

Hinweise auf eine mögliche Bildung von Benzol aus Benzoesäure in Lebensmitteln

Stellungnahme Nr. 013/2006 des BfR vom 1. Dezember 2005

Benzol ist ein Umweltschadstoff, den Verbraucher vor allem über die Atemluft aufnehmen. Er kann aber auch als Verunreinigung in Trinkwasser und Lebensmitteln vorkommen. Hauptsächlich wird Benzol aus dem Benzin durch Autoabgase emittiert. Der Stoff wirkt krebserzeugend und keimzellschädigend. Nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis kann keine Menge angegeben werden, die als unbedenklich gilt. Wie für alle kanzerogenen Stoffe, für die kein toxikologischer Schwellenwert genannt werden kann, sollte auch die Benzolaufnahme im Sinne des vorbeugenden Verbraucherschutzes nach Möglichkeit minimiert bzw. vermieden werden.

Es besteht der Verdacht, dass sich Benzol in nichtalkoholischen Erfrischungsgetränken in Gegenwart von Ascorbinsäure aus Benzoesäure in geringer Menge bilden könnte. Benzoesäure und Ascorbinsäure sind Lebensmittelzusatzstoffe, die auf dem Lebensmittel deklariert sein müssen. Benzoesäure oder E 210 ist ein Konservierungsstoff, der auch natürlicherweise, z.B. in Preiselbeeren, vorkommt. Nichtalkoholischen, aromatisierten Getränken (mit Ausnahme von Milchgetränken) darf Benzoesäure bis zu einer Höchstmenge von 150 mg/L zugesetzt werden. Für Ascorbinsäure (E 300) ist keine Höchstmenge festgelegt, sie darf jedoch nach der guten Herstellungspraxis nur in der Menge verwendet werden, die erforderlich ist, um die gewünschte Wirkung zu erzielen („quantum satis“). Ascorbinsäure kommt als natürlicher Stoff (Vitamin C) z.B. in vielen Beeren und Früchten vor.

Untersuchungen von Erfrischungsgetränken und Fruchtsaftgetränken, die unterschiedliche Gehalte an Benzoesäure und Ascorbinsäure enthielten, deuten darauf hin, dass sich Benzol möglicherweise in geringen Mengen bilden könnte. Laborversuche belegen, dass unter bestimmten Reaktionsbedingungen aus Benzoesäure Benzol entsteht. Dabei spielen verschiedene Faktoren eine Rolle wie die Konzentrationen der beiden Zusatzstoffe, die Existenz bestimmter Mineralstoffe wie Kupfer- oder Eisensulfat, die als Katalysatoren bei der Bildung von Benzol wirken, der pH-Wert des Getränks, die Lagerungstemperatur und die Einwirkung von UV-Licht. Ob und in welchem Ausmaß in entsprechenden Lebensmitteln tatsächlich Benzol gebildet wird, lässt sich anhand der vorliegenden Daten allerdings nicht sicher beurteilen.

Für die Bewertung der gesundheitlichen Relevanz einer möglichen Benzolbelastung von Erfrischungsgetränken muss diese mit der ohnehin vorhandenen unvermeidbaren Belastung aus anderen Quellen verglichen werden. Mit den vorliegenden chemisch-analytischen Daten kann nicht beurteilt werden, ob in Erfrischungsgetränken eine Benzolmenge gebildet wird, die nennenswert zur Benzolgesamtaufnahme des Menschen beiträgt und ob damit ein zusätzliches gesundheitliches Risiko besteht. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) kann das damit möglicherweise verbundene Risiko deshalb zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht abschätzen. Das Institut hat empfohlen, die Lebensmittelüberwachungsbehörden der einzelnen Bundesländer zu bitten, vorliegende Daten zum Benzolgehalt sowie zum Gehalt von Benzoesäure und Ascorbinsäure in Getränken und anderen Lebensmitteln zusammenzutragen. Dies geschieht zur Zeit.

1 Gegenstand der Bewertung

Das Bundesinstitut für Risikobewertung hat zu der Frage Stellung genommen, ob in Getränken aus dem Lebensmittelzusatzstoff Benzoesäure in Gegenwart von Ascorbinsäure Benzol entstehen könnte.

