



Vor dem Verzehr grüner oder keimender Kartoffeln sowie unreifer Tomaten wird gewarnt. Grund dafür ist ihr Gehalt an Glykoalkaloiden. Solanin ist der bekannteste Vertreter. Weitere wichtige Substanzen sind Chaconin in grünen und keimenden Kartoffeln sowie Tomatin in unreifen grünen Tomaten.

Glykoalkaloide in Kartoffeln und Tomaten



Dipl. oec.troph.
Claudia Weiß
Karolinger Str. 12
76137 Karlsruhe

Zur Familie der Nachtschattengewächse (Solanaceae) gehören neben Gift- und Heilpflanzen auch einige Lebensmittel wie Kartoffel, Tomate, Paprika und Aubergine. Charakteristisch für diese Pflanzenfamilie ist die Bildung von Alkaloiden, einer Gruppe pharmakologisch wirksamer Substanzen, darunter die Glykoalkaloide, die auch in einigen Lebensmitteln in relevanter Menge vorkommen. Ihre physiologische Wirkung in der Pflanze ist die Abwehr von Schädlingen und Krankheitserregern. Sie hemmen das Wachstum von Bakterien und Schimmelpilzen und schützen vor Fraßfeinden. Solanum-Alkaloide besitzen einen bitteren Geschmack, der ab etwa 11 mg pro 100 g Lebensmittel wahrnehmbar ist. Der Gehalt an Solanum-Alkaloiden in Lebensmitteln ist normalerweise unbedenklich. In beschädigten oder ungünstig gelagerten Kartoffeln können aber gesundheitsschädliche Konzentrationen erreicht werden.

Solanin wird in Ratgeberliteratur und Tagespresse oft als Sammelbezeichnung für Nachtschatten-Alkaloide bzw. als Synonym für einzelne Substanzen wie α -Tomatin in Tomaten verwendet. Es ist jedoch nur

eines von vielen Glykoalkaloiden in Lebensmitteln. Kartoffeln enthalten beispielsweise über 20 verschiedene Substanzen. Eine Differenzierung der Alkaloide ist wichtig, da sie sich hinsichtlich ihrer toxikologischen Eigenschaften unterscheiden.

Die größte Bedeutung im Lebensmittelbereich besitzen:

- in der Kartoffel: α -Solanin und α -Chaconin
- in der Tomate: α -Tomatin und Dehydrotomatin

Chemische Struktur

Solanum-Alkaloide bestehen aus einem Aglykon (= Nichtzucker-Komponente) mit Steroidstruktur und einer Kohlenhydratkomponente aus ein oder mehreren Zuckern. Durch den hydrophoben Steroidanteil des Moleküls und die

hydrophile Kohlenhydrat-Seitenkette besitzen die Substanzen saponinähnliche Eigenschaften (s. S. 476: membranschädigende Wirkung).

Die in der Kartoffel enthaltenen Alkaloide α -Solanin und α -Chaconin bestehen aus dem gleichen Aglykon und verschiedenen Trisaccharid-Seitenketten. Dagegen unterscheiden sich die zwei wichtigsten Alkaloide der Tomate im Aglykon, während der Kohlenhydratrest identisch ist (◆Abbildung 1, ◆Tabelle 1).

Solanum-Alkaloide werden in der Pflanze aus Cholesterin gebildet, welches ein Zwischenprodukt darstellt, das in der Pflanzenzelle nicht akkumuliert, sondern sofort und vollständig in andere Substanzen umgewandelt wird. Als Stickstoffquelle dienen Aminosäuren wie z. B. Arginin.

Glykoalkaloid	Aglykon	Kohlenhydratkomponenten
α -Solanin	Solanidin	Galaktose, Glukose, Rhamnose
α -Chaconin	Solanidin	Glukose, Rhamnose, Rhamnose
α -Tomatin	Tomatidin	Xylose, Galaktose, Glukose, Glukose
Dehydrotomatin	Dehydrotomatidin	Xylose, Galaktose, Glukose, Glukose

