

Die unheimliche Benzoessäure

Duft- und Desinfektionsmittel mit bedenklichem Charakter

Wolfgang Hasenpusch, Universität Siegen

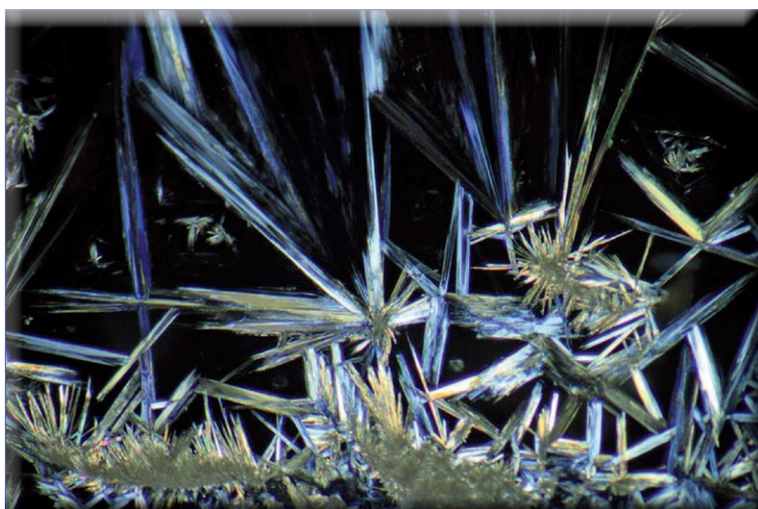
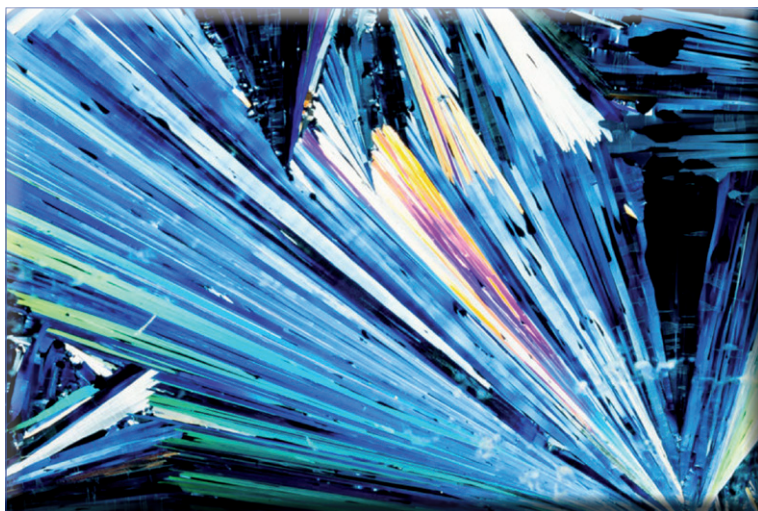


Abbildung 1: Benzoessäure-Kristallnadeln aus Iso-Propanol (<http://up.picr.de>).

Abbildung 2: Benzoessäure-Kristalle im polarisierten Licht (<http://lebensmittellexikon.de>).



Der Autor

Prof. Dr. Wolfgang Hasenpusch hält eine Honorar-Proffessur an der Universität Siegen in industrieller anorganischer Chemie mit den Schwerpunkten Innovationsmanagement, Recycling und Bionik. Das weite Spektrum an bearbeiteten Themen resultiert aus der vielfachen Dozenten-Tätigkeit am Deutschen Institut für Betriebswirtschaft, den Schulen der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) sowie Universitäten.

Benzoessäure, ihre Salze, die Benzoate sowie die wohlriechenden Ester nutzten schon die Ägypter und Araber vor einigen tausend Jahren durch die Verwendung des Harzes der Benzoe-Bäume in Balsamierungsmitteln, Parfüms und Räucherwerk. Heute dienen die Benzoessäure-Verbindungen noch vielen weiteren Zwecken: als Biozid, Weichmacher, zur Konservierung, ja sogar als Futtermittel-Zusatz in der Schweine-Mast. Aber Benzoessäure kann auch als Allergen wirken und in das krebserzeugende Benzol zerfallen. Hinreichende Gründe, sich mit dieser Verbindung und seinen Derivaten näher zu befassen.

Aus alter Tradition

Das Verräuchern von Baumharzen diente schon seit Jahrtausenden sakralen, zeremoniellen, heilenden oder ritualen Zwecken. Für Millionen von Menschen bestimmt das Räuchern noch heute in Indien, Tibet, China und Japan wie schon in Urzeiten das tägliche Gesellschafts- und Zeremonie-Leben [1].

Der Name „Benzoessäure“ entstammt aus ihrem einstigen Ausgangsmaterial, dem Benzoeharz des Benzoe-Baumes. Er ist malaysischen Ursprungs und hieß ursprünglich übersetzt „Weihrauch von Java“. Kaufleute verbrachten das Harz zunächst in den Mittelmeerraum. Aus der Benennung „belzui“ bildete sich schließlich das Wort „benzoe“ heraus [2].

1556 beobachtete Michel de Nostredame, genannt „Nostradamus“, (1503-1566) die ausgeprägten farblosen Benzoessäure-Kristalle (Abbildung 1), die er aus dem Harz des Benzoe-Baumes durch Sublimation freisetzte [3]. Noch 1832, als Eilhard Mitscherlich (1794-1863) die nadeligen Kristalle der Benzoessäure isolierte, kannte man die Zusammensetzung dieser Verbindung noch nicht. Aber noch im gleichen Jahr ermittelten Justus von Liebig (1803-1873) und Friedrich Wöhler (1800-1882) die chemische Zusammensetzung und Struktur. Ihre berühmte Arbeit von 1832 mit dem Titel „Untersuchungen über das Radikal der Benzoessäure“ verwies auf die Möglichkeiten organischer Reaktionen. Die Schrift [4] wurde zu einer Grundlage der organischen Synthese.

