

Gerald Kiefer

Aspirin und Aspartam, Jojobaöl und Dynamit, PET und Fett

**Ester exemplarisch:
Unterrichtsmaterialien zu einer
chemischen Stoffklasse**



Chemie und Chemikalien begegnen uns nicht nur im (unbeliebten) naturwissenschaftlichen Fachunterricht, sondern auch „im wahren Leben“. Chemische Grundkenntnisse helfen daher, Phänomene der Alltagswelt zu verstehen und Entscheidungen (z.B. Konsumententscheidungen) bewusst zu treffen. Ist Aspartam in meiner Diätjoghurt ein harmloser oder lebensgefährlicher Zuckerersatzstoff? Warum riecht der „Fleckenteufel“, den ich verwende, nach Banane und mein Haarshampoo nach Apfel? Aus welchen drei Elementen ist der „unkaputtbare“ Glasersatzstoff einer Colaflasche aufgebaut? Ist es gefährlich, das nicht rezeptpflichtige Aspirin sehr großzügig zu dosieren? Alle genannten Substanzen gehören in die Stoffklasse der Ester. „Ester sind Kondensationsprodukte aus Alkanolen und Säuren“, lehren Chemiebücher und Chemielehrer(innen). Diese Definition ist sicherlich korrekt, lässt aber keineswegs die Bedeutung erahnen, die diese facettenreichen Substanzen im Leben der Menschen einnehmen. Anhand ausgewählter Beispiele sollen Variantenreichtum und Alltagsbedeutung einer organischen Stoffklasse dargestellt und für den Chemieunterricht nutzbar gemacht werden.

„Die Ester“ zählen in der Schulchemie zu den Stoffen, die als letzte in der Systematik der organischen Stoffklassen abgehandelt werden und damit zuweilen ein Schattendasein fristen. Wegen der ungeheuren Vielzahl an möglichen (Carbon-) Säure- und Alkanolkomponenten ist die Stoffgruppe der Ester außerordentlich variantenreich. Da typische Vertreter der Ester zudem in ganz unterschiedlichen Bezügen als natürliche und „künstliche“ Substanzen in unserem Leben von großer Bedeutung sind, bietet sich diese Stoffklasse hervorragend an, um exemplarisch Stoffchemie zu betreiben. Es ist unbestritten, dass der Begriff „Stoffchemie“ mit vielen negativen Assoziationen besetzt ist – aus einer Zeit heraus, in der Stoffe und Stoffkenntnis im Sinne einer „rein beschreibenden Warenkunde“ im Mittelpunkt des Chemieunterrichts standen.

Doch auch in einem modernen Chemieunterricht, der stärker exemplarisch als systematisch ausgerichtet ist, scheint es angezeigt und durchaus zeitgemäß, an

geeigneter Stelle in einer Art Übersicht den Variationsreichtum organischer Verbindungen (bei übereinstimmendem Bauprinzip) aufzuzeigen. Die Relevanz chemischer Stoffkenntnissen kann anhand geeigneter Substanzbeispiele aus der Erfahrungswelt der Schüler/innen am Beispiel der Ester sehr gut deutlich gemacht werden. Die Vernetzung mit anderen Wissensinhalten – vor allem aus der Gesundheits-erziehung und Ernährungslehre – gelingt besonders gut.

Ester sind von Bedeutung als

1. Aromastoffe (Geschmacks- und Duftstoffe),
2. Fette (pflanzlicher und tierischer Herkunft),
3. Lösungs- und Reinigungsmittel (Nagellackentferner, Alleskleber,...),
4. Wachse (Jojobawachs, Bienenwachs,...),
5. Konservierungsstoffe (PHB-Ester),
6. Arzneimittel (Acetylsalicylsäure; Aspirin®),
7. Sprengstoffe (Nitroglycerin als Salpetersäureester; Dynamit),
8. Kunststoffe (Polyester: Diolen®, Trevira®, PET, ...)
9. Süßstoffe (Aspartam in Light-Produkten),
10. Tenside (LAS; Lineare Alkylsulfate als Schwefelsäureester),
11. Insektizide (E 605; Parathion® als organischer Phosphorsäureester),
12. Nukleinsäuren (DNA und RNA als Phosphorsäurediester).