Tab.1: Zusammensetzung der wichtigsten Solanum-Glykoalkaloide in Lebensmitteln

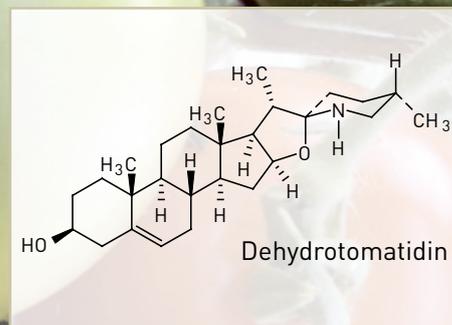
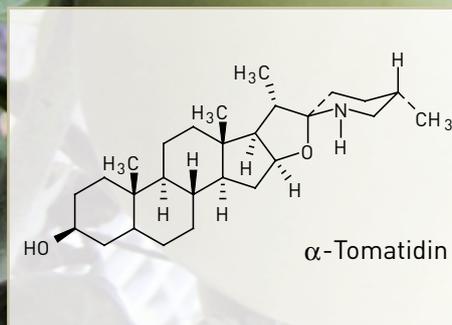
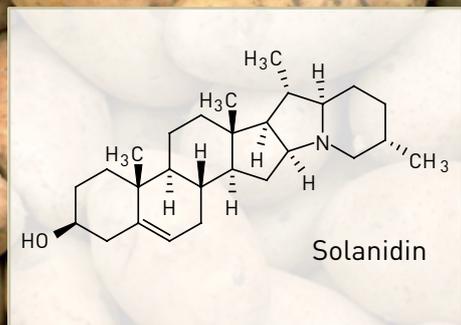


Abb. 1: Aglykone der Solanum-Alkaloide: Solanidin, Tomatidin und Dehydrotomatidin

Alkaloidgehalte in Kartoffeln

Kartoffeln sind die wesentliche Quelle für Glykoalkaloide in der Ernährung. Die Aufnahme wurde für England auf durchschnittlich etwa 14 mg pro Person und Tag geschätzt [9].

Die Kartoffel-Alkaloide bestehen zu etwa 95 % aus α -Chaconin und α -Solanin im Mengenverhältnis von etwa 60:40. Sie sind in allen Pflanzenteilen enthalten, in besonders hoher Konzentration in Blättern, Blüten und Keimen. In der Knolle sind die Substanzen ungleichmäßig verteilt: Die höchsten Gehalte (◆ Tabelle 2) liegen in der Schale, der Schicht unterhalb der Schale und in den „Augen“ (Keimstellen). Kleinere Kartoffeln weisen aufgrund des erhöhten Oberflächen-Volumen-Verhältnisses höhere Alkaloidgehalte auf als größere Knollen.

Geringe Alkaloidgehalte tragen zum typischen Geschmack der Kartoffel bei. Erhöhte Konzentrationen ab etwa 14 mg/100 g werden als bitter wahrgenommen.

In den heutigen Kartoffelsorten ist der Gehalt an Glykoalkaloiden deutlich geringer als in Wildformen. Zahl-

reiche Faktoren wie Anbau- und vor allem Lagerbedingungen sowie die Verarbeitung können die Konzentration jedoch stark verändern:

- Feuchtes und kühles Wetter während des Wachstums kann zu erhöhten Glykoalkaloidgehalten in der Kartoffel führen.
- Durch Behandlung mit Keimhemmungsmitteln oder Gamma-Be-strahlung wird die Synthese während der Lagerung reduziert [16].
- Physiologischer Stress wie Verletzung (Fraß, Schneiden, Schälen, Bürsten), mikrobielles Wachstum, z. B. Schimmelbefall, und Lichtexposition steigern die Alkaloidkonzentration erheblich.

Grün verfärbte Kartoffeln – ein Zeichen für Lichteinfluss – weisen deutlich erhöhte Alkaloidgehalte auf. Bei Lichtexposition kann die Konzentration innerhalb von zwei Wochen auf das 10- bis 30-fache ansteigen. Die Synthese läuft nicht immer parallel zu der des grünen Farbstoffs Chlorophyll. Warm und hell gelagerte Kartoffeln können daher schon deutlich erhöhte Alkaloidkonzentrationen enthalten, auch wenn sie (noch) keine grünen Stellen aufweisen.

Teil der Kartoffelknolle	Gesamtalkaloide [mg/kg]
Knolle, insgesamt	10–150
Haut (2-3 % der Knolle)	300–640
Schale (10-12 % der Knolle)	150–1 070
Fleisch	12–100
Keime	2 000–7 300

Tab. 2: Glykoalkaloidgehalt in verschiedenen Teilen der Kartoffel [4]

Alkaloidgehalte von Tomaten

Die in der Tomate enthaltenen Alkaloide wurden lange Zeit als „Tomatin“ bezeichnet. Inzwischen konnte nachgewiesen werden, dass es sich dabei um eine Mischung der zwei Substanzen α -Tomatin und Dehydrotomatin handelt [6]. Die Gehalte an Dehydrotomatin liegen in allen Pflanzenteilen etwa eine Größenordnung niedriger liegen als die von α -Tomatin.

