

A. Versuchsbeschreibung

Es wurde die Bildung von PAH während des Abbrennens und beim Ausblasen von Kerzen unterschiedlicher Größe und Sorte gemessen:

1. Stundenbrenner (Ölanteil 5-6 %)
2. Teelicht (Ölanteil ~1.5 %)
3. Haushaltskerze, getaucht (Ölanteil <0.5 %)
4. Stearinkerze
5. Haushaltskerze, ungetaucht

1. Abbrand einzelner Kerzen

Das Sammeln der Abgase von Einzelkerzen erfolgte mit der in der Abbildung dargestellten Sammeleinrichtung. Der Abgasstrom wurde mit leichtem Unterdruck bei einem Luftdurchsatz von $1.1 \text{ m}^3/\text{h}$ abgesaugt. Der Luftstrom wurde mit einem kurzen Intensivkühler auf Raumtemperatur gebracht und die PAH auf einen Glasfaserfilter (Schutzstufe S) der Firma Dräger niedergeschlagen. Zur Analyse wurde der Kühler mit Aceton und das Filter mit Toluol extrahiert (Fres. Z. Anal. Chem. 311, 475-484, 1982)

2. Abbrand mehrerer Kerzen

In verschiedenen Versuchen wurden mehrere Kerzen unterschiedlicher Sorte simultan in einem 18.5 m^2 Raum abgebrannt.

B. Ergebnisse

1. Abbrand einzelner Kerzen

1.1 Emissionsmessung der PAH beim Abbrennen und Ausblasen von einzelnen Kerzen ($\text{ng PAH}/\text{m}^3$, $\text{ng PAH}/\text{g}$).

1.2 Emission bei ruhigem Abbrennen, Sammelperiode 1 und 3 Stunden. Es wurde der Einfluß des Kerzenmaterials untersucht.

- (a) Haushaltskerze (Blatt 2 und 3)
- (b) Haushaltskerze, ungetaucht (Blatt 3a)
- (c) Teelicht (Blatt 2 und 3)
- (d) Stundenbrenner (Blatt 2 und 3)
- (e) Stearinkerze (Blatt 2 und 3)

1.3 Emission der PAH nach dem Ausblasen der Haushaltskerze, Teelicht, Stundenbrenner bzw. Stearinkerze (Blatt 4) ($\text{ng PAH}/\text{Ausblasvorgang}$).

2. Abbrand mehrerer Kerzen

2.1 Simultanes Abbrennen mehrerer Kerzen unterschiedlicher Sorte in einem Raum (18,5 m²)

- (a) Haushaltskerze (27 Stück, Blatt 5)
- (b) Teelicht (46 Stück, Blatt 6)
- (c) Stundenbrenner (22 Stück, Blatt 6)

2.2 Vorperiode: Sammeln der Raumluft (3 Stunden) ohne Kerzenabbrand.

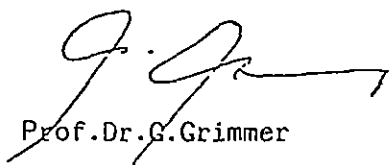
2.3 Ruhiges Abbrennen, Sammelperiode 1 und 3 Stunden bzw. zweimal 3 Stunden.

2.4 Ausblasen der Haushaltskerzen, Sammelperiode: 15 Min., 15-30 Min. und 30-60 Min. nach Ausblasen der Kerze (Blatt 5).

C. Zusammenfassung

Die während des Abbrennens der untersuchten Kerzensorten ermittelten PAH-Massen sind als sehr gering einzustufen. So liegt z.B. die emittierte Benzo(a)pyren-Masse bei dem Einzelabbrandversuch in der Größenordnung 1 ng/m³ und entspricht damit Konzentrationen wie sie in Reinluftgebieten gemessen werden. Die Ergebnisse beim Abbrennen mehrerer Kerzen bestätigen die Befunde aus den Einzelabbrandversuchen. So liegt der Benzo(a)pyren-Gehalt nach Abbrand der Kerzen unter Berücksichtigung des Raum-Leerwertes bei Haushaltskerzen bei 0,4 ng, beim Abbrennen vom Stundenbrennern bzw. Teelichtern bei 0,1 ng Benzo(a)pyren/m³.

