**Zeitschrift:** Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

**Herausgeber:** Bundesamt für Gesundheit

**Band:** 86 (1995)

**Heft:** 5

**Artikel:** Vergleich der Aufnahme von flüchtigen organischen Verbindungen (Benzol, Toluol, Xylol und Tetrachlorethen) aus Lebensmitteln mit der Aufnahme aus der Luft = Comparison of the intake of airborne volatile organic compounds (benzene, toluene, xylene, and t...

**Autor:** Kokot-Helbling, Karin / Schmid, Peter / Schlatter, Christian

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-983646

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 09.12.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **86**, 556–565 (1995)
Eingegangen 21. Juni 1995. Angenommen 20. Juli 1995

# Vergleich der Aufnahme von flüchtigen organischen Verbindungen (Benzol, Toluol, Xylol und Tetrachlorethen) aus Lebensmitteln mit der Aufnahme aus der Luft

Comparison of the Intake of Airborne Volatile Organic Compounds (Benzene, Toluene, Xylene, and Tetrachloroethene) through Food with Intake through Inhalation

*Key words*: VOC, Food contamination, Migration, Exposure assessment

*Karin Kokot-Helbling, Peter Schmid* und *Christian Schlatter*
Institut für Toxikologie der Eidg. Technischen Hochschule und der Universität Zürich, Schwerzenbach

## Einleitung

VOC (volatile organic compounds) sind flüchtige organische Verbindungen mit einem Siedepunktsbereich von 50–250 °C. Sie sind als Umweltkontaminantien ubiquitär in der Luft vorhanden. Hauptquellen stellen der Motorfahrzeugverkehr und die Verwendung der VOC als Lösungsmittel dar. Vom Menschen werden VOC inhalativ, dermal und oral aufgenommen. Es ist in den vergangenen Jahren auch in der breiten Öffentlichkeit bekannt geworden, dass Luftschadstoffe in Lebensmittel übergehen können. Zu nennen sind vor allem Benzol in Olivenöl (1) und in Lebensmitteln, die an Tankstellenkiosken verkauft werden (2), in letzteren aber auch Toluol. Die prominenteste Lebensmittelverunreinigung durch VOC stellt nach wie vor Tetrachlorethen (Per) dar (3–10), welches häufig in Lebensmitteln nachgewiesen wird, die in der Umgebung von chemischen Reinigungen gelagert werden.

Vor diesem Hintergrund tauchte die Frage auf, welchen Anteil dieser Aufnahmeweg an der übrigen Belastung durch VOC – hauptsächlich der inhalativen – für nicht spezifisch exponierte Personen darstellt. Der Vergleich der Aufnahme dieser Substanzen aus kontaminierten Lebensmitteln mit der inhalativen Aufnahme ist das Ziel der vorliegenden Arbeit.

Für die Bestimmung der Gesamtaufnahme von Substanzen aus Lebensmitteln werden üblicherweise repräsentative Proben nach Marktkorbanalysen oder ganze

Mahlzeiten analysiert. Die quantitative Bestimmung von VOC in Lebensmitteln ist jedoch wegen möglicher Kontamination durch die ubiquitär auftretenden VOC besonders bei niedrig belasteten Proben schwierig. VOC können bereits bei der Probenahme und dem Probentransport, vor allem aber über die Laborluft nachträglich eingeschleppt werden. Das Mitführen von Blindwerten und weitere rigorose Kontrollen sind deshalb unbedingt nötig. Dies ermöglicht allerdings lediglich eine Überwachung von möglichen Kontaminationsquellen, erlaubt jedoch nicht, die gemessenen Resultate nach Subtraktion des Blindwerts als wahre Werte zu betrachten, insbesondere wenn sich die Blindwerte im Bereich der effektiven Konzentrationen befinden. Als weitere Fehlerquelle bei der Analytik von VOC in Lebensmitteln sind andererseits Verdampfungsverluste zu nennen, die beim Homogenisieren der Proben auftreten können.

