

1. Einleitung	2
2. Methode und Geräte	2
3. Geräte	2
4. Aufbau des Gerätes	5
5. Messdurchführung	5
6. Kalibrierung und Bestimmung des Rußindexes	5
7. Bewertung	7
8. Prüfbericht	7
9. Ergebnisse und Diskussion	7
9. Zusammenfassung	8
10. Literatur	8

Abbildung 1: Brennkorb am Stativ und aufgelegte Glasplatte im Detail	3
Abbildung 2: Messgerät, bestehend aus der Messkammer (blau) und dem Anzeigeelement (rot) [9]	4
Abbildung 3: Messgerät - geschlossene Messkammer - Abbildung 4: Messgerät - geöffnete Messkammer	4

$1 - \frac{E_{v, \text{ Glasplatte}}}{E_{v, \text{ leere Messkammer}}} \cdot 100 \leq 25\%$	Formel 1	3
---	--------------------------------	---

$A_i = \frac{E_{v, \text{ Kalibrierscheibe}}}{E_{v, \text{ Glasplatte}}}$	Formel 2	6
---	--------------------------------	---

$\text{Rußindex} = 100 \cdot \left(1 - \frac{E_{v, \text{ berußte Glasplatte}}}{E_{v, \text{ gereinigte Glasplatte}}} \right)$	Formel 3	6
---	--------------------------------	---

$\text{Rußindex pro Stunde} = \frac{\text{Rußindex}}{\text{Gesamtbrenndauer der Brennzyklen}}$	Formel 4	6
--	--------------------------------	---

$\text{Stundenverbrauch} = \frac{\text{Differenz Kerzengewicht vor und nach Abbrand}}{\text{Gesamtbrenndauer Brennzyklen und Vorbrennzyklen}}$	Formel 5	6
--	--------------------------------	---

Tabelle 1: Messung des Rußverhaltens von Haushaltskerzen aus Paraffin mit unterschiedlichen Dochten (Spalte "n" gibt die Zahl der getesteten Kerzen an)	7
Tabelle 2: Ergebnisse der DEKRA–Untersuchung zum Kerzenabbrand [11]	8

Methode zur Bestimmung des Rußindex

Keywords: Kerzen, Abbrand, Ruß

Zusammenfassung:

Vorgestellt wird eine Methode zur Bestimmung des Rußverhaltens von brennenden Kerzen. Der apparative Aufwand und die Kosten dieser Methode stehen in gutem Verhältnis zu den erzielten Ergebnissen. Sie kann sowohl für die Qualitätssicherung als auch für die Produktentwicklung eingesetzt werden.

1. Einleitung

Das für den Verbraucher sichtbarste Qualitätskriterium einer Kerze ist ihr Rußverhalten beim Abbrand. Die Entwicklung einer geeigneten Messmethode zur Bestimmung des Rußverhaltens steht deshalb im Mittelpunkt bei der Erarbeitung von Qualitätsstandards für Kerzen.

Bisher eingesetzte Methoden [1, 2, 3, 4, 5, 6] ließen sich nicht quantitativ auswerten, besaßen eine nicht ausreichende Reproduzierbarkeit oder waren durch hohen technischen Aufwand gekennzeichnet und deshalb ausschließlich für wissenschaftliche Untersuchungen geeignet.

Aufgrund dieser Situation bestand die Aufgabe darin, eine Methode zur Rußmessung beim Kerzenabbrand zu entwickeln, die sich durch einfache Durchführung, reproduzierbare Ergebnisse sowie geringe Kosten auszeichnet. Sie soll sowohl in der Produktentwicklung als auch in der Produktionskontrolle eingesetzt werden können und bis auf Mehrdochtkerzen für alle Kerzentypen, für die das Rußverhalten ein qualitätsrelevantes Kriterium ist, anwendbar sein.

2. Methode und Geräte

Die Bestimmung des Rußverhaltens von brennenden Kerzen erfolgt bei der vorgestellten Methode durch periodischen Abbrand der Kerze unter definierten Bedingungen. Während des Abbrands entstehender Ruß wird auf einer darüber befindlichen Glasplatte abgeschieden. Die Menge des Rußniederschlags wird durch Messung der Lichtschwächung in einer Messkammer quantifiziert.