Für die Alkaloid-Konzentration in Tomaten ist der Reifegrad entscheidend (◆ Tabelle 3). Relevante Mengen sind nur in unreifen, grünen Tomaten enthalten. Bei der Reifung werden die Alkaloide abgebaut und sind in ausgereiften, roten Früchten – wenn überhaupt nachweisbar – nur noch in minimalen Mengen enthalten. Nach-

Reifegrad	Glykoalkaloidgehalt in mg/kg
unreife, grüne Tomaten	100–300 sehr unreife, kleine Früchte auch über 500
ausgereifte, rote Tomaten	meist unter 10

Tab. 3: Glykoalkaloidgehalt in Tomaten [nach 6]

gereifte Tomaten weisen durchschnittlich eine etwas höhere Konzentration auf als vollreif geerntete Früchte. Die Messwerte differieren zum Teil erheblich, was vermutlich auf Unterschiede in Sorte, Reifegrad und Messmethode zurückzuführen ist.

Tomatillos: Von grünen Tomaten zu unterscheiden sind Tomatillos (*Physalis philadelphica*), auch mexikanische Tomaten genannt. Sie gehören ebenfalls zu den Nachtschattengewächsen und sind in Mexiko beheimatet. Geerntet werden sie meist in unreifem grünen Zustand. Im Gegensatz zur grünen Tomate sind sie praktisch alkaloidfrei. Sie dienen hauptsächlich zur Herstellung von „grüner Tomatensoße“ als Würzsoße insbesondere zu Fleisch.



Resorption und Stoffwechsel

Solanum-Alkaloide werden nur zu einem geringen Anteil resorbiert. Die maximale Konzentration im Blut wird 4–8 h nach Verzehr erreicht. Als Halbwertszeit wurden für α -Chaconin 19, für α -Solanin 11 h ermittelt. Die Ausscheidung erfolgt hauptsächlich unverändert über den Darm sowie über die Niere. Der Hauptmetabolit der Kartoffel-Alkaloide ist das Aglykon Solanidin. Dessen Konzentrationen im Plasma sind im Vergleich zu den Glykoalkaloiden geringer. Solanidin wird jedoch in der Leber gespeichert und deutlich langsamer ausgeschieden. Bei Stoffwechselbelastungen wie Hunger, Schwangerschaft oder Krankheit kann gespeichertes Solanidin vermutlich wieder freigesetzt werden [11, 13].

Wirkungsmechanismen

Für die toxische Wirkung sind hauptsächlich zwei Mechanismen verantwortlich:

1. Hemmung der Azetylcholinesterase

Solanum-Alkaloide hemmen die Azetylcholinesterase, die für die Hydrolyse des Neurotransmitters Azetylcholin an den Synapsen des Zentralnervensystems verantwortlich ist. Dies bewirkt eine verlängerte Azetylcholinwirkung. Neurologische Störungen nach Konsum von Solanum-Alkaloiden sind vermutlich auf diesen Effekt zurückzuführen. α -Chaconin und α -Solanin sind gleichermaßen effektive

Inhibitoren, bei α -Tomatin ist diese Wirkung weniger ausgeprägt.

2. Zerstörung von Membranen

Glykoalkaloide bilden stabile Komplexe mit Cholesterin und zerstören so die Struktur von Membranen. Zudem werden aktive Transportmechanismen gehemmt, das Membranpotenzial verändert und die Permeabilität der Membranen erhöht.

Diese Wirkung ist für die Zellschädigung im Gastrointestinaltrakt verantwortlich. Bei höherer Zufuhr führen Glykoalkaloide durch Schädigung der Erythrozytenmembran zur Hämolyse und Schädigung weiterer Gewebe.

Akute Toxizität

Ernsthafte Vergiftungen treten selten auf. Mehr als 2 000 Fälle von Vergiftungen durch Kartoffel-Alkaloide wurden beschrieben, 30 davon endeten tödlich. Es ist jedoch davon auszugehen, dass leichte Vergiftungen weit verbreitet sind, aufgrund der unspezifischen Symptome aber nicht als solche erkannt werden.

Klinische Symptome treten meist 2–20 h nach dem Verzehr von Kartoffel-Alkaloiden auf. Erhöhte Konzentrationen ab etwa 220 mg/kg machen sich durch ein „Kratzen“ im Hals bemerkbar. Leichte Vergiftungen äußern sich in Verdauungsstörungen wie Magen-Darm-Beschwerden, Erbrechen und zum Teil blutigen Durchfällen.

