

1	EINLEITUNG.....	4
2	ROH- UND ZUSATZSTOFFE DER KERZENHERSTELLUNG	6
2.1	ROHSTOFFE	6
2.1.1	<i>Paraffin.....</i>	7
2.1.2	<i>Bienenwachs.....</i>	8
2.1.3	<i>Stearin</i>	9
2.1.4	<i>Gehärtete Fette.....</i>	11
2.1.5	<i>Rohstoffe im Vergleich</i>	11
2.2	ZUSATZSTOFFE	12
2.3	DOCHT.....	12
3	BEGRIFFSBESTIMMUNG, KLASSIFIZIERUNG UND ABBRANDVERHALTEN VON KERZEN . 13	
3.1	DEFINITION KERZE	13
3.2	QUALITATIVE KLASSIFIZIERUNG VON KERZEN	14
3.3	PROZESSE IN DER KERZENFLAMME	16
3.3.1	<i>Grundlagen des Verbrennungsvorganges</i>	17
3.3.2	<i>Flammenzonen.....</i>	17
3.3.3	<i>Verbrennungsvorgang.....</i>	19
4	AUFBAU VON QUALITÄTSNORMEN	20
4.1	TECHNISCHE PARAMETER	21
4.2	GESUNDHEITS-/UMWELTSCHUTZ	23
4.2.1	<i>Reinheit und Unbedenklichkeit der eingesetzten Materialien</i>	23
4.2.2	<i>Verbrennungsprodukte</i>	25
4.3	SICHERHEIT/GEFÄHRDUNG.....	26
4.4	PIKTOGRAMME	29
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	31
6	LITERATUR	33
7	ANHANG 1	35
	SPURENSTOFFE IN EINGESETZTEN KERZENMATERIALEN.....	35
7.1	SCHWEFEL	36
7.2	POLYZYKLISCHE AROMATISCHE KOHLENWASSERSTOFFE (PAK).....	36
7.3	LÖSEMITTEL	36
7.4	HALOGENORGANISCHE VERBINDUNGEN	36
7.5	AROMATISCHE AMINE	37
7.6	NITROMOSCHUS- UND POLYCYCLISCHE MOSCHUSVERBINDUNGEN.....	37
7.7	SCHWERMETALLE (Z. B. BLEI).....	37
8	ANHANG 2	38
	BETRACHTUNGEN ZU DEN VERBRENNUNGSPRODUKTEN.....	38
8.1	KOHLENMONOXID	39
8.2	ALDEHYDE, KETONE: Z. B. ACROLEIN (PROPENAL)	40
8.3	DIOXINE (LILA KERZEN).....	41
8.4	POLYZYKLISCHE AROMATISCHE KOHLENWASSERSTOFFE (PAK).....	41
8.5	SCHWERMETALLE/BLEIVERBINDUNGEN.....	42
8.6	STICKOXIDE NOX.....	43
8.7	SCHWEFELOXIDE SOX	43
8.8	RUB.....	43
9	ANHANG 3	44
	STUDIEN ZUR BESTIMMUNG UND BEWERTUNG VON KERZENEMISSIONEN.....	44

ABBILDUNG 1: STIMMUNGSVOLLE ATMOSPHERE BEI KERZENSCHNITT.....	5
ABBILDUNG 2: RAL-GÜTEZEICHEN.....	6
ABBILDUNG 3: ROHSTOFFE DER KERZENHERSTELLUNG.....	6
ABBILDUNG 4: ANTEIL KERZENROHSTOFFE.....	7
ABBILDUNG 5: PARAFFIN; BEISPIELE CHEMISCHER STRUKTUREN.....	7
ABBILDUNG 6: BIENENWACHS; CHEMISCHE STRUKTUREN, SUMMENFORMEL.....	9
ABBILDUNG 7: STEARIN; CHEMISCHE STRUKTUR.....	10
ABBILDUNG 8: GEHÄRTETES FETT/CHEMISCHE STRUKTUR.....	11
ABBILDUNG 9: DOCHTFLECHTMASCHINE.....	13
ABBILDUNG 10: ZEICHNUNG NACH W. HOGARTH (1697-1764) [9].....	13
ABBILDUNG 11: KERZENVIELFALT.....	14
ABBILDUNG 12: KLASSIFIZIERUNG KERZEN.....	16
ABBILDUNG 13: M. FARADAY (1791-1867).....	16
ABBILDUNG 14: FLAMMENZONEN.....	18
ABBILDUNG 15: KETTENABBAUMECHANISMUS IN DER FLAMME.....	19
ABBILDUNG 16: SICHTBARE QUALITÄTSKRITERIEN.....	22
ABBILDUNG 17: QUALITÄTSKRITERIEN KERZE (ABBRAND).....	22
ABBILDUNG 18: BILDUNG EINES ZWEITEN DOCHTES DURCH ABFALLENDEN BUTZEN.....	28
ABBILDUNG 19: IR-AUFNAHME DIREKT NEBENEINANDER STEHENDER KERZEN.....	29
ABBILDUNG 20: ABRAND- EINFLUSSFAKTOREN.....	30
ABBILDUNG 21: PIKTOGRAMME.....	31
ABBILDUNG 22: VORSCHLAG EUROPÄISCHES GÜTEZEICHEN.....	32
ABBILDUNG 23 : REAKTIONSPARAMETER DES BOUDOUARD-GLEICHGEWICHTES.....	39
ABBILDUNG 24: ABFANGEN VON ALLYL-RADIKALEN DURCH SAUERSTOFF UNTER ENTSTEHUNG VON ACROLEIN.....	40
ABBILDUNG 25: ENTSTEHUNG VON POLYACETYLENEN UND AROMATEN AUS ACETYLEN.....	42
TABELLE 1: AUFBAU EINER QUALITÄTSNORM FÜR KERZEN.....	21
TABELLE 2: KRITISCHE SPURENSTOFFE IN KERZEN.....	24
TABELLE 3: UNERWÜNSCHTE STOFFE BEIM KERZENABBRAND.....	26
TABELLE 4: SPURENSTOFFE BEIM KERZENABBRAND.....	35
TABELLE 5: VERBRENNUNGSPRODUKTE.....	39

Die Qualitätskerze



Dr. Michael Matthäi
Dr. Norbert Petereit

Hamburg, den 01. September 2003

DIE QUALITÄTSKERZE

Keywords:

Kerze, Qualitätsanforderungen, Verbrennungsprodukte

Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel beschreibt die für die Kerzenherstellung verwendeten Roh- und Zusatzstoffe und erläutert den Verbrennungsvorgang in der Kerzenflamme. Ausgehend von der Definition und Klassifizierung von Kerzen werden die Kriterien dargelegt, die für einen sicheren und in Bezug auf Mensch und Umwelt unbedenklichen Umgang mit Kerzen entscheidend sind. Daraus abgeleitet werden Aufbau und Inhalt einer notwendigen europäischen Qualitätsnorm für Kerzen.

1 Einleitung

Kerzen begleiten die Menschheit seit über 2.000 Jahren. Neben ihrer liturgischen Bedeutung dienten sie vor allem als Lichtquelle und stellten in ihrer frühen Entwicklungsgeschichte die bessere Alternative zum Kienspan – der Span von stark verharztem Kiefernholz – dar.

Eng verbunden mit der über 2.000jährigen Entwicklungsgeschichte der Kerze ist auch das Bemühen, ihre Qualität zu verbessern. Etwa Mitte des 2. Jh. n. Chr. waren bei den Römern Bienenwaxkerzen so weit entwickelt, dass sie in einem geschlossenen Raum ohne lästiges, übermäßiges Rußen brennen konnten. Bienenwaxkerzen zeigten deutliche Vorteile gegenüber Talg- und Unschlittkerzen. Letztere hatten einen ranzigen Geruch und qualmten und rußten beim Abbrand.

Es dauerte letztlich bis Mitte des 19. Jahrhunderts, bis mit Stearin und Paraffin neben Bienenwax weitere qualitativ hochwertige Rohstoffe für die Kerzenherstellung bereitstanden. In den gleichen Zeitraum fallen entscheidende Verbesserungen des Doctes, insbesondere dessen Flechtung und chemische Präparation. Damit waren weitere Voraussetzungen für gut brennende Kerzen geschaffen und Goethes Wunschtraum *"wüsste nicht, was sie besseres erfinden könnten, als dass die Lichter ohne Butzen brennen"* in Erfüllung gegangen [1].



Abbildung 1: Stimmungsvolle Atmosphäre bei Kerzenschein

Foto: Agentur Grimm

Der Mythos der Kerze wirkt bis in unsere heutige Zeit, obwohl uns seit der Erfindung und Einführung des elektrischen Lichts eine große Vielfalt unterschiedlichster Beleuchtungskörper zur Verfügung steht. Trotzdem sind gerade in unserer Zeit die festlich gedeckte Tafel, die gemütliche Kaffeerunde und die romantisch-stimmungsvollen Stunden oft mit dem Licht einer Kerze verbunden (Abbildung 1). Voraussetzung zum Genießen dieser Stunden ist eine gut und ohne Rußabgabe brennende Kerze. Rußen und Tropfen sind entscheidende Qualitätskriterien des Verbrauchers zur Beurteilung einer Kerze.

Darüber hinaus wird in unserer heutigen, vom Umweltbewusstsein geprägten Zeit natürlich auch das Produkt Kerze in die Diskussion um die Belastung von Mensch und Natur durch mögliche Schadstoffe einbezogen. Der Verbraucher von heute hat ein Recht auf qualitativ hochwertige Produkte, deren Verwendung kein Risiko für Mensch und Umwelt darstellt.

In der Vergangenheit und Gegenwart geführte Diskussionen über mögliche Schadstoffe in den eingesetzten Kerzenmaterialien sowie über sich bildende, gesundheitsgefährdende Emissionen beim Kerzenabbrand haben *teilweise* zu einer Verunsicherung der Verbraucher geführt. Nationale und internationale Kerzenverbände haben deshalb zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen an renommierte, unabhängige Umweltinstitute in Auftrag gegeben, in deren Ergebnis die Unbedenklichkeit qualitativ hochwertiger Kerzen bestätigt wurde [2, 3, 4, 5].

Handwerkliche Tradition, Ausbildung und Weitergabe der Erfahrungen garantieren die Herstellung qualitativ hochwertiger Kerzen in Kerzenfachbetrieben.