3. Geräte

Die reproduzierbaren Bedingungen beim Kerzenabbrand werden durch den Abbrand in einem Brennkorb entsprechend Abbildung 1 erzielt.

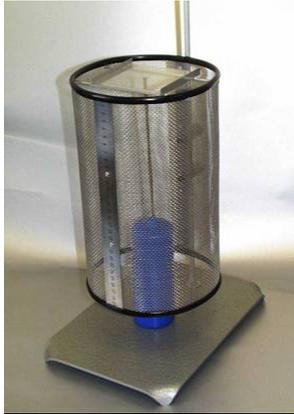


Abbildung 1: Brennkorb am Stativ und aufgelegte Glasplatte im Detail

Dieser Brennkorb besteht aus einem Drahtzylinder, dessen Ober- und Unterseite offen sind. An der Oberseite ist eine Halterung zur Aufnahme einer Glasplatte angebracht (Abb. 1). Die Mantelfläche besteht aus einem Drahtgeflecht mit einer offenen Fläche von 60 %.

Der Brennkorb ist an einer höhenverstellbaren Halterung angebracht, um bei der Messung den Abstand zwischen Kerze und Glasplatte einstellen zu können. Der Brennkorbdurchmesser muss mindestens das Dreifache des Kerzendurchmessers betragen, um einen Wärmestau und Turbulenzen während des Abbrands zu vermeiden. Um dies zu gewährleisten, gibt es zwei Brennkorbtypen mit 200 mm und mit 300 mm Durchmesser.

Teelichte werden in einem Prüfstövchen gemäß RALGZ 041 [7], Punkt 2-3.2, auf das die Glasplatte während des Brennzyklus gelegt wird, auf ihr Rußverhalten geprüft. Hierbei soll der maximale Abstand zwischen der Glasplatte und dem Teelicht 50 mm nicht überschreiten.

Die Rußabscheidung erfolgt auf hitzebeständigen Glasplatten, z.B. ROBAX® [8], deren Größe 10 x 10 cm und Stärke 3,5 – 4,5 mm betragen. Die nach Formel 1 bestimmte Eigenabsorption der Glasplatten soll aus Gründen der Messgenauigkeit 25 % nicht überschreiten.

$$1 - \frac{E_{v, \text{Glasplatte}}}{E_{v, \text{leere Messkammer}}} \cdot 100 \leq 25\%$$

Formel 1

E_v : Jeweils ermittelte Lichtintensität

Die einzelnen Lichtintensitäten E_v werden in dem nachfolgend beschriebenen Messgerät bestimmt.

Die zur Messung des Rußniederschlags eingesetzte Messkammer besteht aus einem Leuchtpult, einer Aufnahme für die Glasplatte, einem Deckel mit reflektierender Innenbeschichtung und einer im Deckel integrierten Photodiode, die mit einem Anzeigeelement verbunden ist (Abb. 2).

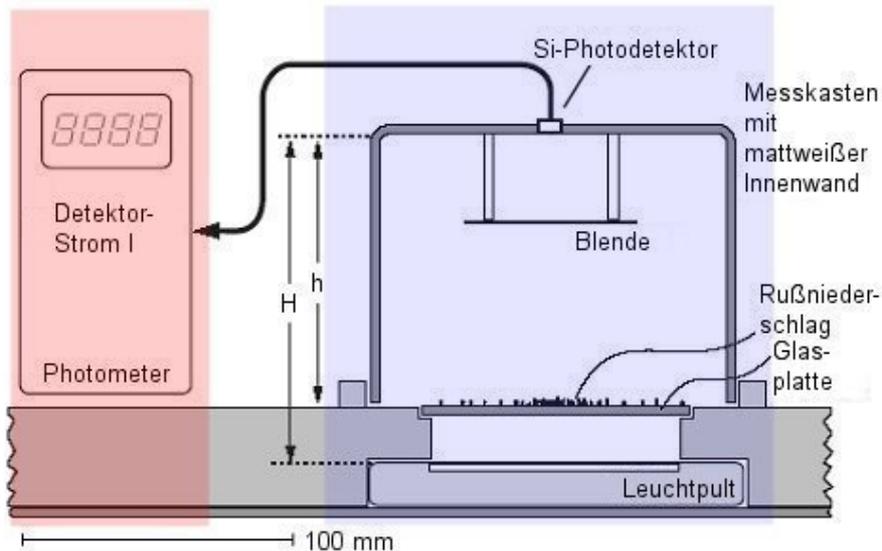


Abbildung 2: Messgerät, bestehend aus der Messkammer (blau) und dem Anzeigegerät (rot) [9]

Die Grundlagen für dieses Messverfahren sowie Aufbau und Funktion des Messgerätes sind in [9] detailliert beschrieben.

