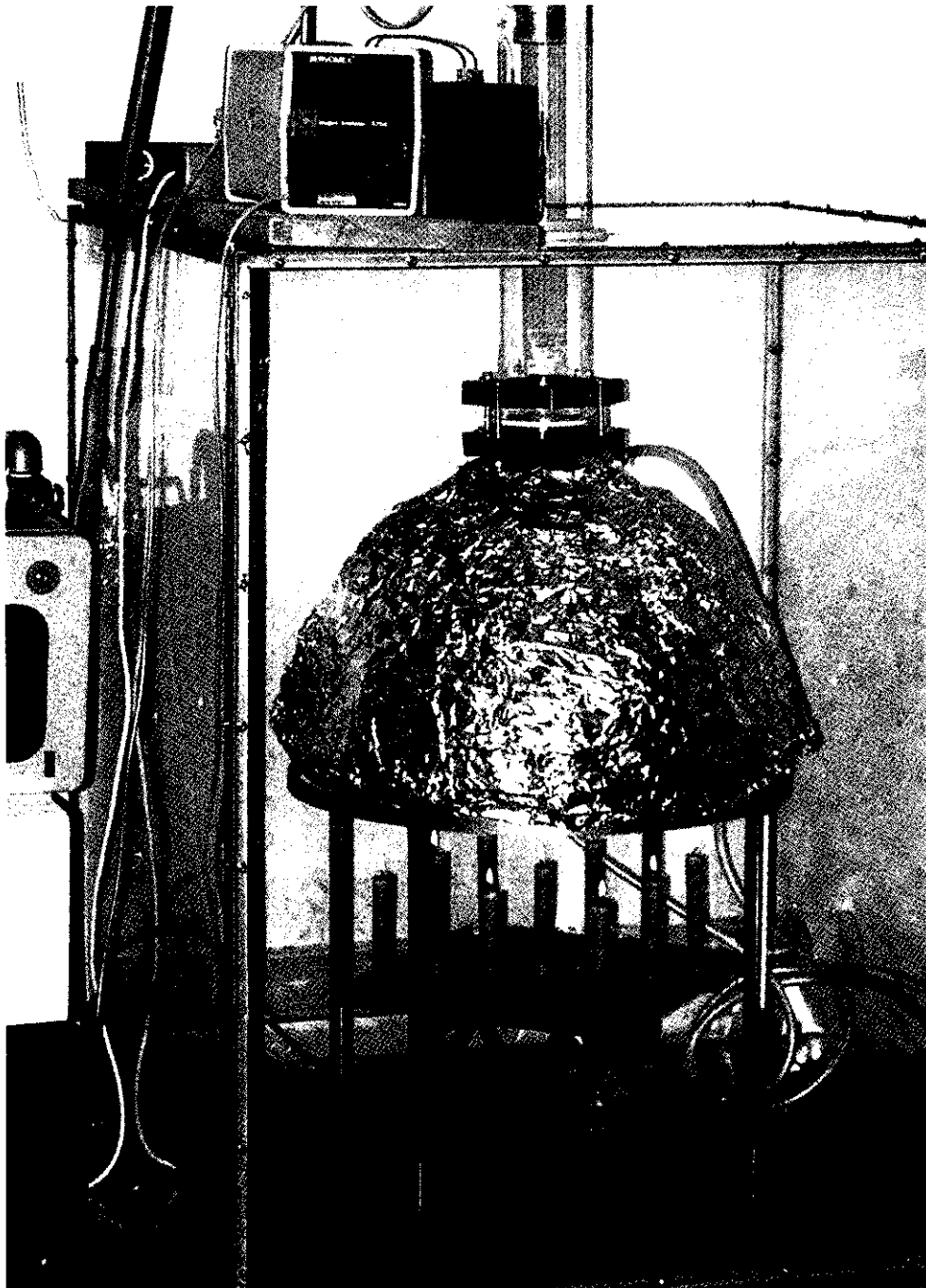


# UMWELTWISSENSCHAFTEN UND SCHADSTOFF-FORSCHUNG

ZEITSCHRIFT FÜR UMWELTCHEMIE UND ÖKOTOXIKOLOGIE

ORGAN DER FACHGRUPPE UMWELTCHEMIE UND ÖKOTOXIKOLOGIE DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER,  
DES VERBANDES FÜR GEOÖKOLOGIE IN DEUTSCHLAND SOWIE DER ECOINFORMA  
UND DES BIFA (BAYERISCHES INSTITUT FÜR ABFALLFORSCHUNG)