Auch bei der industriellen Kerzenherstellung wird die Qualität der Kerzen fachkundig geprüft und ständig überwacht. So hat der Verband Deutscher Kerzenhersteller e. V. für die Qualität von Kerzen sowie die eingesetzten Roh- und Hilfsstoffe festgelegt und die gestellten Anforderungen im RAL-Gütezeichen Kerze zusammengefasst [6]. Qualitätsnormen gewinnen nicht nur in Deutschland, sondern auch im europäischen Ausland zunehmend an Bedeutung. Sichtbarer Ausdruck geprüfter Qualität ist das Gütezeichen Kerzen (Abbildung 2).



Abbildung 2: RAL-Gütezeichen

2 Roh- und Zusatzstoffe der Kerzenherstellung

2.1 Rohstoffe

Kerzen bestehen aus einem oder mehreren Dochten und sind von einer festen Brennmasse - dem Wachs - umgeben, ein Sammelbegriff für verschiedene Produkte mineralischen, tierischen oder pflanzlichen Ursprungs, welche eine Reihe gemeinsamer physikalischer Eigenschaften besitzen (Abbildung 3).

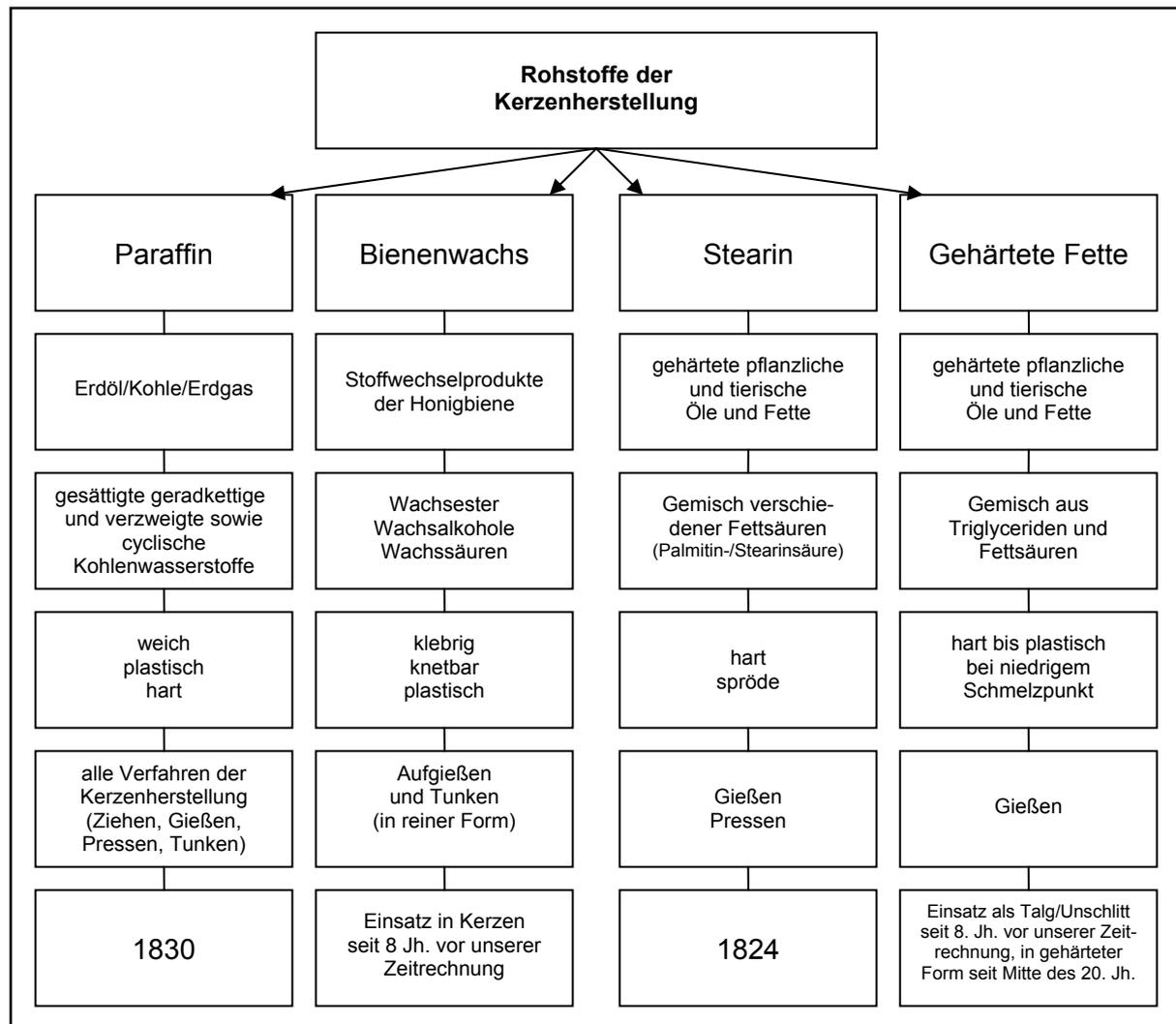


Abbildung 3: Rohstoffe der Kerzenherstellung

Betrachten wir die heutige Kerzenherstellung, so werden im Wesentlichen Paraffin, Stearin und Bienenwachs als Brennmasse eingesetzt. Darüber hinaus finden gehärtete Pflanzenöle, feste Pflanzenfette und Fette tierischen Ursprungs in Stundenbrennern, Öllichten und Kompositionsöllichten Verwendung. Unter den Begriffen "natürlich" und "nachwachsend" werden gehärtete Fette heute in zunehmendem Maße für die Kerzenherstellung eingesetzt.

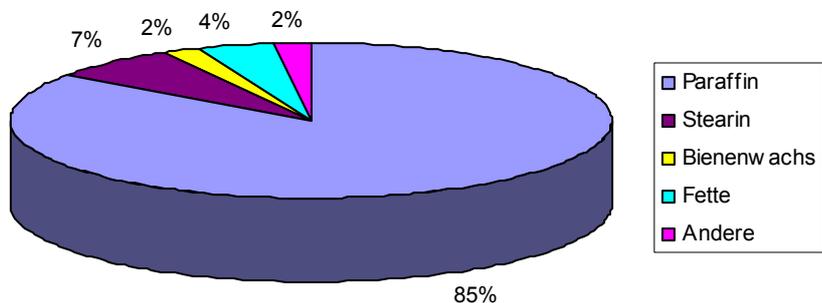


Abbildung 4: Anteil Kerzenrohstoffe

Preis und Verfügbarkeit der Rohstoffe, ihre Verarbeitbarkeit auf den bestehenden Kerzenmaschinen sowie die Beeinflussung der Produkt- und Gebrauchseigenschaften (z.B. Abbrand) entscheiden letztlich über ihren Einsatz in der modernen Kerzenproduktion.

2.1.1 Paraffin

Paraffinwachs ist ein komplex zusammengesetztes Gemisch von bei Raumtemperatur festen Kohlenwasserstoffen wachsartiger Konsistenz. Wir unterscheiden dabei zwischen geradkettigen, verzweigten und alkylsubstituierten, cyclischen Kohlenwasserstoffen. Neben der Gewinnung aus Erdöl können Paraffine auch synthetisch durch die Fischer-Tropsch-Synthese hergestellt werden. Die für die heutige Kerzenproduktion eingesetzten Paraffine werden überwiegend aus dem fossilen Rohstoff Erdöl gewonnen.

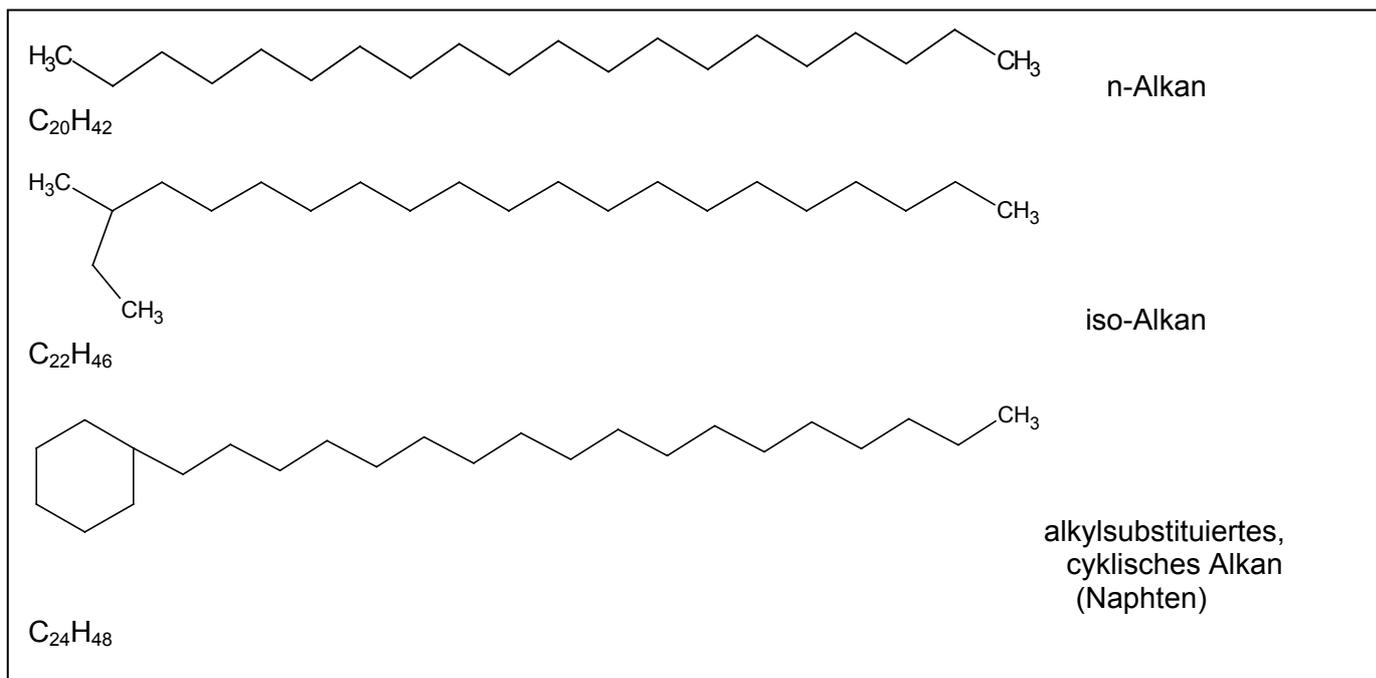


Abbildung 5: Paraffin; Beispiele chemischer Strukturen

Bei der Destillation der Rohöle werden – entsprechend ihrer unterschiedlichen Siedepunkte – verschiedene Destillationsfraktionen herausgetrennt, aus denen die Paraffingatsche gewonnen werden. Mit Hilfe aufwändiger nachgeschalteter Verfahrensstufen – Filtration, Entölung, Hydorraffination – erfolgt ihre Aufarbeitung zu hochreinen Paraffinen.