Heute lassen sich die Kristalle der Benzoessäure im polarisiertem Licht besonders plastisch darstellen (Abbildung 2).

Die konservierende Wirkung der Benzoessäure (Abbildung 3) entdeckte H. Fleck 1875 auf der Suche nach einer Alternative zur Salizylsäure (2-Hydroxybenzoessäure). Aber die Benzoessäure ließ sich erst nach ihrer Synthese um 1900 in die Lebensmittelkonservierung einführen. Seitdem findet sie vor allem wegen des niedrigen Preises weltweiten Einsatz. Erst in jüngster Zeit machen sich nach Bekanntwerden toxikologisch bedenklicher Eigenschaften gewisse Einschränkungen bemerkbar [5].

Benzoessäure, eine Grundchemikalie

Benzoessäure kommt in der Natur in verschiedenen Pflanzen wie auch Tieren vor. Sie ist ein Hauptbestandteil in den Harzen der Benzoe- und Weihrauch-Bäume. Daneben findet sich Benzoesäure auch in Früchten, wie beispielsweise im Paradiesapfel (*Malus pumila*), bis zu 0,2 % in Preiselbeeren, Himbeeren, Heidelbeeren und Pflaumen.

Im Wehrsekret verschiedener Schwimmkäfer der Gattung *Dytiscus* (Gelbrandkäfer) analysierten Biochemiker auch die Benzoessäure.

Weiterhin kommt Benzoessäure spurenweise auch in den Lebensmitteln Milch (< 1 mg/l) und Honig vor.

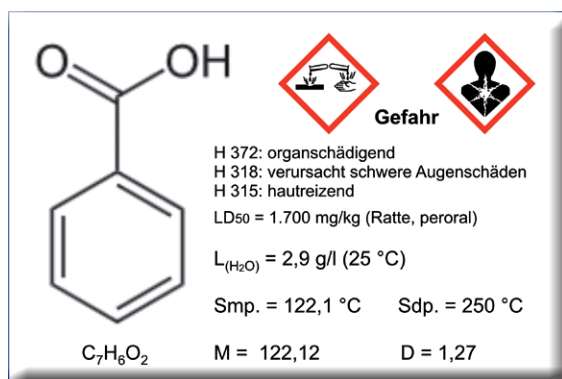


Abbildung 4: Struktur sowie chemische und physikalische Eigenschaften der Benzoessäure.

Abbildung 5: Assoziation zweier Moleküle Benzoessäure.

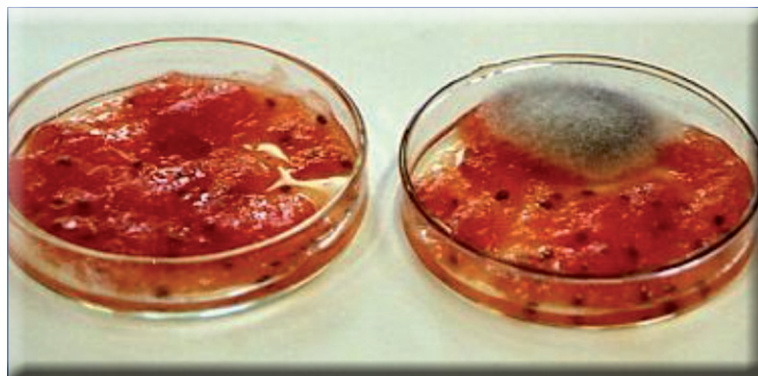
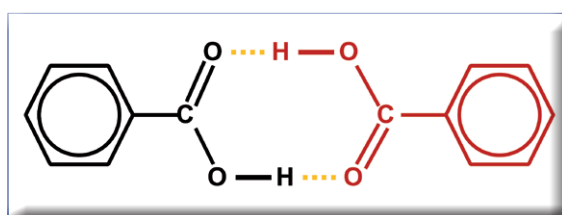


Abbildung 3: Versuch zur Demonstration des Konservierungsstoffes Benzoessäure an Tomaten-Püree (Kaiser-Karl-Schule Itzehoe, „Konservierungsstoffe in Lebensmitteln“).

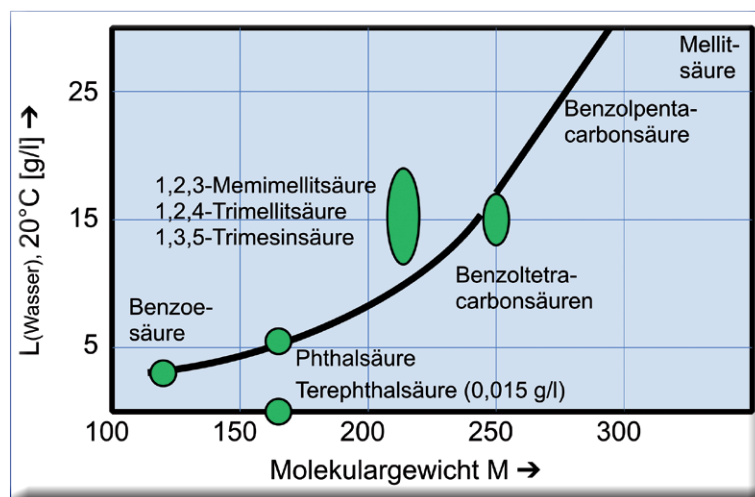
Aufgrund der relativ einfachen Struktur und der verschiedenen Weiterverarbeitungswege stellt die feste, kristalline Benzoessäure eine Grund-Chemikalie dar, die jedoch bei allen Vorzügen aufgrund ihrer toxischen Eigenschaften mit Vorsicht zu handhaben ist (Abbildung 4).

