine solche Ernährung ist schon aufgrund dieser Zubereitungsarten nicht als ausgewogen und gesund zu betrachten. Ein Mensch der sich ausgewogen und gesund ernährt, sollte sich nicht übermäßig um die aufgenommene Acrylamidmenge sorgen. Wir können dem Risiko, welches Acrylamid in unserer Nahrung mit sich bringt, nicht vollständig entgehen. Tatsächlich stellt es ein Problem dar, aber nach dem heutigen Wissenstand und gemessen an anderen Risiken, die unsere Lebensweise und unser Ernährungsverhalten mit sich bringen, sollten wir es in angemessener Relation betrachten. Oder kurz gesagt: „Jeder der raucht, braucht sich um das „Fritten – Gift“ (Kölner Express 2002) keine Sorgen zu machen.“

Es wird auch in Zukunft immer wieder Lebensmittelskandale geben die die Öffentlichkeit erregen werden, schon weil noch mehr Stoffe wie Acrylamid entdeckt werden könnten. Die Stoffe der Maillard – Reaktion sind noch nicht alle identifiziert und die Folgen der Gentechnik sind ebenfalls noch nicht absehbar.

Der Acrylamid – Skandal hat im besten Falle dazu beigetragen, dass wir uns künftig gesünder und besser ernähren und allen Lebensmitteln die wir zu uns nehmen kritisch gegenüberstehen.

12.1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird versucht einen allgemeinen Überblick über den momentanen Stand der Forschung über Acrylamid in Lebensmittel zu geben. Die verwendete Arbeitsmethode ist die umfassende Sichtung und Auswertung von frei zugänglichem Informationsmaterial, hauptsächlich mit Hilfe des Internets.

Geschildert werden sowohl die Entdeckung des Acrylamids in Lebensmitteln als auch die chemischen Grundlagen der zur Entstehung nötigen Maillard – Reaktion, sowie die möglichen Bildungswege im Einzelnen. Anschließend wird darauf eingegangen, welche Mengen Acrylamid im Durchschnitt von einem Menschen täglich aufgenommen werden und welche Problematik bei diesen Werten besteht.

Im Folgenden wird dargestellt, welche gesundheitlichen Folgen die Acrylamidaufnahme hat, wodurch diese verursacht werden und welche Mengen dabei relevant sind.

Die nötigen, möglichen und geforderten Maßnahmen sowie die schon ergriffenen und durchgeführten Minimierungskonzepte werden exemplarisch geschildert.

Durch die Darstellung der Schwellenwertentwicklung in den letzten fünf Jahren wird die Wirksamkeit der ergriffenen Minimierungskonzepte aufgezeigt. Als Fazit ergibt sich eine Gefährdung des Verbrauchers, die zwar durchaus vorhanden, aber im Verhältnis zu anderen täglichen bekannten und unbekanntem Gefahren durchaus relativierbar ist.

12.2 Summary

The present study is the attempt to give a general survey over the state of knowledge concerning acrylamide in food. All freely accessible information available on the Internet was examined and evaluated.

First of all, I shall depict the detection of acrylamide in food, the chemical principles of the underlying the Maillard reaction, and in particular the possibilities of acrylamide formation in processed food. This general overview on acrylamide generation is followed by an assessment of the average daily intake of acrylamide by the consumer and possible problems connected with that intake.

Subsequently, I shall describe the effects of acrylamide incorporation, their connection to health hazards, and relevant intake values.

The conclusion will be an exemplary survey of both the necessary and the possible claimed concepts of minimization and the already realized measures with a special focus on the industry. For example, on the level of threshold values currently defined

during the last 5 years, I try to evaluate the significance of those measures. This study shows that acrylamide intake entails some risk for the consumer, which requires further investigation. However, there is no reason to panic since human evolution seems to be adapted to acrylamide in processed food.

13 Quellen und Literatur

[1] Lebensmittelchemisches Institut des Bundesverbandes der Deutschen Süßwarenindustrie e.V. (BDSI) Sammlung LCI Focus 2003

<http://lci-koeln.de>

[2] Somoza, V.: Mit Kaffee und Toast gesund in den Tag? Melanoidine: Bräunungsprodukte mit Gesundheitsaspekt, Forschungsreport, 2.2005

http://www.bmvel-forschung.de/FORSCHUNGSREPORTRESSORT/DDD/R9_2005-2_0012.pdf

[3] Schieberle, P.; Köhler, P.; Granvogl, M.: Systematische Untersuchungen zur Aufklärung des Bildungsmechanismus von Acrylamid, Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Garching, 11.2005