## Sonder- druck



© 1994 ecomed  
verlagsgesellschaft  
AG & Co. KG  
Landsberg - Zürich  
Rudolf-Diesel-Str. 3  
86899 Landsberg/Lech,  
Telefon 081 91/125-0;  
Telefax 081 91/125-513

**Urheberrecht:** Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlags reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

HERAUSGEGEBEN VON O. HUTZINGER

Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung · UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox.  
Environmental Science and Pollution Research · ESPR · Environ. Sci. & Pollut. Res.  
ISSN 0934-3504 · 6 (5) 241-316 November 1994

**ecomed**  
verlagsgesellschaft

## Originalarbeiten

## Bestimmung und Bewertung der Emissionen von PCDD/PCDF, PAK und kurzkettigen Aldehyden in den Brandgasen von Kerzen

- Untersuchung von Wachsen und Dochten
- Bestimmung der Emissionen aus den Brandgasen von Kerzen
- Toxikologische Bewertung

<sup>1</sup>Karl-Heinz Schwind, <sup>1</sup>Jamshid Hosseinpour, <sup>2</sup>Heideloire Fiedler, <sup>2</sup>Christoph Lau, <sup>2</sup>Otto Hutzinger

<sup>1</sup>Ökometric GmbH, Bayreuther Institut für Umweltforschung, Bernecker Str. 17-21, D-95448 Bayreuth

<sup>2</sup>Lehrstuhl für Ökologische Chemie und Geochemie, Universität Bayreuth, Jean-Paul-Str. 30, D-95440 Bayreuth

## Zusammenfassung

Im Rahmen eines Untersuchungsprogrammes zur Schadstoffemission von Paraffin-, Stearin- und Bienenwachskerzen ohne Farb- und Lackbeimischungen wurden sowohl die Wachse und Dochte als auch die Brandgase dieser Kerzen auf die toxikologisch besonders relevanten Schadstoffklassen der PCDD/PCDF, PAK und kurzkettigen Aldehyde untersucht. Die toxikologische Bewertung kommt selbst bei einem angenommenen „worst case“-Szenario und unter Berücksichtigung von geltenden Grenz- und Richtwerten zu dem Ergebnis, daß von den untersuchten Kerzen kein zusätzliches Gesundheitsrisiko ausgeht.

## Abstract

**Exhaust Fumes of Candles: Emissions of PCDD/F, PAH and Short-Chain Aldehydes.**  
Exhaust fumes of paraffin, beeswax and stearin candles without any further paint or decorative element were analysed for the toxicological important substance classes of PCDD/PCDF, PAH and short chain aldehydes. The candle waxes and wicks were investigated for chlorinated dioxins, furans and some known precursors. Toxicological risk assessment shows that emissions of the investigated candles are much lower than all administrative limitation values – even under „worst case conditions“. Thus, they do not produce a toxicological risk for human health.

auf etwa ein Prozent geschätzt (annähernd 1 000 Tonnen pro Jahr) [2]. Die zuweilen geäußerte Annahme, die Abbrandemissionen von Paraffinkerzen ergäben toxikologisch ein ungünstigeres Bild als die Emissionen von Bienenwachs- und Stearinkerzen, die daher den Vorzug verdienen, zeigt die Notwendigkeit systematisch geführter Untersuchungen auf.