Als organische Carbonsäure tritt auch die Benzoessäure in Lösungen dimer auf, auch ein Grund für die schlechte Löslichkeit in wässrigem Milieu (Abbildung 5).

Die Löslichkeit in Wasser nimmt mit der Anzahl der Carboxyl-Gruppen am Benzolring zu, wie der systematische Vergleich von der Benzoessäure bis zur Benzohexacarbonsäure, der Mellitssäure, in der Abbildung 6 veranschaulicht. Auch die analogen Dichten der Benzolcarbonsäuren liegen auf einer harmonischen Kurve, in der die symmetrisch strukturierte Benzo-1,2,4,5-tetracarbonsäure (Pyromellitssäure) mit D = 1,79 das Maximum darstellt (Abbildung 7).

Die Dissoziation, und damit die Säurestärke der Benzoessäure, lässt sich durch Substituenten am Benzolring in Para-Stellung beeinflussen. Da

Abbildung 6: Anstieg der Löslichkeit mit Zunahme der Carboxyl-Gruppen am Benzolring.



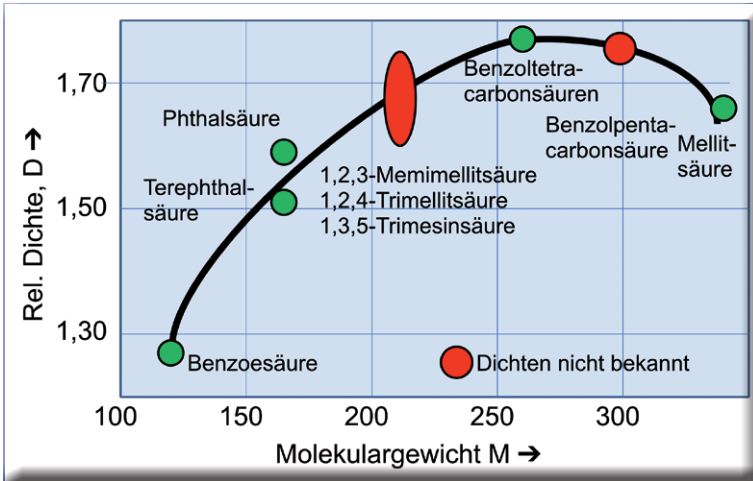


Abbildung 7: Harmonische Beziehung zwischen Molekulargewicht und Dichte bei den Benzolcarbonsäuren.

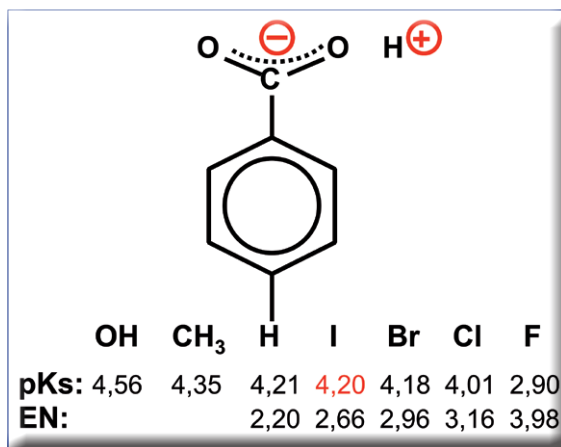
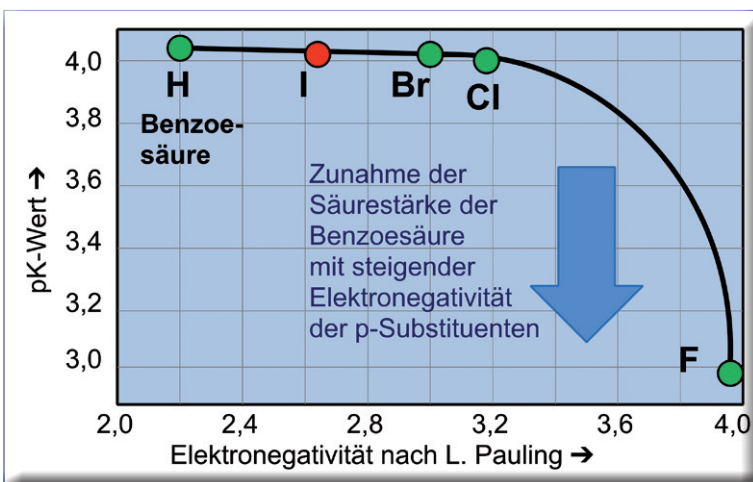


Abbildung 8: Variation der Säurestärke durch Trans-Substitution.

Abbildung 9: Änderung der Säurestärke der Benzoessäure mit der Elektronegativität der Para-Substituenten.



bei spielen pKs-Wert und Elektronegativität der Substituenten eine wichtige Rolle. Ein fehlender Wert für den pKs-Wert im Falle der p-Iod-Substitution ließ sich durch Interpolation (rot) leicht einfügen (Abbildung 8). Das veranschaulicht die Abbildung 9 in der entsprechenden grafischen Darstellung.

Auch ein Vergleich der pKs-Daten von n-Alkylcarbonsäuren mit dem der Benzoessäure in Abhängigkeit der Molekulargewichte zeigt deutlich, dass die aromatische Carbonsäure in diese harmonische Aliphaten-Reihe nicht einordbar ist (Abbildung 10).

