

DOI 10.17590/20180423-085250

Speisekartoffeln sollten niedrige Gehalte an Glykoalkaloiden (Solanin) enthalten

Stellungnahme Nr. 010/2018 des BfR vom 23. April 2018

Kartoffeln gehören zur Familie der Nachtschattengewächse. Neben vielen ernährungsphysiologisch wertvollen Inhaltsstoffen können Kartoffeln für diese Pflanzenfamilie typische Glykoalkaloide enthalten. Die häufigsten in der Kartoffel vorkommenden Glykoalkaloide sind α -Solanin und α -Chaconin. Diese sekundären Inhaltsstoffe dienen der Pflanze zur Abwehr von Schädlingen und Krankheitserregern. Der Verzehr von grünen, keimenden oder beschädigten Kartoffeln kann zu Vergiftungen durch Glykoalkaloide führen. Leichte Vergiftungen äußern sich durch Übelkeit, Bauchschmerzen, Erbrechen und Durchfall, mitunter begleitet von Fieber. Bei schweren Vergiftungsfällen können zusätzlich Bewusstseinsstörungen, sehr selten bis zum vollständigen Bewusstseinsverlust, sowie weitere Störungen der Hirnfunktion, der Atmung oder des Kreislaufes auftreten. Einzelne tödliche Vergiftungen wurden berichtet. Aus den letzten 100 Jahren sind nur wenige Vergiftungsfälle bekannt und dokumentiert. Aufgrund der unspezifischen Symptome könnte eine nicht unerhebliche Dunkelziffer bestehen.

Im November 2015 wurden in einer Familie Erkrankungsfälle im Zusammenhang mit dem Verzehr von Kartoffelgerichten beobachtet. Nach der Zubereitung von Pell- und Backkartoffeln traten Erkrankungssymptome wie Erbrechen und Bauchschmerzen auf. Untersuchungen ergaben, dass die Speisekartoffeln einen Gehalt an Glykoalkaloiden von 236 mg (Milligramm) pro kg (Kilogramm) Kartoffeln aufwiesen. Im Allgemeinen wurden Kartoffeln mit einem Glykoalkaloidgehalt von bis zu 200 mg pro kg Frischgewicht bisher als unbedenklich angesehen. Der sehr geringe Abstand zwischen den bislang als unbedenklich angesehenen Glykoalkaloidgehalten sowie den im konkreten Fall beobachteten Vergiftungssymptomen nach Verzehr von Kartoffeln mit einem Glykoalkaloidgehalt von 236 mg pro kg Kartoffeln weisen jedoch darauf hin, dass bei dem bisher als unbedenklich angesehenen Wert für Glykoalkaloidgehalte von 200 mg pro kg Kartoffeln Vergiftungssymptome möglich sein könnten.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat die verfügbaren Daten toxikologisch bewertet und auf dieser Grundlage abgeschätzt, ab welchem Glykoalkaloidgehalt von Kartoffeln gesundheitliche Beeinträchtigungen möglich sein könnten. Dabei wurde auf Basis der gegenwärtig verfügbaren Daten ein NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*: höchste Dosis, bei der keine unerwünschten gesundheitlichen Wirkungen beobachtet werden) von 0,5 mg pro kg Körpergewicht und Tag abgeleitet. Um diese Dosis nicht zu überschreiten, sollte der Glykoalkaloidgehalt von Speisekartoffeln bei unter 100 mg pro kg Frischgewicht liegen. Damit werden auch besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen berücksichtigt. Das BfR empfiehlt, entsprechende Untersuchungen zum Glykoalkaloidgehalt in Kartoffeln durchzuführen.

Um den Glykoalkaloidgehalt von zubereiteten Kartoffeln möglichst gering zu halten, rät das BfR Verbraucherinnen und Verbrauchern, die gängigen Empfehlungen zur Lagerung und Zubereitung von Kartoffeln einzuhalten. Kartoffeln sollten kühl, dunkel und trocken gelagert und grüne Stellen und Sprossknospen, sogenannte „Augen“ in Kartoffeln, großzügig entfernt werden. Alte, eingetrocknete oder keimende Kartoffeln sowie Kartoffeln mit mehreren grünen Stellen sowie Snacks aus Kartoffelschalen sind für den Verzehr nicht geeignet. Wenn Verbraucherinnen und Verbraucher Kartoffeln mit Schalen verzehren möchten, sollten sie hierfür grundsätzlich nur unverletzte, frische Kartoffeln verwenden. Insbesondere kleine Kinder sollten keine ungeschälten Kartoffeln essen. Verbraucherinnen und Verbraucher sollten das

Kochwasser von Kartoffeln nicht wieder verwenden und Frittierfett für Kartoffelprodukte regelmäßig wechseln. Das BfR empfiehlt zudem, Kartoffelgerichte nicht zu verzehren, wenn diese einen bitteren Geschmack aufweisen.

BfR		BfR-Risikoprofil: Solanin in Kartoffeln (Stellungnahme Nr. 010/2018)			
A Betroffen sind	Allgemeinbevölkerung Kinder und Jugendliche				
B Wahrscheinlichkeit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung bei Verzehr von Kartoffeln oder Kartoffelprodukten mit hohem Solaningehalt (≥ 200 mg pro kg)	Praktisch ausgeschlossen	Unwahrscheinlich	Möglich	Wahrscheinlich	Gesichert
C Schwere der gesundheitlichen Beeinträchtigung bei einmaligem Verzehr von Kartoffeln oder Kartoffelprodukten mit hohem Solaningehalt (≥ 200 mg pro kg)	Keine Beeinträchtigung	Leichte Beeinträchtigung [reversibel]	Mittelschwere Beeinträchtigung [reversibel]	Schwere Beeinträchtigung [reversibel/irreversibel]	
D Aussagekraft der vorliegenden Daten	Hoch: Die wichtigsten Daten liegen vor und sind widerspruchsfrei		Mittel: Einige wichtige Daten fehlen oder sind widersprüchlich	Gering: Zahlreiche wichtige Daten fehlen oder sind widersprüchlich	
E Kontrollierbarkeit durch Verbraucher [1]	Kontrolle nicht notwendig	Kontrollierbar durch Vorsichtsmaßnahmen	Kontrollierbar durch Verzicht	Nicht kontrollierbar	

Dunkelblau hinterlegte Felder kennzeichnen die Eigenschaften des in dieser Stellungnahme bewerteten Risikos (nähere Angaben dazu im Text der Stellungnahme Nr. 010/2018 des BfR vom 23. April 2018).