Diese ausraffinierten Paraffine unterliegen einer ständigen Qualitätskontrolle und sind aus toxikologischer Sicht unbedenklich. Ihre umweltverträglichen Eigenschaften sind charakterisiert durch biologische Abbaubarkeit sowie fehlende ökotoxische und akkumulierende Eigenschaften.

Die Erstarrungspunkte der für die Kerzenherstellung gebräuchlichen Paraffine liegen zwischen 45 °C und 70 °C. Weitere wichtige Unterscheidungskriterien sind Härte, Ölgehalt und Viskosität.

Aufgrund ihrer chemisch-physikalischen Eigenschaften sind Paraffine für alle Kerzenherstellungsverfahren geeignet.

In enger Zusammenarbeit zwischen Wachszieher und Paraffinproduzent können durch Rohstoffauswahl und Steuerung der Anlagen die für den jeweiligen Anwendungsfall – Kerzentyp und Herstellungsverfahren – geeigneten Paraffine hergestellt werden.

2.1.2 Bienenwachs

Bienenwachs – als ältester Kerzenrohstoff – ist ein Stoffwechselprodukt der Honigbiene. Das Wachs wird an der Bauchseite der 'Baubienen' ausgeschieden und zum Wabenbau eingesetzt. Die Farbe und den angenehmen Geruch bekommt das Bienenwachs im Laufe der Zeit durch Kontakt mit Honig und Pollen. Naturgemäß steht dieser Rohstoff nur begrenzt zur Verfügung.

Bienenwachs besteht aus einem Gemisch von

70 %	Estern langkettiger Wachsalkohole (C24/C44) mit Säuren (C16/C18)
13-18 %	Kohlenwasserstoffen (C25-C35)
10-15 %	freien Wachssäuren (C24-C32)
1 %	freien Wachsalkoholen (C34-C36)

(Abbildung 6). Der Schmelzpunkt des Bienenwachses liegt bei ca. 65 °C. Weitere Kennzahlen sind die Säurezahl (17-24 mg KOH/g), die Verseifungszahl (87-104 mg KOH/g) sowie die Esterzahl (70-80 mg KOH/g). Seine Farbe schwankt von gelb über hell- und dunkelgrün bis rotgelb und dunkelbraun. Es besitzt einen stumpfen, muscheligen, feinkörnigen Bruch, leichte Knetbarkeit, große Plastizität und ist in der Wärme deutlich klebrig.

Ausgangsprodukte für die Herstellung von Stearin sind tierische bzw. pflanzliche Fette und Öle. Als pflanzlicher Rohstoff ist vorrangig Palmöl zu nennen.

Tierische Rohstoffe sind hauptsächlich Rinder- und Schweinetalg, seltener Fischöl oder Fischfett.

Die Kerzenhersteller setzen heute vorwiegend pflanzliche Stearine ein.

In den Ausgangsrohstoffen liegen die Fettsäuren gebunden an Glycerin vor. Diese Triglyceride werden in einem kontinuierlichen Verfahren in Gegenwart von Wasser in Fettsäuren und Glycerin gespalten. Nach Abtrennung der Glycerinanteile werden die Spaltsäuren durch die Verfahrensstufen Trennung, Hydrierung und fraktionierte Destillation in die verschiedenen technischen Stearingemische überführt. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Stearintypen im Wesentlichen durch ihr Verhältnis von Palmitinsäure zu Stearinsäure (Abbildung 7).

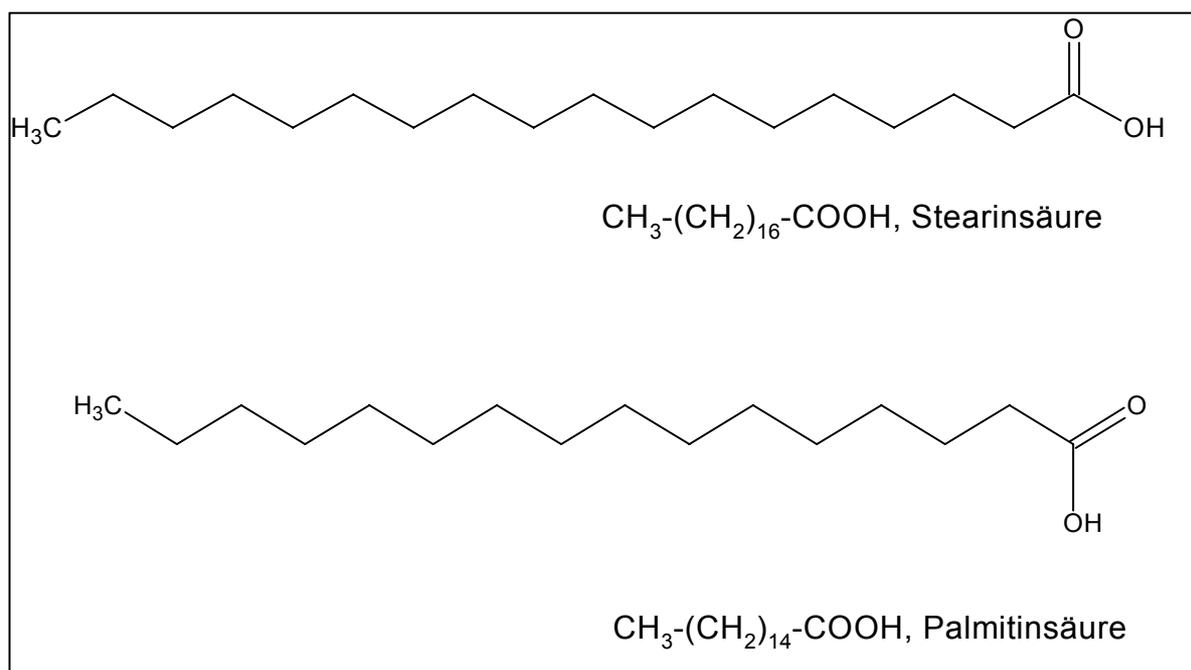


Abbildung 7: Stearin; chemische Struktur

In Abhängigkeit von diesem Palmitinsäure-Stearinsäure-Verhältnis besitzen die Stearine ein unterschiedliches Kristallisationsverhalten (makro- und mikrokristalline Strukturen). Kontraktion und die Bildung dekorativer Oberflächeneffekte sind dadurch bedingte anwendungstechnische Eigenschaften.

Der Erstarrungspunkt liegt im Bereich von 52 °C bis 60 °C. Weitere wichtige Kennzahlen sind die Säure-, Verseifungs- und Jodzahl sowie der Anteil an Unverseifbarem.

Eine Besonderheit der Stearine besteht darin, dass Erweichungs- und Schmelzpunkt nahezu identisch sind (bei Paraffinen liegen beide Punkte ca. 15 °C auseinander). Darauf ist u. a. auch die sehr gute Temperaturstabilität von Stearinkerzen zurückzuführen.

Die fehlende Plastizität bedingt, dass reine Stearinkerzen bisher vorwiegend im Gießverfahren hergestellt wurden. Mit der Weiterentwicklung der Kerzen-Herstellungstechnologien gelingt es mehr und mehr, auch gepresste Stearinkerzen herzustellen.

2.1.4 Gehärtete Fette

Natürliche Fette und Öle bestehen aus Gemischen von Triglyceriden mit unterschiedlichen Fettsäuren (Abbildung 8). Je nach der Kettenlänge dieser Fettsäuren und ihrem Sättigungsgrad (gesättigt, ein- oder mehrfach ungesättigt) handelt es sich um feste, halbfeste oder ölige Substanzen.

Talg wurde bereits sehr früh für die Herstellung von Kerzen eingesetzt. Die damaligen Verfahren zur Herstellung von Talg führten zu qualitativ schlechten Kerzen (Rußen, Tropfen, Geruchsbelästigung). Deshalb wurde Talg Mitte des 19. Jahrhunderts sehr rasch durch Paraffin bzw. Stearin verdrängt. Mit der technologischen Weiterentwicklung der Aufbereitungsverfahren für Talg werden heute Produkte erhalten, die zunehmend an Bedeutung in der Kerzenindustrie gewinnen. In erster Linie ist auch hier das gehärtete Palmöl zu nennen, das nach Auspressen, Entfernen der Schleimstoffe und anschließender Hydrierung (Fetthärtung) in weiße, teilweise sehr harte Produkte überführt werden kann. Nach der Hydrierung ist eine weitere Aufspaltung in verschiedene Fraktionen möglich. Eine so gewonnene Palmölfraction mit einem Erstarrungspunkt zwischen 45 °C und 48 °C bezeichnet man, obwohl es sich um ein Fett handelt, als Palmstearin.

Typische Kenndaten der Fette sind der Erstarrungs- bzw. Schmelzpunkt, die Verseifungszahl, die Jodzahl sowie die Härte und Viskosität.

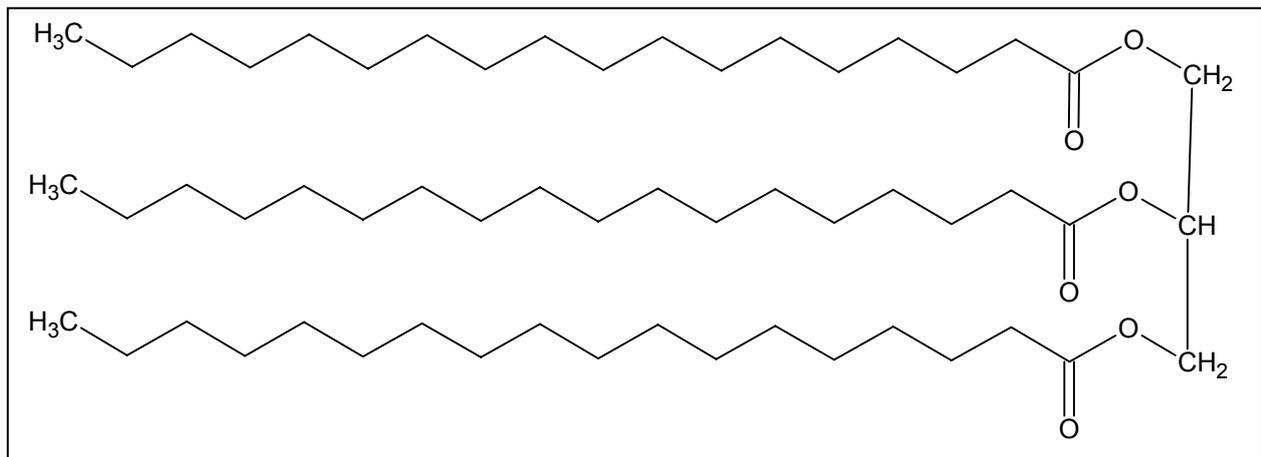


Abbildung 8: Gehärtetes Fett/chemische Struktur

Neben dem Einsatz im kirchlichen Bereich (Grablichter, Ölkompositionslichte) werden gehärtete pflanzliche Fette mehr und mehr auch in Kerzen für den Abbrand in Innenräumen eingesetzt. Insbesondere aufgrund ihres hohen Duftbindevermögens werden gehärtete Fette u. a. in hochparfümierten Gläserkerzen verwendet.