<http://www.ilu-ev.de/acrylamid/acrylamid.htm>

[4] O.V.: Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Aufklärung der Bildungsmechanismen von Acrylamid, Jahresbericht 2004

<http://dfa.leb.chemie.tu-muenchen.de/DJahr2004.html#4.5>

[5] Baltes, W.: Lebensmittelchemie, 3. Auflage; 5., vollständig überarbeitete Auflage Springer Verlag, 1992, 2000

[6] Trinkwasserverordnung 2001: Verordnung über die Qualität von Wasser für den Menschlichen Gebrauch, Anlage 2 (zu § 6 Abs. 2), Chemischer Parameter, 21.5.2001

http://bundesrecht.juris.de/trinkwv_2001/index.html

[7] Bedarfsgegenständeverordnung: Anlage 3 (zu § 4 Abs. 2 bis 4, § 6 Nr. 2 und § 8 Abs. 1, 1a und 1b) Stoffe und Erzeugnisse für die Herstellung von Lebensmittelbedarfsgegenständen; zuletzt geändert 13.7.2005

<http://bundesrecht.juris.de/bedggstv/index.html>

[8] O.V.: Giftstoffe im Tabakrauch

<http://www.rauchfrei.de/rauchen.htm>

[9] Bader, M.; Hecker, H.; Wrbitzky, R.: Querschnittsstudie zur ernährungs- und tabakrauchbedingten Belastung mit Acrylamid

Deutsches Ärzteblatt 102, Ausgabe 39 vom 30.09.2005,
<http://www.aerzteblatt.de/v4/archiv/artikel.asp?id=48519>

[10] ter-Haseborg, V.: Acrylamid: Heißer Stoff, 24.02.2003
<http://www.netdokter.de/feature/acrylamid.htm>

[11] Bayerisches Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit: Acrylamid in Muttermilch, erstellt 12.08.2004, aktualisiert 12.12.2005
<http://www.lgl.bayern.de/>

[12] Bundesinstitut für Risikobewertung
<http://www.bfr.bund.de>

[13] WHO: Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Sixty-fourth meeting, Summary and Conclusions, Seite 7 bis 17, Rom, 8-17 2.2005
http://www.who.int/ipcs/food/jecfa/summaries/summary_report_64_final.pdf

[14] ZDF; Wissen und entdecken; Die Entdeckung des Feuers; 30.03.2003:
<http://www.zdf.de/ZDFde/inhalt/7/0,1872,2039431,00.html>

[15] Gerke; Zolg; „Die Ernährung im Jungpaläolithikum in Mitteleuropa didaktisch reflektiert im Hinblick auf den Sachunterricht.“ 7. November 2000
<http://www.feuer-steinzeit.de/ressourcen/ernaehrung.php>

[16] Unterrichtung durch die Bundesregierung: Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen, Umwelt und Gesundheit - Risiken richtig einschätzen, 15.12.1999
<http://www.umweltrat.de/frame03.htm>

[17] Baum, M., Eisenbrand, G.: Beiträge zum dritten Workshop der Arbeitsgruppe Lebensmittelqualität und –Sicherheit, der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät, der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Potentiell kanzerogene Inhaltsstoffe in Lebensmitteln, Acrylamid in Lebensmitteln, Seite 20 bis 31, 26.6.2003

[18] Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial-, und Umweltmedizin:
Forschungsvorhaben Acrylamid,
http://www.arbeitsmedizin.uni-erlangen.de/Aromatische%20Amine_Acrylamid_Praeambel.htm

[19] Boettcher; Angerer: Metabolismus von Acrylamid im Menschen nach einmaliger oraler Gabe von Deuterium-markiertem Acrylamid; Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial-, und Umweltmedizin; Universität Erlangen-Nürnberg; 5.2005

<http://www.scientificjournals.com/sj/ufp/Pdf/ald/7694>

[20] Boettcher; Angerer, Koch, Midasch: Zwei Tage Acrylamid-freie Diät: Effekt auf die Ausscheidung von Mercaptursäuren von Acrylamid und Glycidamid in menschlichem Urin; Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial-, und Umweltmedizin; Universität Erlangen-Nürnberg; 5.2005

<http://www.scientificjournals.com/sj/ufp/Pdf/ald/7694>

[21] Eisenbrand; Baum: Konzentrations-/ Wirkungsbeziehungen von Acrylamid und Glycidamid in Humanblut, Universität Kaiserslautern, 1.11.05.