Mit neun Arbeitsblättern als Kopiervorlagen soll das weite Stoffgebiet der Ester den Schülerinnen und Schülern geöffnet werden. Die Verbindungsbeispiele sind so gewählt, dass sehr unterschiedliche Dimensionen der Alltagsbedeutung dieser Stoffklasse angesprochen werden. Die historische Dimension chemischer Forschung und Entwicklung kann – dort, wo es sich anbietet (Dynamit, Aspirin) – im Unterricht aufgegriffen werden.

Die methodische Vorgehensweise, die Beschaffung, Filterung und Bewertung von Informationen an die Schüler zu delegieren, gewährleistet, dass diese über das eigene Recherchieren in Schulbüchern, Bibliotheken und dem Internet zu einer eigenständigen und vertieften Auseinandersetzung mit dem Stoffgebiet finden, dass sie Beteiligte und nicht nur Betroffene bei der Erstellung der „Stoffsammlung“ sind.

Auf diese Weise kann eine ganzheitliche Einbettung des Unterrichtsstoffes gelingen.

Arbeitsblatt Ester 1: Ester als Aromastoffe

In der Limonaden- und Lebensmittelindustrie finden Fruchtester als Aromastoffe weite Verwendung. Natürliche Aromastoffe werden aus Früchten extrahiert. Künstliche Aromastoffe hingegen haben keine Entsprechungen in der Natur. Sie stammen aus dem Labor.



1.1. Was muss man sich unter naturidentischen Aromastoffen vorstellen? (Ca. 2000 verschiedene „naturidentische“ Stoffe, darunter ca. 1000 Ester, werden zur Zeit als Duftstoffe und Fruchtaromen genutzt.)

1.2. In einem Schulbuch wird der Ethansäurepentylester als Birnenaroma und der Butansäuremethylester als Apfelaroma beschrieben. Warum ist diese Zuordnung eine sehr grobe Vereinfachung?

1.3. Zeichne die Strukturformel (mit allen bindenden und nichtbindenden Elektronenpaaren) für den Birnenaromastoff Ethansäurepentylester und die Halbstrukturformel für „das Erdbeeraroma“, den 2-Methylpropansäurepropylester.

1.4. Benzoesäureethylether ist an seinem unverwechselbaren Geruch als Pfefferminzaroma, Methansäureethylester als Rumaroma zu identifizieren. Zeichne die Halbstrukturformeln der Moleküle und benenne beide Stoffe nach der IUPAC-Nomenklatur!

Nomenklaturregel: Der Name des Esters wird gebildet aus der Bezeichnung des Alkylrestes des Alkanols und dem Namen des Salzes der Carbonsäure.

Die Namen der Salze leiten sich wiederum aus dem betreffenden Säurenamen ab, indem die Endung -säure durch -oat ersetzt wird.

Beispiel: Ethanoate sind Salze (bzw. Ester) der Ethansäure.

1.5. Aus Salicylsäure (2-Hydroxybenzoesäure) und Methanol lässt sich ein Ester synthetisieren, der sich als Kaugummiaroma charakterisieren lässt. Formuliere die Reaktionsgleichung!



Arbeitsblatt Ester 2: Ester als Fette

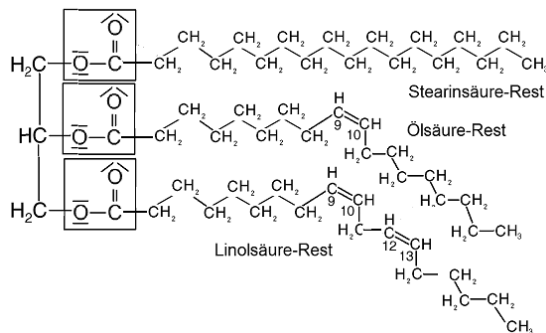


Bei der bakteriellen Zersetzung von Fetten entstehen kurzkettige Carbonsäuren mit ihrem oftmals charakteristischem Geruch. Buttersäure („Buttersäure“) riecht nach Schweiß und ranziger Butter, Pentansäure („Valeriansäure“) nach Misthaufen und Hexansäure („Capronsäure“) nach Ziegenbock.

2.1. Zeichne die Halbstrukturformel von 3-Methyl-2-Hexensäure (Achselduft!) und die Halbkreisstrukturformel des „Umkleideraum-Konzentrats“ 3-Methylbutansäure („Isovaleriansäure“)!