Erläuterungen

Das Risikoprofil soll das in der BfR-Stellungnahme beschriebene Risiko visualisieren. Es ist nicht dazu gedacht, Risikovergleiche anzustellen. Das Risikoprofil sollte nur im Zusammenhang mit der Stellungnahme gelesen werden.

[1] – Zeile E - Kontrollierbarkeit durch Verbraucher

Die Angaben in der Zeile „Kontrollierbarkeit durch Verbraucher“ sollen keine Empfehlung des BfR sein, sondern haben beschreibenden Charakter. Das BfR hat in seiner Stellungnahme Handlungsempfehlungen abgegeben: Das BfR empfiehlt Verbraucherinnen und Verbraucher zur Risikominimierung, die gängigen Empfehlungen zur Lagerung und Zubereitung von Kartoffeln zu beachten.

1 Gegenstand der Bewertung

Im November 2015 wurden Erkrankungsfälle in einer Familie im Zusammenhang mit dem Verzehr von Kartoffelgerichten beobachtet. Nach der Zubereitung von Pellkartoffeln und Backkartoffeln traten bei mehreren Personen der Familie Erkrankungssymptome wie Erbrechen und Bauchschmerzen auf. Aufgrund des bitteren Geschmacks verzichtete die Familie auf den Verzehr eines aus denselben Kartoffeln hergestellten Kartoffelsalats. Nach Verzehr von Kartoffelbrei beobachtete die Familie keine geschmacklichen Auffälligkeiten oder Erkrankungssymptome.

Das Chemische und Veterinäruntersuchungsamt Stuttgart untersuchte den Kartoffelsalat und die Speisekartoffeln. Die Kartoffeln waren äußerlich unauffällig ohne erkennbare Verletzungen, grüne Stellen oder Triebe. Mikrobiologische Untersuchungen waren ebenfalls unauffällig. In den Speisekartoffeln wurden ungewöhnlich hohe Gehalte der Glykoalkaloide α-Solanin

(141 mg pro kg) und α -Chaconin (95 mg pro kg) nachgewiesen. Im Kartoffelsalat fand sich ein etwas geringerer Glykoalkaloidgehalt von insgesamt 124 mg pro kg. Im Allgemeinen wurden Kartoffeln mit einem Glykoalkaloidgehalt von bis zu 200 mg pro kg Frischgewicht bisher als unbedenklich angesehen. Der sehr geringe Abstand zwischen den bislang als unbedenklich angesehenen Glykoalkaloidgehalten sowie den im konkreten Fall beobachteten Vergiftungssymptomen nach Verzehr von Kartoffeln mit einem Glykoalkaloidgehalt von 236 mg pro kg Kartoffeln weisen jedoch darauf hin, dass bei dem bisher als unbedenklich angesehenen Wert für Glykoalkaloidgehalte von 200 mg pro kg Kartoffeln Vergiftungssymptome möglich sein könnten. Aussagen darüber, ob der hohe Glykoalkaloidgehalt ggf. typisch für die hier verwendete Kartoffelsorte ist, konnte auf Basis der Datenlage nicht getroffen werden. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat die vorliegenden Befunde toxikologisch bewertet und eine Stellungnahme erarbeitet, ab welchem Glykoalkaloidgehalt von Kartoffeln ein gesundheitliches Risiko zu erwarten sein könnte.

2 Ergebnis

Die berichteten Vergiftungsfälle in der Familie nach dem Verzehr von Kartoffelgerichten (Pellkartoffeln, Backkartoffeln) sind aufgrund des relativ hohen Gehalts an Glykoalkaloiden von 236 mg pro kg Kartoffeln im Zusammenhang mit den aufgetretenen Symptomen plausibel.

Im Allgemeinen wurden Kartoffeln mit einem Glykoalkaloidgehalt von bis zu 200 mg pro kg Frischgewicht bisher als unbedenklich angesehen. Allerdings wird bei dem Verzehr einer üblichen Portionsgröße Kartoffeln mit einem Glykoalkaloidgehalt von 200 mg pro kg Frischgewicht der aus den verfügbaren Daten abgeschätzte LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level* - niedrigste Dosis, bei der bereits unerwünschte gesundheitliche Wirkungen beobachtet wurden) von etwa 1 mg Glykoalkaloide pro kg Körpergewicht bereits erreicht. Bei dieser Dosis können bei empfindlichen Individuen unerwünschte gesundheitliche Wirkungen eintreten. Das BfR hat daher auf Basis dieses LOAELs und unter Anwendung eines Sicherheitsfaktors von 2 einen NOAEL (*No-Observed Adverse Effect Level*) von 0,5 mg pro kg Körpergewicht und Tag abgeleitet. Damit werden auch die interindividuellen Unterschiede hinsichtlich der Entwicklung von Vergiftungssymptomen berücksichtigt. Die aufgenommene Glykoalkaloidmenge sollte unter 0,5 mg pro kg Körpergewicht und Tag liegen, damit ein Sicherheitsabstand (*Margin of Safety*, MOS) von mehr als 1 zum NOAEL besteht.

Um diese Aufnahmemenge nicht zu überschreiten, empfiehlt das BfR, dass die Glykoalkaloidgehalte von zum Verzehr bestimmten Kartoffeln unter 100 mg pro kg Frischgewicht liegen sollten. Diese Empfehlung ist angesichts der eingeschränkten Datenlage als vorläufig zu betrachten. Die Durchführung entsprechender Untersuchungen zu Glykoalkaloidgehalten wird angeraten.

Es ist zu berücksichtigen, dass Kartoffeln, um ihren Glykoalkaloidgehalt möglichst gering zu halten, entsprechend den üblichen Empfehlungen gelagert und zubereitet werden sollten (vgl. Kapitel 3.3). Snacks, die überwiegend aus Kartoffelschalen bestehen, sollten nicht verzehrt werden. Bei Wahrnehmung eines bitteren Geschmacks eines Kartoffelgerichts sollte weiterer Verzehr unterbleiben.