2 Ergebnis

Benzol wird als krebserzeugend und keimzellschädigend (keimzellmutagen) angesehen, wobei nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis für derartige Stoffe keine Menge angegeben werden kann, die als unbedenklich gilt.

Aus einigen Studien, in denen zur Frage einer möglichen Bildung von Benzol aus Benzoesäure in Gegenwart von Ascorbinsäure chemische Experimente durchgeführt wurden, wird deutlich, dass Benzol bei bestimmten Reaktionsbedingungen, die möglicherweise auch in einigen Getränken und anderen Lebensmitteln vorliegen könnten, aus Benzoesäure gebildet werden kann. Studien, in denen Getränke mit mutmaßlich unterschiedlichem Benzoesäuregehalt untersucht wurden, deuten darauf hin, dass möglicherweise geringe Mengen Benzol in Getränken und anderen Lebensmitteln gebildet werden könnten, die Benzoesäure (bzw. Benzoate) und Ascorbinsäure enthalten. Ob und in welchem Ausmaß das in solchen Lebensmitteln tatsächlich passiert, lässt sich anhand der vorliegenden Daten allerdings nicht sicher beurteilen.

Deshalb lässt sich auch nicht beurteilen, ob Benzol in solchen Lebensmitteln in Mengen gebildet werden kann, die nennenswert zu der Benzolgesamtaufnahme beitragen. Insofern lässt sich auch das damit möglicherweise verbundene gesundheitliche Risiko zur Zeit nicht abschätzen. Dazu wären weitere chemisch-analytische Daten erforderlich. Das BfR empfiehlt deshalb dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), diese Stellungnahme an die Lebensmittelüberwachungsbehörden mit der Bitte weiterzuleiten, eventuell vorliegende Daten zum Benzolgehalt in Getränken und anderen Lebensmitteln mitzuteilen, wobei insbesondere solche Daten hilfreich wären, die auch eine Aussage zum Gehalt der betreffenden Lebensmittel an Benzoesäure und Ascorbinsäure ermöglichen, z.B. auf Grundlage der Deklaration der Zusatzstoffe und Zutaten oder auf Grundlage von Messergebnissen.

3 Begründung

Nach den Recherchen des BfR basiert die Aussage, dass aus den Lebensmittelzusatzstoffen Benzoesäure und Ascorbinsäure Benzol entstehen kann, auf Untersuchungen, die Anfang der 1990er Jahre durchgeführt wurden, als nach den Ursachen für eine damals bekannt gewordene Verunreinigung bestimmter Mineralwässer mit Benzol gesucht wurde. Dabei fiel auf, dass auch andere Getränke geringe Mengen Benzol enthielten. In weiteren Untersuchungen, z.B. von Gardner and Lawrence (1993), wurde gezeigt, dass Benzol aus Benzoesäure in Gegenwart von Ascorbinsäure und Übergangsmetallionen wie Kupfer(II) und Eisen(III) gebildet werden kann. Die chemische Reaktion wird von den Metallionen, die in geringer Konzentration auch im Trinkwasser vorkommen, katalysiert.

3.1 Risikobewertung

3.1.1 Agens

Die Lebensmittelzusatzstoffe Benzoesäure (E 210) und Natrium-, Kalium- und Calciumbenzoat (E 211 – E 213) sind für bestimmte Lebensmittel, unter anderem z.B. für nichtalkoholische, aromatisierte Getränke (ausgenommen Getränke auf Milchbasis) in einer Höchstmenge von 150 mg/L zulässig. Ascorbinsäure (E 300) ist für Lebensmittel allgemein (ausgenommen bestimmte Lebensmittel) quantum satis zugelassen. Die Kombination von Benzoesäure und Ascorbinsäure ist somit für mehrere Lebensmittelkategorien, z.B. für nichtalkoholische, aromatisierte Getränke (ausgenommen Getränke auf Milchbasis), zulässig.