Um diese und weitere Fragen aus wissenschaftlicher Sicht hinreichend beantworten zu können, wurde ein Untersuchungsprogramm durchgeführt, in das die Kerzenrohmaterialien – Wachse und Dochte – und die Brandgase aus diesen Rohmaterialien ohne Farb- und Lackbeimischungen mit einbezogen wurden. Während in den Wachsen und Dochten nach PCDD/PCDF und den wichtigsten Vorläuferverbindungen gesucht wurde, wurden die Brandgase auf die toxikologisch relevanten Schadstoffklassen der PCDD/PCDF, PAK und kurzkettigen Aldehyde analysiert. Alle geprüften Paraffin-, Bienenwachs- und Stearinkerzen hatten aus Gründen der Vergleichbarkeit eine Länge von 245 mm bei einem Durchmesser von 20 mm. Die Wachsqualitäten der Prüfmuster sind für die deutsche Kerzenherstellung typische, weitverbreitete Qualitäten im jeweiligen Sortenspektrum. Das gleiche gilt für die eingesetzten Dochtqualitäten [2]. Die Gestaltung der Muster nur aus Wachs und Docht, d.h. ohne dekorative Beimischungen wie Farben, Lacke, Glitter und dergleichen, wurde bewußt gewählt, um repräsentative Meßergebnisse für die unverzichtbaren Hauptbestandteile jeder Kerze, nämlich Wachs und Docht, zu erzielen. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, in nächster Zeit mit weiteren Meßprogrammen der Frage nachzugehen, welche Effekte durch den Einsatz von Farben, Lacken und sonstigen dekorativen Elementen verursacht werden. Derart verzierte Kerzen sind zwar bisher Gegenstand einiger spezieller Schadstoffuntersuchungen gewesen [3], die Fortsetzung des vorliegenden Meßprogramms und der Einsatz der entwickelten Versuchsapparatur gewährleisten jedoch definierte, reproduzierbare Meßbedingungen, mit denen genauer abgegrenzte Aussagen erzielt werden können.

## 1 Einleitung

Kerzen – ein stimmungsvolles Ambiente zu festlichen Gelegenheiten – strahlen Wärme, Ruhe und Behaglichkeit aus. Ihre große Beliebtheit spiegelt sich in den Verkaufs- und Produktionszahlen wieder. So werden beispielsweise zur Zeit allein in der Bundesrepublik etwa 90 000 Tonnen Kerzen pro Jahr produziert [1]. Die drei bei der deutschen Kerzenherstellung eingesetzten Wachsorten sind Paraffin, Stearin und Bienenwachs. Paraffinwachs nimmt dabei über 90 % des Wacheinsatzes für Kerzen ein. Stearin hat einen Anteil von einigen Prozenten und der Marktanteil von Bienenwachs wird

## 2 Analyse der Kerzenrohstoffe

Zu Beginn der durchgeführten Arbeiten wurden die Kerzenrohmaterialien – Paraffin, Stearin und Bienenwachs sowie die zugehörigen Dochte – auf mögliche Verunreinigungen mit PCDD/PCDF, Chlorbenzolen, Chlorphenolen und einigen ausgewählten Pestiziden untersucht.

Die Analyse der verschiedenen Wachsarten auf PCDD/PCDF-Verunreinigungen ergab für Paraffin 0,59 ng/kg I-TE, für Stearin 1,62 ng/kg I-TE und für das untersuchte Bienenwachs 10,99 ng/kg I-TE. Die ermittelten Chlorphenol-Summenkonzentrationen im Bienenwachs liegen mit 256 µg/kg über denen von Stearin und Paraffin. Die Chlorbenzol-Verunreinigungen unterscheiden sich in allen drei Wachsarten nur geringfügig voneinander (→ Tabelle 1).

Tabelle 1: PCDD/PCDF-, Chlorphenol- und Chlorbenzol-Verunreinigungen in den untersuchten Wachsen

Wachsart	PCDD/PCDF I-TE-Wert in [ng/kg]	Chlorphenole Summenwert in [µg/kg]	Chlorbenzole Summenwert in [µg/kg]
Paraffin	0,59	14,8	0,13
Bienenwachs	10,99	256,2	0,12
Stearin	1,62	32,3	0,33

Tabelle 2: PCDD/PCDF-, Chlorphenol- und Chlorbenzol-Verunreinigungen in den untersuchten Kerzendochten

Dochart	PCDD/PCDF I-TE-Wert in [ng/kg]	Chlorphenole Summenwert in [µg/kg]	Chlorbenzole Summenwert in [µg/kg]
für Paraffinkerzen	0,18	1,23	0,67
für Bienenwachskerzen	0,08	0,74	0,35
für Stearinkerzen	0,12	0,94	0,34

Tabelle 3: Pestizidkonzentrationen in den untersuchten Kerzendochten

Dochart	Pestizide (µg/kg)	
für Paraffinkerzen	alpha-HCH	< 0,5
	gamma-HCH	< 0,5
	o,p'-DDT	6,0
	p,p'-DDT	13,0
für Bienenwachskerzen	alpha-HCH	< 0,5
	gamma-HCH	< 0,5
	o,p'-DDT	< 1,0
	p,p'-DDT	< 1,0
für Stearinkerzen	alpha-HCH	< 0,5
	gamma-HCH	< 0,5
	o,p'-DDT	< 1,0
	p,p'-DDT	< 1,0