Für die vorliegende Arbeit wurden aus diesen Gründen nach entsprechenden, weitgehend fehlgeschlagenen Vorversuchen auf die analytische Bestimmung des durchschnittlichen VOC-Gehalts von Lebensmitteln verzichtet. Die Abschätzung der täglichen Aufnahme erfolgte ausschliesslich aufgrund theoretischer Betrachtungen zur Verteilung von VOC zwischen Luft und Lebensmitteln. Diese wurden verglichen mit Literaturdaten zur Verteilung von VOC, die unter kontrollierten Bedingungen mit VOC-Konzentrationen weit über der durchschnittlichen Luftbelastung und somit praktisch frei von den oben genannten analytischen Gefahren ermittelt wurden.

## Migration von Luftschadstoffen in Lebensmitteln

### *Physikalisch-chemische Grundlagen*

Bei der Aufnahme von VOC aus der Luft durch Lebensmittel spielen zwei Prozesse eine Rolle: die Diffusion der Stoffe von der Oberfläche ins Innere und der Vorgang an der Phasengrenze, nämlich die Gleichgewichtseinstellung zwischen der Luftkonzentration und der Konzentration an der Oberfläche des Lebensmittels.

Die Diffusion entlang des Konzentrationsgradienten ins Innere des Lebensmittels verläuft nach dem ersten Fick'schen Gesetz:

$$j = -D \frac{dc}{dx}$$

$j$ = Teilchenstrom (kg $m^{-2}$ $s^{-1}$)
$D$ = Diffusionskoeffizient ($m^2$ $s^{-1}$)
$c$ = Konzentration an der Oberfläche (kg $m^{-3}$)
$x$ = Abstand von der Oberfläche (m)

Die Verteilung eines flüchtigen Stoffes zwischen der Luft und dem Lebensmittel kann mit dem Henryschen Gesetz, welches für ideale verdünnte Lösungen Gültigkeit hat, näherungsweise beschrieben werden:

$$p_i = H_i c_i$$

$p_i$ = Partialdruck der flüchtigen Komponente $i$ (Pa)
$H_i$ = Henrysche Konstante für den Übergang der flüchtigen Komponente i aus der Luft ins Lebensmittel (Pa $m^3$ $mol^{-1}$)
$c_i$ = Konzentration der flüchtigen Komponente $i$ im Lebensmittel (mol $m^{-3}$)

Durch Anwendung der Zustandsgleichung für ideale Gase kann der Partialdruck $p$ durch die Luftkonzentration ersetzt werden. Es gilt dann:

$$H_{Luft/Lebensmittel} = \frac{c_{Luft}}{c_{Lebensmittel}} RT$$

$H_{Luft/Lebensmittel}$ = Henrysche Konstante (Pa $m^3$ $mol^{-1}$)
$c_{Luft}$ = Konzentration der flüchtigen Komponente in der Luft (mol $m^{-3}$)
$c_{Lebensmittel}$ = Konzentration der flüchtigen Komponente im Lebensmittel (mol $m^{-3}$)
$R$ = Gaskonstante (8,31441 Pa $m^3$ $K^{-1}$ $mol^{-1}$)
$T$ = Temperatur (K)

Aus der Henryschen Konstante kann die dimensionslose Gleichgewichtskonstante $K_{Luft/Lebensmittel}$ berechnet werden:

$$K_{Luft/Lebensmittel} = \frac{c_{Luft}}{c_{Lebensmittel}} = \frac{H}{R\,T}$$

Sowohl der Diffusionskoeffizient als auch die Henrysche Konstante sind temperaturabhängig und stoffspezifisch, sowohl für die flüchtige Komponente als auch für das Lebensmittel.

Aus den obenstehenden Beziehungen geht hervor, dass der Kontaminationsgrad eines Lebensmittels von vielen verschiedenen Parametern abhängt: Konzentration des flüchtigen Stoffes in der Umgebungsluft, Henrysche Konstante $H$, Diffusionskoeffizient $D$, Temperatur, Lagerzeit, chemische und physikalische Eigenschaften des Lebensmittels (Zusammensetzung, Viskosität, spezifische Oberfläche usw.) und Verpackung.