Der PAH-Gehalt verschiedener Kerzensorten ist ebenfalls als gering zu bezeichnen. Er entspricht dem Grenzwert von Benzo(a)pyren in Räucherwaren mit 1 ng/g (= 1 ug/kg).


Prof. Dr. G. Grimmer

PAH-Gehalt von verschiedenen Kerzenmassen (ng/g)

Bezeichnung:	Teelicht	Stundenbrenner	Haushaltskerze	Stearinkerze
Fluoranthren	9.7	2.1	0.5	2.1
Pyren	11.4	8	5.3	81
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	1.0	2.5	1.5	12.9
Benzo(ghi)fluoranthren + BcPh	0.4	10	0.6	15.1
Cyclopenta(cd)pyren	0.5	2.1	0.2	1.9
Benz(a)anthracen	0.2	24	0.4	0.6
Chrysen + Triphenylen	1.4	13	1.4	6.7
Benzo(a)fluoranthren (b+j+k)	0.7	5	0.5	3.0
Benzo(e)pyren	1.4	5	1.3	2.5
Benzo(a)pyren	0.3	3	0.04	0.4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.5	4	0.12	3.2
Dibenz(a,h)anthracen	0.3	2	0.08	0.5
Benzo(ghi)perylen	0.5	5	0.08	13.0
Anthanthren	0.2	2	0.05	0.4
Coronen	0.4	2	0.25	2.9

Massen der entstandenen PAH beim Abbrennen von Kerzen in ng/g verbranntem Wachs

Bezeichnung:	Tee- licht 1 Std.	Tee- licht 3 Std.	Stunden- brenner 1 Std.	Stunden- brenner 3 Std.	Haushalts- kerze 1 Std.	Haushalts- kerze 3 Std.	Stearin- kerze 1 Std.	Stearin- kerze 3 Std.
verbrannte Kerzenmasse/h	4.0336	12.1050	1.9362	6.8193	7.345	23.132	8.6227	26.7340
Fluoranthren	1.1	0.8	3.3	1.4	4.5	6.3	1.9	2.8
Pyren	1.0	1.9	2.8	3.3	11.1	8.8	3.5	4.9
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	0.3	<0.3	0.3	<0.5	0.01	0.03	0.1	0.1
Benzo(ghi)fluoranthren + BcPh	0.5	<0.1	0.2	0.1	0.03	0.04	0.2	0.2
Cyclopenta(cd)pyren	0.1	<0.3	<0.2	<0.5	0.04	0.06	0.2	<0.1
Benz(a)anthracen	0.5	0.2	<0.2	0.4	0.1	0.2	0.5	0.1
Chrysen + Triphenylen	0.5	<0.3	<0.2	<0.5	0.4	0.6	0.1	0.2
Benzofluoranthene (b+j+k)	0.4	0.3	0.3	<0.5	0.4	0.5	0.6	0.5
Benzo(e)pyren	0.3	0.1	<0.2	0.1	0.4	0.3	0.1	0.6
Benzo(a)pyren	<0.1	<0.1	<0.2	<0.1	0.2	0.3	<0.1	<0.1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.2	<0.1	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2
Dibenz(a,h)anthracen	0.2	<0.1	<0.2	0.1	0.06	0.07	0.1	0.1
Benzo(ghi)perylen	0.3	0.2	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2
Anthanthren	<0.1	<0.1	<0.5	<0.5	0.06	0.04	<0.1	<0.1
Coronen	<0.2	<0.2	<0.5	<0.5	0.18	0.14	<0.1	<0.1

Bemerkung: Die PAH-Konzentration des durch Filter belüfteten Raums (vor Beginn des Versuchs) wurde rechnerisch berücksichtigt

PAH-Konzentration in der abgesaugten Luft bei 1- und 3-stündigem Abbrennen von Kerzen
(ng/m³)