2.2. Gib die Summenformel für Valeriansäure (Pentansäure) und Isovaleriansäure an und definiere den Begriff Isomerie!

2.3. Die folgende Strukturformel stellt ein Fettmolekül dar. Erkläre an diesem Beispiel das Aufbauprinzip von Fettmolekülen!



2.4. Pflanzenöle mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren gelten als ernährungsphysiologisch besonders wertvoll. Welche besondere Bedeutung haben ungesättigte Fettsäuren für die Ernährung des Menschen?

2.5. Grenze die Begriffe Fett, Öl und Lipid gegeneinander ab!

2.6. Wenn Fette oder Öle über längere Zeiträume gelagert werden, so verderben sie. Butter wird ranzig. Wo liegen die Ursachen des Fettverderbs?

2.7. Fette werden oft als Speicherstoffe (Energiereserve) des Körpers bezeichnet. Der physiologische Brennwert von Fett ist doppelt so hoch wie der von Zucker. Welche wichtige Bedeutung kommt diesen Substanzen auf zellulärer Ebene außerdem zu?

Arbeitsblatt Ester 3: Ester als Lösungsmittel

Der typische Geruch von UHU®-Alleskleber geht auf das Lösungsmittel Essigsäureethylester – kurz auch „Essigester“ – zurück. Auch andere leichtflüchtige Ester werden als Lösungs- und Reinigungsmittel eingesetzt. Essigsäurebutylester ist ein bewährtes Lacklösemittel.



3.1. Zeichne die Halbstrukturformeln für die Moleküle der beiden oben genannten Ester und kennzeichne jeweils die Estergruppe!

3.2. Welche akuten Folgen und chronischen gesundheitlichen Schäden kann das (missbräuchliche) „Schnüffeln“ (Sniffing) von leichtflüchtigen Lösungsmitteldämpfen hervorrufen?

Für die Benennung von Carbonsäureestern gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Der Name wird aus dem Namen der Carbonsäure, der Bezeichnung für den Alkylrest des Alkanols und der Endung -ester gebildet; z.B. Essigsäureethylester.
2. Der Name wird aus der Bezeichnung des Alkylrestes des Alkanols und dem Namen des Salzes der Carbonsäure gebildet. Die Namen der Salze leiten sich wiederum aus dem betreffenden Säurenamen ab, indem die Endung -säure durch -oat ersetzt wird.

Ethanoate sind Salze bzw. Ester der Ethansäure. Daneben ist für sie auch die Benennung als Acetate (Salze der Essigsäure) gebräuchlich. Methanoate (historisch: Formiate) sind entsprechend Salze bzw. Ester der Methansäure (Ameisensäure).

3.3. Unter welchen anderen Namen könnte das UHU®-Lösungsmittel Essigsäureethylester auch geführt werden?

3.4. In seinem Buch „Warum krümeln Kekse?“ beschreibt „der Fleckenmeister“ Joe Schwarcz seine Suche nach geeigneten Lösungsmitteln für hartnäckige Flecke wie Kerzenwachs oder Kaugummireste: „Laundry Miracle ist einer meiner ... Favoriten. Der aktive Bestandteil ... ist Amylacetat, auch Bananenöl genannt – einmal schnupern, und Sie wissen, wie das Produkt zu diesem Namen kommt.“ Amylalkohol ist eine alte Bezeichnung für 1-Pentanol. Welche anderen Namensgebungen sind für den Ester Amylacetat sinnvoll bzw. denkbar?

3.5. Zeichne die Halbstrukturformel des „Fleckenteufels“ Amylacetat.

3.6. Können Estermoleküle Wasserstoffbrückenbindungen ausbilden?

Diskutiere unter diesem Gesichtspunkt Siedepunkte und Wasserlöslichkeit kurzkettiger Ester wie z. B. Ethylethanoat.

Arbeitsblatt Ester 4: Ester als Wachse

Wachse sind Ester langkettiger Monocarbonsäuren mit langkettigen („höheren“) Alkanolen.

Zur Gruppe der pflanzlichen Wachse gehört z. B. Jojobawachs, das aus den Samen des Jojobastrauchs gewonnen werden kann und in Haar- und Hautpflegemittel eingesetzt wird. Jojobawachs besteht aus Estern von C_{11} - und C_{12} -Alkanolen mit Eicosensäure $C_{19}H_{37}-COOH$.