Bei stärkeren Vergiftungen treten zusätzlich neurologische Symptome auf wie Benommenheit und Apathie, z. T. auch Ruhelosigkeit, Muskelzittern, Verwirrtheit und Schwäche, in besonders schweren Fällen Bewusstlosigkeit und Tod.

Weitere häufige Symptome sind Kopfschmerzen, Fieber, schneller und schwacher Puls, niedriger Blutdruck und beschleunigte Atmung. Die Vergiftungserscheinungen können bis zu einer Woche andauern.

Hinsichtlich der Empfindlichkeit gegenüber Glykoalkaloiden scheinen große individuelle Schwankungen zu

bestehen. Außerdem beeinflussen weitere Nahrungsbestandteile wie Saponine und Sterole die Resorption und Toxizität der Substanzen.

Als akut toxisch wird eine Dosis von 2–5 mg Kartoffel-Alkaloiden pro kg Körpergewicht angesehen, die minimale tödliche Dosis liegt bei 3–6 mg/kg Körpergewicht.

In sachgerecht angebauten und behandelten Kartoffeln liegt der Alkaloidgehalt meist unter 100 mg/kg. Auch Werte bis zu 200 mg/kg werden als sicher beurteilt. Bei einer Zufuhr von 300 g Kartoffeln würden diese Konzentrationen zu einer Aufnahme von etwa 1 mg/kg Körpergewicht bei Erwachsenen führen. Damit besteht ein Sicherheitsfaktor von 2 zur niedrigsten Dosierung, die beim Menschen Symptome ausgelöst hat. Im Vergleich zu anderen Schadstoffen in der Ernährung ist dieser Sicherheitsfaktor gering, zumal bei Untersuchungen in Kartoffeln auch Alkaloidkonzentrationen über 200 mg/kg gefunden werden.

Besonders bei hohem Kartoffelkonsum können toxikologisch relevante Mengen an Alkaloiden aufgenommen werden. Die Art der Verarbeitung bzw. Zubereitung spielt eine entscheidende Rolle.

Im Vergleich zu α -Chaconin und α -Solanin scheint α -Tomatin deutlich weniger giftig zu sein. Im Tierversuch wurden für α -Tomatin 20-fach höhere LD50-Werte ermittelt als für die Kartoffel-Alkaloide.

Hierfür sprechen auch epidemiologische Beobachtungen: In Peru ist eine Tomatensorte beheimatet, die in reifem Zustand hohe Tomatingehalte von 500–5 000 mg/kg Trockengewicht und einen deutlich bitteren Geschmack aufweist. Die Tomaten werden dort konsumiert, ohne dass Vergiftungssymptome auftreten [6].

Generell sind die Glykoalkaloide wesentlich giftiger als deren Aglykone.

Teratogene Wirkung

Über eine chronische Toxizität der Glykoalkaloide ist wenig bekannt. Es gibt keine Hinweise auf eine mutagene oder kanzerogene Wirkung. In einigen Tierversuchen zeigten sich embryotoxische und teratogene Effekte, v. a. Missbildungen des Schädels.

Für den Menschen konnte ein Zusammenhang zwischen dem Verzehr von Kartoffeln während der Schwangerschaft und dem Auftreten von Neuralrohrdefekten wie Spina bifida oder Anecephalie in den meisten Studien nicht nachgewiesen werden. Ein erhöhter Kartoffelverzehr hatte zum Teil sogar einen präventiven Effekt. Eine abschließende Aussage ist jedoch zurzeit noch nicht möglich [5, 11].

Gesundheitsfördernde Eigenschaften

Glykoalkaloide besitzen auch gesundheitsfördernde Effekte. Diese sind aufgrund der deutlich geringeren Toxizität vor allem für die Alkaloide aus Tomaten interessant. Möglicherweise können beim Verzehr lebensmittelüblicher Mengen die positiven Wirkungen gegenüber unerwünschten Wirkungen sogar überwiegen [6].

Wirkung auf die Lipide: Tomatenalkaloide bilden mit Cholesterin stabile Komplexe, die nicht resorbierbar sind und über den Darm ausgeschieden werden. So können sie die Resorption des mit der Nahrung aufgenommenen Cholesterins reduzieren und Cholesterin dem enterohepatischen Kreislauf entziehen [5, 6].