Die Analyse der Kerzendochte (→ Tabellen 2, 3) zeigte, daß sich die drei Dochtarten bezüglich der untersuchten Schadstoffklassen nur unwesentlich voneinander unterscheiden. Die PCDD/PCDF-Werte bewegen sich hier in einem Bereich zwischen 0,08 und 0,18 ng/kg I-TE. Die Chlorphenol-Summenkonzentrationen liegen zwischen 0,74 und 1,23 µg/kg und die Chlorbenzol-Summenwerte schwanken zwischen 0,34 und 0,67 µg/kg. Lediglich im Dochtmaterial der Paraffinkerzen konnten die beiden DDT-Isomeren mit Konzentrationen von 6 µg/kg bzw. 13 µg/kg nachgewiesen werden.

## 3 Durchführung der Abbrandversuche

Zur Durchführung der Kerzenabbrandversuche wurde eine Versuchskammer mit einem Rauminhalt von 1,2 m<sup>3</sup> entwickelt, die einen reproduzierbaren Kerzenabbrand unter realitätsnahen Bedingungen mit minimalen Turbulenzen und definierten Luftwechselraten ermöglicht. Bei jedem Abbrandversuch wurden jeweils neun Kerzen gleichzeitig abgebrannt (→ Abb. 1). Der Abbrand der Kerzen erfolgte in realitätsnahen Brennzyklen. Zwei Stunden nach dem Anzünden mit einem Gasfeuerzeug wurden die Kerzen durch Ausblasen gelöscht, wobei die Gase des sekundenlangen Nachrauchens ebenfalls im Sammelfilter absorbiert wurden. Nach einer einstündigen Pause wurde der nächste Zyklus gestartet. Zur Bestimmung der PCDD/PCDF- und PAH-Emissionen aus den Brandgasen wurden jeweils drei Brennzyklen durchgeführt. Bei der Messung der Aldehyd-Emissionen wurde aus probenahmetechnischen Gründen jeweils nur ein Zyklus gefahren.

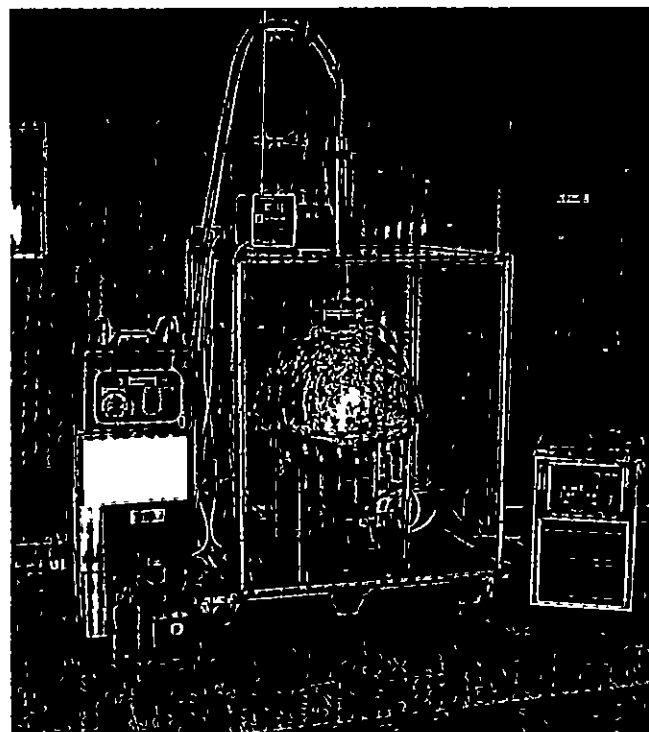


Abb. 1: Versuchsanordnung zur Bestimmung von Schadstoffemissionen beim Kerzenabbrand

## 4 Ergebnisse der Abbrandversuche

Die Brandgase der entsprechenden Kerzen wurden auf PCDD/PCDF, PAK und kurzkettige Aldehyde analysiert. Um die von den Kerzen emittierten Schadstoffmengen exakt ermitteln zu können, wurden für jede der untersuchten Substanzklassen Blindwertbestimmungen durchgeführt. Der jeweilige Versuchsblindwert wurde dann vom Wert aus dem entsprechenden Abbrandversuch abgezogen. Die in den Tabellen 4 bis 6 angegebenen Konzentrationen sind um den jeweiligen Versuchsblindwert korrigiert. Alle Konzentrationsangaben in der Einheit [Stoffmenge/m<sup>3</sup>] entsprechen den Emissionen von neun Kerzen.