### *Praktische Bedeutung der Migration von VOC in Lebensmittel*

Da die zur Diskussion stehenden VOC sehr gut fettlöslich sind, spielt vor allem die Migration in fetthaltige Lebensmittel eine Rolle. Die Verteilungs- und Diffusionsvorgänge von VOC und Lebensmitteln wurden in zahlreichen Arbeiten unter standardisierten Bedingungen untersucht. Dabei fehlen jedoch meistens Angaben über die Zusammensetzung der Lebensmittel. Für den Vergleich der Resultate verschiedener Autoren können deshalb nur Daten zur Verteilung von VOC zwischen Öl – stellvertretend für fetthaltige Lebensmittel – und Luft vergli-

chen werden. Dieser Vergleich ist für verschiedene VOC in Abbildung 1 dargestellt. In dieser Abbildung werden zusätzlich auch die theoretischen Werte für die Verteilungskonstanten gezeigt. Diese wurden unter der Annahme, dass die Öl-Luft-Verteilungskonstante der Octanol-Luft-Verteilungskonstanten gleichgesetzt werden kann, nach den beiden folgenden Formeln berechnet:

$$K_{Öl/Luft} \approx K_{Octanol/Luft}$$

und

$$K_{O/L} = \frac{c_O}{c_L} = \frac{c_W}{c_L}\frac{c_O}{c_W} = \frac{1}{K_{L/W}} K_{O/W} = \frac{R\,T}{H_{L/W}} K_{O/W}$$

| | | |
|---|---|---|
| $K_{O/L}$ | = | Verteilungskonstante Octanol/Luft (-) |
| $K_{O/W}$ | = | Verteilungskonstante Octanol/Wasser (-) |
| $c_O$, $c_L$, $c_W$ | = | Konzentrationen der flüchtigen Komponente in Octanol, Luft bzw. Wasser (kg $m^{-3}$) |
| $K_{L/W}$ | = | Verteilungskonstante Luft/Wasser (-) |
| $H_{L/W}$ | = | Henrysche Konstante für die Verteilung Luft/Wasser (Pa $m^3$ $mol^{-1}$) |
| $R$ | = | Gaskonstante (8,31441 Pa $m^3$ $K^{-1}$ $mol^{-1}$) |
| $T$ | = | Temperatur (K) |

Die Henryschen Konstanten und die Octanol-Wasser-Verteilungskonstanten verschiedener VOC sowie die berechneten Octanol-Luft-Verteilungskonstanten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die bisher gezeigten Verteilungskonstanten gelten nur für homogene Lebensmittel, die zu 100% aus Lipiden bestehen. Für heterogene Matrices kann aus den Verteilungskonstanten für die einzelnen Komponenten eine resultierende Verteilungskonstante $K_{tot}$ berechnet werden (14):

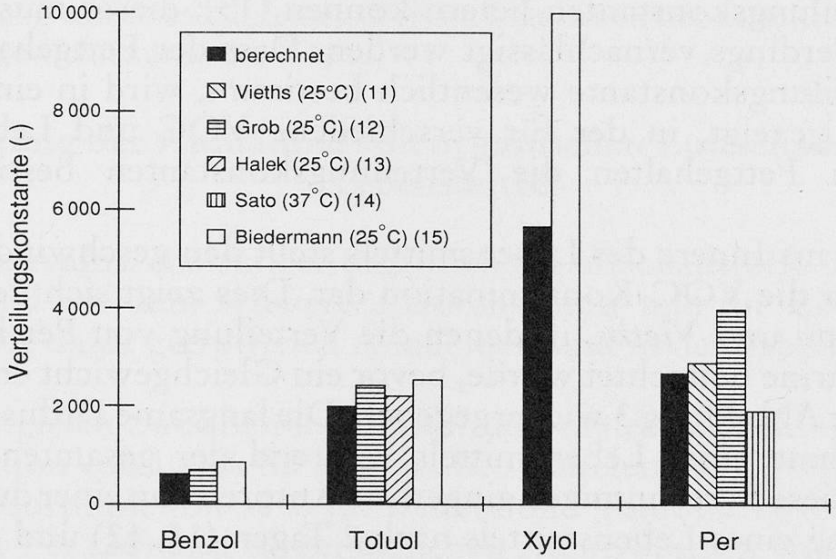


*Abb. 1.* Literaturwerte für Öl-Luft-Verteilungskonstanten im Vergleich mit berechneten Werten (vgl. Tabelle 1)