Für Benzol wurde im Rahmen der Bewertung gemäß Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates vom 23. März 1993 zur Bewertung und Kontrolle der Umweltrisiken chemischer Altstoffe unter maßgeblicher Beteiligung des BfR (Deutschland ist Rapporteur) ein Draft EU Risk Assessment Report erstellt, der vom Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (CSTEE) im Februar 2003 hinsichtlich des Teils „Environment“ und im November 2003 hinsichtlich des Teils „Human Health part“ kommentiert wurde (CSTEE 2003a, 2003b). Die Veröffentlichung eines Final Risk Assessment Report steht noch aus.

3.1.2 Gefährdungspotenzial

Benzol wird als krebserzeugend und keimzellschädigend (keimzellmutagen) angesehen, wobei nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis für derartige Stoffe keine Menge angegeben werden kann, die als unbedenklich gilt (CSTEE 2003).

3.1.3 Exposition

In einigen Studien wurde die mögliche Bildung von Benzol aus Benzoesäure und Ascorbinsäure in Reaktionsansätzen, denen die Komponenten zugesetzt waren, untersucht. Teilweise wurde auch der Benzolgehalt in Lebensmitteln gemessen.

3.1.3.1 Untersuchung der Bildung von Benzol in Reaktionsansätzen

In einer Studie von Gardner and Lawrence (1993) wurde die Bildung von Benzol untersucht, wobei die Konzentrationen der Reaktionspartner nach den Angaben der Autoren den Gegebenheiten in Lebensmitteln angepasst waren (z.B. 6,25 mmol/L Natriumbenzoat und 8 mmol/L Ascorbat). In einem für diese Studie typischen Reaktionsansatz nahm die Benzolkonzentration in den ersten zehn Minuten zu und blieb dann in den nachfolgenden 30 Minuten etwa konstant. In den weiteren Untersuchungen wurde die Benzolkonzentration deshalb nach einer Reaktionszeit von 15 Minuten bei 25 °C bestimmt. Die dabei gemessenen Benzolgehalte waren kleiner als 50 nmol/L bzw. < 1 ppb (Anmerkung: 50 nmol/L Benzol entsprechen 3,9 µg/L und 1 ppb entspricht 1 µg/kg). Die Nachweisgrenze für Benzol lag bei etwa 1 nmol/L. In einem Reaktionsansatz, der 6,25 mmol/L Natriumbenzoat enthielt, korrelierte die Benzolkonzentration positiv mit der Konzentration des zugesetzten Ascorbats bis zu einer Ascorbatkonzentration von etwa 8 mmol/L. Bei höheren Ascorbatkonzentrationen korrelierte die Benzolkonzentration negativ mit der Konzentration des zugesetzten Ascorbats. Die pH-Abhängigkeit der Reaktion wurde über einen pH-Wert von 2 - 7 gemessen. Bei pH 2 war die Benzolbildung maximal (etwa 37 nmol/L), bei höheren pH-Werten wurde deutlich weniger Benzol gebildet. Außerdem wurde ein Zusammenhang zwischen der Menge gebildeten Benzols und den Konzentrationen von zugesetztem Kupfersulfat (0,05 - 4 mmol/L) und Eisensulfat (0,05 – 1 mmol/L) untersucht. Bei 1 mmol/L Kupfersulfat bzw. 0,05 mmol/L Eisensulfat wurde jeweils die maximale Benzolmenge gebildet.

In einer Studie von McNeal et al. (1993) wurde eine wässrige Lösung, die 0,04 % Natrium- oder Kaliumbenzoat (das entspricht 2,8 mmol/L Natriumbenzoat bzw. 2,5 mmol/L Kaliumbenzoat) und 0,025 % Ascorbinsäure (das entspricht 1,4 mmol/L) enthielt, untersucht. Nach Angaben der Autoren würde dies den jeweiligen in Getränken üblichen Konzentrationen entsprechen. Ein Teil der Lösung wurde UV-Licht ausgesetzt, ein weiterer Teil wurde auf 45 °C erwärmt und ein dritter Teil wurde im Dunkeln bei Raumtemperatur gelagert. Nach 20 h UV-Bestrahlung bzw. Erwärmung auf 45 °C wurden jeweils etwa 300 µg Benzol/kg gebildet. In der im Dunkeln bei Raumtemperatur aufbewahrten Lösung wurden 4 µg Benzol/kg gebildet. Nach acht Tagen war der Benzolgehalt in der bei Raumtemperatur aufbewahrten Lösung auf 266 µg/kg angestiegen, während die Benzolgehalte in den erwärmten sowie in den UV-bestrahlten Lösungen konstant blieben.