	Tee- licht 1 h	Tee- licht 3 h	Stunden- brenner 1 h	Stunden- brenner 3 h	Haushalts- kerze 1 h	Haushalts- kerze 3 h	Stearin- kerze 1 h	Stearin- kerze 3 h
verbrannte Kerzenmasse/h:	4.0336	4.0350	1.9362	2.2731	7.345	23.162	8.6227	8.9113
Fluoranthren	3.9	2.8	5.8	2.8	30.3	44.2	15.1	22.8
Pyren	3.5	6.8	4.9	6.8	74.1	61.5	27.3	39.7
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	1.0	<1	0.5	<1	<0.1	0.2	0.5	0.6
Benzo(ghi)fluoranthren + BcPh	1.9	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3	1.5	1.5
Cyclopenta(cd)pyren	0.5	<1	<0.3	<1	0.3	0.4	1.8	<1
Benz(a)anthracen	1.8	0.8	<0.3	0.9	1.0	1.4	3.7	0.6
Chrysen + Triphenylen	1.9	<1	<0.3	<1	2.4	4.0	0.5	1.9
Benzofluoranthene ((b+j+k)	1.6	1.0	0.6	1.0	2.5	3.3	4.4	4.1
Benzo(e)pyren	1.0	0.3	<0.3	0.3	2.4	2.2	1.1	5.0
Benzo(a)pyren	0.1	<0.1	<0.3	<0.1	1.3	1.8	<0.3	1.0
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.9	0.2	0.7	0.2	1.1	1.1	1.1	1.6
Dibenz(a,h)anthracen	0.8	0.2	<0.3	0.2	0.4	0.5	0.5	0.5
Benzo(ghi)perylen	1.2	0.2	0.8	0.2	1.0	1.2	1.0	1.4
Anthanthren	<0.5	<0.5	<1	<1	0.4	0.3	<0.3	<0.3
Coronen	<0.8	<0.8	<1	<1	1.2	1.0	<1	<1

Bemerkung: Die PAH-Konzentration des durch Filter belüfteten Raums (vor Beginn des Versuchs) wurde rechnerisch berücksichtigt.

Massen der entstandenen PAH beim Abbrennen von Kerzen (ungetaucht) in verbranntem Wachs

Bezeichnung:	Haushaltskerze 1 h (ng/m ³)	Haushaltskerze 3 h (ng/m ³)	Haushaltskerze 1 h (ng/g)	Haushaltskerze 3 h (ng/g)
verbrannte Kerzenmassen/h:	6.9730	21.8974	6.9730	21.8974
Fluoranthren	82.9	42.3	13.1	6.4
Pyren	77.4	34.9	12.2	5.3
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	<0.1	3.1	0.01	0.4
Benzo(ghi)fluoranthren + BcPh	0.5	6.9	0.08	1.0
Cyclopenta(cd)pyren	0.3	<0.1	0.05	0.02
Benz(a)anthracen	1.2	2.6	0.19	0.4
Chrysen + Triphenylen	6.0	3.1	0.9	0.5
Benzofluoranthene (b+j+k)	4.6	2.6	0.7	0.4
Benzo(e)pyren	2.7	1.7	0.4	0.3
Benzo(a)pyren	1.4	0.6	0.2	0.1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1.1	0.6	0.2	0.10
Dibenz(a,h)anthracen	0.5	0.2	0.08	0.03
Benzo(ghi)perylen	1.1	0.8	0.2	0.1
Anthanthren	0.4	0.2	0.06	0.03
Coronen	0.9	0.4	0.14	0.06

PAH-Konzentration nach dem Ausblasen von Kerzen nach 15 min. Sammelzeit

(ng/Ausblasvorgang)

	Teelicht	Stundenbrenner	Haushaltskerze	Stearinkerze
Fluoranthren	2.8	17.2	1.6	9.8
Pyren	4.2	32.4	3.9	15.3
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	2.3	1.2	2.0	3.2
Benzo(ghi)fluoranthren + BcPh	8.3	0.3	2.5	1.2
Cyclopenta(cd)pyren	0.7	1.0	0.2	0.7
Benz(a)anthracen	8.3	0.4	0.7	3.3
Chrysen + Triphenylen	24.0	7.1	2.1	5.9
Benzofluoranthene (b+j+k)	27.9	0.4	6.4	5.4
Benzo(e)pyren	28.8	<0.3	24.7	9.4
Benzo(a)pyren	1.6	<0.4	5.0	1.0
Indeno(1,2,3-cd)pyren	4.4	0.4	3.8	0.7
Dibenz(a,h)anthracen	1.8	<0.4	0.4	0.6
Benzo(ghi)perylen	5.8	0.5	1.8	1.6
Anthanthren	0.9	<0.5	0.6	0.2
Coronen	2.2	<1	<1	<1

Bemerkung: Die PAH-Konzentration des durch Filter gelüfteten Raums (vor Beginn des Versuchs) wurde rechnerisch berücksichtigt.