3 Begründung

3.1 Risikobewertung

Da es sich im Rahmen der Fragestellung um eine akute Vergiftungssymptomatik handelt, die unmittelbar nach Verzehr von bestimmten Kartoffelprodukten auftrat, beschränkt sich die Stellungnahme auf die gesundheitliche Beurteilung der akut toxischen Wirkung von Glykoalkaloiden aus Kartoffeln.

3.1.1 Mögliche Gefahrenquelle

Die Kartoffelpflanze (*Solanum tuberosum*) gehört zu der Familie der Nachtschattengewächse (Solanaceae). Glykoalkaloide kommen in dieser Pflanzenfamilie als charakteristische Inhaltsstoffe vor. Diese sekundären Pflanzeninhaltsstoffe dienen der Pflanze zur Abwehr von Schädlingen und Krankheitserregern. Glykoalkaloide bestehen aus einem hexacyklischen Aglykon, welches aus Cholesterin gebildet wird, und einem Zuckermolekül. Die Verbindungen α -Solanin und α -Chaconin machen in der Kartoffelpflanze etwa 95 % der Glykoalkaloide aus. Beide Verbindungen enthalten als Aglykon Solanidin. Während α -Solanin einen Dreifachzucker aus Galaktose, Glukose und Rhamnose enthält, wird der Zuckerrest von α -Chaconin aus Glukose und zwei Rhamnosemolekülen gebildet (Barceloux 2009; Weiss 2007). In geringeren Mengen können in der Kartoffelpflanze weitere Glykoalkaloide, wie β -Chaconin (Solanidin-Glukose-Rhamnose), γ -Chaconin (Solanidin-Glukose), β 1-Solanin (Solanidin-Galaktose-Glukose), β 2-Solanin (Solanidin-Galaktose-Rhamnose) und γ -Solanin (Solanidin-Galaktose), vorkommen (OECD 2002).

3.1.2 Gefährdungspotenzial

Toxikokinetik

Glykoalkaloide werden im Gastrointestinaltrakt nur zu einem geringen Teil resorbiert. In einer Humanstudie wurden erwachsenen Testpersonen einmalig Glykoalkaloide in Dosen von 0,3, 0,5 und 0,7 mg pro kg Körpergewicht als Lösung oder 0,95, 1,10 und 1,25 mg pro kg Körpergewicht aus Kartoffelbrei zum Verzehr gegeben. Die Kartoffeln enthielten einen Glykoalkaloidgehalt von etwa 200 mg pro kg Frischgewicht mit je etwa 50 % α -Solanin und α -Chaconin. Je nach Dosis wurden Maximalkonzentrationen im Serum von α -Solanin und α -Chaconin nach 4 bis 8 Stunden erreicht. Höhere Dosen bewirkten höhere Spitzenkonzentrationen, so dass eine Sättigung der Absorption zumindest in diesem Dosisbereich nicht beobachtet wurde. Die Halbwertszeiten von α -Chaconin betragen zwischen 27 und 84 Stunden (im Durchschnitt 44 Stunden) und von α -Solanin zwischen 5 und 42 Stunden (im Durchschnitt 21 Stunden). Somit könnte ein täglicher Verzehr von Kartoffeln und Kartoffelprodukten zu einer Akkumulation von Glykoalkaloiden führen (Mensinga et al. 2005).

In einer älteren Humanstudie erhielten Testpersonen über eine Kartoffelmahlzeit etwa 1 mg Glykoalkaloide pro kg Körpergewicht zum Verzehr. Die Kartoffeln enthielten etwa 200 mg Glykoalkaloide pro kg mit etwa 40 % α -Solanin und 60 % α -Chaconin. Spitzenkonzentrationen im Serum fanden sich ähnlich wie bei Mensinga et al. (2005) beschrieben nach etwa 5 bzw. 6 Stunden entsprechend für α -Solanin und α -Chaconin. Die Halbwertszeiten der beiden Verbindungen betragen hier etwa 11 Stunden für α -Solanin und 19 Stunden für α -Chaconin. Nach etwa 4 Stunden stieg die Serumkonzentration des Aglykons Solanidin an und fiel über insgesamt 25 Stunden nach Verzehr nicht wieder ab (Hellenas et al. 1992).

Tierstudien weisen auf eine intensive Gewebeverteilung der Glykoalkaloide in zahlreichen Geweben wie Milz, Niere, Leber, Fettgewebe, Herz und Gehirn hin. Glykoalkaloide werden über die Fäzes und in geringeren Mengen über den Urin ausgeschieden (Barceloux 2009).

Akute Toxizität

Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) liegt die orale Dosis, bei der 50 % der Tiere sterben (LD_{50}) für α -Solanin bei der Maus bei über 1000 mg pro kg Körpergewicht und bei der Ratte bei etwa 590 mg pro kg Körpergewicht. Für α -Chaconin finden sich keine Angaben für LD_{50} -Werte nach oraler Applikation. Nach intraperitonealer Gabe finden sich ähnliche LD_{50} -Werte für α -Solanin und α -Chaconin (z.B. Maus: α -Solanin 32-42 mg pro kg Körpergewicht; α -Chaconin 19-28 mg pro kg Körpergewicht). Der hauptsächliche Metabolit von α -Solanin und α -Chaconin, das Aglykon Solanidin, weist eine geringere akute Toxizität auf. Der LD_{50} -Wert von Solanidin nach intraperitonealer Gabe liegt bei der Maus bei über 500 mg pro kg Körpergewicht. Der orale LD_{50} -Wert bei Nagetieren liegt somit etwa um 300- bis über 500-fach über der geschätzten toxischen Dosis von 2 mg pro kg Körpergewicht bzw. der letalen Dosis von 3 bis 6 mg pro kg Körpergewicht beim Menschen (WHO 1994).

Ab einem Glykoalkaloidgehalt von etwa 140 bis 220 mg pro kg Frischmasse sind beim Verzehr von Kartoffeln ein bitterer Geschmack sowie ein brennendes Gefühl im Mund wahrnehmbar (Barceloux 2009). Diese Angaben passen zu Befunden der bereits erwähnten Toxikokinetikstudie von Hellenas et al. (1992), in der die Testpersonen beim Verzehr einer Kartoffelmahlzeit mit einem Glykoalkaloidgehalt von 200 mg pro kg von einem unangenehmen Geschmack berichten.