In einer Studie von Chang and Ku (1993) wurden ähnliche Ergebnisse wie in den zuvor genannten Studien beobachtet. Diese Publikation kann zwar nicht im Detail bewertet werden, weil der Text aus asiatischen Schriftzeichen besteht, aus dem englischen Abstract und den englisch beschrifteten Abbildungen geht aber hervor, dass nach acht Tagen Reaktionszeit Benzolgehalte bis etwa 200 µg/kg gemessen wurden und dass bei variierenden Ascorbat- bzw. Benzoatkonzentrationen jeweils ein Reaktionsoptimum bei bestimmten Konzentrationen beobachtet wurde.

3.1.3.2 Messung von Benzol in Lebensmitteln

In der Studie von McNeal et al. (1993) wurden auch Lebensmittel untersucht. In Lebensmitteln (einschließlich einigen nichtalkoholischen Getränken), die Benzoesäure und Ascorbinsäure natürlicherweise enthielten, wurden Benzolgehalte von ≤ 1 µg/kg gefunden. In Lebensmitteln, denen Benzoat und Ascorbinsäure zugesetzt war, wurden Benzolgehalte im Bereich von < 1 bis 38 µg/kg gemessen, wobei die Gehalte in nichtalkoholischen Getränken bei ≤ 2 µg/kg lagen. In Lebensmitteln, die nach einigen älteren Publikationen natürlicherweise Benzol enthalten sollen, wurden in der Studie von McNeal et al. (1993) Benzolgehalte von ≤ 2 µg/kg gemessen. Die Autoren vermuten, dass die höheren Benzolgehalte, die in den älteren Publikationen beschrieben wurden, auf laborbedingte Kontaminationen zurückzuführen sind.

In einer Studie von Page et al. (1992) wurden kohlenensäurehaltige nichtalkoholische Getränke und Fruchtsaftgetränke untersucht. Als Nachweisgrenze für Benzol wurde 0,02 µg/kg genannt. In 20 kohlenensäurehaltigen nichtalkoholischen Getränken, auf deren Verpackung ein Benzoatzusatz deklariert war, lagen die Benzolgehalte im Bereich von 0,013 bis 3,8 µg/kg (Mittelwert 0,79 µg/kg), während bei sechs entsprechenden Getränken, auf denen ein Benzoatzusatz nicht deklariert war, die Benzolgehalte im Bereich von 0,029 bis 0,12 µg/kg (Mittelwert 0,062 µg/kg) lagen. Bei 16 Fruchtsaftgetränken, die unter Verwendung von Preiselbeeren (mit natürlichem Benzoesäuregehalt) hergestellt wurden und auf deren Verpackung kein Benzoat deklariert war, lagen die Benzolgehalte im Bereich von 0,011 bis 1,8 µg/kg (Mittelwert 0,29 µg/kg) und bei 13 anderen Fruchtsaftgetränken, die ohne Verwendung von Preiselbeeren hergestellt wurden, im Bereich von 0,011 bis 0,66 µg/kg (Mittelwert 0,12 µg/kg). Die Autoren berichten, dass aufgrund von weiteren Experimenten (die allerdings nicht näher beschrieben sind) laborbedingte Benzol-Kontaminationen zu vernachlässigen seien. Wenngleich auch herstellungsbedingte Kontaminationen der Lebensmittel mit Benzol nicht ganz ausgeschlossen werden können, deuten die Ergebnisse dieser Studie darauf hin, dass Benzol in Getränken aus Benzoesäure gebildet werden kann.

In einer Studie, in der zahlreiche verschiedene Lebensmittel im Hinblick auf das Vorkommen von flüchtigen organischen Verbindungen untersucht wurden, wurde Benzol in drei Cola-Getränken gefunden (wobei nicht klar ist, wie viele Cola-Getränke insgesamt untersucht

wurden). Die in Cola-Getränken gemessenen Benzolgehalte lagen dabei in einem Bereich von 1 bis 138 µg/kg (Fleming-Jones and Smith 2003). Ob das Benzol in diesen Fällen aus Benzoesäure entstanden ist oder als Kontaminante bei der Herstellung in diese Getränke gelangte, ist nicht klar. Auch eine Kontaminationsmöglichkeit bei der chemischen Analytik muss prinzipiell in Betracht gezogen werden.