*Tabelle 1.* Henrysche und Verteilungs-Konstanten einiger VOC in Luft-Wasser-, Octanol-Wasser- und Octanol-Luft-Systemen bei 25 °C

| VOC | $H_{Luft/Wasser}$[1]) (Pa m$^3$ mol$^{-1}$) | $K_{Luft/Wasser}$ (–) | $\log K_{Octanol/Wasser}$[2]) (–) | $K_{Octanol/Luft}$ (–) |
|---|---|---|---|---|
| Benzol | 550 | 0,22 | 2,13 | 608 |
| Toluol | 670 | 0,27 | 2,73 | 1987 |
| o-Xylol | 500 | 0,20 | 3,12 | 6536 |
| m-Xylol | 700 | 0,28 | 3,20 | 5613 |
| p-Xylol | 710 | 0,29 | 3,15 | 4932 |
| Per | 2300 | 0,93 | 3,40 | 2707 |

1 gemäss Lit. (16)
2 gemäss Lit. (17)

$$K_{tot} = \sum_j K_j v_j$$

$K_{tot}$ = Verteilungskonstante für die heterogene Matrix
$v_j$ = Volumenanteil der Matrixkomponente $j$
$K_j$ = Verteilungskonstante für die Matrixkomponente $j$

Übertragen auf Lebensmittel bedeutet dies, dass der Gehalt an VOC in der wässerigen Phase mengenmässig zu vernachlässigen ist, da die Öl-Luft-Verteilungskonstante um Grössenordnungen über der Wasser-Luft-Verteilungskonstanten liegt.

Der Einfluss von Proteinen und Kohlenhydraten auf die Verteilungskonstante eines Lebensmittels ist nur ungenügend untersucht. Es wird vermutet, dass diese bei niedrigen Konzentrationen und bei porösen Lebensmitteln auch einen gewissen Beitrag zur Verteilungskonstanten liefern können (13); dieser muss wegen mangelnder Daten allerdings vernachlässigt werden. Dass der Fettgehalt die Lebensmittel-Luft-Verteilungskonstante wesentlich bestimmt, wird in einer Arbeit von *Grob* et al. (12) gezeigt, in der für verschiedene VOC und Lebensmittel mit unterschiedlichen Fettgehalten die Verteilungskonstanten bestimmt wurden (Abb. 2).

Die Diffusion ins Innere des Lebensmittels stellt den geschwindigkeitslimitierenden Faktor für die VOC-Kontamination dar. Dies zeigt sich deutlich in zwei Arbeiten von *Grob* und *Vieths*, in denen die Verteilung von Per im Innern von Butter und Margarine betrachtet wurde, bevor ein Gleichgewicht erreicht war (11, 12); sie sind in der Abbildung 3 wiedergegeben. Die langsame Diffusion beeinflusst die VOC-Aufnahme eines Lebensmittels während der gesamten beschränkten Lagerdauer. Für diese Berechnungen gingen die Autoren von einer durchschnittlich 30%igen Sättigung eines Lebensmittels nach 2 Tagen (11, 12) und einer 80%igen Sättigung nach 15 Tagen (11) aus.