Eine interessante Beobachtung liegt in dem weitgehend linearen Verlauf der Verbrennungswärmen Sauerstoff-haltiger Benzolderivate in Relation zu ihrem Sauerstoff-freiem Molekulargewicht, bei dem die sich bei der Verbrennung bildenden Wasser-Moleküle herausgerechnet wurden, bezogen auf eine Benzol-Einheit (Abbildung 11). Die Verbrennungswärme der Benzoessäure deckt sich mit den Werten des Benzoessäure-Anhydrids und dem Dibenzoylperoxid.

Neben den Ländern des Europäischen Wirtschaftsraumes liegen die Produktionsstätten für Benzoessäure vor allem in den USA und in China.

Die technische Herstellung der Benzoessäure läuft über die Oxidation von Toluol in der Gasphase am Vanadinpentoxid-Kontakt ab, oder über eine mit Aluminiumchlorid katalysierte Friedel-Craft-Acylierung mit Benzol und Phosgen, gefolgt von der Hydrolyse des Benzoylchlorids (Abbildung 12).

Einsatz und Verwendung

Benzoessäure kommt bei der Herstellung von Benzoessäure-Estern zum Einsatz, die in der Parfümindustrie als Duftstoffe, wie z. B. Benzoessäure-reethylester verwendet werden [6].

Die flüssigen Benzoessäure-Ester bestechen durch ihre typisch aromatischen Duftnoten. Sie dienen in erster Linie als Konservierungsmittel. Der Methylester reizt jedoch Augen, Haut und Atemwege, fast ebenso wie der analoge Ethylester.

Die n-Alkylester der Benzoessäure liegen mit ihren Dichten in Bezug zum jeweiligen Molekulargewicht auf einer harmonischen Kurve, die es erlaubt auf unbekannte analoge Verbindungen zu extrapolieren (Abbildung 13).

Weitere Verwendungs-Schwerpunkte der Benzoessäure und seine Derivate sind Biozide, wie beispielsweise der Benzoessäurebenzylester, oder als Säure und ihre Salze Konservierungsmittel in der Lebensmittel-Industrie [7]:

- E 210 Benzoessäure
- E 211 Na-Benzoat
- E 212 K-Benzoat
- E 213 Ca-Benzoat.

Die beste Löslichkeit in Wasser bei Raumtemperatur (20 °C) weist das Natriumbenzoat auf. In der Relation zum Molekulargewicht nimmt es im Vergleich zu anderen Benzoaten eine Maximal-Position ein (Abbildung 14). Zudem erlaubt der Kurven-Verlauf die Daten-Interpolation von Verbindungen, für die keine Löslichkeiten in der Literatur zu finden waren.

Vor allem bei der Herstellung von Gemüse-Konserven, für die Konservierung von Essiggemüse wie Gewürz Gurken, saurem Obst und Fruchtsaft-Konzentraten nutzen die Produzenten das Calciumbenzoat. Auch für die Haltbarmachung von Mayonnaise ist es im Einsatz. Für die Konservierung von Tierfutter ist Calciumbenzoat ungeeignet, da es beispielsweise bei Katzen bereits in geringen Mengen tödlich wirkt [8]. Struktur und Eigenschaften dieses Nahrungs-Ergänzungsmittels E 213 stellt die Abbildung 15 dar.

Die Dichten der Benzoate von Alkali- und Erdalkalimetallen schwanken um den Wert $D = 1,4$. Wesentlich höher liegt die Dichte der Aluminium-Verbindung mit $D = 2,70$ (Abbildung 16).

Eine weitere, aber kuriose Anwendung der Benzoessäure zeigt sich in der genehmigten Verwendung als Futtermittelzusatz für die Schweinemast in der Europäische Union [9].

Ferner dient Benzoessäure als Weichmacher sowie zur Herstellung von Benzoylverbindungen, wie Benzoylchlorid und Dibenzoylperoxid, und ist auch in manchen Klebstoffen enthalten [10].

Eigenschaften der Benzoessäure und ihrer Derivate

Auf der einen Seite hilft die Benzoessäure die Haltbarkeit von Lebensmitteln erheblich zu verlängern, andererseits wirkt ein konsumiertes Übermaß, dessen sich die wenigsten Menschen bewusst sind, in erheblichem Maße schädlich.

Abbildung 12: Technische Benzoessäure-Synthesen über katalytische Toluol-Oxidation (I.) oder katalytische Phosgen-Addition (II.).

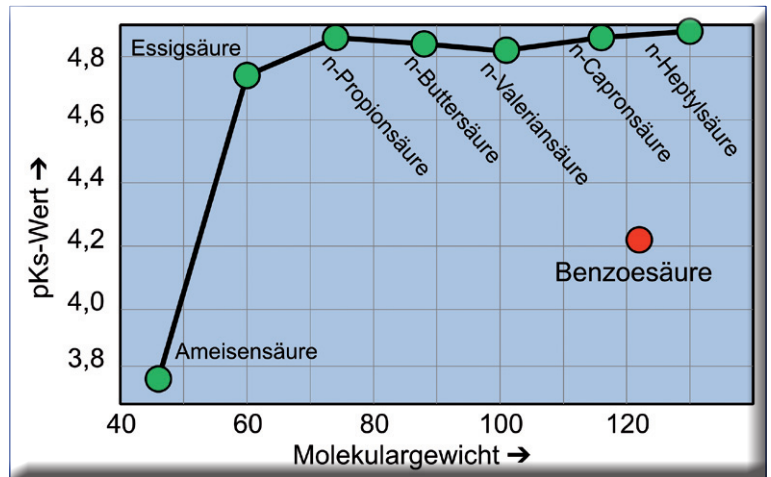
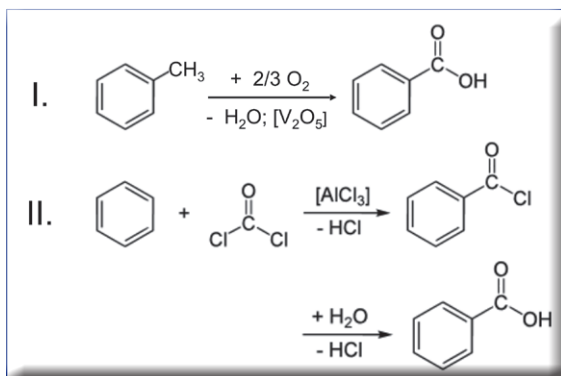