Insbesondere *in vitro*-Untersuchungen weisen auf eine Hemmung der Acetylcholinesterase durch α -Solanin und α -Chaconin hin. Dadurch wird die Hydrolyse des Neurotransmitters Acetylcholin an den Synapsen des Zentralnervensystems verhindert. Die neurologischen Störungen, die nach Verzehr einer hohen Menge an Glykoalkaloiden auftreten, sind vermutlich durch diesen Effekt erklärbar. Weiterhin können Glykoalkaloide stabile Komplexe mit Cholesterol in der Zellmembran bilden und dadurch die Struktur der Zellmembran zerstören. Aktive Transportmechanismen werden ebenfalls gehemmt. Durch die Zellschädigung werden die toxischen Effekte auf den Gastrointestinaltrakt und bei höherer Zufuhr die hämolytischen Effekte sowie die Schädigung weiterer Gewebe hervorgerufen (Friedman et al. 1997; Weiss 2007).

Fallberichte

Aufgrund des bitteren Geschmacks der Glykoalkaloide scheinen Vergiftungsfälle eher selten aufzutreten. Morris und Lee (1984) weisen auf mehr als 2000 Vergiftungsfälle mit 30 Todesfällen hin, die in der Literatur beschrieben sind (Morris & Lee 1984). Die Todesfälle sind allerdings nicht gut dokumentiert und scheinen vor allem unterernährte Personen zu betreffen (Barceloux 2009; Distl 2007).

Berichte über Solaninvergiftungen liegen insbesondere nach Verzehr von grünen, keimenden oder beschädigten Kartoffeln vor. Leichte Vergiftungen äußern sich durch Übelkeit, Bauchschmerzen, Erbrechen und Durchfall, mitunter begleitet von Fieber. Bei schweren Vergiftungsfällen können zusätzlich Bewusstseinsstörungen, sehr selten bis zum vollständigen Bewusstseinsverlust, sowie weitere Störungen der Hirnfunktion, der Atmung oder des Kreislaufes auftreten. Einzelne tödliche Vergiftungen wurden berichtet. Weitere Krankheitssymptome umfassen Fieber, schnellen und schwachen Puls, niedrigen Blutdruck und schnelle Atmung. Die Symptome können dabei innerhalb weniger Minuten oder bis zu 2 Tage nach Verzehr belasteter Kartoffeln auftreten (WHO 1994).

In einer gesundheitlichen Bewertung der WHO zu α -Solanin und α -Chaconin wurde anhand von Vergiftungsfällen die toxische Dosis von Glykoalkaloiden abgeschätzt. Die WHO stellte fest, dass die teilweise sehr alten Fallberichte mitunter nicht gut dokumentiert sind und die verzehrte Menge an Glykoalkaloiden (teilweise keine genauen Verzehrdaten, unklare Analytik) schwer abschätzbar ist. Daher sind die hier ermittelten „toxischen“ Dosen als grobe Schätzungen zu betrachten.

In einem Bericht von 1899 wurde über 56 Vergiftungsfälle an Erwachsenen in Deutschland nach einem Verzehr von gekochten geschälten Kartoffeln mit einem Gesamtglykoalkaloidgehalt von 240 mg pro kg (rohe Kartoffel 380 mg pro kg) berichtet. Die Exposition wurde auf 3,4 bis 5,1 mg pro kg Körpergewicht bei einer 70 kg schweren Person geschätzt. In einem Bericht von 1918 finden sich 61 Fälle, die in Schottland nach Verzehr von Kartoffeln mit einem Solaningehalt von 410 mg pro kg (erfasst in einem Haushalt) auftraten. Ein fünfjähriges Kind starb. Auf Grundlage eines geschätzten Gewichts von 18 kg und einem Verzehr von 200 g Kartoffeln wurde die letale Dosis auf 4,5 mg pro kg Körpergewicht geschätzt. Für Erwachsene mit einem Körpergewicht von 60 kg wurde die Exposition für das Auftreten von toxischen Effekten bei einem Verzehr von 500 g Kartoffeln auf etwa 3,4 mg pro kg Körpergewicht geschätzt. Bei vier Fällen in einer britischen Familie (Körpergewicht 60 bis 70 kg) ergab sich nach Verzehr von Backkartoffeln (Glykoalkaloidgehalt von 500 mg pro kg Kartoffelknolle) eine Exposition von 1,25 bis 3,2 mg pro kg Körpergewicht. Eine fünfte Person, die nur das Kartoffelfleisch (ohne Schale) verzehrt hatte, war dabei nicht betroffen (Bericht von 1959). Weitere 78 Vergiftungsfälle sind in Großbritannien bei Schülern (11 bis 14 Jahre) bekannt, die gekochte geschälte Kartoffeln mit 250-300 mg α -Solanin pro kg verzehrt haben. Bei einem Körpergewicht von etwa 40 kg und einem geschätzten Verzehr von 200 g Kartoffeln würde sich eine Exposition von etwa 1,4 bis 1,6 mg Glykoalkaloide pro kg Körpergewicht ergeben. Die Autoren vermuteten, dass weitere Steroide wie Sapogenin und Saponin enthalten gewesen sein könnten, die zur Toxizität der Kartoffeln beigetragen haben könnten (Bericht von 1979). In einem weiteren Fallbericht von 1984 sind 61 Vergiftungsfälle bei Schulkindern und der Belegschaft einer Schule in Kanada nach Verzehr von Backkartoffeln mit einem Glykoalkaloidgehalt von etwa 500 mg pro kg beschrieben. Die Kartoffeln wiesen einen leichten Grünerton und einen bitteren Geschmack auf. Bei einem Körpergewicht von 40 kg für die Kinder ergibt sich nach Verzehr von 200 g Kartoffeln eine geschätzte Exposition von etwa 2,5 mg pro kg Körpergewicht (WHO 1994).

Nach Zufuhr von 1 mg Glykoalkaloiden pro kg Körpergewicht und Tag über 7 Tage wurden bei drei schwedischen Erwachsenen keine adversen Effekte beobachtet (WHO 1994).

Basierend auf den vorliegenden Humandaten gibt die WHO Dosen von 3 bis 6 mg Glykoalkaloide pro kg Körpergewicht als letale Dosis für den Menschen an. Dosen von über 1 bis 3 mg pro kg Körpergewicht werden als toxisch angesehen. Kinder sind dabei möglicherweise empfindlicher als Erwachsene. Die WHO berichtete weiterhin, dass in einer limitierten Anzahl von Studien am Menschen bei einem täglichen Konsum von Kartoffeln mit einem Glykoalkaloidgehalt von etwa 240 mg pro kg Knolle keine akuten toxischen Wirkungen beobachtet wurden. Andere Faktoren in der Kartoffel könnten zusätzlich zur Toxizität in den geschilderten Vergiftungsfällen beigetragen haben (WHO 1994).