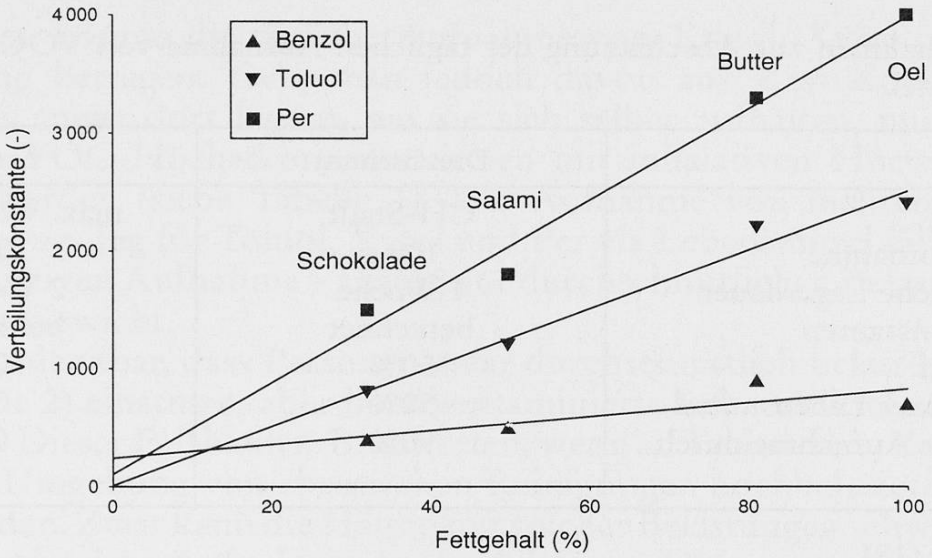


*Abb. 2.* Abhängigkeit der Lebensmittel-Luft-Verteilungskonstanten vom Fettgehalt von Lebensmitteln nach *Grob* et al. (12)

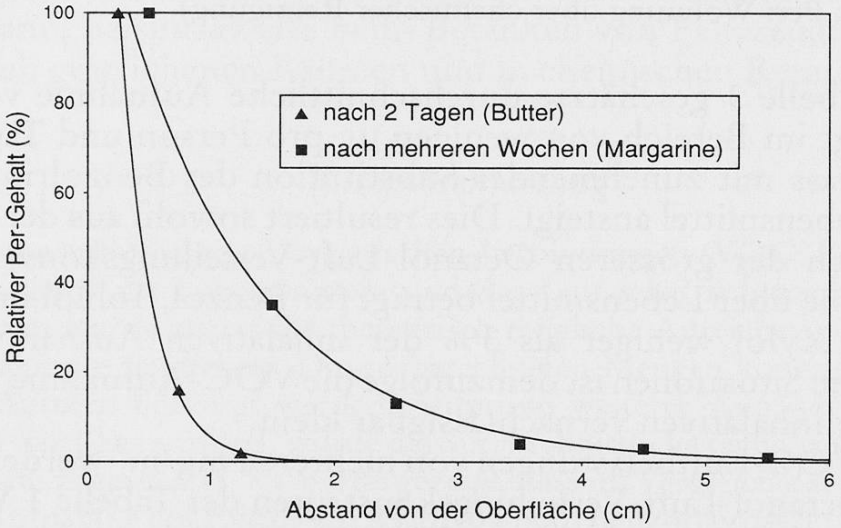


*Abb. 3.* Verteilung von Tetrachlorethen (Per) im Innern von Lebensmitteln vor Erreichen des Gleichgewichtszustandes (11, 12)

## Abschätzung der Aufnahme von organischen Luftschadstoffen über Lebensmittel

Die tägliche Aufnahme einiger organischer Luftschadstoffe über Lebensmittel wurde basierend auf dem Schweizer Durchschnitt und für Extrembedingungen abgeschätzt. Die dafür getroffenen Annahmen sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Für den Vergleich zwischen inhalativer und oraler Aufnahme wurde mit einer oralen Absorption von 100% für alle vier betrachteten VOC (19, 20) und mit einer inhalativen Absorption von 50% für Benzol und Toluol (21), 64% für Xylol (22) bzw. 100% für Per (20) und einem täglichen Atemvolumen von 20 $m^3$ gerechnet. Basierend auf allen diesen Annahmen wurden die in der Tabelle 3 dargestellten inhalativen und oralen Aufnahmen abgeschätzt.

*Tabelle 2.* Annahmen zur Abschätzung der täglichen Aufnahme von VOC über Lebensmittel

| | Durchschnitt | Extrem |
|---|---|---|
| Luftbelastung | CH-Stadt | max. Wohnraum[2] |
| tägliche Fettaufnahme[1] | 109 g | 200 g |
| durchschnittliche Lagerdauer | 1 Woche | 2 Wochen |
| Verteilungskonstanten | berechnet | berechnet |
| Sättigungsgrad | 50% | 80% |
| Anteil verpackter Lebensmittel | 50% | 0% |
| Reduktion der Aufnahme durch Verpackung | 90% | 0% |

1 gemäss Lit. (18)
2 höchste in der Literatur gefundene VOC-Konzentrationen für Wohnräume oder Lebensmittel-Verkaufsräume (Benzol: Tankstellenhintergrund; Toluol und Xylol: Wohnung über Druckerei; Per: Wohnung über chemischer Reinigung)