Abbildung 10: Änderung der Säurestärke mit dem Molekulargewicht in der Reihe der aliphatischen Carbonsäuren im Vergleich zur Benzoessäure.

Abbildung 11: Verbrennungswärme Sauerstoff-haltiger Benzol-Derivate.

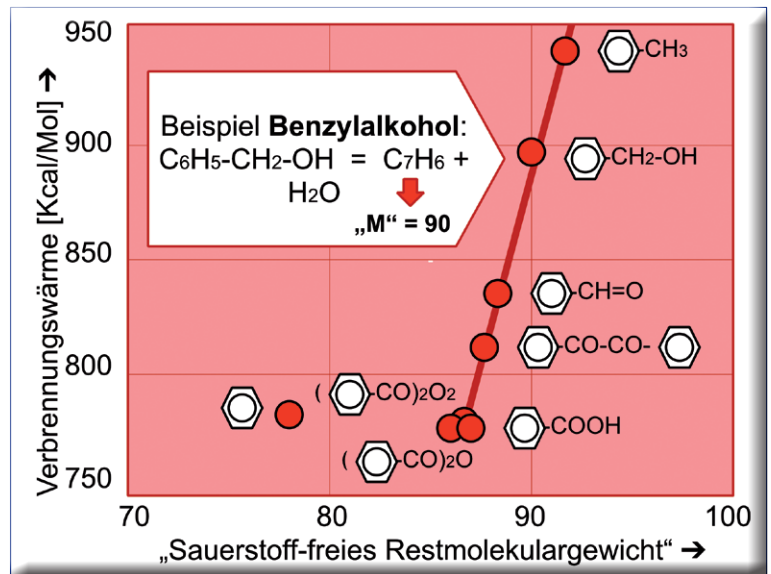
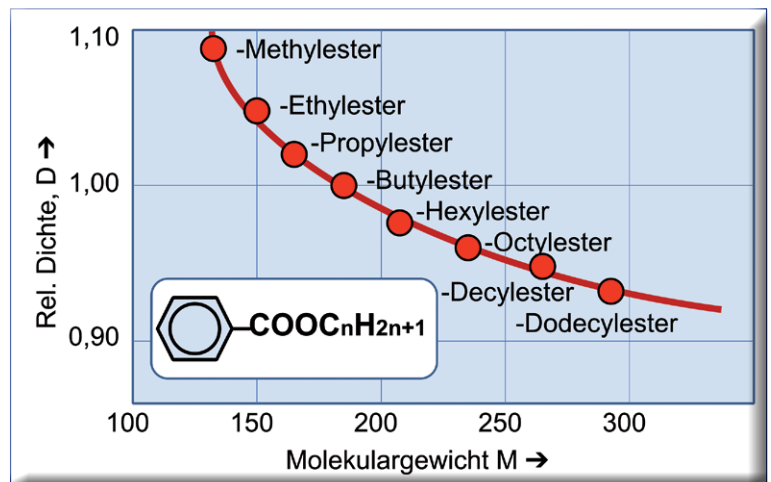


Abbildung 13: Harmonische Beziehung zwischen Molekulargewicht und Dichte bei den Benzoessäure-Alkylestern.



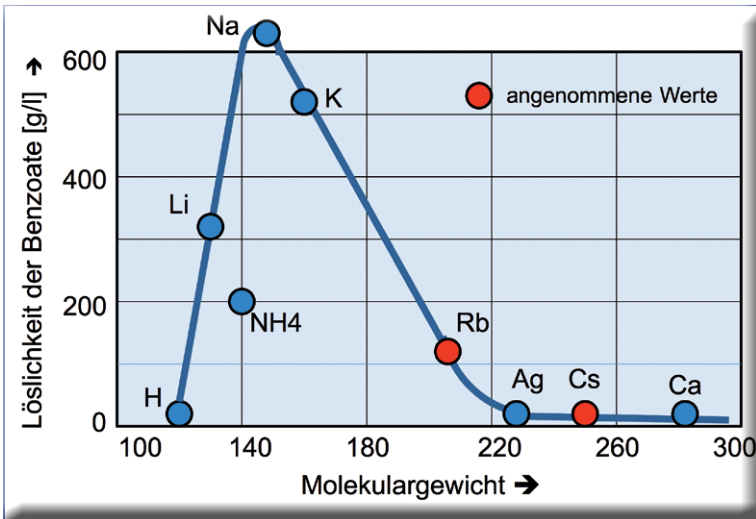


Abbildung 14: Löslichkeit der Benzoat-Salze [g/l].

Abbildung 15: Struktur und Daten des Kalziumbenzoats (E 213).