Slanina (1990) betonte, dass die vorhandenen älteren Daten beim Menschen schwierig zu beurteilen sind, da Unsicherheiten bezüglich des Ernährungszustandes der Betroffenen (Unterernährung), der analytischen Methoden sowie möglicher Wechselwirkung mit anderen Inhaltsstoffen wie Saponinen und Sterolen existieren (Slanina 1990).

Insgesamt kam die WHO zu dem Schluss, dass trotz der langen Geschichte eines Konsums von glykoalkaloidhaltigen Lebensmitteln die vorhandenen epidemiologischen und experimentellen Daten an Mensch und Tier derzeit nicht ausreichen, um eine sichere Aufnahmemenge zu bestimmen. Sachgerecht kultivierte, geerntete und gelagerte Kartoffeln weisen zumeist einen Glykoalkaloidgehalt von 20 bis 100 mg pro kg auf, deren Verzehr nach Aussage der WHO auf Basis der vorhandenen Erfahrungswerte nicht mit Sicherheitsbedenken verbunden ist. Um den sicheren Verzehr von Kartoffeln weiterhin zu gewährleisten, empfiehlt die WHO, bei der Entwicklung neuer Kartoffelsorten sowie bei den Wachstumsbedingungen, der Ernte, Lagerung und Zubereitung der Kartoffeln unbedingt zu beachten, dass der Gehalt an Glykoalkaloiden nicht unabsichtlich erhöht wird (WHO 1994).

Weitere Angaben zum Auftreten akut toxischer Wirkungen von Glykoalkaloiden finden sich in den beiden bereits zitierten Studien zur Toxikokinetik. So traten in der Studie von Mensinga et al. (2005) unerwünschte Wirkungen in einem von zwei Probanden bei der höchsten eingesetzten Dosierung von 1,25 mg Glykoalkaloide pro kg Körpergewicht über Kartoffelbrei auf. Vier Stunden nach Verzehr litt die Testperson an Übelkeit und Erbrechen. Die Glykoalkaloidkonzentration im Serum war vergleichbar mit der der zweiten Testperson dieser Gruppe, die jedoch keine Symptome aufwies. Ein bitterer Geschmack wurde von keinem der Probanden berichtet. Die ähnlichen Serumkonzentrationen bei beiden Probanden deuten darauf hin, dass die interindividuellen Unterschiede hinsichtlich der Entwicklung von Vergiftungssymptomen recht groß sind, manche Personen also möglicherweise empfindlicher gegenüber den toxischen Wirkungen der Glykoalkaloide reagieren als andere (Mensinga et al. 2005).

In der zweiten Studie berichteten sechs von sieben Testpersonen von einem unangenehmen Geschmack beim Verzehr der Kartoffelmahlzeit. Diese Personen klagten über leichte bis schwere Übelkeit sowie in einem Fall über Durchfall nach einer Exposition mit 1 mg Glykoalkaloide pro kg Körpergewicht. Die Symptome traten etwa 30 Minuten nach Verzehr der Mahlzeit auf und dauerten etwa 3 bis 4 Stunden an. Aufgrund des raschen Auftretens und der kurzen Dauer der unerwünschten Wirkungen vermuten die Autoren, dass die Symptome eher durch einen lokalen als durch einen systemischen Effekt verursacht wurden. Die Autoren betonen allerdings, dass die Studie nicht konzipiert worden war, um toxische Effekte von Glykoalkaloiden zu untersuchen. Daher war die Studie beispielsweise nicht verblindet (Hellenas et al. 1992).

Im Zeitraum von 1990 bis heute wurde dem BfR im Rahmen der Ärztlichen Meldungen zu Vergiftungen (§16e Chemikaliengesetz) eine Vergiftung durch mutmaßlich solaninhaltige Kartoffeln gemeldet. Im Jahr 2012 kontaktierte eine 26-jährige Frau ein Giftinformationszentrum (GIZ) und teilte mit, dass sie nach Genuss einer nicht beschriebenen Menge Kartoffelbreis (unbekannter Gehalt an Glykoalkaloiden), zubereitet aus "grünen Kartoffeln", unter krampfartigen Schmerzen im Unterbauch leide. Auf Anraten des GIZ stellte sich die Patientin in einer Akutklinik vor. Bei Aufnahme dort waren die Beschwerden rückläufig und nahmen im Laufe der klinischen Überwachung offenbar weiter ab, so dass die Patientin nach 6 Stunden die Klinik verlassen konnte. Die klinische Aufnahmeuntersuchung ergab keinen pathologischen Befund. Im Aufnahmelaborbefund ergaben sich für den Leberparameter GPT und die Erythrozytenkonzentration leichte Erhöhungen (66 U/l (Referenzbereich 10 - 35 U/l) bzw. 6,1 T/l (Referenzbereich 4,1 - 5,4 T/l)). Elektrolytwerte, weitere Leber- und Blutbildparameter waren unauffällig.

3.1.3 Exposition

Verzehrsdaten

Als Datengrundlage hinsichtlich des Verzehrs von Kartoffeln, Kartoffelerzeugnissen und -gerichten bei Jugendlichen und Erwachsenen diente die Nationale Verzehrsstudie II (NVS II) des Max Rubner-Instituts (MRI). Die NVS II ist die zurzeit aktuelle repräsentative Studie zum Verzehr der deutschen Bevölkerung. Die Studie, bei der etwa 20.000 Personen im Alter zwischen 14 und 80 Jahren mittels drei verschiedener Erhebungsmethoden (Dietary History, 24h-Recall und Wiegeprotokoll) zu ihrem Ernährungsverhalten befragt wurden, fand zwischen 2005 und 2006 in ganz Deutschland statt (MRI 2008).