Antimikrobielle Eigenschaften: Die antimikrobielle Wirkung der Glykoalkaloide bietet der Pflanze einen Schutz vor Bakterien, Protozoen, Viren und Pilzen. Diese Wirkung erstreckt sich aber auch auf menschliche Krankheitserreger wie *Salmonella typhimurium*, *Herpes simplex* und *Candida albicans*. Inwieweit mit der Nahrung aufgenommene Glykoalkaloide vor Infektionen schützen können, ist zurzeit noch weitgehend unklar [5, 6].

Antiinflammatorische Effekte: Im Tierversuch wurden für Glykoalkaloide aus Tomate und Kartoffel entzündungshemmende und antiallergische Effekte beobachtet [6].

Verbesserung der Immunantwort: Im Tierversuch lösten Tomatenalkaloide eine gesteigerte Immunantwort bei Infektionen aus. Eine erhöhte Konzentration an Zytokinen konnte nachgewiesen werden [6].

Antikanzerogene Eigenschaften: Untersuchungen weisen darauf hin, dass Glykoalkaloide aus Kartoffel und Tomate sowie deren Aglykone das Wachstum von Tumorzellen verringern. Tomatidin reduziert die Resistenz von Tumorzellen gegenüber Arzneimitteln und kann dadurch möglicherweise die Effektivität einer Chemotherapie verbessern [5,6].

Veränderung des Alkaloidgehaltes durch küchentechnische Verfahren

Die Zersetzungstemperatur der Glykoalkaloide liegt bei 260–270 °C und damit wesentlich oberhalb der üblichen Gartemperaturen im Haushalt. Die Substanzen sind jedoch wasserlöslich und gehen beim Kochen zu etwa 10 % ins Wasser über [16]. Auch durch Frittieren wird eine signifikante Abnahme der Konzentration durch Diffusion in das Frittierfett erreicht. Allerdings ist bei nachfolgenden Chargen auch ein Übergang zurück in das Frittiergut möglich [5]. Durch Schälen von Kartoffeln und Beseitigen der grünen Stellen und Keime kann der Alkaloidgehalt um 90 % reduziert werden. Bei grünen Tomaten ist durch Entfernen der Schale nur eine Verringerung von etwa 10 % möglich [16].

Für Produkte aus grünen Tomaten ist die Verarbeitung entscheidend:

- In süß-sauer eingelegten grünen Tomaten ist der ursprüngliche Alkaloidgehalt nur um 10 % reduziert.
- In milchsauer vergorenen Tomaten kann die Konzentration durch mikrobielle Abbauprozesse um etwa 30 % verringert werden.

- Bei Konfitüren tritt ein Verdünnungseffekt durch den zugegebenen Zucker auf.

Empfehlungen

Lagerung und Verarbeitung sind starke Einflussfaktoren auf den Gehalt an Solanum-Alkaloiden in Kartoffeln und Tomaten. Daher ist ein sorgfältiger Umgang mit diesen Lebensmitteln von großer Bedeutung.

Kartoffeln

Am wichtigsten ist eine sachgerechte Lagerung. Kartoffeln sind grundsätzlich kühl, dunkel und trocken zu lagern.

Grüne Stellen und „Augen“ sind großzügig zu entfernen. Kartoffeln mit großflächigen oder mehreren grünen Stellen sind ebenso wenig zum Verzehr geeignet wie alte, eingetrocknete und/oder keimende Kartoffeln.

Das Kochwasser von Kartoffeln sollte nicht weiterverwendet werden. Frittierfett ist regelmäßig zu wechseln.

Der Verzehr von ungeschälten Kartoffeln erhöht das Vergiftungsrisiko. Wenn überhaupt, sollten nur frische und unversehrte Knollen dafür verwendet werden.

Kartoffelschalen, die in frittierte Form als Snack angeboten werden, können hohe Alkaloidgehalte aufweisen. Vom Verzehr ist abzuraten.

Tomaten

Die Empfehlungen zum Verzehr von Produkten aus grünen Tomaten richten sich meist nach den üblichen Portionsgrößen. Bei Konfitüre sind diese normalerweise gering und daher toxikologisch unbedenklich. Würzsoßen und eingelegte Tomaten werden jedoch häufig auch in Mengen von über 100 g gegessen. Vom Verzehr in dieser Größenordnung wird überwiegend abgeraten, obwohl Vergiftungserscheinungen durch Produkte aus grünen Tomaten bisher nicht beobachtet wurden.

Die Literatur zu diesem Artikel finden Sie im Internet unter www.ernaehrungs-umschau.de.