Die Lichtschwächung ist proportional zur Menge des abgeschiedenen Rußniederschlags. Die Anordnung der Einzelkomponenten des Messgerätes macht die Lichtschwächung unabhängig von der Verteilung des Rußniederschlags und der Größe der Rußpartikel [9]. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen Ansichten des Messgerätes.



Abbildung 3: Messgerät - geschlossene Messkammer



Abbildung 4: Messgerät - offene Messkammer

Weitere benötigte Hilfsmittel sind:

- Stoppuhr
- Waage mit 0,1 g Genauigkeit
- Lineal
- Fettlösendes handelsübliches Reinigungsmittel
- Papiertücher (fusselfrei)
- Schere
- Diamantschreibstift zur Beschriftung von Glasplatten
- geeigneter Kerzenhalter
- Podest zur Höheneinstellung

4. Aufbau des Gerätes

Für die Rußmessung wird der Brennkorb an einem vor Zugluft geschützten Ort auf einer ebenen Fläche aufgebaut. Die Temperatur des Prüfraumes soll zwischen 15 und 25 °C liegen.

5. Messdurchführung

Die zu untersuchende Kerze wird gemäß RALGZ 041 auf den Abbrandtest vorbereitet, wobei der Docht aufgerichtet und gegebenenfalls gekürzt wird. Die Kerze ist mittig im Brennkorb zu positionieren. Die Dimensionen und das Gewicht der Kerze werden bestimmt und protokolliert.

Vor Beginn der festgelegten Brennzyklen muss der Abstand zwischen der Oberkante der Kerzenbrennschüssel und der Glasplatte auf 20 cm eingestellt werden. Die Position des Brennkorbs kann mit Hilfe der Stellschraube verändert und fixiert werden. Wird der Abstand überschritten, wird er vor dem nachfolgenden Brennzyklus neu eingestellt. Um den Abbrand der Kerze nicht zu stören, soll zwischen dem unteren Brennkorbbrand und der Unterlage ein offener Spalt von mindestens 5 cm verbleiben. Wird dieser Wert unterschritten, muss die Kerze, z. B. durch ein Podest, in eine höhere Position gebracht werden. Um einen ungestörten Luftaustausch zu gewährleisten, müssen mindestens zwei Drittel der unteren Öffnungsfläche des Brennkorbs frei sein. Eine saubere Glasplatte wird in die Halterung des Brennkorbs gelegt. Das Teelicht wird in das Stövchen entsprechend RALGZ 041, Punkt 2-3.2 gestellt, wobei die saubere Glasplatte mittig auf dem Stövchen zu platzieren ist.

Der Abbrand der Kerzen erfolgt für verschiedene Kerzentypen nach definierten Brennzyklen. Für deren Festlegung ist dabei zwischen Produktentwicklung und Qualitätskontrolle zu unterscheiden. Bei der Produktentwicklung muss der gesamte Lebenszyklus einer Kerze mit all seinen verschiedenen Brennphasen und deren spezifisches Rußverhalten [10] betrachtet werden. Im Rahmen der Qualitätskontrolle kann der Brennzyklus so ausgeführt werden, wie es die Sicherstellung der Qualität erfordert.

Die Start- und Endzeiten der angegebenen Brennzyklen, Pausen und Vorbrennzyklen werden protokolliert.

Bei zu starker Rußentwicklung kann die Messung vorzeitig abgebrochen werden.

Die Vorbrennzyklen und die Löschvorgänge werden ohne Brennkorb durchgeführt. Die Phasen des Einbrennens und Verlöschens (Nachglühens) lassen sich nicht im vollen Umfang reproduzierbar gestalten und führen zu einer Beeinflussung der Messwerte, die eine vergleichende Betrachtung erschwert.