2.1.5 Rohstoffe im Vergleich

Alle Hauptrohstoffe können sowohl in reiner Form als auch in Mischungen für Kerzen eingesetzt werden. Dabei sollte bei Kompositionskerzen die Zusammensetzung für den Verbraucher erkennbar sei. Paraffin nimmt aufgrund der guten Verarbeitungseigenschaften und seiner Verfügbarkeit den weitaus größten Platz bei der Kerzenproduktion ein.

Paraffin, Stearin, Fett und Bienenwachs – alles Grundrohstoffe der Kerzenproduktion – sind Bestandteile der Natur und werden mittels aufwändiger Verfahren so aufgearbeitet, dass sie die geforderten Eigenschaften aufweisen. In solchen qualitativ hochwertigen Produkten werden natürlich vorkommende Schadstoffe so niedrig gehalten, dass sie keinerlei Gefährdung für Mensch und Umwelt darstellen. Die Reinheit der Rohstoffe und Produkte wird mit Hilfe modernster analytischer Verfahren ständig überprüft. Entscheidend für die Verbrauchersicherheit ist also nicht, welcher der oben genannten Rohstoffe eingesetzt wurde, sondern welche Reinheit dieser Rohstoff besitzt.

2.2 Zusatzstoffe

Neben den oben genannten Hauptrohstoffen wird eine Reihe von Zusatzstoffen zur Compoundierung von Kerzenmassen eingesetzt. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um synthetische Wachse aus dem Bereich der Polymerchemie, wie z. B. Polyethylenwax und Copolymerisate sowie hochschmelzende Fischer-Tropsch Paraffine. Zur Erzielung spezieller Effekte werden auch andere natürliche Wachse, z. B. Carnaubawachs, Montanwachs usw. als Zusatzstoffe eingesetzt. Farbstoffe, Lacke und Duftstoffe ergänzen die Palette der in Brennmassen bei der Kerzenherstellung verwendeten Materialien.

2.3 Docht

Neben den Roh- und Zusatzstoffen für Brennmassen steht der Docht, oft auch als Seele der Kerze bezeichnet, im Mittelpunkt der Betrachtung von Qualitätskerzen. Er beeinflusst entscheidend das Brennverhalten einer Kerze und ist Teil der Qualitätsdiskussion, insbesondere hinsichtlich seiner Zusammensetzung und der sich bildenden Verbrennungsprodukte.

Der Docht besteht überwiegend aus geflochtenen Baumwollfasern, die mit zumeist anorganischen Verbindungen präpariert werden. Die Baumwollfasern müssen eine gleichmäßige Struktur besitzen und dürfen keine Verschmutzungen enthalten. Benetzbarkeit, Kapillarbildung und möglichst vollständiges rückstandsfreies Verbrennen sind wichtige Qualitätsanforderungen an die eingesetzte Baumwolle.

Die anorganischen Bestandteile der Dochtpräparation bilden Mikroschmelzperlen an der Dochtspitze und verhindern das Weiterglühen des Dochtes nach dem Auslöschen. Durch die Bildung eines Kristallskeletts wird die Stabilität des Dochtes erhöht.

Fadenstärke, Fadenanzahl und Flechtart (hier wird vor allem zwischen Flach- und Runddochten unterschieden) bestimmen das Saugverhalten und die Stabilität des Dochtes. Die Krümmung des Dochtes in der Flamme kann darüber hinaus durch das Einbringen spezieller Fäden beeinflusst werden.

Entscheidend für ein optimales Abbrandverhalten der Kerze ist die richtige Einstellung zwischen eingesetztem Docht, verwendetem Kerzenmaterial und Kerzendurchmesser. Der Docht reguliert das Schmelzen, Aufsaugen, Verdampfen und Verbrennen der eingesetzten Brennmasse [7].



Abbildung 9: Dochtflechtmaschine

3 Begriffsbestimmung, Klassifizierung und Abbrandverhalten von Kerzen

Neben der Kenntnis um die Herkunft und Reinheit der eingesetzten Roh- und Hilfsstoffe der Kerzenherstellung sind die Klassifizierung von Kerzen sowie das Wissen um die Vorgänge in der Flamme Voraussetzungen einer fachlich fundierten und sachlich geführten Diskussion der Thematik der Qualitätskerze im Zusammenhang mit der Erstellung von Qualitätsnormen. Das Abbrandverhalten steht dabei im Mittelpunkt der Betrachtung, ist es doch für den Verbraucher das unmittelbar sichtbare Qualitätserlebnis.

3.1 Definition Kerze

Im Universallexikon aus dem Jahre 1738 wird die Kerze noch sehr poetisch definiert als „...ein mit Talg oder Wachs überzogener Docht von Garn, welcher wenn er angezündet wird, einen hellen Schein von sich giebet und einen verfinsterten Ort erleuchtet“ [8].



Abbildung 10: Zeichnung nach W. Hogarth (1697-1764) [9]

In unserer heutigen Zeit klingt das schon wesentlich nüchterner. Danach sind Kerzen Lichtquellen, haben als wesentlichste Merkmale einen (oder mehrere) Docht(e) und sind von einer festen Brennmasse umgeben [10].

Sowohl mit der Definition von 1738 als auch mit der RAL 040 A2 [10] ist eine deutliche Abgrenzung des Begriffs Kerze von Öllampen bzw. Öl oder andere brennbare Flüssigkeiten enthaltenden Gefäßen – auch wenn diese Kerzenformen nachgebildet sind – sowie von Fackeln, Kienspan, Wunderkerzen usw. gegeben. Daran ändert auch die (ursprünglich) gemeinsame Funktion der Erzeugung von Licht nichts. Das ist ein, besonders im Hinblick auf die zu definierenden Qualitätsanforderungen, wichtiger Aspekt.

Die Bezeichnung der festen Brennmasse muss heute weiter präzisiert werden. Neben der Angabe der Temperatur – z. B. Raumtemperatur 25 °C – für die der feste Zustand gefordert wird, ist die Dochtbrennbarkeit eine wesentliche Funktion. Wurden bisher vor allem Wachse (siehe Punkt 2.1) eingesetzt, wird diese Palette heute durch neue synthetische Rohstoffe, wie z. B. Blockpolymere, Polyamide usw. (siehe Punkt 2.2.), erweitert.

Auch wenn Kerzen in vielen Fällen als dekorativer Raumschmuck dienen, bleibt die Nutzung als Lichtquelle durch den Verbraucher der eigentliche Anwenderzweck. Das Kriterium der Dochtbrennbarkeit stellt an die eingesetzten Brennmassen spezielle Qualitätsanforderungen bezüglich des Verbrennungsprozesses (Temperatur, Verbrennungsprodukte).

3.2 Qualitative Klassifizierung von Kerzen

Trotz der Abgrenzung der Kerze von anderen, ebenfalls der Erzeugung von Licht dienenden Produkten, verbleibt eine große Vielfalt unterschiedlichster Kerzenarten.



Abbildung 11: Kerzenvielfalt
Foto: Katalog Ebersbacher Wachswaren GmbH

Diese Vielfalt äußert sich nicht zuletzt in der ständig steigenden Zahl von Kerzenbezeichnungen. Da der Fantasie der Kerzenentwickler, -hersteller und -händler kaum Grenzen gesetzt sind, eignen sich diese Kerzenbezeichnungen nicht für eine Klassifizierung aus qualitativer Sicht. Es hat in der Vergangenheit nicht an Versuchen gefehlt, allgemein gültige Einteilungen vorzunehmen. Die umfangreichste Arbeit dazu wurde von Büll [11] durchgeführt. Die wichtigsten Hauptgruppen sind u. a.:

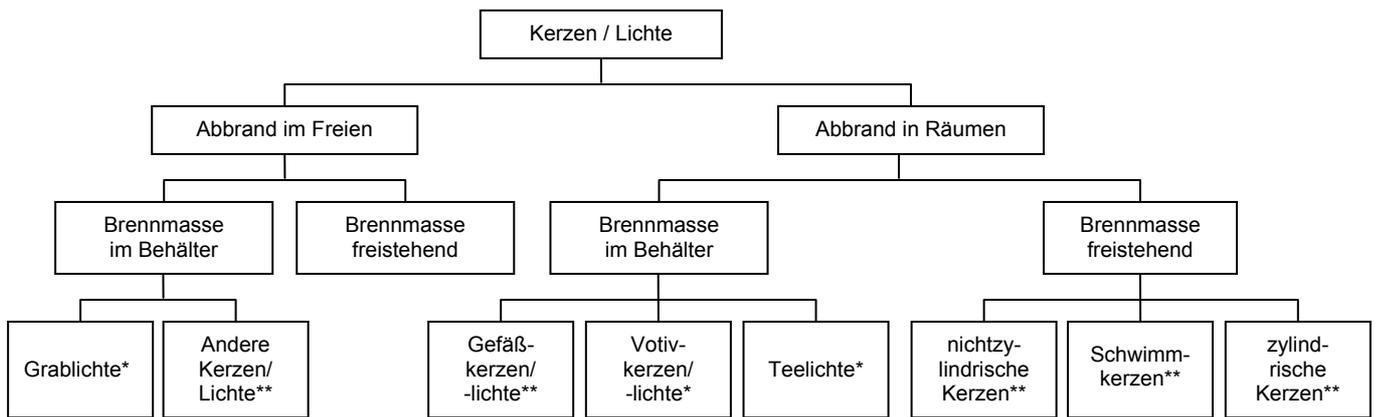
- Technologische Gruppe: Rohstoffe
(Paraffin-, Bienenwachs-, Stearin-, Kompositionskerzen)
Herstellverfahren
(gegossene, gezogene, handgetauchte Kerzen)
- Verwendungsbezeichnung: Advents-, Baum-, Altar-, Taufkerzen usw.
- Formenbezeichnungen: Kugel-, Spitz-, Vierkantkerzen
- Kunsthistorische Bezeichnung: Antik-, Barock-, Renaissancekerzen
- Motivbezeichnung: Wappen-, Dekor-, Figurenkerzen

In dieser vorwiegend von technischen Aspekten geprägten Klassifizierung, in der die Lichterzeugung (Dochtbrennbarkeit) ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal darstellt, fehlen aber die Teelichte und anderen „Gefäßkerzen“ völlig.