Die Verzehrsauswertungen beruhen auf den Daten der beiden unabhängigen 24h-Recalls der NVS II, die in einem computergestützten Interview mittels „EPIC-SOFT“ erhoben wurden (Krems et al. 2006; MRI 2008). Es wurden Daten von 13.926 Personen, von denen beide Interviews vorlagen, ausgewertet. Aufgrund des Vorliegens von Verzehrangaben zu einzelnen Tagen ist die Methode der 24h-Recalls sowohl für Expositionsschätzungen bei akuten als auch bei chronischen Risiken geeignet.

Gehaltsdaten

Der Gehalt an Glykoalkaloiden hängt vor allem von der Sorte, den Wachstumsbedingungen sowie den Bedingungen nach der Ernte (mechanische Verletzung, physiologischer Stress, zu viel Licht, falsche Lagerung) ab (Barceloux 2009; Knuthsen et al. 2009; Nema et al. 2008; Weiss 2007). Glykoalkaloide sind zudem in der Kartoffelknolle nicht gleichmäßig verteilt. In der Knolle finden sich die höchsten Konzentrationen in der Schale, unterhalb der Schale und an den Keimstellen. Kleine Kartoffeln sollen dabei höhere Glykoalkaloidkonzentrationen aufweisen als größere (Distl 2007; Weiss 2007).

Die aktuellsten Daten für Deutschland liegen vom BVL aus dem Lebensmittelmonitoring von 2005 vor, in dem 222 Kartoffelproben untersucht wurden. Nur eine Probe wies mit 271 mg pro kg einen Glykoalkaloidgehalt über 200 mg pro kg auf. 92 % der Proben hatten einen Glykoalkaloidgehalt von unter 100 mg pro kg. Die Proben wurden nach Herkunft der Kartoffeln getrennt ausgewertet. Bei den 177 Kartoffelproben deutscher Herkunft wurde ein Mittelwert von 47,7 mg pro kg, ein 90. Perzentil von 94,9 mg pro kg und als Maximum 270,7 mg pro kg festgestellt.

Wie hier und auch in der Literatur allgemein hin dargestellt, enthalten die meisten kommerziell erhältlichen Kartoffelsorten einen Glykoalkaloidgehalt von unter 100 mg pro kg Frischgewicht (Barceloux 2009; Distl 2007; Ruprich et al. 2009; WHO 1994).

Aufnahmeschätzung

Für die Expositionsschätzung wurden die Verzehrsmengen von Kartoffeln, Kartoffelprodukten und -gerichten in g pro Tag und g pro kg Körpergewicht und Tag für die akute Aufnahme von Glykoalkaloiden ermittelt. Dafür wurde auf individueller Ebene das Maximum der beiden Verzehrstage gebildet, durch das Körpergewicht geteilt und dann das 95. Perzentil der Verzehrsmengen der Verzehrer ermittelt. Die Expositionsschätzung wurde auf Basis des Verzehrs der Gesamtanzahl der Verzehrer (9390 von 13926) und des angeführten Gehalts von 236 mg pro kg Kartoffeln sowie mit einem angenommenen Gehalt von 200 mg pro kg durchgeführt (siehe Tabelle 1), wobei die täglichen Verzehrsmengen mit einer Mahlzeit aufgenommen werden können.

Zu den Verzehrsmengen ist anzumerken, dass die Variation über die verschiedenen Altersgruppen zwischen 14 und 80 Jahren gering ist. Als höchstes 95. Perzentil der täglichen Portionsgrößen der verschiedenen Altersgruppen wurden 385 g Kartoffeln bzw. 6 g pro kg Körpergewicht ermittelt.

Tabelle 1: Kurzzeitaufnahme von Glykoalkaloiden (mg pro kg Körpergewicht und Tag) über den Verzehr von Kartoffeln, Kartoffelprodukten und -gerichten

	Verzehrmengen		Glykoalkaloidgehalt mg pro kg	Glykoalkaloidaufnahme mg pro kg Körpergewicht und Tag
	g pro Tag	g pro kg Körpergewicht und Tag		
Kartoffeln, Kartoffelprodukte und -gerichte	350	4,7	236	1,11
	350	4,7	200	0,94

Eine detailliertere Expositionsschätzung für die Aufnahme von Glykoalkaloiden über Kartoffeln in Deutschland ist nur mit einer aktuelleren Datenlage für Gehalte von in Deutschland verkauften Kartoffeln möglich, bei denen der Einfluss der Zubereitung und anderer Faktoren dokumentiert ist.

3.1.4 Risikocharakterisierung

Prinzipiell scheinen Vergiftungsfälle durch Verzehr von Kartoffeln eher selten aufzutreten. Die Zahl unerkannter Vergiftungen mit Glykoalkaloiden könnte insgesamt aber höher sein, da die zunächst auftretenden Vergiftungserscheinungen wie Übelkeit, Erbrechen und Durchfall unspezifisch sind und mit durch andere Faktoren bedingten Störungen des Gastrointestinaltrakts verwechselt werden könnten. Todesfälle durch Vergiftungen mit Glykoalkaloiden sind aus den letzten 50 Jahren nicht bekannt. In der Literatur sind letale Dosen für den Menschen von 3 bis 6 mg pro kg Körpergewicht beschrieben (Distl 2007; WHO 1994).

Daten zur akuten Toxizität bei Nagetieren können für die Beurteilung der Toxizität der Glykoalkaloide beim Menschen nicht herangezogen werden, da der orale LD₅₀-Wert bei Nagetieren etwa um den Faktor 300 bis über 500 über der geschätzten toxischen bzw. letalen Dosis beim Menschen liegt (WHO 1994). Der Mensch reagiert im Vergleich zu Nagetieren somit deutlich empfindlicher auf Glykoalkaloide.

Im Allgemeinen wurden Kartoffeln mit einem Glykoalkaloidgehalt von bis zu 200 mg pro kg Frischgewicht bisher als unbedenklich angesehen. Der sehr geringe Abstand zwischen den bislang als unbedenklich angesehenen Glykoalkaloidgehalten sowie den im konkreten Fall beobachteten Vergiftungssymptomen nach Verzehr von Kartoffeln mit einem Glykoalkaloidgehalt von 236 mg pro kg Kartoffeln weisen jedoch darauf hin, dass bei dem bisher als unbedenklich angesehenen Wert für Glykoalkaloidgehalte von 200 mg pro kg Kartoffeln Vergiftungssymptome möglich sein könnten.