4.1. Wie lauten Formel und systematischer Name des unverzweigten C_{12} -Alkanols?

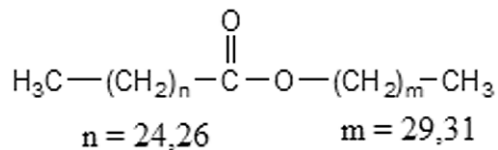
4.2. Zu welcher Gruppe von Carbonsäuren gehört die Eicosensäure?

4.3. Zeichne ein typisches Jojobawachsmolekül als Halbstrukturformel!

Zur Gruppe der tierischen Wachse zählt Bienenwachs. Bienenwachs besteht hauptsächlich aus einem Gemisch von 70 verschiedenen Estern. Sein Schmelzbereich liegt zwischen 61 und 68°C.



4.4. Wie ist folgende Formel zu interpretieren, die in einem Lehrbuch für Bienenwachs angegeben wird?

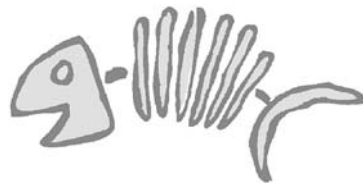


4.5. Zeichne die Halbstrukturformel für das Wachsmolekül, das aus Hexadecansäure (Palmitinsäure) und 1-Triacontanol $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{28}-\text{CH}_2\text{OH}$ aufgebaut ist!

4.6. Warum lässt sich für Bienenwachs kein definierter Schmelzpunkt angeben?

Arbeitsblatt Ester 5: Ester als Konservierungsmittel

Nahrungsmittelzusatzstoffe sind Stoffe, die Lebensmitteln absichtlich zugesetzt werden, um ihren Geschmack, ihr Aussehen oder ihre Haltbarkeit zu verbessern. Als Konservierungsmittel sind PHB-Ester weit verbreitet. Chemisch betrachtet handelt sich um Methyl-, Ethyl-, Propyl- oder Butylester der 4-Hydroxybenzoesäure (Para-Hydroxy-Benzoesäure). PHB-Ester werden u. a. in Fischpasten, Marinaden, Würzsoßen sowie Süß- und Backwarenfüllungen eingesetzt. Auch Arzneimittel und Kosmetika werden mit PHB-Estern konserviert. In den USA werden PHB-Ester auch zur Haltbarmachung von Bier eingesetzt.



5.1. Bei dem oft verwendeten Lebensmittelzusatzstoff E 218 handelt es sich um den 4-Hydroxybenzoesäuremethylester. Zeichne die Halbstrukturformel des Ester-moleküls!

5.2. Informiere Dich über gesundheitliche Risiken, die von PHB-Estern ausgehen können!

5.3. In einer Informationsschrift heißt es: „Die einzelnen PHB-Ester-Varianten unterscheiden sich in ihrer mikrobiellen Wirksamkeit und der Löslichkeit in Fetten oder Wasser.“

Begründe die unterschiedlich gute Wasserlöslichkeit des Methyl- und Butylesters der Hydroxybenzoesäure!

5.4. Definiere den Begriff „Konservierungsstoff“!

5.5. Worauf beruht die konservierende Wirkung der PHB-Ester?

5.6. Um die verschiedenen Lebensmittelzusatzstoffe in der Europäischen Union (EU) zu erfassen und die Zusatzstoffvorschriften auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen, wurden sogenannte E-Nummern eingeführt. Viele Konservierungsmittel (E-Nummer 200 bis 299) stammen aus der Stoffklasse der Carbonsäuren. Andere Carbonsäuren werden als Säuerungsmittel (E-Nummer 322 bis 375) in Lebensmitteln eingesetzt.

Nenne typische Vertreter und gib ihre Halbstrukturformeln an!

Arbeitsblatt Ester 6: Ester als Arzneimittel

Im Jahre 1997 feierte die Acetylsalicylsäure (ASS), besser bekannt unter dem Markennamen Aspirin®, ihren einhundertsten Geburtstag. 1899 war Aspirin® durch die Farbfabriken Bayer zum Patent angemeldet und auf dem Arzneimittelmarkt eingeführt worden.