Die in der Tabelle 3 geschätzte durchschnittliche Aufnahme von VOC über Lebensmittel liegt im Bereich von wenigen µg pro Person und Tag. Für die drei Aromaten gilt, dass mit zunehmender Substitution des Benzolrings die tägliche Aufnahme via Lebensmittel ansteigt. Dies resultiert sowohl aus der höheren Luftbelastung als auch der grösseren Octanol-Luft-Verteilungskonstanten. Die geschätzte Aufnahme über Lebensmittel beträgt für Benzol, Toluol und Per weniger als 1% und für Xylol weniger als 3% der inhalativen Aufnahme. In solchen durchschnittlichen Situationen ist demzufolge die VOC-Aufnahme via Lebensmittel gegenüber der inhalativen vernachlässigbar klein.

Für extreme VOC-Luftbelastungen von mehreren mg/m$^3$ werden aufgrund der Öl-Luft- bzw. Octanol-Luft-Verteilungskonstanten der Tabelle 1 VOC-Konzentrationen im Fettanteil der Lebensmittel im ppm-Bereich erwartet. Solche Werte wurden auch tatsächlich gemessen (15, 27). Wären alle Lebensmittel dermassen

*Tabelle 3.* Geschätzte tägliche Aufnahme von Benzol, Toluol, Xylol und Per aus der Luft und aus Lebensmitteln

| VOC | Mittlere Aufnahme | | | Extreme Aufnahme | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftbelastung[1] (µg m$^{-3}$) | via Luft (µg d$^{-1}$) | Lebensmittel (µg) | Luftbelastung[2] (µg m$^{-3}$) | via Luft (µg d$^{-1}$) | Lebensmittel (µg d$^{-1}$) |
| Benzol | 20 | 200 | 0,4 | 200 (25) | 2 000 | 22 |
| Toluol | 40 | 400 | 2,8 | 24 900 (26) | 249 000 | 9 200 |
| Xylol | 40 | 512 | 12,0 | 690 (26) | 8 832 | 1 104 |
| Per | 6 | 120 | 0,6 | 23 200 (9) | 464 000 | 12 992 |

1 gemäss Lit. (23) und (24)
2 in Klammern: Literatur

hoch belastet, könnte die tägliche Aufnahme von Toluol, Xylol und Per bis zu mehreren mg betragen. Geht man jedoch davon aus, dass Konsumenten ihre Lebensmittel meist dort lagern, wo sie sich selber aufhalten, müssen die oben diskutierten VOC-Höchstkonzentrationen mit inhalativen Höchstexpositionen verglichen werden (siehe Tabelle 3). Die Aufnahme von mehreren µg/Tag für Benzol bzw. mg/Tag für Toluol, Xylol und Per via Lebensmittel fällt im Vergleich mit der inhalativen Aufnahme – analog zur durchschnittlichen Belastung – wiederum nicht ins Gewicht.

Weiter ist denkbar, dass Personen zwar durchschnittlich belastete Luft (Tabelle 3, Kolonne 2) einatmen, aber hochkontaminierte Lebensmittel zu sich nehmen (Kolonne 6). Dieser Fall kann z. B. auftreten, wenn an Tankstellen, Zeitungskiosken oder in der Umgebung von chemischen Reinigungen hochbelastete Lebensmittel gekauft werden. Zwar kann die Häufigkeit solcher Belastungen schwer abgeschätzt werden, die absolute Aufnahme im Vergleich zur Hintergrundsbelastung dürfte jedoch gering sein. Zudem ist zu betonen, dass auch Situationen bekannt sind, in denen die inhalative Aufnahme durch extreme Luftbelastungen kurzzeitig stark erhöht sein kann, beispielsweise beim Betanken von Fahrzeugen oder beim Aufenthalt in frisch gestrichenen Räumen und in chemischen Reinigungen.