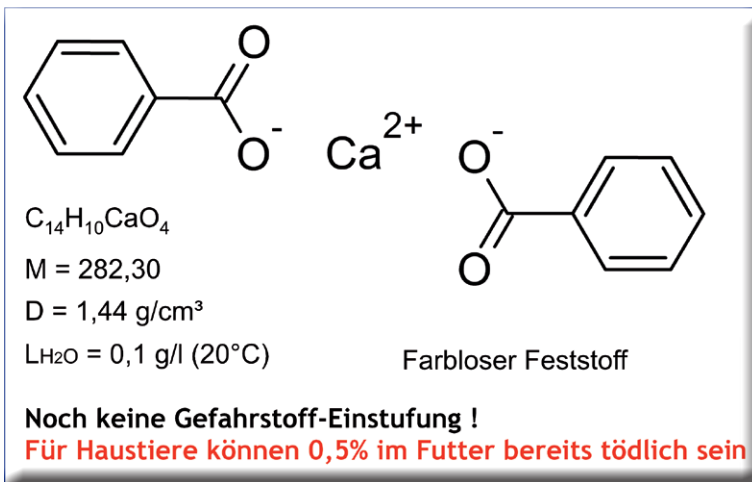
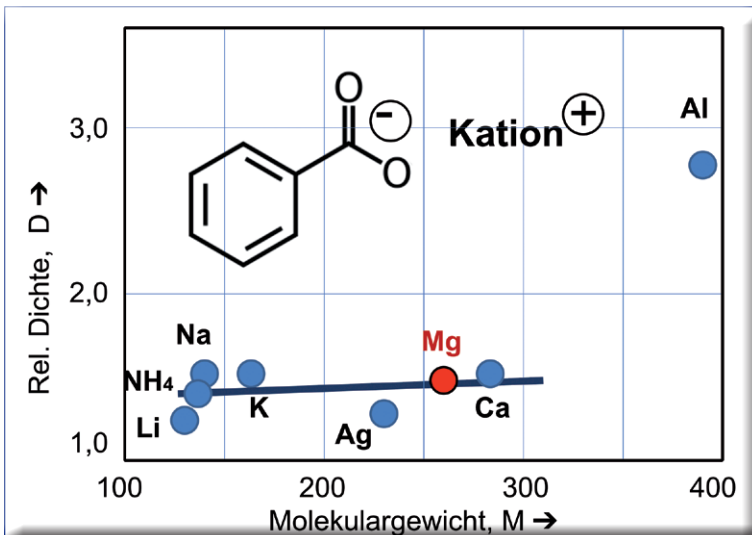


Abbildung 16: Vergleichbare Dichten der Metall-Benzoate im unteren Molekulargewicht-Bereich.



Benzoessäure – Schutz der Lebensmittel

Die Benzoessäure ist mit einem pKs-Wert von 4,2 in saurem Milieu sehr wenig dissoziiert und in Wasser nur wenig löslich. Sehr gut löst sich die Benzoessäure in Alkohol und Aceton. Wesentlich besser in Wasser lösen sich die Alkalisalze. Das Natriumbenzoat beispielsweise löst sich mit 660 g/l bei 20 °C sehr gut in Wasser, ebenso das Kaliumsalz mit 707 g/l. Das Calciumbenzoat ist dagegen mit 27,2 g/l weniger gut löslich.

Das biozide Wirkungsspektrum der Benzoessäure ist in saurem, wenig dissoziiert Zustand bei Konzentrationen von mindestens 0,05 – 0,1% bakteriostatisch und pilztötend (antimykotisch) und wirkt auch gegen Thyphus und Milzbrandbakterien. Getötet werden diese Bakterien jedoch erst bei einer Konzentration von 2%. Das Wachstum von Schimmelpilzen wird ab 3% unterdrückt.

Nur die undissoziierte Form kann die lipoidähnliche Membran von Mikroorganismen durchdringen – die Wirkung ist daher stark pH-abhängig und nur im sauren Bereich wirksam [3].

Eine viel diskutierte Herausforderung liegt im Haltbarmachen von Krabbenfleisch. Es lässt sich mit hohen Benzoessäure-Konzentrationen zwei Monate genießbar halten, während ansonsten ein Verzehr nach dem Kutterfang innerhalb von zwei Tagen anzuraten ist. Die langen Transport- und Verarbeitungs-Wege der „Supermarkt-Krabben“ erfordern bis zu 6 g Benzoessäure/kg Nordseekrabben, um sie frei von Mikroorganismen auf den Markt zu bringen (Abbildung 17). Tatsächlich ergaben Nachforschungen Benzoessäure-Konzentrationen von 4 bis 6 g/ kg. Dabei liegen die Grenzwerte für andere verderbliche Waren bei 2 g Benzoessäure/ kg.

In der Lebensmittelindustrie wird Benzoessäure (E 210) als Konservierungsmittel häufig eingesetzt, wie z.B. im Ketchup, Senf und in Fertigsoßen, wie auch in Wurst, Margarine, Fischsalaten und vielen anderen Produkten, vor allem aber bei sauer eingelegten Lebensmitteln.

Weiterhin wird Benzoessäure häufig als Konservierungsstoff in Tabakprodukten verwendet. Die Tabakverordnung [11] gestattet den Einsatz von Benzoessäure und Natriumbenzoat. Benzoessäure ist gemäß Kosmetikverordnung [12] auch zur Konservierung von Kosmetika zugelassen.

Wegen der besseren Löslichkeit in Wasser ist neben der Verwendung der reinen Benzoessäure auch der Einsatz von Salzen verbreitet: Natriumbenzoat (E 211), Kaliumbenzoat (E 212) und Calciumbenzoat (E 213).