Tabelle 4: Um den Blindwert korrigierte PCDD/PCDF-Emissionen aus den Kerzenabbrandversuchen

Abbrandversuch	I-TEQ-Werte [pg/g verbr. Wachs]	I-TEQ-Werte [pg/m <sup>3</sup> ]
Paraffinkerzen	0,015	0,183
Bienenwachskerzen	0,004	0,038
Stearinkerzen	0,027	0,340

Obwohl das für die Kerzen verwendete Bienenwachs höhere Verunreinigungen mit PCDD/PCDF und Chlorphenolen als das Paraffin- und Stearinwachs aufwies, sind die PCDD/PCDF-Emissionen beim Abbrandversuch mit 4 fg/g verbranntem Wachs am geringsten (→ Tabelle 4). Offenbar waren die Verbrennungsbedingungen in der Kerzenflamme so gut, daß PCDD und PCDF abgebaut wurden. Die entsprechenden Emissionswerte für Paraffin- und Stearinkerzen liegen geringfügig höher.

Die aus den Abbrandversuchen ermittelten PAK-Emissionswerte sind in Tabelle 5 dargestellt. Da die PAK aufgrund eines von den PCDD/PCDF verschiedenen Wirkungsmechanismus und infolge der metabolischen Umwandlung einiger ihrer Vertreter nicht in das Schema der Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF) eingeschlossen werden dürfen, muß ein mögliches Gefährdungspotential anhand der Einzelverbindung abgeschätzt werden. Als Leitsubstanz hierfür kann beispielsweise Benzo(a)pyren dienen. Die Benzo(a)pyren-Emission in den Brandgasen aller drei Kerzenarten ist kleiner als 0,02 ng/g verbranntem Wachs.

Tabelle 5: Um den Blindwert korrigierte PAK-Emissionen aus den Kerzenabbrandversuchen

Abbrandversuch Paraffinkerzen		Abbrandversuch Bienenwachskerzen		Abbrandversuch Stearinkerzen	
PAK [ng/g verbr. Wachs]		PAK [ng/g verbr. Wachs]		PAK [ng/g verbr. Wachs]	
Naphthalin	152,05	Naphthalin	4,33	Naphthalin	3,36
Acenaphthylen	< 0,08	Acenaphthylen	< 0,06	Acenaphthylen	< 0,06
Acenaphthen	< 0,08	Acenaphthen	< 0,17	Acenaphthen	< 0,02
Fluoren	< 0,03	Fluoren	< 0,05	Fluoren	< 0,07
Phenanthren	2,81	Phenanthren	< 0,13	Phenanthren	< 0,11
Anthracen	0,19	Anthracen	0,05	Anthracen	0,30
Fluoranthren	0,35	Fluoranthren	0,20	Fluoranthren	0,28
Pyren	0,20	Pyren	0,03	Pyren	0,11
Benz(a)anthracen	0,01	Benz(a)anthracen	< 0,01	Benz(a)anthracen	0,01
Chrysen (+ Triphenylen)	0,05	Chrysen (+ Triphenylen)	0,01	Chrysen (+ Triphenylen)	0,02
Benzo(b + j + k)fluoranthren	0,05	Benzo(b + j + k)fluoranthren	0,05	Benzo(b + j + k)fluoranthren	< 0,01
Benzo(a)pyren	0,01	Benzo(a)pyren	< 0,02	Benzo(a)pyren	< 0,01
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,03	Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,04	Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,11
Benzo(ghi)perylen	0,03	Benzo(ghi)perylen	0,05	Benzo(ghi)perylen	0,12
Dibenz(ah + ac)anthracen	0,07	Dibenz(ah + ac)anthracen	0,09	Dibenz(ah + ac)anthracen	0,10
PAH [ng/m <sup>3</sup> ]		PAK [ng/m <sup>3</sup> ]		PAK [ng/m <sup>3</sup> ]	
Naphthalin	1 810,41	Naphthalin	41,38	Naphthalin	42,75
Acenaphthylen	< 0,93	Acenaphthylen	< 0,61	Acenaphthylen	< 0,79
Acenaphthen	< 0,91	Acenaphthen	< 1,63	Acenaphthen	< 0,24
Fluoren	< 0,31	Fluoren	< 0,47	Fluoren	< 0,88
Phenanthren	33,51	Phenanthren	< 1,22	Phenanthren	< 1,41
Anthracen	2,28	Anthracen	0,49	Anthracen	3,87
Fluoranthren	4,16	Fluoranthren	1,88	Fluoranthren	3,50
Pyren	2,37	Pyren	0,29	Pyren	1,41
Benz(a)anthracen	0,12	Benz(a)anthracen	< 0,11	Benz(a)anthracen	0,11
Chrysen (+ Triphenylen)	0,63	Chrysen (+ Triphenylen)	0,05	Chrysen (+ Triphenylen)	0,20
Benzo(b + j + k)fluoranthren	0,55	Benzo(b + j + k)fluoranthren	0,51	Benzo(b + j + k)fluoranthren	0,87
Benzo(a)pyren	0,12	Benzo(a)pyren	< 0,15	Benzo(a)pyren	< 0,16
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,33	Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,36	Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,45
Benzo(ghi)perylen	0,33	Benzo(ghi)perylen	0,45	Benzo(ghi)perylen	1,52
Dibenz(ah + ac)anthracen	0,79	Dibenz(ah + ac)anthracen	0,88	Dibenz(ah + ac)anthracen	1,32