Hier bedarf es noch einer Erweiterung der Kerzendefinition. Die bei Raumtemperatur feste Brennmasse kann entweder freistehend sein oder sich in einem Behälter befinden. Im letzten Fall wurde speziell im Deutschen der Begriff der Lichte geprägt (Teelichte, Grablichte).

Diese Unterscheidung ist wichtig im Hinblick auf die Qualitätsanforderungen, die diese Produkte erfüllen sollen.

Eine Klassifizierung von Kerzen/Lichten unter qualitativen Aspekten muss stets aus der Sicht des Verbrauchers erfolgen. Nur so lassen sich die unterschiedlichen Qualitätsanforderungen sinnvoll festlegen und ist eine Unterscheidung in für alle Kerzen gültige Qualitätsparameter und spezielle Anforderungen an einzelne Produktgruppen möglich. Dazu wird nachfolgende Klassifizierung vorgeschlagen:



* nur Eindochtkerzen möglich

** Mehrdochtkerzen möglich

Abbildung 12: Klassifizierung Kerzen

3.3 Prozesse in der Kerzenflamme

Bereits der englische Naturforscher M. Faraday beschäftigte sich sehr intensiv mit den Vorgängen in der Kerzenflamme.



Abbildung 13: M. Faraday (1791-1867)

In seinen Vorlesungen unter dem Titel "Lectures on the Chemical History of a Candle" [12] bezeichnete er den Kerzenabbrand als Mikrokosmos und führte aus *"Alle im Weltall geltenden Gesetze treten in der chemischen Geschichte einer Kerze zutage oder kommen dabei wenigstens in Betracht und schwerlich möchte sich ein bequemes Tor zum Eingang in das Studium der Natur finden lassen"*. Beim Abbrand einer Kerze finden eine ganze Reihe chemischer und physikalischer Prozesse statt, auf die nun näher eingegangen werden soll.

3.3.1 Grundlagen des Verbrennungsvorganges

Der Verbrennungsvorgang kann in folgende Phasen unterteilt werden:

1. Aufschmelzen des Brennstoffs
2. Transport des Brennstoffs durch die Kapillarkräfte des Dochtes
3. Überführung des flüssigen Brennstoffs in die Gasphase
4. Thermischer Abbau des Brennstoffs(Pyrolyse)
5. Oxidation der Pyrolyseprodukte

Energetisch betrachtet ist das Brennen als Vorgang nur möglich, wenn so viel Reaktionsenergie (Verbrennungswärme) frei wird, dass sie der erforderlichen Energie zur Entzündung neuer Brennstoffteilchen entspricht.

Bei Zimmertemperatur (25 °C) ist Kerzenparaffin fest. Zündet man den Docht an, beginnt das Paraffin durch die zugeführte Zündenergie zu schmelzen.

Durch weitere Wärmezufuhr erfolgt das Verdampfen (Gas- oder Dampfzone) und dann eine Zersetzung (Pyrolyse) in gasförmige Kohlenwasserstoffe, Kohlenwasserstofffragmente (Radikale) und festen Kohlenstoff. Die von dieser Zone ausgehende Lichtstrahlung ist nichts anderes als das Glühen des abgespaltenen festen Kohlenstoffes in feinstverteilter Form. Die Gase und der Kohlenstoff können sich erst in der Brennzone mit Sauerstoff vermischen. Nach dem Erreichen der Zündtemperatur und der Vermischung mit dem Sauerstoff wird das eigentliche Brennen eingeleitet. Es wird jetzt Verbrennungswärme frei und die Reaktion beginnt. Die Zufuhr von Fremdenergie muss aber noch so lange aufrechterhalten werden, bis die Mindestverbrennungstemperatur erreicht ist. Dieser mehr oder weniger lange Zeitraum, über den ein Energieeinfluss in Form der Zündenergie erforderlich ist, kann als Zündverzug angesehen werden. Erst nach dem Erreichen der Mindestverbrennungstemperatur wird so viel Verbrennungswärme frei, dass ein selbständiges Brennen ohne zusätzliche Energiezufuhr möglich ist. Die bis zu diesem Zeitpunkt erforderliche Fremdenergie kann als Mindestzündenergie angesehen werden.

3.3.2 Flammenzonen

Betrachten wir die Kerzenflamme, so lässt sich der in Abbildung14 dargestellte schematische Aufbau erkennen:

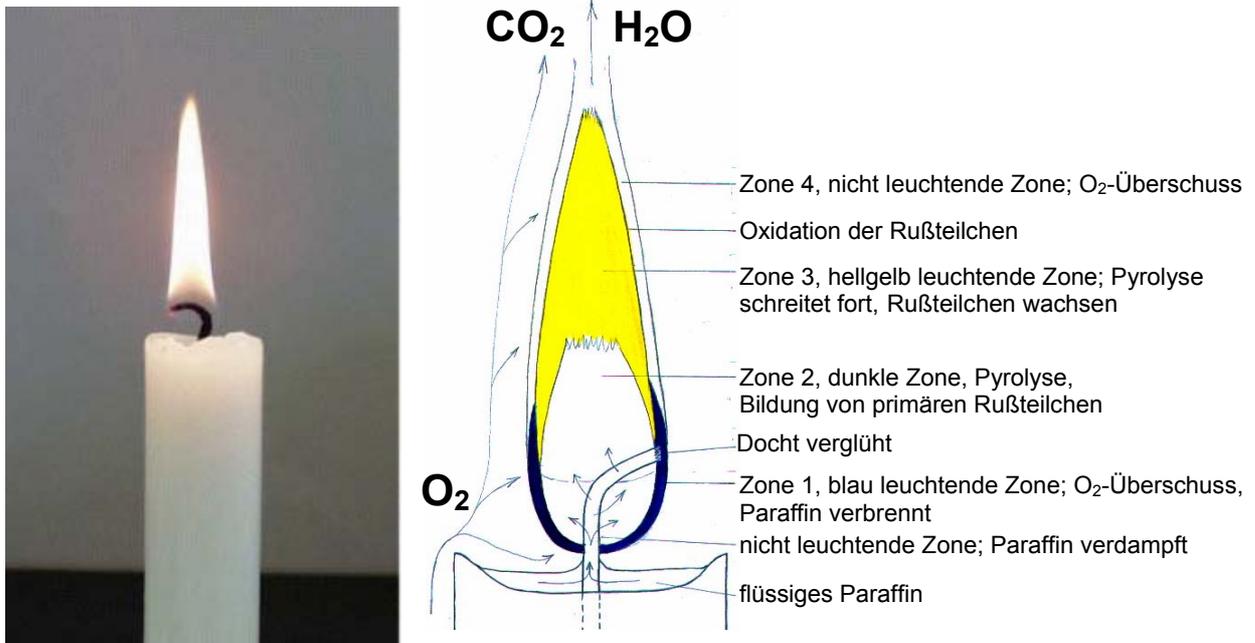


Abbildung 14: Flammenzonen

Deutlich lassen sich vier unterschiedliche Zonen unterscheiden:

Zone 1 (blaue Zone) umgibt den unteren Teil der Flamme als blau leuchtender Kelch. Es besteht O_2 -Überschuss. Ein Teil des Brennstoffes verbrennt vollständig zu H_2O und CO_2 , ohne dass C-Partikel entstehen, Temperatur $800\text{ }^\circ\text{C}$. Die nach unten und seitlich abgestrahlte Wärme bewirkt das Schmelzen des Brennstoffes und die Ausbildung der Brennschüssel. Je niedriger Schmelzpunkt und Schmelzenthalpie des Brennstoffes sind, desto mehr flüssiger Brennstoff sammelt sich an.

Zone 2 (Dunkelzone) bildet einen ellipsoidförmigen Hohlraum im Innern des unteren Drittels der Flamme. Es herrscht O_2 -Mangel. Der untere Teil der Zone, in dem der Brennstoff aus dem Docht heraus verdampft, ist dunkel. Unmittelbar am Docht beträgt die Temperatur $600\text{ }^\circ\text{C}$. Für die Brennstoffzufuhr durch den Docht sind die Viskosität und die Verdampfungsenthalpie des Brennstoffes maßgebend.

Im seitlichen oberen Teil der Zone beginnt infolge des O_2 -Mangels die Pyrolyse (das Cracken) des Brennstoffes. Kleinste C-Partikel entstehen, Temperatur $1.000\text{ }^\circ\text{C}$.

Zone 3 (Leuchtzone) hat die Form eines im unteren Drittel hohlen, weißlich-gelb leuchtenden Kegels. Es herrscht immer noch O_2 -Mangel. Daher schreitet die Pyrolyse weiter fort. Größere C-Partikel entstehen, deren Glühen die Licht- und Wärmeabstrahlung bewirkt, Temperatur $1.200\text{ }^\circ\text{C}$ (s. Abb. 14).

Zone 4 (der sog. **Schleier**) überlappt im unteren Teil mit Zone 1 und umgibt die Flamme als nicht leuchtender Hohlkegel. Es herrscht O₂-Überschuss, Temperatur 1.400 °C. An der Grenze zwischen Zone 3 und 4 verbrennen die C-Partikel umso schneller und vollständiger zu CO₂, je kleiner sie sind und zwar nur, wenn die Temperatur > 1.000 °C beträgt. Sinkt die Temperatur unter diesen Wert, z. B. infolge Abkühlung durch Zugluft u. ä., dann verbrennen die C-Partikel nicht mehr, selbst wenn genügend O₂ vorhanden ist. Deswegen bewirkt Zugluft das Rußen von Kerzenflammen.

3.3.3 Verbrennungsvorgang

Die Aufspaltung der Paraffinketten verläuft nach dem gleichen Mechanismus wie die Pyrolyse von Schwerbenzin. Diese ist das wichtigste Verfahren zur industriellen Erzeugung von Ethylen und wird bei 800 – 900 °C durchgeführt. Zuerst erfolgt die homolytische Spaltung einer C-C-Bindung zu zwei Alkylradikalen. Jedes von ihnen eliminiert Ethylen und bildet ein um zwei C-Atome kürzeres Radikal, das erneut Ethylen eliminieren kann (β Spaltregel). Somit erfolgt hauptsächlich eine radikalische Depolymerisation der Paraffin-Moleküle. Aus dem Ethylen entsteht durch thermische Dehydrierung (die Temperatur im oberen Teil der Zone 2 beträgt bereits 1.000 °C) Acetylen, das in Kohlenstoff und Wasserstoff zerfällt. Die Alkylradikale können noch andere Reaktionen eingehen. Als Beispiel ist in Abbildung 15 die Eliminierung eines H-Atoms angegeben.