3.1.3.3 Benzolexposition aus anderen Quellen

Die Benzolmenge, die unweigerlich über die Atemluft und über den Verzehr von Trinkwasser und Lebensmitteln aufgenommen wird, in denen es als Verunreinigung bzw. Umwelt-Kontaminante vorkommt, kann variieren, liegt aber häufig in der Größenordnung von einigen Hundert µg pro Person und Tag (CSTEE 2003; Ramsay 1994). Nach dem Draft EU Risk Assessment Report on Benzene (Environment Part, Draft of 13.05.2002, p. 137) trägt dabei die Atemluft (mit 96 bis mehr als 99 %) zur Gesamtbenzolaufnahme am meisten, Trinkwasser und Lebensmittel nur zu einem geringen Anteil, bei. Hierbei wurde die mögliche Bildung von Benzol aus Benzoesäure und Ascorbinsäure offenbar nicht berücksichtigt. Sofern sich die o.g. Angaben über die Benzolmengen, die aus Benzoesäure und Ascorbinsäure entstehen können, bestätigen sollten, wird das BfR gegebenenfalls darauf hin wirken, dass das in dem EU Risk Assessment Report entsprechend berücksichtigt wird.

In der Trinkwasser-Verordnung ist für Benzol ein Grenzwert von 1 µg/L genannt.

3.1.4 Risikocharakterisierung

Benzol wird als krebserzeugend und keimzellschädigend (keimzellmutagen) angesehen, wobei nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis für derartige Stoffe keine Menge angegeben werden kann, die als unbedenklich gilt.

In den Modellversuchen, in denen die Reaktionsbedingungen variiert wurden, hat sich gezeigt, dass die Bildung von Benzol aus Benzoesäure in Anwesenheit von Ascorbinsäure und Übergangsmetall-Ionen offenbar von mehreren Faktoren beeinflusst werden kann. Dazu gehören die Konzentrationen von Benzoesäure, Ascorbinsäure und der Übergangsmetall-Ionen, die als Katalysator wirken, der pH-Wert, die Temperatur, die UV-Einwirkung sowie die Reaktionsdauer. Aus den beschriebenen Studien wird deutlich, dass Benzol bei bestimmten Reaktionsbedingungen bis zu Konzentrationen von einigen Hundert Mikrogramm pro Kilogramm gebildet werden kann. Möglicherweise könnten vergleichbare Reaktionsbedingungen auch in einigen Getränken und anderen Lebensmitteln vorliegen. Ob und in welchem Ausmaß das in solchen Lebensmitteln tatsächlich passiert, lässt sich anhand der vorliegenden Daten allerdings nicht sicher beurteilen.

In der Studie von McNeal et al. (1993) wurden in nichtalkoholischen Getränken Benzolkonzentrationen von maximal 2 µg/kg gemessen, und in der Studie von Page et al. (1992) waren die Mittelwerte der Benzolgehalte in Getränken kleiner als 1 µg/kg, der Maximalwert betrug 3,8 µg/kg. Das deutet darauf hin, dass die Benzolmenge, die über Getränke aufgenommen werden kann, in denen Benzol in den o.g. Konzentrationen gebildet wird, weitaus geringer wäre als die Benzolmenge, die über die Atemluft und über den Verzehr von Trinkwasser und Lebensmitteln aufgenommen wird, in denen Benzol als Verunreinigung bzw. Umwelt-Kontaminante vorkommen kann. Allerdings können die Daten der zitierten Studien nicht als repräsentativ angesehen werden.

In der Studie von Page et al. (1992) waren die Benzolgehalte in den Getränken, auf deren Verpackung ein Benzolgehalt deklariert war, etwa zehnmal so hoch wie in den Getränken, die nicht entsprechend deklariert waren. Allerdings wurde der Benzolgehalt nicht ge-

messen. Insofern kann auch nicht sicher beurteilt werden, ob die gebildete Benzolmenge in diesen Fällen mit der Benzoatmenge korrelierte.