Tabelle 6: Um den Blindwert korrigierte Aldehyd-Emissionen aus den Kerzenabbrandversuchen

Abbrandversuch	Aldehyde [ng/g verbr. Wachs]	Aldehyde [mg/m <sup>3</sup> ]
Paraffinkerzen	Formaldehyd 14,1	Formaldehyd 0,017
	Acetaldehyd < 0,1	Acetaldehyd < 0,001
	Acrolein 0,1	Acrolein < 0,001
	Propionaldehyd < 0,1	Propionaldehyd < 0,001
Bienenwachskerzen	Formaldehyd 4,7	Formaldehyd 0,005
	Acetaldehyd < 0,3	Acetaldehyd < 0,001
	Acrolein < 0,1	Acrolein < 0,001
	Propionaldehyd < 0,1	Propionaldehyd < 0,001
Stearinkerzen	Formaldehyd 3,7	Formaldehyd 0,006
	Acetaldehyd < 0,4	Acetaldehyd < 0,001
	Acrolein 5,4	Acrolein 0,009
	Propionaldehyd < 0,1	Propionaldehyd < 0,001

## 5 Toxikologische Bewertung

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse und unter Berücksichtigung von Grenz- und Richtwerten [4 – 14] (MAK-Werte, TRK-Werte, Luftqualitätsleitlinien der WHO, VDI-Richtlinien für Maximale Immissionskonzentrationen u.a.) ist selbst bei einem vorgestellten „worst case“-Szenario (30 Kerzen brennen vier Stunden lang in einem Wohnraum mit 50 m<sup>3</sup>, in dem während dieser Zeit kein Luftaustausch stattfindet) – einer Extremsituation, die die maximale Obergrenze der Belastung wiedergibt, falls alle sich negativ auswirkenden Faktoren gleichzeitig eintreffen wurden – eine zusätzliche gesundheitliche Belastung durch den Kerzenabbrand nicht möglich.

Die PAK- und Aldehyd-Emissionen von neun gleichzeitig brennenden Paraffin-, Bienenwachs- oder Stearinkerzen liegen um ein Vielfaches unterhalb des Wertes, den eine brennende Zigarette verursacht [15]. Die inhalative Aufnahme von Dioxinen in einer solchen Raumluftatmosphäre ist im Jahresmittel der Aufnahmerate vernachlässigbar. Auch bezüglich der durchschnittlichen Gesamtaufnahme mit PCDD/PCDF ergibt sich durch den Gebrauch der untersuchten Kerzen, auch bei schlecht oder gar nicht gelüfteten Räumen, kein signifikanter Beitrag.

Ein zusätzliches gesundheitliches Risiko durch den Aufnahmepfad „Inhalative Aufnahme von Kerzenemissionen“ ist für die untersuchten Substanzen toxikologisch nicht abzuleiten.