Die meisten kommerziell erhältlichen Kartoffeln und Kartoffelprodukte scheinen Gesamtglykoalkaloidgehalte von unter 100 mg pro kg Kartoffeln aufzuweisen. Dennoch werden gelegentlich in Kartoffeln auch Glykoalkaloidgehalte von mehr als 200 mg pro kg Frischgewicht gemessen (siehe auch Abschnitt 3.1.3).

Unter Annahme eines Verzehrs von 350 g Kartoffeln in einer Mahlzeit mit einem allgemein noch als sicher angesehenen Glykoalkaloidgehalt von 200 mg pro kg Frischgewicht ergibt sich eine Exposition von etwa 1 mg pro kg Körpergewicht und Person. Auf Basis des dieser Studie zugrunde liegenden Vergiftungsfalles sowie auf Grundlage der zwei Humanstudien zur Toxikokinetik der Glykoalkaloide ergeben sich Hinweise, dass akut toxische Effekte bei erwachsenen Personen bereits ab etwa 1 mg pro kg Körpergewicht auftreten können (Hellenas et al. 1992; Mensinga et al. 2005). Insbesondere bei empfindlichen Personen könnten nach Verzehr entsprechend belasteter Kartoffeln bereits akut-toxische Wirkungen wie Übelkeit, Erbrechen und Durchfall auftreten.

Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand ist damit eine Dosis von 1 mg pro kg Körpergewicht und Tag als LOAEL für das Auftreten akuter Wirkungen durch Glykoalkaloide beim Menschen anzusehen. Durch Anwendung eines Sicherheitsfaktors von 2 soll daher auf einen NOAEL (*No observed adverse effect level*) von 0,5 mg pro kg Körpergewicht und Tag extrapoliert werden. Die verfügbaren Daten deuten auf deutliche Unterschiede hinsichtlich der Suszeptibilität gegenüber den toxischen Wirkungen von Glykoalkaloiden bei verschiedenen Individuen hin. Die Anwendung des Sicherheitsfaktors von 2 soll gewährleisten, dass das Auftreten akut-toxischer Wirkungen durch Glykoalkaloide auch bei empfindlichen Personen möglichst ausgeschlossen werden kann.

3.2 Diskussion

Die Vergiftungsfälle in einer Familie nach Verzehr von Kartoffelgerichten (Pellkartoffeln, Backkartoffeln) sind aufgrund des Gehalts an Glykoalkaloiden von 236 mg pro kg Kartoffel plausibel. Die aufgetretenen Symptome (Erbrechen, Bauchschmerzen) sind auch von anderen Vergiftungsfällen durch Glykoalkaloide bekannt. Das wird auch dadurch gestützt, dass die Pellkartoffeln und die Backkartoffeln vermutlich zumindest teilweise mit Schale konsumiert wurden. Glykoalkaloide befinden sich zum großen Teil in der Schale und unmittelbar unterhalb der Schale. Nach Verzehr von Kartoffelbrei, der vermutlich aus geschälten Kartoffeln hergestellt wurde, traten durch die Reduzierung der Glykoalkaloide infolge des Schälenprozesses keine Erkrankungssymptome auf. Ab einer bestimmten Konzentration werden Glykoalkaloide in der Kartoffel durch einen bitteren Geschmack wahrgenommen. Der Bittergeschmack in dem Kartoffelsalat könnte die betroffenen Personen davon abgehalten haben, diesen zu konsumieren. Aufgrund der unspezifischen Symptomatik könnten allerdings auch andere Faktoren ursächlich für das Auftreten der beobachteten gastrointestinalen Störungen sein.

Aus den letzten 100 Jahren sind wenige Vergiftungsfälle durch den Verzehr von Kartoffelgerichten bekannt. Bei leichten Vergiftungsfällen muss aber, da die genannten gastrointestinalen Symptome unspezifisch sind, in Betracht gezogen werden, dass aufgetretene Beschwerden nicht mit vorausgehendem Kartoffelkonsum assoziiert wurden und daher möglicherweise eine nicht unerhebliche Dunkelziffer bestehen könnte. Auch ist die Interpretation der Vergiftungsdaten und der Beschreibung der dosisabhängigen Toxizität durch die bestehenden Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Dokumentation der Fallberichte erschwert. So konnten meist die Verzehrsmengen nur grob bestimmt werden. Weitere Unsicherheiten resultieren aus dem unbekanntem Körpergewicht der betroffenen Personen sowie fehlenden Angaben zu deren Ernährungszustand und möglichen weiteren gesundheitlichen Beschwerden und Koexpositionen, z. B. mit Arzneimitteln. Die verfügbaren Daten deuten auf Unterschiede hinsichtlich der Suszeptibilität gegenüber den toxischen Wirkungen von Glykoalkaloiden bei verschiedenen Individuen hin. Die derzeitige Datenlage erlaubt jedoch keine zuverlässige quantitative Aussage bezüglich möglicherweise interindividuell bestehender unterschiedlicher Empfindlichkeiten im Hinblick auf Kinder und Schwangere. Ungewiss ist außerdem, ob und in welchem Umfang ggf. weitere Inhaltsstoffe neben den Glykoalkaloiden zu der Vergiftungssymptomatik beitragen könnten. Bezüglich der Gesamtheit toxikologisch potenziell relevanter Inhaltsstoffe in verschiedenen Kartoffelsorten liegen derzeit keine ausreichenden Daten vor. Insgesamt ist die derzeitige Datenlage lückenhaft.

Es bleibt aber festzuhalten, dass bei dem Verzehr einer üblichen Portionsgröße Kartoffeln mit einem Glykoalkaloidgehalt von 200 mg pro kg Frischgewicht der aus den verfügbaren Daten abgeschätzte LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*) von etwa 1 mg Glykoalkaloide pro kg Körpergewicht bereits erreicht wird. Bei dieser niedrigsten Dosis, bei der be-

reits unerwünschte gesundheitliche Wirkungen beobachtet wurden, können bei empfindlichen Individuen unerwünschte gesundheitliche Wirkungen eintreten. Das BfR hat daher auf Basis dieses LOAELs und unter Anwendung eines Sicherheitsfaktors von 2 einen NOAEL (*No-Observed Adverse Effect Level*) von 0,5 mg pro kg Körpergewicht und Tag abgeleitet. Die Anwendung des Sicherheitsfaktors von 2 soll gewährleisten, dass das Auftreten akut-toxischer Wirkungen durch Glykoalkaloide auch bei empfindlichen Personen möglichst ausgeschlossen werden kann. Die aufgenommene Glykoalkaloidmenge sollte unter 0,5 mg pro kg Körpergewicht und Tag liegen, damit ein Sicherheitsabstand (*Margin of Safety, MOS*) von mehr als 1 zum NOAEL besteht.