PAH-Konzentration nach Abbrennen (3 h) und Ausblasen von 27 Haushaltskerzen in einem
18.5 m² x 2,6 m hohen Raum (200 g verbrannte Kerzenmasse) (ng/m³)

	*	3 h	3 h	0-15 min Ausblasen	15-30 min Ausblasen	30-60 min Ausblasen
Fluoranthren	55.7	19.4	16.7	24.7	0.7	0.7
Pyren	42.1	19.8	12.1	22.5	1.3	2.1
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	4.2	7.2	6.0	2.7	2.5	<0.4
Benzo(ghi)fluoranthren + BcPh	4.4	5.7	5.3	0.8	0.4	<0.4
Cyclopenta(cd)pyren	0.3	0.8	0.6	0.5	0.8	<0.4
Benz(a)anthracen	8.2	15.8	12.1	16.2	13.4	7.0
Chrysen + Triphenylen	14.7	26.3	26.4	34.6	23.1	11.6
Benzofluoranthene (b+j+k)	11.5	8.1	7.5	31.0	21.7	9.7
Benzo(c)pyren	4.4	1.8	2.2	23.3	20.1	4.8
Benzo(a)pyren	1.5	0.4	0.4	2.7	1.1	0.5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1.2	<0.1	<0.1	0.2	0.1	1.1
Dibenz(a,h)anthracen	0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.1	0.2
Benzo(ghi)perylen	1.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Anthanthren	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Coronen	0.5	0.4	<0.4	<0.4	<0.4	1.5

* Luft vor dem Kerzenabbrand

Die PAH-Konzentration der Luft vor dem Kerzenbrand wurde von den Brenn- bzw. Ausblasversuchen subtrahiert.

PAH-Konzentration nach Abbrennen (1h und 3 h) von 22 Stundenbrennern bzw. 46 Teelichtern in einem 18.5 m² x 2.6 m hohen Raum
(ng/m³)

Bezeichnung	*	Stundenbrenner		*	Teelicht	
		1h	3h		1h	3h
verbrannte Kerzenmasse (g)		42.5	128		185	556
Fluoranthren	4.4	1.0	<0.1	1.7	1.0	2.1
Pyren	4.0	<0.1	<0.1	1.8	1.4	2.2
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	2.2	2.3	<0.1	0.6	0.2	2.3
Benzo(ghi)fluoranthren + BcPh	2.2	0.1	<0.1	0.4	0.2	0.6
Cyclopenta(cd)pyren	0.1	0.6	0.1	0.6	0.1	<0.1
Benz(a)anthracen	5.7	2.2	<0.1	1.6	1.0	3.9
Chrysen + Triphenylen	12.3	9.2	4.7	4.2	3.2	7.1
Benzofluoranthene (b+j+k)	9.6	8.5	6.8	3.0	0.8	3.9
Benzo(e)pyren	4.3	2.0	1.6	1.3	1.0	1.0
Benzo(a)pyren	2.4	<0.1	<0.1	0.4	<0.1	0.1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1.3	<0.1	<0.1	0.6	<0.1	<0.1
Dibenz(a,h)anthracen	0.3	<0.1	<0.1	0.3	<0.1	<0.1
Benzo(ghi)perylen	2.1	<0.1	<0.1	0.9	<0.1	<0.1
Anthanthren	0.7	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
Coronen	0.6	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1

Bemerkung: *Luft vor dem Kerzenbrand

Die PAH-Konzentration der Luft vor dem Kerzenbrand wurde von den Brenn- bzw. Ausblasversuchen subtrahiert.

Abbildung

Einrichtung zum Sammeln von Emissionen aus Kerzenabbrand.