Zur Ermittlung des Stundenverbrauchs nach Formel 5 muss das Gewicht der Kerze nach dem Abbrand bestimmt und protokolliert werden.

6. Kalibrierung und Bestimmung des Rußindexes

Das Leuchtpult benötigt eine Einbrennzeit von ca. 30 Minuten bevor mit der Messung begonnen werden kann [9].

Um die Genauigkeit der Messungen zu gewährleisten, muss das Messgerät täglich überprüft werden. Zur Durchführung der Kalibrierung ist vor der ersten Benutzung des Messgeräts die Lichtstärke ohne Glasplatte ($E_{v,0}^*$) zu bestimmen und zu protokollieren.

Die Messung der Lichtstärke des Leuchtpults erfolgt ohne Glasplatte ($E_{v,0}$). Dieser Wert soll nicht weniger als 50 % des Wertes des Neugerätes ($E_{v,0}^*$) betragen. Anderenfalls ist das Leuchtpult zu tauschen.

Die Prüfung der Absorption der inneren Oberflächen des Messgerätes (A_i) erfolgt durch vergleichende Messung der Lichtstärken mit Glasplatte ($E_{v, \text{Glasplatte}}$) und mit Glasplatte plus Kalibrierscheibe ($E_{v, \text{Kalibrierscheibe}}$) und wird nach Formel 2 berechnet. Die Kalibrierscheibe besteht aus einem dunklen Neutralglas (Typ Schott NG4) mit 20 x 20 mm Kantenlänge und einer Dicke von 2,36 mm.

$$A_i = \frac{E_{v, \text{Kalibrierscheibe}}}{E_{v, \text{Glasplatte}}}$$

Formel 2

Weicht der A_i -Wert nach Formel 2 mehr als 10 % vom A_i -Wert des Neugerätes ab, muss der Hersteller kontaktiert werden. Das Messgerät ist nicht mehr einzusetzen.

Nach der Prüfung wird die berußte Glasplatte mit der berußten Seite nach oben innerhalb der Begrenzungen auf dem Leuchtpult platziert, die Abdeckung geschlossen und die Lichtstärke gemessen ($E_{v, \text{berußte Glasplatte}}$). Nachfolgend wird die Glasplatte mit Wasser, Spülmittel und einem weichen Tuch gereinigt und anschließend mit einem fusselreifen Papiertuch getrocknet.

Die gereinigte Glasplatte wird in die Messkammer gelegt und die Lichtstärke ($E_{v, \text{gereinigte Glasplatte}}$) ebenfalls gemessen.

Der Rußindex berechnet sich nach Formel 3.

$$\text{Rußindex} = 100 \cdot \left(1 - \frac{E_{v, \text{berußte Glasplatte}}}{E_{v, \text{gereinigte Glasplatte}}} \right)$$

Formel 3

Wird der Rußindex mit der Gesamtbrenndauer der Brennzyklen ins Verhältnis gesetzt, ergibt sich gemäß Formel 4 der Rußindex pro Stunde.

$$\text{Rußindex pro Stunde} = \frac{\text{Rußindex}}{\text{Gesamtbrenndauer der Brennzyklen}}$$

Formel 4

Die Differenz des Kerzengewichts vor und nach dem Abbrand wird mit der Gesamtbrenndauer der Brennzyklen und Vorbrennzyklen zur Bestimmung des Stundenverbrauchs gemäß Formel 5 ins Verhältnis gesetzt.

$$\text{Stundenverbrauch} = \frac{\text{Differenz Kerzengewicht vor und nach Abbrand}}{\text{Gesamtbrenndauer Brennzyklen und Vorbrennzyklen}}$$

Formel 5

7. Bewertung

Als Bewertungskriterium für brennende Kerzen wird der Rußindex pro Stunde nach Formel 4 herangezogen. Innerhalb der Entwicklungsphase der vorliegenden Methode wurden Messungen des Rußverhaltens von Kerzen durch Kerzenhersteller, Handelsunternehmen, Prüfinstitute und Rohstofflieferanten durchgeführt. Als Ergebnis dieser Testreihen wurden für die Beurteilung des Rußverhaltens von brennenden Kerzen erste Grenzwerte erarbeitet. Bis zu einem Rußindex pro Stunde von 1 tritt keine sichtbare Rußabgabe der Flamme auf. Bei einem Wert oberhalb von 1,5 rußt die Flamme, zumindest kurzzeitig, sichtbar. Die genaue Festlegung eines akzeptierbaren Grenzwertes ist unter Berücksichtigung aller Faktoren in den entsprechenden technischen Fachgremien zu treffen.