## *Zusammenfassung*

Die Aufnahme von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC: Benzol, Toluol, Xylol und Tetrachlorethen) aus Lebensmitteln und der Luft wird aufgrund von Literaturdaten abgeschätzt. Dazu wurde zuerst die theoretisch mögliche Anreicherung von VOC aus der Luft in Lebensmitteln betrachtet. Die so berechneten Mengen konnten durch Messungen verschiedener Autoren bestätigt werden. Aufgrund weiterer Annahmen, wie Fettkonsum und Lagerdauer der Lebensmittel, wurde die durchschnittliche tägliche Aufnahme von VOC aus Lebensmitteln abgeschätzt. Es wurde gezeigt, dass im Vergleich dazu die durchschnittliche inhalative Aufnahme um Faktor 40 (Xylol) bis 500 (Benzol) grösser ist. Der Beitrag durch den gelegentlichen Konsum von hochkontaminierten Lebensmitteln kann nicht quantifiziert werden. Es ist aber anzunehmen, dass auch dieser Beitrag inhalative Spitzenexpositionen nicht übertrifft.

## *Résumé*

La présente étude évalue, sur la base de données de la littérature, l'absorption de composés organiques volatiles (VOC) (benzène, toluène, xylène et tetrachloréthène) contenues dans les aliments en comparaison avec l'exposition inhalative. Dans ce but, nous avons procédé à une estimation théorique de la migration des VOC de l'air dans les aliments. La validité de ces estimations est confirmée par les mesures de différents auteurs. Sur la base d'assomptions concernant d'autres paramètres comme la consommation de lipides et la durée de stockage des aliments, nous avons estimé l'absorption quotidienne moyenne de VOC de sources alimentaires. Il s'est montré que, en comparaison avec ces estimations, l'absorption par voie respiratoire est supérieure d'un facteur 40 (xylène) à 500 (benzène). L'apport dû à la consom-

mation occasionnelle d'aliments fortement contaminés ne peut être évalué, mais il est improbable qu'il dépasse les absorptions de pointe par voie respiratoire.


## *Summary*

In this paper the uptake of volatile organic compounds (benzene, toluene, xylene, and tetrachloroethene) from food was estimated basing on literature data. A theoretical approach on the migration of VOCs from the air into food was undertaken. The calculated amounts could be confirmed by experimental results of various authors. Based on further assumptions on fat intake, exposure time of foods, etc. the average daily intake of VOCs was estimated. It could be shown that this intake is overcome by the average inhalative VOC intake by a factor 40 (xylene) up to 500 (benzene). The contribution of an occasional intake of highly contaminated foods can not be quantified. But it can be assumed that it is not surpassing the contribution of inhalative peak exposures.


## *Literatur*


1. *Rumpel, R.:* Benzol ist überall. Die Zeit **19,** 32 (1994).
2. *Anonym*: Brötchen mit Benzol. Der Spiegel 171 (1992).
3. *Anonym*: Tetrachlorethen in Lebensmitteln. Bulletin des BAG, Nr. 19, 235–236 (1988).
4. *Chutsch, M., Fischer, M., Krause, C., Vieths, S.* und *Weber, R.*: Tetrachlorethen in Lebensmitteln. Bundesgesundbl. **6,** 250–252 (1990).
5. *Grob, K., Artho, A.* und *Egli, I.*: Verunreinigung von Lebensmitteln mit Perchlorethylen aus der Luft: Begrenzung für die Luft statt für die Lebensmittel! Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **82,** 56–65 (1991).
6. *Reinhard, K., Dulson, W.* und *Exner, M.*: Untersuchungen zum Vorkommen von Perchlorethylen in Raumluft und Lebensmitteln in Wohnungen in der Nähe von Chemischreinigungen. Zbl. Hyg. **189,** 111–116 (1989).
7. *Schaefer, I.* und *Hohmann, H.*: Tetrachlorethen (TCE)-Belastung – Ergebnisse einer Nachuntersuchung bei Anwohnern Chemischer Reinigungen und aktuelle gesetzliche Entwicklungen. Öff. Gesundh.-Wes. **53,** 265–268 (1991).
8. *Zimmerli, B., Zimmermann, H.* und *Müller, F.*: Perchlorethylen in Lebensmitteln. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **73,** 71–81 (1982).
9. *Grahl, B., Wichmann, G.* und *Mohr, E.*: Tetrachlorethen in Lebensmitteln. Gordian **3,** 39–41 (1988).
10. *Düszeln v., J., Lahl, U., Bätjer, K., Cetinkaya, M., Stachel, B.* und *Thiemann, W.:* Flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe in Luft, Wasser und Nahrungsmitteln in der Bundesrepublik Deutschland. Dtsch. Lebensm.-Rundsch. **78,** 352–356 (1982).
11. *Vieths, S., Blaas, W., Fischer, M., Klee, T., Krause, C., Matissek, R., Ullrich, D.* und *Weber, R.*: Modellversuche zum Übergang von Tetrachlorethen aus der Raumluft in Lebensmitteln. Dtsch. Lebensm.-Rundsch. **84,** 381–388 (1988).
12. *Grob, K., Frauenfelder, C.* and *Artho, A.*: Uptake by foods of tetrachloroethylene, trichlorethylene, toluene, and benzene from air. Lebensm. -Unters. -Forsch. **191,** 435–441 (1990).