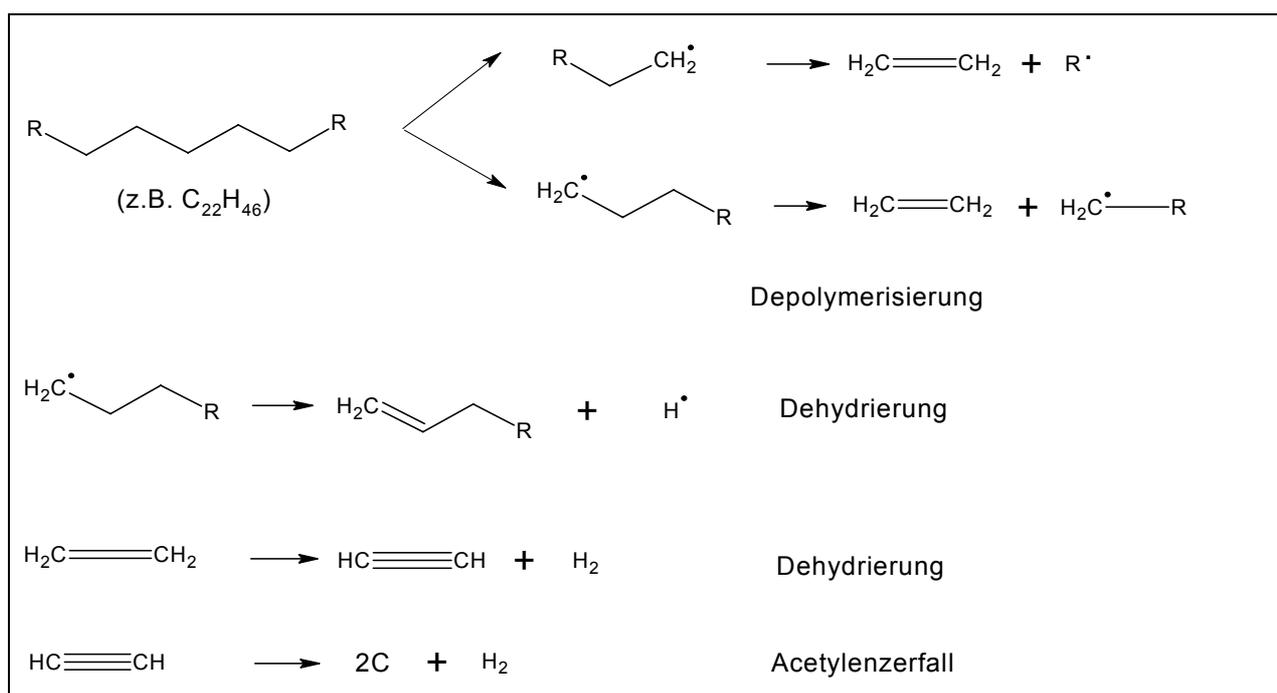


Abbildung 15: Kettenabbaumechanismus in der Flamme

Sowohl die Depolymerisation als auch die Dehydrierung sind endotherme, d.h. Energie verbrauchende Prozesse. Trotzdem steigt die Temperatur der Kerzenflamme von Zone 1 bis Zone 3 von 800 °C über 1.000 °C auf 1.300 °C an. Die Ursache dafür ist die Verbrennung von Wasserstoff. Pro C₂H₄-Teilchen entstehen zwei Moleküle Wasserstoff oder durch deren thermische Dissoziation vier H-Atome, die viel schneller als die großen Alkylnradikale in die sauerstoffreicheren Randbezirke der Zonen diffundieren können und dort direkt die Reaktion mit O₂-Molekülen zu Wasser starten. Durch den verbrennenden Wasserstoff werden die Zonen 2 und 3 so aufgeheizt, dass die C-Partikel zur Weißglut gelangen. Erst damit ist die Voraussetzung für ihre Verbrennung zwischen Zone 3 und 4 gegeben. Reicht die erzeugte Wärmemenge nicht aus, um die C-Partikel auf über 1.000 °C zu erhitzen, dann rußt die Flamme.

Das ist dann der Fall, wenn pro Zeit- und Volumeneinheit zu wenig Wasserstoff entsteht. Das Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis der eingesetzten Brennmassen spielt somit eine entscheidende Rolle. Ungesättigte Kohlenwasserstoffe (z. B. Aromaten), wie sie in ungereinigten/unhydrierten Paraffinen enthalten sind, neigen besonders zum Rußen. Darüber hinaus nimmt die Pyrolysegeschwindigkeit von Alkanen in der Reihenfolge primär > sekundär > tertiär ab. Hohe Anteile von iso-Paraffinen oder starke Verzweigungen der Moleküle setzen die Flammentemperatur ebenfalls herab und können zu einer höheren Rußanfälligkeit der Flamme führen.

4 Aufbau von Qualitätsnormen

Es hat in der Vergangenheit nicht an Versuchen gefehlt, qualitative Anforderungen an Kerzen zu benennen. Der sichtbare Ausdruck dieser Bemühungen ist die RAL-GZ 041. Diese auf Initiative des Verbandes Deutscher Kerzenhersteller erarbeitete Qualitätsnorm fasst erstmals Qualitätsanforderungen an Kerzen und die eingesetzten Rohstoffe zusammen. Auch haben zahlreiche Verbraucherverbände, Prüfinstitute sowie nationale und internationale Kerzenverbände zum Teil sehr umfangreiche Untersuchungen durchgeführt und dabei die unterschiedlichsten Messmethoden und Bewertungskriterien angewandt [13-22]. Dabei zeigte sich die durch die Thematik bedingte vielseitige Herangehensweise, die im ungünstigsten Fall zu einer Vielzahl von Prüfmethoden und Prüfkriterien führen kann. Damit besteht die Gefahr der Überregulierung eines solch alltäglichen Gebrauchsgegenstandes. Das zu vermeiden liegt sowohl im Interesse des Verbrauchers als auch im Interesse des Herstellers.

Die Erarbeitung einer Qualitätsnorm für Kerzen muss konsequent aus Sicht des Endverbrauchers erfolgen. Wichtigstes Ziel einer solchen Qualitätsnorm ist der Schutz des Verbrauchers, dessen Recht darin besteht, qualitativ hochwertige Produkte zu erwerben, deren ordnungsgemäße Anwendung keinerlei Risiko für Mensch und Umwelt darstellt. Voraussetzungen für die Erarbeitung einer solchen Qualitätsnorm sind, neben einer eindeutigen begrifflichen Zuordnung, die Unterscheidung in Qualitätskategorien, die Festlegung der Qualitätskriterien, die diesen zugeordneten Prüf- und Messmethoden sowie notwendige Grenzwerte zur Differenzierung. Alle bisher im Zusammenhang mit der Qualitätsdefinition für Kerzen vorliegenden Untersuchungen, Ausarbeitungen, Qualitätsprüfungen und Qualitätsvereinbarungen lassen sich in den in Tabelle 1 aufgeführten Kategorien zusammenfassen.

Qualitätskategorien

Technische Parameter	Gesundheits-/Umweltschutz	Sicherheit/Gefahrenpotenziale	Piktogramme
sichtbare Kriterien	nicht sichtbare Kriterien	konstruktionsbedingte Kriterien	umgangsbedingte Kriterien
Kerze + Abbrand	Materialien + Verbrennungsprodukte	Abbrand – mögliche Gefährdung durch hohe Flammentemperatur –	Abbrand – Umgang mit offenem Feuer –
technische Anforderung + Abbrandverhalten	Reinheit der eingesetzten Materialien + Unbedenklichkeit der Abbrandprodukte	Entwicklungsforderung für Kerzenhersteller	Verbraucherinformationen zum Umgang mit dem Produkt

Tabelle 1: Aufbau einer Qualitätsnorm für Kerzen

4.1 Technische Parameter

Diese, auch als sichtbare Qualitätskriterien bezeichneten Parameter, sind u. a. die technischen Anforderungen, die an das Produkt Kerze gestellt werden, wie z. B. die

- Stabilität des Kerzenkörpers
- Farbstabilität
- Übereinstimmung der Verpackungsangaben mit der Realität (Stückzahl, Gewicht oder Abmaße)
- Art und Beständigkeit von Gestaltung und Verpackung

Diese Gruppe der Qualitätskriterien beeinflusst (neben dem Preis) primär die Kaufentscheidung des Kunden.

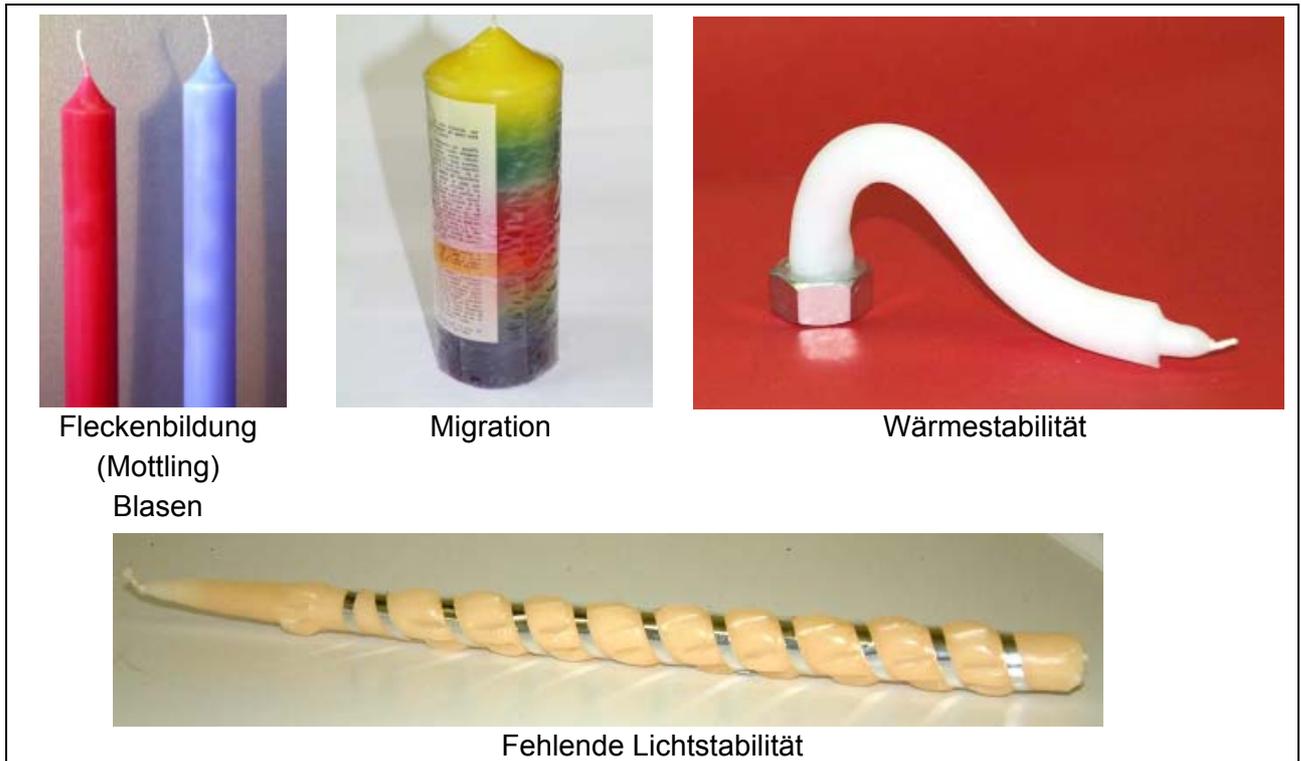


Abbildung 16: Sichtbare Qualitätskriterien

Eine zweite Gruppe der sichtbaren Qualitätskriterien steht im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Abbrandverhalten einer Kerze und umfasst

- das Flammenbild
- die Gleichmäßigkeit des Abbrandes
- die Tropffestigkeit
- das Rußverhalten
- das Stabilitäts- und Sicherheitsverhalten

Da diese qualitativen Eigenschaften einer Kerze erst beim Gebrauch sichtbar werden, beeinflussen sie das zukünftige Kaufverhalten und damit direkt den durchschnittlichen Kerzenkonsum eines Kunden.