Ob das in Cola-Getränken in einer Konzentration von bis zu 138 µg/kg gefundene Benzol aus Benzoesäure gebildet wurde oder als herstellungs- oder laborbedingte Kontamination angesehen werden muss, ist nicht klar.

Insgesamt lässt sich anhand der vorliegenden Daten noch nicht sicher beurteilen, ob Benzol in Lebensmitteln aus Benzoesäure in Gegenwart von Ascorbinsäure in Mengen gebildet wird, die nennenswert zu der Benzolgesamtaufnahme beitragen. Insofern lässt sich auch das damit möglicherweise verbundene gesundheitliche Risiko zur Zeit nicht abschätzen.

4 Handlungsrahmen/Maßnahmen

Es ist ratsam, die Aufnahme von Benzol nach Möglichkeit zu minimieren bzw. zu vermeiden. Das ist das übliche Vorgehen bei Stoffen mit kanzerogenen und keimzellmutagenen Eigenschaften.

Zur Abschätzung des mit der gleichzeitigen Verwendung von Benzoesäure und Ascorbinsäure in Lebensmitteln möglicherweise verbundenen Risikos sind allerdings weitere chemisch-analytische Daten erforderlich. Wenn sich zeigen sollte, dass die gleichzeitige Verwendung von Benzoesäure und Ascorbinsäure in Lebensmitteln in nennenswerter Menge zur Benzolgesamtaufnahme beiträgt, wäre gegebenenfalls zu prüfen, ob der Zulassungsrahmen für eine gleichzeitige Verwendung von Benzoesäure und Ascorbinsäure in Lebensmitteln geändert werden muss.

Das BfR hat deshalb dem BMELV empfohlen, diese Stellungnahme an die Lebensmittelüberwachungsbehörden mit der Bitte weiterzuleiten, eventuell vorliegende Daten zum Benzolgehalt in Getränken und anderen Lebensmitteln mitzuteilen, wobei insbesondere solche Daten hilfreich wären, die auch eine Aussage zum Gehalt der betreffenden Lebensmittel an Benzoesäure und Ascorbinsäure ermöglichen, z.B. auf Grundlage der Deklaration der Zusatzstoffe und Zutaten oder auf Grundlage von Messergebnissen.

5 Referenzen

Chang P, Ku K (1993) Studies on benzene formation in beverages. *Journal of Food and Drug Analysis* 1 (4): 385-393.

CSTEE (2003a) Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (CSTEE) Opinion on the results of the Risk Assessment of: BENZENE, Human Health part. Carried out in the framework of Council Regulation (EEC) 793/93 on the evaluation and control of the risks of existing substances. Adopted by the CSTEE during the 40th plenary meeting of 12-13 November 2003.

http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/committees/sct/documents/out207_en.pdf

CSTEE (2003b) Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (CSTEE) Opinion on the results of the Risk Assessment of: BENZENE, Environment. Carried out in the framework of Council Regulation (EEC) 793/93 on the evaluation and control of the risks of existing substances. Adopted by the CSTEE during the 36th plenary meeting of 6 February 2003.

http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/committees/sct/documents/out177_en.pdf

Draft EU Risk Assessment Report on Benzene (Environment Part, May 2002, Human Health Part March 2003)

<http://ecb.jrc.it/existing-chemicals/>

Fleming-Jones ME, Smith RE (2003) Volatile organic compounds in foods: A five year study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 8120-8127.

Gardner LK, Lawrence GD (1993) Benzene production from decarboxylation of benzoic acid in the presence of ascorbic acid and a transition-metal catalyst. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41 (5): 693-695.

McNeal TP, Nyman PJ, Diachenko GW, Hollifield HC (1993) Survey of benzene in foods by using headspace concentration techniques and capillary gas chromatography. *Journal of AOAC International* 76 (6): 1213-1219.

Page BD, Conacher HBS, Weber D, Lacroix G (1992) A survey of benzene in fruits and retail fruit juices, fruit drinks, and soft drinks. *Journal of AOAC International* 75 (2): 334-340.

Ramsay S (1994) Benzene standard for UK. *The Lancet* 343: 412.