13. *Halek, G.W.* and *Efstratios, H.*: Partition coefficients of food package printing ink solvents in soybean oil, chocolate liquor, and high fat baked product. J. Food Sci. **53,** 568–570 (1988).
14. *Sato, A.* and *Nakajima, T.*: A Structure-activity relationship of some chlorinated hydrocarbons. Arch. Environ. Health **34,** 69–75 (1979).
15. *Biedermann, M.* and *Grob, K.*: On the origin of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene. *Submitted for publication* (1994).
16. *Mackay, D.* and *Shiu, W.Y.*: A critical review of Henry's Law constants for chemicals of environmental interest. J. Phys. Chem. Ref. Data **10,** 1175–1199 (1981).
17. *Howard, P. H.*: Handbook of environmental fate and exposure data for organic chemicals. **1,** Lewis, Chelsea, Michigan (1989).
18. *Sieber, R., Stransky, M.* und *Zimmerli, B.*: Beurteilung der Nährstoffversorgung der Schweizerischen Bevölkerung. In: Stähelin, H.B., Lüthy, J., Casabianca, A., Monnier, N., Müller, H-R., Schutz, Y., Sieber, R.: Dritter Schweizerischer Ernährungsbericht, p. 44, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1991.
19. *Shehata, A.T.*: A multi-route exposure assessment of chemically contaminated drinking water. Toxicol. Ind. Health **1,** 277–298 (1985).
20. *IARC (International Agency for Research on Cancer)*: Some halogenated hydrocarbons. IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans **20,** p. 502, WHO, Lyon 1979.
21. *IARC (International Agency for Research on Cancer)*: Some Industrial Chemicals and Dyestuffs. IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans **29,** p. 117, WHO, Lyon 1982.
22. *IARC (International Agency for Research on Cancer):* Some organic solvents, resin monomers and related compounds, pigments and occupational exposures in paint manufacture and painting. IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans **47,** p. 141, WHO, Lyon 1989.
23. *Meier, G., Rothweiler, H.* und *Schlatter, Ch.*: Immissionsmessungen von flüchtigen organischen Stoffen (VOC) im Kanton Uri im Sommer 1991 und Beurteilung der Belastung für die Bevölkerung, Diplomarbeit Institut für Toxikologie der ETH und Universität Zürich (1991).
24. *Straehl, P.*: Luftbelastung durch mittelflüchtige Kohlenwasserstoffe in der Region Basel. BUWAL-Bull. **2,** 26–34 (1991).
25. *WHO*: Air Quality Guidelines. WHO Regional Publications 45–147 (1987).
26. *Verhoeff, A., Suk, H.* and *van Wijnen, J.*: Organic solvents in the indoor air of ten small screen printing plants and surrounding houses. In Indoor Air '87, Proceedings of the 4th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Berlin, 179–182 (1987).
27. *Müller, U., Blaas, W., Mehlitz, I., Vieths, S.* und *Weber, R.*: Benzol und Toluol in Lebensmitteln. Dtsch. Lebensm.-Rundsch. **86,** 277–281 (1990).

Dr. Karin Kokot-Helbling
Dr. Peter Schmid
Prof. Dr. Christian Schlatter
Institut für Toxikologie der ETH und
Universität Zürich
Schorenstrasse 16
*CH-8603 Schwerzenbach*