## 6 Schlußfolgerungen

Dieses Meßprogramm hat ergeben, daß die Abbrandemissionen der untersuchten Kerzen kein gesundheitliches Gefährdungspotential für den Kerzenkonsumenten darstellen. Die Abbrandemissionen der untersuchten Paraffin-, Stearin- und Bienenwachskerzen zeigen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der untersuchten Schadstoffklassen. Die aus Paraffin hergestellten Kerzen sind toxikologisch ebenso unbedenklich wie die Bienenwachs- oder Stearinkerzen. Diese Schlußfolgerungen gelten auch für die drei eingesetzten Docharten.

Es ist jedoch anzumerken, daß im Rahmen des durchgeführten Untersuchungsprogrammes ausschließlich ungefarbte Kerzen ohne dekorative Beimischungen eingesetzt wurden. Daher ist es erforderlich, weitere Untersuchungen mit gefärbten und lackierten Kerzen durchzuführen.

Die erhaltenen Prüfergebnisse können als wissenschaftliche Grundlage für die Beurteilung der Qualität und Umweltverträglichkeit von Kerzenprodukten herangezogen werden.

## Danksagung

Die Autoren danken Herrn Dr. ALSHORACHI von der Landesgewerbeanstalt Bayern, Nürnberg, für seine wertvolle Unterstützung bei den Planungs- und Entwicklungsarbeiten zur Versuchsanlage sowie für seine Mithilfe bei der Entwicklung der Probenahmetechnik.

## 7 Literatur

- [1] Kerzenproduktion in Deutschland, nach Angaben des Statistischen Bundesamtes
- [2] Persönliche Mitteilung von Herrn Dr. SCHÜTZ, Verband Deutscher Kerzenhersteller
- [3] GRIMMER, H.: Untersuchung der Luftkonzentration von Polychlor-Dibenzo-Dioxinen und -Furanen nach Abbrennen von lila-gefärbten Kerzen; PAH-Konzentrationen beim Abbrand von gefärbten und lackierten Kerzen; Ergebnisberichte erhältlich bei Verband Deutscher Kerzenhersteller, Karlstraße 21, 60329 Frankfurt
- [4] BECK, H.; DROSS, A.; ENDE, M.; FÖRST, C.; FÖRST, P.; HILLE, A.; MATHAR, W.; WILMERS, K. (1991): Polychlorierte Dibenzofurane und -dioxine in Frauenmilch. Bundesgesundheitsblatt 12/91, 564 – 568
- [5] BGA/UBA (1993): Dioxine und Furane – ihr Einfluß auf Umwelt und Gesundheit. Erste Auswertung des 2. Internationalen Dioxin-Symposiums und der fachöffentlichen Anhörung des Bundesgesundheitsamtes und des Umweltbundesamtes in Berlin vom 9. bis 13. 11. 1992. Bundesgesundheitsbl. Sonderheft/93 (36. Jahrgang, Mai 1993)
- [6] BLAG, Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE (1992): Umweltpolitik: Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE. Rechtsnormen, Richtwerte, Handlungsempfehlungen, Meßprogramme, Meßwerte und Forschungsprogramme. Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Bonn, Januar 1992
- [7] ČIKRYT, P. (1991): Die Gefährdung des Menschen durch Dioxin und verwandte Verbindungen. Nachr. Chem. Tech. Lab. 39, 648 – 656
- [8] Deutscher Bundestag (1988): Schadstoff-Höchstmengenverordnung, BGBl. Bundesgesetzblatt I, 422, vom 23. 03. 1988
- [9] DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft (1993): MAK- und BAT-Werte-Liste 1993, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 29, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim
- [10] GRIMMER, G. (1983): Profile Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air. In: BJØRSETH, A.: Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Marcel Dekker, New York.
- [11] GSF-Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (1984): Internationale Studien zur Erkennung carcinogener Chemikalien. In: Jahresbericht 1984, S. 121 – 123
- [12] VDI-Richtlinie 2310 (1974): Maximale Immissionswerte, Hrsg: VDI-Kommission der Luft (Hauptausschuß: Wirkungen von Staub und Gasen)
- [13] VDI-Richtlinie 3782/1 (1992): Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre, Gaußsches Ausbreitungsmodell für Luftreinhaltepläne, Beuth-Verlag, Berlin
- [14] WHO – World Health Organization, International Agency for Research and Cancer (1983): IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Benz[a]anthracene. IARC Vol. 32, 135 – 145
- [15] DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft (1985): Passivrauchen am Arbeitsplatz. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim

Eingegangen: 06. Oktober 1994  
Akzeptiert: 11. Oktober 1994

2x