8. Prüfbericht

Nach der Prüfung wird zur Dokumentation der Ergebnisse ein Prüfbericht erstellt. Der Prüfbericht soll Angaben über die Messbedingungen, den Prüfer, die einzelnen Messabschnitte, die geprüfte Kerze und die Messergebnisse sowie eine Bewertung enthalten. Dieser ermöglicht eine durchgehende Verfolgung der Qualität während des Herstellungsprozesses. Weiter können im Rahmen der Produktentwicklung eine Überprüfung des Rußverhaltens und ein Vergleich mit früheren Entwicklungsarbeiten erfolgen.

9. Ergebnisse und Diskussion

Mit der oben beschriebenen Methode zur Ermittlung des Rußverhaltens von Kerzen wurden Haushaltskerzen getestet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Nr.	Kerzentyp	n	Länge	Durchmesser	Masse	mittlerer Stundenverbrauch	Rußindex	Rußindex pro Std.
			[mm]	[mm]	[g]	[g/h]	[-]	[1/h]
1	Haushaltskerze	4	230	22	77	8,81	40	10
2	Haushaltskerze	8	230	22	77	8,19	16	4
3	Haushaltskerze	4	230	22	77	7,66	2	0,5

Tabelle 1: Messung des Rußverhaltens von Haushaltskerzen aus Paraffin mit unterschiedlichen Dochten (Spalte "n" gibt die Zahl der getesteten Kerzen an).

Die getesteten Kerzen zeigten unterschiedliches Brennverhalten.

Die Ergebnisse zeigen, dass die einen höheren Stundenverbrauch aufweisenden Kerzen der Messreihen 1 und 2 deutlich höhere Rußindizes aufweisen als die Kerzen mit einem niedrigeren Stundenverbrauch (Messreihe 3).

Diese Ergebnisse decken sich mit denen einer Untersuchung bei der DEKRA Umwelt GmbH über den Abbrand von Paraffinkerzen [11]. In dieser wurden die beim Kerzenabbrand freigesetzten Emissionen und die Rußindizes von unterschiedlichen Kerzen ermittelt und korreliert (Tabelle 2). Die Ergebnisse dieser Studie zeigen darüber hinaus, dass die beim Abbrand von zwei rußarm brennenden Kerzen über acht Stunden in einem 40 m³ fassenden Raum ohne Luftwechsel abgegebenen Emissionen weit unterhalb der für Innenräume zugelassenen Zielwerte liegen.

Parameter	Rußverhalten		
	rußarm	schwach rußend	rußend
Kondensat [mg/kg Kerze]	0,005 – 0,1	0,1 – 0,5	0,5 – 4,0
ges. org. Kohlenstoff [$\mu\text{g/g}$ Kerze]	1 – 50	50 – 250	250 – 2000
elem. Kohlenstoff [$\mu\text{g/g}$ Kerze]	0,5 – 30	30 – 150	150 – 1500
PAK [ng/g Kerze]	< 5 – 30	30 – 1080	1080 – 33870
Restparaffine [ng/g Kerze]	0,4	23	114
Aromaten [$\mu\text{g/g}$ Kerze]	< 0,1	43	79
Aldehyde [$\mu\text{g/g}$ Kerze]	5	4	3
Rußindex	0,5 – 2,0	2 – 30	30 – 100
Gesamtbrenndauer [Std.]	2	2	max. 2

Tabelle 2: Ergebnisse der DEKRA–Untersuchung zum Kerzenabbrand [11]

Bei den Abbrandversuchen konnten ausschließlich Aldehyde, Alkane und Aromaten in geringen Mengen nachgewiesen werden. Eine rußarm brennende Kerze emittiert dabei maximal ein Fünftel des TVOC-Zielwerts. Polyaromatische Kohlenwasserstoffe konnten bei rußarm brennenden Kerzen nicht nachgewiesen werden [11].