Abbildung 17: Qualitätskriterien Kerze (Abbrand)

4.2 Gesundheits-/Umweltschutz

Qualitätskriterien hierfür sind u. a. die

- Reinheit und Unbedenklichkeit der eingesetzten Materialien
- Sicherheit, dass sowohl bei der Handhabung als auch beim Abbrand von Kerzen keinerlei Gesundheitsgefährdung bzw. Umweltbelastung besteht

Diese Qualitätskriterien sind dem Verbraucher zumeist nicht bekannt und auch nicht ohne weiteres zugänglich. Er erfährt sie durch entsprechende Beiträge in Funk, Presse und Fernsehen bzw. im direkten Kontakt mit dem Kerzenhersteller. So gab und gibt es immer wieder Meldungen, die die Möglichkeit einer Gefährdung des Verbrauchers durch qualitativ minderwertige Rohstoffe, sicherheitstechnische Mängel sowie Schadstoffbildung bei der unvollständigen Verbrennung der Produkte hinweisen. Die Information des Verbrauchers und eine offensive Herangehensweise an diese Thematik durch Kerzenhersteller und Kerzenverband sind entscheidend für den Verbraucherschutz und damit für die Entwicklung der gesamten Kerzenbranche.

4.2.1 Reinheit und Unbedenklichkeit der eingesetzten Materialien

Unerwünschte und zum Teil auch gesundheitsschädliche Spurenstoffe in Produkten geraten immer wieder in den Blickpunkt der Verbraucher und lösen in der Öffentlichkeit Diskussionen über die Sicherheit von alltäglichen Produkten aus (z.B. Nitrofen in Tierfutter; Benzol in Tafelwasser, Acrylamid in Kartoffelerzeugnissen).

Auch Kerzen gerieten in den vergangenen Jahren wiederholt in das Blickfeld der kritischen Verbraucherschützer. Tabelle 2 zeigt, welche Spurenstoffe dabei diskutiert wurden.

Spurenstoffe	Jahr	Quelle
Blei	1974	Public Citizen (Verbraucherorganisation in USA) [13]
Schwermetalle (z. B. Blei); PAK	1987	natur 12/87 [14]
Dioxine (lila Kerzen)	1992	Verbraucherzentrale Niedersachsen / Umweltbehörde Hamburg [15]
Aromatische Amine; halogenorganische Verbindungen; Chrom; Kupfer; polycyclische Moschusverbindungen; Schwefel	1997	ÖKOTEST 12/97 [16]
Benzol; Blei	1999	J.D. Krause, Master's Thesis, University of South Florida [17]

Spurenstoffe	Jahr	Quelle
Blei	1999	CPSC (Consumer Product Safety Commission, USA) [18]
Nitro- und polycyclische Moschusverbindungen; Schwefel; halogenorganische Verbindungen	2000	ÖKOTEST 01/2000 [19]
Blei, organische Stoffe (PCDD/PCDF, PAK, Aldehyde, Ketone, Benzol, Isopren), Kohlenmonoxid, Duftstoffe (Moschusverbindungen)	2001	Studie der US-Umweltbehörde EPA [20]
Schwermetalle (Blei, Nickel); organische Stoffe	2002	Studie der dänischen Umweltbehörde [21]
Blei	2003	Europäische Kommission; Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment [22]

Tabelle 2: Kritische Spurenstoffe in Kerzen

In vielen Fällen erwies sich die angeblich von Kerzen ausgehende angenommene Gesundheitsgefährdung als unbegründet, denn die vermeintlichen Spurenstoffe konnten nicht nachgewiesen werden oder waren nur in gesundheitlich unbedenklichen Mengen vorhanden [24, 25]. Einige Bedenken waren jedoch - wenn auch nur in wenigen Fällen - begründet. Diese Fälle betrafen ausschließlich die verwendeten Zusatzstoffe (Farben, Duftstoffe usw.). Die verantwortungsvollen Kerzenhersteller in Europa und USA reagierten sofort und verbannten Stoffe wie z.B. Blei in Dochten aus der Kerzenherstellung [26].

Der Verbraucher kann mit Recht von einer Kerze erwarten, dass sie sicher in der Anwendung ist und dass von ihr keine gesundheitlichen Gefahren ausgehen. Darüber hinaus muss jedoch nicht nur für den bestimmungsgemäßen, sondern auch für den nicht bestimmungsgemäßen aber vorhersehbaren Gebrauch Vorsorge getroffen werden. Hierunter fällt z. B. das Lutschen von Kindern an Kerzen. Es besteht die klare Forderung, dass auch bei der oralen Aufnahme von Kerzenbestandteilen kein gesundheitlicher Schaden zu befürchten ist. Diese Forderungen sind nur durch die an Roh- und Zusatzstoffe gestellten hohen Reinheitskriterien zu erfüllen.

Anforderungen sind u. a.:

- kein Einsatz von Gefahrstoffen
(keine toxischen, reizenden, ätzenden, umweltgefährlichen Rohstoffe)
- höchstmögliche Reinheit der verwendeten Rohstoffe
(Entfernung von unerwünschten Spurenstoffen durch Raffination)

Durch Hydrorafination gereinigte Paraffine finden seit Jahren Anwendung in der Kerzenherstellung. Diese qualitativ hochwertigsten Paraffine entsprechen in ihrer Reinheit den Kriterien, wie sie auch für Anwendungen mit Lebensmittelkontakt, für Kosmetika sowie zum Einsatz für pharmazeutische Zubereitungen gefordert werden. Dieses hochgereinigte Paraffin erfüllt die strengen Qualitätsanforderungen des RAL Gütezeichens Kerzen und gewährleistet höchsten Verbraucherschutz. Ähnliche Reinheitskriterien legt das RAL Gütezeichen für Stearin und Bienenwachs sowie Dochte, Farben, Lacke und Duftstoffe fest.

4.2.2 Verbrennungsprodukte

Beim Abbrand einer Kerze entstehen - wie bei jeder Verbrennung von Kohlenwasserstoffen - als Verbrennungsprodukte Wasser und Kohlendioxid. Daneben können in Spuren auch andere Abbrandprodukte gebildet werden, wie Kohlenmonoxid, Stickoxide, organische Kohlenwasserstoffverbindungen und Ruß. Neben der richtigen Abstimmung zwischen Docht und Kerze spielt die Reinheit der eingesetzten Roh- und Hilfsstoffe eine entscheidende Rolle. So können z. B. unzureichend raffinierte Kerzenrohstoffe ungesättigte und/oder aromatische Kohlenwasserstoffe enthalten, die die Rußbildung beim Abbrand begünstigen und zu einer Rußemission der Kerze beitragen. Auch Schwefel in der Kerzenbrennmasse führt beim Abbrand zur Freisetzung unerwünschter Schwefeloxide. Bei Verwendung bleihaltiger Dochte lassen sich Bleiverbindungen in der Raumluft nachweisen.

Tabelle 3 zeigt die beim Abbrand von Kerzen untersuchten und diskutierten unerwünschten Verbrennungsprodukte.

Verbrennungsprodukte	Jahr	Quelle
Ruß	1975	Firma Mahr, Aachen: quantitative Messung der Rußabgabe von Stearinkerzen [27]
Schwermetallverbindungen, PAK; Aldehyde, Ketone	1987	natur 12/87 [14]
Ruß; Benzol; Tetrachlorkohlenstoff; Chloroform; Blei; Kohlenmonoxid	1998	California's Proposition 65: 1. Verfahren gegen Kerzenhersteller, Händler und Handelsketten [28]
Ruß; Benzol; Blei	1999	J.D. Krause, Master's Thesis, University of South Florida [17]
Blei	1999	CPSC (Consumer Product Safety Commission, USA [18]
Partikelemission	2001	Z. Guo et al. (US EPA) [29]
Ruß, organische Stoffe (PCDD/PCDF, PAK, Aldehyde, Ketone, Benzol, Isopren), Kohlenmonoxid, Duftstoffe (Moschusverbindungen)	2001	Studie der US-Umweltbehörde EPA [20]

Verbrennungsprodukte	Jahr	Quelle
Schwermetallverbindungen organische Stoffe; Ruß	2002	Studie der dänischen Umweltbehörde [21]
Ruß; Formaldehyd; Acetaldehyd; PCDD/PCDF; Toluol	2002	California's Proposition 65: 2. Verfahren gegen Kerzenhersteller, Händler und Handelsketten [30]
Blei	2003	Europäische Kommission; Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment [22]

Tabelle 3: unerwünschte Stoffe beim Kerzenabbrand

Neben den oben aufgeführten Studien wurden von unabhängigen Instituten die Abbrandprodukte beim Kerzenabbrand wissenschaftlich analysiert und bewertet [2, 3, 4, 5]. Für die untersuchten Kerzentypen konnten die Wissenschaftler Entwarnung geben. So sind die nur in Spuren nachzuweisenden Schadstoffe für den Menschen selbst bei häufigem Kerzenabbrand nicht gesundheitsschädlich. Auch eine amerikanische Studie bestätigt, dass durch den Abbrand von Kerzen kein zusätzliches Gesundheitsrisiko für den Verbraucher entsteht [31].