Benzoessäure – die Kehrseite der Medaille

Aber in der Verwendung der Benzoessäure erkennen verbrauchernehe Organisationen auch immer stärker die Risiken einer zu starken Belastung des Menschen durch den unreflektierten Gebrauch der massenhaft mit Benzoessäure oder Benzoaten versetzten Lebensmittel.

Benzoessäure ist ein Konservierungsmittel, das bei empfindlichen Personen unerwünschte Reaktionen auslösen kann. Bei der letzten Sitzung der „Codex-Alimentarius-Kommission“ im Juli 2004 wurde ein Höchstwert für das Vorkommen von Benzoessäure in Getränken beschlossen, der viermal so hoch ist wie der bisher in der Europäischen Union mit 28 Nationen zugelassene Wert. Die EU und ihre Mitgliedsstaaten haben gegen diesen Wert protestiert und ihre Bedenken geäußert, dass durch den erhöhten Grenzwert die akzeptable tägliche Aufnahmemenge (ADI) überschritten werde. Der neue Höchstwert wurde trotzdem beschlossen – doch als Kompromiss einigte man sich schließlich auf eine zunächst dreijährige Testphase für den neuen Wert.

Was bedeutet dies für die EU-Mitgliedsländer? Wird die EU nun ihren strengeren Höchstwert aufgeben müssen, wenn sie innerhalb der nächsten drei Jahre keine Belege für Risiken durch eine erhöhte Aufnahme von Benzoessäure erbringen kann? Lässt sich das Vorsorgeprinzip „so wenig wie nötig“ bei Zusatzstoffen aufrechterhalten oder muss es dem Prinzip „so viel, wie bis zum Nachweis der Schädlichkeit möglich ist“ weichen? [13].

Für den Konservierungsstoff Benzoessäure wurde ein ADI-Wert (Acceptable Daily Intake) von 5 mg pro Kilogramm Körpergewicht festgelegt. Dieser ADI-Wert bezieht sich auf die Summe aller verzehrten Benzoate und Benzoessäure. Er beziffert die tägliche Aufnahmemenge von Zusatzstoffen in Lebensmitteln, die ein Mensch lebenslanglich täglich verzehren kann ohne gesundheitliche Schäden davonzutragen.

Die Benzoessäure und ihre Salze und Ester werden im Darm aufgenommen und anschließend über die Niere ausgeschieden. Bei empfindlichen Personen können diese Verbindungen Allergien beziehungsweise pseudoallergische Reaktionen auslösen. Das gilt insbesondere dann, wenn bereits eine Allergie gegen das ergänzend wirkende Aspirin beziehungsweise Salicylsäure und ihre Derivate vorliegt. Auch wer unter Asthma leidet, kann eventuell empfindlich auf Benzoessäure und Benzoate reagieren. Selbst als Auslöser von Asthma und Nesselsucht haben sich diese Verbindungen einen unrühmlichen Namen geschaffen. Die Verbindungen werden auch im Zusammenhang mit Konzentrations-Problemen und Hyperaktivität bei Kindern als Verursacher diskutiert.



Abbildung 17: Extrem hohe Benzoessäure-Gehalte im Krabben-Fleisch.

Wenn Benzoessäure und ihre Derivate über einen längeren Zeitraum in hohen Dosen verzehrt werden, können diese Konservierungsstoffe auch zu Verdauungsbeschwerden führen und Krämpfe auslösen. Auch Beeinträchtigungen des Nervensystems als Folge eines zu hohen Verzehrs dieser Konservierungsstoffe konnten Mediziner feststellen [14]. Diese Befunde ergaben sich an Versuchspersonen bereits bei 25 mg Benzoessäure/kg Körpergewicht und Tag nach drei Wochen. Erschwerend wirken noch die Derivate der Benzoessäure, wie Salicylsäure und Acetylsalicylsäure, die sich in bekannten Schmerzmitteln befinden [15].

Resumé

Benzoessäure und ihre Derivate sind relativ leicht synthetisierbar, zumal Benzol und Toluol als Grund-Ressource nahezu unbegrenzt zur Verfügung stehen. Da die Großhandelspreise um 1000 Euro/t schwanken, stehen sie relativ günstig als Standard-Konservierungsstoff für diverse Lebensmittel zur Verfügung.

Dem mündigen Bürger bleibt es vorbehalten, für sich und seine Familie die Summe der Konservierungsmittel im Auge zu behalten. Zu beachten sind ferner die Früchte und ihre Weiterverarbeitungs-Produkte, die von Natur aus Benzoessäure enthalten, wie Preiselbeeren, Himbeeren, Heidelbeeren und Pflaumen.

Dazu müssten die Benzoate und entsprechenden Ester in die Benzoessäure-Äquivalente umgerechnet werden, die Gewichte aller Familien-Mitglieder Berücksichtigung finden und bekannt sein, und ebenso die Mengen der Lebensmittel mit den jeweiligen Benzoessäure-Konzentrationen. Allein daran hapert es schon, denn Mengen- oder Konzentrationsangaben von Benzoessäure sucht man in der Regel vergebens.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung, BfR, wies sogar auf eine mögliche Bildung von geringen Mengen giftigen und krebserregenden

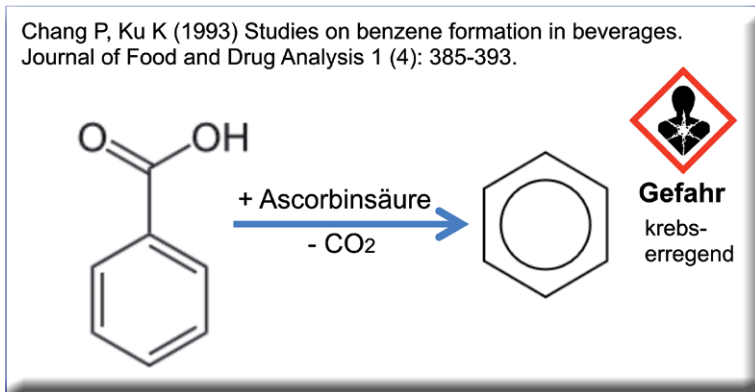


Abbildung 18: Geringfügige Umwandlung von Benzoessäure in Benzol bei Gegenwart von Reduktionsmitteln in Getränken und Speisen.