3.3 Handlungsrahmen / Maßnahmen

Um diese Aufnahmemenge nicht zu überschreiten, empfiehlt das BfR, dass die Glykoalkaloidgehalte von zum Verzehr bestimmten Kartoffeln unter 100 mg pro kg Frischgewicht liegen sollten. Diese Empfehlung ist angesichts der eingeschränkten Datenlage als vorläufig zu betrachten. Das BfR empfiehlt, entsprechende Untersuchungen zum Glykoalkaloidgehalt in Kartoffeln durchzuführen.

Es ist zu berücksichtigen, dass Kartoffeln, um ihren Glykoalkaloidgehalt möglichst gering zu halten, entsprechend der üblichen Empfehlungen gelagert und zubereitet werden sollten (Distl 2007; Weiss 2007). Diese Empfehlungen umfassen unter anderem folgende Maßnahmen:

- Kartoffeln sollten kühl, dunkel und trocken gelagert werden
- Alte, eingetrocknete oder keimende Kartoffeln, Kartoffeln mit grünen Stellen sowie Snacks, die überwiegend aus Kartoffelschalen bestehen, sind für den Verzehr nicht geeignet
- Grüne Stellen und sogenannte Augen in Kartoffeln sollten großzügig entfernt werden
- Wenn Verbraucherinnen und Verbraucher die Schale mitessen wollen, sind hierfür grundsätzlich nur unverletzte, frische Kartoffeln geeignet
- Kartoffelgerichte sollten nicht verzehrt werden, wenn sie einen bitteren Geschmack aufweisen
- Insbesondere kleine Kinder sollten nur geschälte Kartoffeln essen
- Verbraucherinnen und Verbraucher sollten das Kochwasser von Kartoffeln nicht wieder verwenden, da die Glykoalkaloide teilweise in das Kochwasser übergehen können
- Frittierfett für Kartoffelprodukte sollte regelmäßig gewechselt werden.

Weitere Informationen auf der BfR-Website zum Thema Glykoalkaloide bzw. Solanin in Speisekartoffeln:

Fragen und Antworten zu Solanin (Glykoalkaloiden) in Kartoffeln

http://www.bfr.bund.de/de/fragen_und_antworten_zu_solanin_glykoalkaloiden_in_kartoffeln-204257.html

Pressemitteilung: Solanin in Kartoffeln: Grüne und stark keimende Knollen sollten aussortiert werden

http://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2018/15/solanin_in_kartoffeln_gruene_und_stark_keimende_knollen_sollten_aussortiert_werden-204263.html

4 Referenzen

- [1] Barceloux D. G. (2009). Potatoes, tomatoes, and solanine toxicity (*Solanum tuberosum* L., *Solanum lycopersicum* L.). *Disease-a-Month* **55**: 391-402.
- [2] Distl M. (2007). Entwicklung von Nachweisverfahren für toxische Solanum-Glykoalkaloide und ihre Anwendung in Kartoffeln und daraus zubereiteten Produkten. *Dissertation, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg*.
- [3] Friedman M., McDonald G. M., Filadelfi-Keszi A.-A. (1997). Potato glycoalkaloids: Chemistry, analysis, safety, and plant physiology. *Critical Reviews in Plant Sciences* **16**: 55-132.
- [4] Hellenas K. E., Nyman A., Slanina P., Loof L., Gabrielsson J. (1992). Determination of potato glycoalkaloids and their aglycone in blood serum by high-performance liquid chromatography. Application to pharmacokinetic studies in humans. *Journal of Chromatography* **573**: 69-78.
- [5] Knuthsen P., Jensen U., Schmidt B., Larsen I. K. (2009). Glycoalkaloids in potatoes: Content of glycoalkaloids in potatoes for consumption. *Journal of Food Composition and Analysis* **22**: 577-581.
- [6] Krems C., Bauch A., Götz A., Heuer T., Hild A., Möseneder J., Brombach C. (2006). Methoden der Nationalen Verzehrsstudie II. *Ernährungsumschau* **53**.
- [7] Mensinga T. T., Sips A. J., Rompelberg C. J., van Twillert K., Meulenbelt J., van den Top H. J., van Egmond H. P. (2005). Potato glycoalkaloids and adverse effects in humans: an ascending dose study. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* **41**: 66-72.
- [8] Morris S. C. & Lee T. H. (1984). The Toxicity and Teratogenicity of Solanaceae Glycoalkaloids, Particularly those of the Potato (*Solanum tuberosum*) - a Review. *Food Technology in Australia* **36**: 118-124.
- [9] MRI (Max-Rubner-Institut) (2008). Nationale Verzehrsstudie II. *Ergebnisbericht Teil 1 und 2*. <http://www.was-esse-ich.de/>.
- [10] Nema P. K., Ramayya N., Duncan E., Niranjana K. (2008). Potato glycoalkaloids: formation and strategies for mitigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **88**: 1869-1881.
- [11] OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2002). Consensus document on compositional considerations for new varieties of potatoes: Key food and feed nutrients, anti-nutrients and toxicants. *Joint meeting of the chemicals committee and the working party on chemicals, pesticides and biotechnology, Series on the Safety of Novel Foods and Feeds, No. 4*. <http://www.oecd.org/science/biotrack/46815167.pdf>
- [12] Ruprich J., Rehurkova I., Boon P. E., Svensson K., Moussavian S., Van der Voet H., Bosgra S., Van Klaveren J. D., Busk L. (2009). Probabilistic modelling of exposure doses and implications for health risk characterization: Glycoalkaloids from potatoes. *Food and Chemical Toxicology* **47**: 2899-2905.
- [13] Slanina P. (1990). Solanine (glycoalkaloids) in potatoes: toxicological evaluation. *Food and Chemical Toxicology* **28**: 759-761.
- [14] Weiss C. (2007). Glykoalkaloide in Kartoffeln und Tomaten. *Ernährungsumschau* **8/07**.
- [15] WHO (World Health Organization) (1994). Solanine and Chaconine. *WHO Food Additive Series* **30**. <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v30je19.htm>