9. Zusammenfassung

Die vorgestellte Methode zur Bestimmung des Rußindex wurde zur Prüfung des Abbrandverhaltens von Kerzen entwickelt. In der Produktion sichert ihr Einsatz die Einhaltung von Qualitätsstandards. Bei der Produktentwicklung kann mit ihr die optimale Abstimmung von Docht und Brennmasse mit all ihren Bestandteilen vorgenommen werden. Die eingesetzten Apparate und Hilfsmittel zeichnen sich durch einfache Handhabung, Robustheit und günstige Kosten aus*.

Während festgelegter Brennzyklen wird der entstehende Kerzenruß auf einer Glasplatte niedergeschlagen. Die Bestimmung der Rußmenge erfolgt über die Messung der relativen Schwächung des diffusen Lichts in einer Messkammer. Mittels dieser Lichtschwächung berechnet man die zwei Kennzahlen Rußindex und Rußindex pro Stunde, die zur Bewertung des Abbrandverhaltens herangezogen werden. Eine Korrelation zwischen diesen Kennzahlen und auftretenden Rußemissionen beim Kerzenabbrand ist von der DEKRA Umwelt GmbH als unabhängiges Prüfinstitut durchgeführt worden und zeigt eine gute Übereinstimmung zu den empirisch ermittelten Bewertungskriterien.

10. Literatur

- [1] Candle Test; IKEA Deutschland GmbH & Co KG, 61759 Hofheim – Wallau, 24.03.1998.
- [2] Kerzen Gütesicherung RALGZ 041, RAL Deutsches Institut für Normung und Kennzeichnung e.V., St. Augustin, 1997.
- [3] ASTM, Draft of Standard Test Methods for the Collection and analysis of visible emissions from candles as they burn, National Candle Association Spring Meeting, Baltimore, 06.04.2001.
- [4] K.-H. Schwind, J. Hosseinpour, H. Fiedler, C. Lau, O. Hutzinger; Bestimmung und Bewertung der Emission von PCDD/PCDF, PAK und kurzkettigen Aldehyden in Brandgasen von Kerzen; UWSF-Z Umweltchem. Ökotox. 6 (5) 243-246 (1994).
- [5] G. Grimmer; Untersuchungsbericht „ Rußabgabe-Bestimmung von Kerzen“, Biochemisches Institut für Umweltcarcinogene, 22927 Großhansdorf, 09.01.1989.
- [6] DIN 51402, Teil 1 „Prüfung der Abgase von Ölfeuerungen; Visuelle und photometrische Bestimmung der Rußzahl“; Oktober 1986.
- [7] Allgemeine Güte- und Prüfbestimmungen für Kerzen; Gütegemeinschaft Kerzen e.V.; Kerzen Gütesicherung RAL-GZ 041, Stuttgart 1997.
- [8] ROBAX®: Gläser mit niedrigem thermischen Ausdehnungskoeffizienten, Technische Daten: www.Schottglas.de; Schottglas, D-55122 Mainz.

- [9] M. Matthäi, N. Petereit, R. Ulrich, Bestimmung des Rußverhaltens von Kerzen in der Produktionskontrolle, Seifen Öle Fette Wachse, Heft 12/2003, S. 74-80
- [10] A. Schönbacher; Voruntersuchungen zu Anwendung moderner optischer Messmethoden im Hinblick auf das windabhängige Rußverhalten von Kerzenflammen; Institut für Technische Chemie, Universität Stuttgart, 1987.
- [11] R. Ackermann, Untersuchungsbericht über den Abbrand von Paraffinkerzen, DEKRA Umwelt GmbH, Labor für Umweltschutz und Produktanalytik, 70565 Stuttgart, 30.04.2003

* **Bestelladresse für Rußmessapparatur:**

HEIL METALLE GmbH
Nikolaus-Ehlen-Straße 21
D-45475 Mülheim

Tel.: (02 08) 7 50-812
Fax: (02 08) 7 56-766