<http://www.ilu-ev.de/acrylamid/acrylamid.htm>

[22] ChemieOnline; 2006

<http://www.chemieonline.de/campus/mdm/acrylamid/index4.php>

[23] Deutsche Krebsgesellschaft e.V. 18.1.2006

http://www.krebsgesellschaft.de/umwelt_schadstoffe_und_strahlen,1073.html

[24] Institut für Lebensmittelchemie; 2006

http://www.uni-muenster.de/Chemie.lc/mitarbeiter/riedke_html/promo/gfx/1_glucoson.gif

[25] Dégradation de Strecker; 2001;

http://www.ens-lyon.fr/DSM/magistere/projets_biblio/2001/emessine/etude1.htm

[26] Doll; Peto; 1981; Henschler; 1993; Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen „Relative Anteile verschiedener Ursachen für die Entstehung von Krebs“;

[27] Horlacher; Staatliche Fachschule für Lebensmitteltechnik an der Emil –Fischer Schule zu Berlin; Februar 2006;

[28] Pressemitteilung; 30.08.2002; Künast; Minimierungskonzept zu Acrylamid vorgelegt;

http://www.bmelv.de/cln_045/nn_802718/DE/00-Home/_Homepage_node.html_nnn=true#

[29] Foodwatch e.V ; „Acrylamid – ein unnötiges Krebsrisiko“ 10.01.2006;

http://foodwatch.de/themen_aktivitaeten/acrylamid/index_ger.html

[30] Unabhängige Verbraucherinitiative für eine gesunde Ernährung mit natürlichen Lebensmitteln; 2.04.2006;

www.Eurotoques.de

[31] the Reporter Europe; Ausgabe 19, Januar 2006 Deutsche Ausgabe

http://www.sigmaaldrich.com/Area_of_Interest/Europe_Home/Germany.html

[32] Foodwatch e.V; Acrylamid-Testergebnisse bei Kartoffelchips im Juni 2005;

<http://www.foodwatch.de/>

[33] Macke V.; Berliner Zeitung; 30.11.2005;

http://www.arbeitsmedizin.uni-erlangen.de/Acrylamid_Pressespiegel.htm

[34] Vivani Bio – Genuss; März 2006;

<http://www.vivani.de/index.html>

[35] Rapunzel Naturkost AG; März 2006;

<http://www.rapunzel.de/index.php?plink=home&l=1&fs=&fs=>

[36] Foodwatch e.V.; Acrylamid Informationen; 28.06.2004

http://foodwatch.de/themen_aktivitaeten/acrylamid/kartoffelchips/informationen/index_ger.html

[37] Deutscher Kaffeeverband e.V.; April 2006;

<http://www.kaffeeverband.de/>

[38] Wolf, W.; Intersnack Knabber – Gebäck GmbH & Co. KG; BfR – Status Konferenz; „Was Kostet eine Krise? – Wie Acrylamid in Deutschland zur Umsatzbremse wird“

http://www.bfr.bund.de/cm/232/acrylamid_in_deutschland.pdf

[39] Ärzte Zeitung online; 5.04.2006; Raucher in Deutschland - Zahlen und Fakten;

<http://www.aerztezeitung.de/docs/2006/04/05/063a2303.asp?cat=/medizin/rauchen>

[40] Statistisches Bundesamt Deutschland; 2005;

http://www.destatis.de/d_home.htm

Weiteres Schrifttum:

Aminosäuren <http://www.novamex.de>

Wikipedia; Die freie Enzyklopädie <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>

14 Danksagung

Ich möchte mich bei allen die mich bei der Verfassung dieser Arbeit unterstützt haben bedanken.

Mein Ganz besonderer Dank gilt Herrn Axel Juretko für seine geduldige Korrektur und seine nützlichen Anmerkungen sowie für seine motivierende Art die Dinge anzugehen.

Weiterhin möchte ich mich im speziellen bedanken bei Frau Dr. Elda Hausmann für ihre begeisterte Unterstützung in fachlichen und fremdsprachlichen Fragen.

Für sein geduldiges Antreiben meines manchmal schwer zu motivierenden Selbst und seine Unterstützung während meiner gesamten Ausbildung, danke ich ganz besonders Herrn Deniz Arpaci.

Für die Unterstützung mit relevanten Informationen danke ich Herrn Franz Horlacher, Herrn Franz Stuhlfreyer und meiner Kommilitonin Frau Anja Schlegel bei der ich auch jederzeit eine Sicherheitskopie hinterlegen durfte.

14.1 Erklärung

Ich, Bianca Ruddat, erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Bianca Ruddat