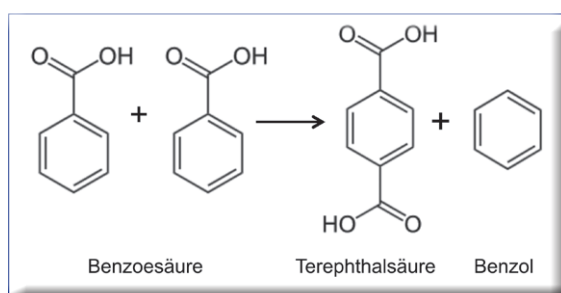
Benzols aus Benzoessäure in Verbindung mit Ascorbinsäure (Vitamin C) hin (Abbildung 18), jedoch fehlen dazu noch belastbare Untersuchungen [16, 17].

Die Disproportionierung von Kaliumbenzoat zu Dikaliumterephthalat und Benzol wurde einst mit dem Namen „Henkel II-Verfahren“ sogar als Syntheseweg für die Terephthalsäure vorgeschlagen. Wer garantiert, dass nicht auch beim Erhitzen im Haushalt die Benzoessäure (Abbildung 19) analog disproportioniert und Benzol freisetzt? [18]. Benzol kann immerhin bereits in kleinsten Konzentrationen nachweislich beim Menschen Krebs und genetische Defekte auslösen, bei größeren Mengen auch organschädigend oder gar tödlich wirken.

Die Benzoessäure-Ester verbreiten angenehm fruchtartige Düfte, was sie für die Herstellung von Duft- und Parfümmischungen als Biozid geeignet erscheinen lässt. Unter welchen Bedingungen bei dieser Nutzung ist eine Ester-Spaltung zu befürchten? Wie ändern sich die Gleichgewichtskonstanten des Massenwirkungsgesetzes in Richtung einer Ester-Spaltung?

Auch die Photolyse der Benzoessäure-Ester auf der menschlichen Haut könnte zu Schadstoffen führen, zu denen derzeit noch keine Veröffentlichungen vorliegen.

Abbildung 19: Disproportionierung der Benzoessäure beim Erhitzen.



Sind wir als Verbraucher der Lebensmittel-Industrie, der Kosmetikbranche wie auch den Verbraucherschutz-Organisationen immer noch relativ uninformiert und hilflos ausgeliefert, wie sich am Beispiel der Benzoessäure und seiner Derivate wieder zeigen lässt? **CLB**

Literatur

- [1] <http://www.raeucherwerk-ratgeber.com/geschichte-raeuchern-brauch-zeremonien/>
- [2] Wiegand, Ch., „Entstehung und Deutung wichtiger organischer Trivialnamen“, *Angewandte Chemie*. A/60. Jahrg. 1948/Nr.4
- [3] Pützer, P., PH St. Gallen: <http://www.buetzer.info/fileadmin/pb/pdf-Dateien/Benzoesaure.pdf>
- [4] Wöhler, F., „Untersuchungen über das Radikal der Benzoessäure“ (1832); SS.. In: *Annalen der Physik und Chemie*. Band 26 (1832) 325-343 und 465-485; Nachdruck 2010
- [5] Lück, E. und M. Jäger, „Chemische Lebensmittelkonservierung – Stoffe, Wirkungen, Methoden“, Springer, Berlin, u.a., 1. Aufl.: 1977, 3. Aufl.: 1995, S. 181
- [6] <https://de.wikipedia.org/wiki/Benzoesaure>
- [7] Zusatzstoff-Zulassungsverordnung, ZZuV: Anlage 5 (zu § 5 Abs. 1 und § 7) – Lebensmittel-Zusatzstoffe
- [8] <https://de.wikipedia.org/wiki/Calciumbenzoat>
- [9] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: Liste der für Futtermittel zugelassenen Zusatzstoffe, Abschnitt 12: Säure-Regulatoren
- [10] http://www.seinacht.com/Chemie/ch_benoe.htm
- [11] Verordnung über Tabakerzeugnisse (Tabakverordnung) vom 20. Dezember 1977 (BGBl. I S. 2831), zuletzt durch Art. 1 der Verordnung vom 22. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2398) geändert
- [12] Verordnung über kosmetische Mittel (Kosmetik-Verordnung) 16. Juli 2014 (BGBl. I S. 1054)
- [13] Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., 3. März 2006
- [14] <http://www.lebensmittellexikon.de/b0003860.php>
- [15] http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/53.e210_benzoesaure.html
- [16] Stellungnahme Nr. 013/2006 des BfR vom 1. Dezember 2005: „Hinweise auf eine mögliche Bildung von Benzol aus Benzoessäure in Lebensmitteln“ und http://www.bfr.bund.de/cm/343/hinweise_auf_eine_moegliche_bildung_von_benzol_aus_benzoesaure_in_lebensmitteln.pdf
- [17] Chang P, Ku K, „Studies on benzene formation in Beverages“, *Journal of Food and Drug Analysis*, 1 (4) (1993) 385-393.
- [18] <http://www.linkfang.de/wiki/Benzol-1,4-dicarbonsaure>