Aber ganz am Anfang dieser Erfolgsstory steht die Weidenrinde. Extrakte aus Weidenrinde (lat. salix: Weide) waren schon seit dem Altertum als Schmerzmittel bekannt. So erwähnte bereits HIPPOKRATES VON KOS (460-377 v. Chr.) die schmerzlindernde Wirkung eines Saftes, den man aus Weidenrinde gewinnt. Das in der Weidenrinde enthaltene Salicin wird als „Pro-Drug“ in Darm und Leber des Patienten zu Salicylsäure umgebaut.



- 6.1. Zeichne die Strukturformel der Salicylsäure und gib die Summenformel an!
- 6.2. Salicylsäurehaltige Präparate werden heute fast nur noch äußerlich angewendet, z.B. Mobilat® Gel zur Behandlung von Verstauchungen und Bewegungsschmerzen. Die Einnahme von reiner Salicylsäure als Rheuma- oder Schmerzmittel ist unangenehm und kann zudem unerwünschte Nebenwirkungen haben. Suche Informationen zu den Problemen bei oraler Verabreichung von Salicylsäure!
- 6.3. 1887 gelang es dem Chemiker FELIX HOFFMANN, die Salicylsäure als Rheumamittel für seinen kranken Vater zu verbessern, indem er „die Hydroxylgruppe des Salicylsäuremoleküls durch eine Acetylgruppe – O-CO-CH₃ ersetzte.“ Hoffmann synthetisierte Acetylsalicylsäure. Formuliere eine Reaktionsgleichung für die Synthese von ASS aus Salicylsäure und Essigsäure!
- 6.4. Bei Veresterungen reagieren Alkanole mit Säuren. An dieser Veresterungsreaktion sind aber zwei organische Säuren beteiligt. Erkläre!
- 6.5. Informiere Dich über die drei klassischen pharmakologischen Wirkungen von ASS-Präparaten wie Aspirin®!
- 6.6. Seit über 20 Jahren wird Aspirin® auch als Mittel zur Herzinfarktprophylaxe eingesetzt. Erkläre die Wirkungsweise von ASS als Mittel zur Infarktprävention!
- 6.7. Aspirin® ist frei verkäuflich und nicht rezeptpflichtig. Dennoch muss vor einer willkürlichen und übermäßigen Dosierung gewarnt werden. Begründe!

Arbeitsblatt Ester 7: Ester als Explosivstoffe

Alkanole können auch mit anorganischen Säuren wie z.B. Phosphor-, Schwefel- oder Salpetersäure verestert werden. Bei dem Sprengstoff Nitroglycerin als explosiver Komponente des Dynamits handelt es sich um den Trisalpetersäureester des dreiwertigen Alkanols Glycerin (1,2,3-Propantriol).



7.1. Gib Formeln für die drei oben genannten anorganischen Säuren an!

7.2. Zeichne die Halbstrukturformeln für Propantriol und Nitroglycerin!

7.3. Formuliere die Reaktionsgleichung für die Nitroglycerinsynthese!

7.4. Die Wirkung von Explosivstoffen beruht i.d.R. auf schnell ablaufenden Redoxreaktionen. Woher stammt der Sauerstoff als notwendiges Oxidationsmittel beim explosiven Zerfall des Nitroglycerins?

7.5. Sprengstoffe reagieren nach der Zündung in stark exothermen Reaktionen, bei denen in kurzer Zeit große Mengen heißer Gase entstehen. Diese Gase als Reaktionsprodukte nehmen ein viel größeres Volumen ein als der ursprüngliche Sprengstoff. Auf diese Weise baut sich ein gewaltiger Explosionsdruck auf.

Welche gasförmigen Produkte sind beim explosiven Zerfall von Nitroglycerin zu erwarten?

7.6. Nitroglycerin ist eine ölige, erschütterungsempfindliche Flüssigkeit, die so unberechenbar zum Zerfall neigt, dass dieses Sprengöl kaum als brauchbarer Sprengstoff eingesetzt werden konnte. Wie löste ALFRED NOBEL (1833-1896) dieses Problem?



Arbeitsblatt Ester 8: Ester als Kunststoffe

Die meisten Erfrischungsgetränke kommen heute nicht in schweren Glasflaschen sondern in leichten PET-Flaschen in den Handel.

„Polyethylenterephthalat (kurz: PET) ist ein durch Polykondensation hergestellter thermoplastischer Kunststoff aus der Familie der Polyester. Die Monomere, aus denen PET hergestellt wird, sind Terephthalsäure (1,4-Benzoldicarbonsäure) und Glykol (1,2-Ethandiol).“

8.1. Zeichne die Strukturformeln der Bausteine (Monomere), aus denen PET synthetisiert wird!

8.2. Stelle den Vorgang der Polykondensation schematisch mit 3 Monomeren dar und skizziere einen charakteristischen Formelausschnitt aus dem PET-Molekül!

8.3. Definiere den Begriff „Makromolekül“!

Wer prägte diesen Begriff?

Welche Stoffe sind aus Makromolekülen aufgebaut?

8.4. Was versteht man unter einem „Thermoplasten“?

Wie unterscheiden sich thermoplastische Kunststoffe – in ihrem Verhalten beim Erhitzen und in der Molekülstruktur – von duroplastischen Kunststoffen?

8.5. Zu den bekanntesten Verwendungszwecken von PET zählt die Herstellung von Kunststoffflaschen und die Verarbeitung zu Textilfasern.

Welche günstigen Eigenschaften besitzen Flaschen und Fasern aus PET?

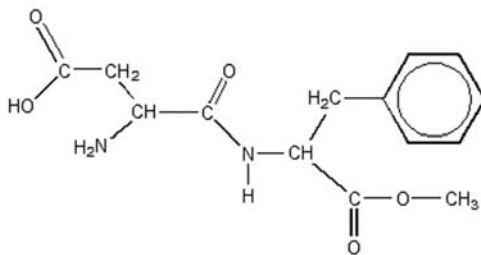


Arbeitsblatt Ester 9: Ester als Süßungsmittel

Aspartam (NutraSweet®, Canderel®, Sanecta®) ist als Zuckeraustauschstoff in zuckerfreien Kaugummis und in Lebensmitteln enthalten, die als Light-Produkte angeboten werden (Coke Light, Orbit ohne Zucker, Müller Diät Joghurt, Wrigley Kaugummi, Fisherman's Friend,...). Aspartam ist seit über 20 Jahren – heute in über 90 Ländern – als Lebensmittelzusatzstoff E 951 zugelassen. Es wird synthetisch oder gentechnisch hergestellt, ist „fast kalorienfrei“ und hat eine sehr hohe Süßkraft (200mal süßer als Zucker). Chemisch gesehen ist Aspartam ein Dipeptidester.

„Aspartam ist aus Eiweißbausteinen aufgebaut, in die es durch die Enzyme in unserem Verdauungstrakt auch wieder zerlegt werden kann. Seine drei Bestandteile sind die Aminosäuren Phenylalanin und Asparaginsäure sowie der Alkohol Methanol.“

Die Abbildung zeigt die Strukturformel des Aspartammoleküls.



9.1. Kennzeichne in diesem Molekül Estergruppe und Esterbindung, Peptidgruppe und Peptidbindung!

9.2. Gib die Formeln für die drei Aspartam-Bausteine an!

9.3. Um welche Reaktionstypen handelt es sich bei der Synthese und beim Abbau von Aspartam?

9.4. Beim Backen oder Kochen verliert Aspartam seine Süßkraft. Begründe!

9.5. Wenn Aspartam als Süßstoff enthalten ist, tragen Verpackungen den Warnhinweis „Enthält eine Phenylalaninquelle.“. Für welche Menschen ist dieser Hinweis von großer Bedeutung?

9.6. Beim Abbau von Aspartam entsteht Methanol. Informiere Dich über die Giftigkeit dieses einfachsten Alkanols!

9.7. Diätgetränke enthalten üblicherweise ca. 60 mg Aspartam pro 100 ml, pro Portion somit ca. 200 mg. Die duldbare tägliche Aufnahmemenge (acceptable daily intake, ADI-Wert) wird mit 40 mg je kg Körpergewicht angegeben.

Ein berühmter Satz von PARACELSDUS (1493-1541) lautet (etwas verkürzt): „Die Dosis macht das Gift.“ Schätze das Gesundheitsrisiko einer Methanolvergiftung durch Kaugummigenuss ab!

9.8. Informiere Dich im Internet über mögliche gesundheitlichen Gefahren, die von Aspartam ausgehen könnten!