Rußende Kerzen sind für den Verbraucher der auffälligste Ausdruck schlechter Qualität. Verbunden mit dieser sichtbaren Rußabgabe ist auch die Befürchtung der Emission rußbegleitender Schadstoffe (Aldehyde, PAK). Bei qualitativ hochwertigen Kerzen, die keine sichtbare Rußabgabe zeigen, haben Messungen die Unbedenklichkeit der entstehenden Verbrennungsprodukte bestätigt. Auf dieses sehr komplexe Thema der Rußbildung wird in einem späteren gesonderten Beitrag noch ausführlich eingegangen.

4.3 Sicherheit/Gefährdung

Neben den technischen Parametern und den Parametern, die dem Schutz der Gesundheit und der Umwelt dienen, spielen speziell im Zusammenhang mit dem Abbrand von Kerzen Sicherheitsaspekte eine große Rolle. Natürlich müssen Sicherheitsforderungen auch im Zusammenhang mit der Kerzenherstellung, d. h. im Umgang mit Wachsen, Farb- und Duftstoffen, Glasgefäßen usw. beachtet werden. Hier stehen dem Hersteller jedoch die entsprechenden Sicherheitsdatenblätter der eingesetzten Produkte zur Verfügung, und im Rahmen der Arbeitsabläufe sind mögliche Gefahrenquellen bekannt und werden entsprechend beachtet.

Ohne die stimmungsvolle Atmosphäre einer Kerze beim Candlelight Dinner oder die entspannende Wirkung und Faszination des gelben, warmen Lichtes schmälern zu wollen, muss bei nüchterner technischer Betrachtung doch davon ausgegangen werden, dass jede Kerze ein ihr innewohnendes Gefahrenpotenzial besitzt. Ausgehend von der Verbrauchersicherheit besteht dieses vor allem beim Abbrand, d. h. es liegt in der offenen Flamme mit ihren Temperaturen weit über 1.000°C begründet. Das Hauptgefahrenpotenzial beim Abbrand von Kerzen ist somit die mögliche Entstehung von Bränden.

Studien zeigen, dass 85 % aller in diesem Zusammenhang aufgetretenen Schadensfälle auf eine unsachgemäße Handhabung der Kerzen zurückzuführen sind [32]. An erster Stelle steht dabei die unbeaufsichtigt abbrennende Kerze (siehe auch Punkt 4.4) [34].

Darüber hinaus gibt es jedoch auch eine Reihe konstruktionsbedingte Ursachen, die zu einem Brand führen können, d. h. die Konstruktion der Kerze kann die Brenneigenschaften entscheidend beeinflussen.

Hier trägt der Kerzenhersteller eine große Verantwortung. Er muss bereits bei der Entwicklung der Kerze die möglichen Sicherheits- und Gefahrenpotenziale erkennen und gegebenenfalls messtechnisch erfassen und überwachen. Das Gleiche gilt für Kerzenaccessoires. Mängel an Kerzenhaltern, Teelichtstövchen mit ungenügender Luftzirkulation, nicht temperaturbeständige Gläser oder gar Gefäße aus entzündlichen Materialien können ebenfalls die Ursache von Bränden sein.

Für alle diese wichtigen Qualitätskriterien im Zusammenhang mit dem Abbrand von Kerzen gibt es derzeit mit Ausnahme von ersten unvollständigen Ansätzen [33] keine spezifischen nationalen oder europäischen Regularien. Allgemein gilt die europäische Richtlinie über die Produktsicherheit vom 3. Dezember 2001 (Amtsblatt der EG L 11/4 vom 15.01.2002), auf deren Grundlage in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union Produktsicherheitsgesetze erlassen wurden. Diese Vorschriften sehen generell die Pflicht des Produktherstellers vor, nur Produkte in den Verkehr zu bringen, die sicher sind. Dies bedeutet insbesondere, dass beim Gebrauch der Produkte für den Verwender nicht erkennbare Gefahren vermieden oder zumindest auf diese Gefahren vom Hersteller hingewiesen wird. Für die Kerzenhersteller hatte dies bisher keine unmittelbaren Auswirkungen, weil allgemein davon ausgegangen wurde, dass die Brandgefahr dem Verwender bewusst ist und deshalb besondere Warnhinweise nicht erforderlich sind. Hier vollzieht sich in unserer Gesellschaft aber ein Wertungswandel, der immer mehr zur Überlegung führt, ob die Hersteller von Kerzen wesentlich eingehender als früher Hinweise über den richtigen Umgang mit Kerzen den Verwendern zur Verfügung stellen sollten. Diese Entwicklung hat erst begonnen und - jedenfalls in Europa - noch nicht zur rechtlichen Verpflichtung der Kerzenhersteller geführt, solche Warnhinweise immer ihren Produkten beizufügen.

Auf die Verwendung geeigneter Accessoires hat der Kerzenhersteller nur dann direkten Einfluss, wenn er diese zusammen mit seinem Produkt anbietet. Darüber hinaus liegt hier die Verantwortung nationaler und internationaler Kerzenverbände darin, die bestehenden Erfahrungen und daraus resultierenden Konstruktionsanforderungen an Accessoires für die Kerzenherstellung sowohl dem Verbraucher als auch dem Hersteller von Accessoires bekannt zu machen.

Die direkte Verantwortung des Kerzenherstellers besteht jedoch darin, bereits bei der Konstruktion und Entwicklung neuer Kerzen sicherheitstechnische Aspekte zu beachten und mögliche Gefahrenpotenziale von vornherein auszuschließen. Die Bedeutung gerade dieser Thematik rückt mehr und mehr in den Vordergrund nationaler und internationaler Qualitätsbemühungen.

Hauptfaktoren, die die Sicherheit der Kerze beim Abbrand beeinflussen, sind u. a.:

- **Flammengröße:**
Einstellbar durch richtige Dochtabstimmung. Eine zu große Flamme neigt zum Rußen (Verschmutzung) und zur Entzündung in der Nähe befindlicher brennbarer Materialien (z. B. Zweige am Tannenbaum).
- **Temperatur des Behälterrandes:**
Bedingt durch die Abstimmung Docht-Brennmasse sowie durch die Dochtpositionierung und –halterung kann es zu einer Erwärmung der Behälterwand kommen, die beim Berühren zu Verbrennungen bzw. zum Entzünden der als Unterlage dienenden Materialien führen kann.
- **Bildung eines zweiten Dochtes:**
Durch Einbringen von brennbaren Materialien in die Nähe des Dochtes (z. B. getrocknete Blumen) sowie durch abfallende Butzen (siehe Abbildung 18) kann es zur Ausbildung eines großflächigen Brandes kommen. Darüber hinaus können auch ungeeignete Tongefäße, die sich mit Paraffin vollsaugen, als zweiter Docht wirken.



Abbildung 18: Bildung eines zweiten Dochtes durch abfallenden Butzen

- **Temperatur des geschmolzenen Waxes:**
Materialzusammensetzung, Dochtgröße und –positionierung spielen hier eine wichtige Rolle. Gefahrenpotenziale bestehen beim direkten Kontakt mit dem flüssigen Wachs bzw. es besteht die Möglichkeit der Überhitzung des flüssigen Waxes und des Auslösens einer Verpuffung.
- **Verhalten beim Verlöschen:**
Neben der Nachglimmzeit spielt hier das Verhalten des Dochtes in der letzten Abbrandphase, d. h. kurz vor dem Verlöschen, eine wichtige Rolle. Gefahr besteht auch im möglichen Entzünden von Accessoires (z. B. Blütenkränzen).

- **Stabilität beim Abbrand:**
Wärmetechnische Instabilitäten durch zu dicht aneinander stehende Kerzen zeigt Abbildung 19. Instabilitäten können auch durch die Gestaltung der Kerze bedingt sein. Auch die beim Kerzenabbrand eintretende Gewichtsabnahme und dadurch bedingte Windanfälligkeit von Behälterkerzen im Außenabbrand spielen hier eine Rolle.

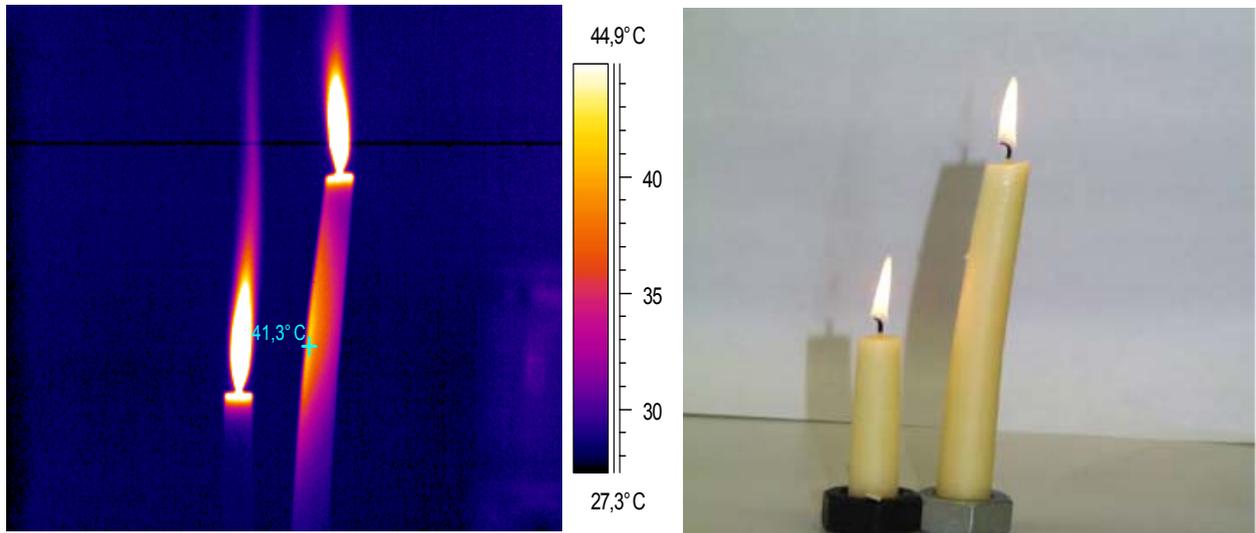


Abbildung 19: IR-Aufnahme direkt nebeneinander stehender Kerzen

Rohstoffhersteller und Kerzenproduzenten arbeiten ständig daran, die Qualität und die Sicherheit von Kerzen auf einem hohen Niveau zu halten. Ergänzt wird dies durch eine gezielte Aufklärung der Verbraucher über den sicheren Umgang mit brennenden Kerzen.

4.4 Piktogramme

Die Information an den Verbraucher zum richtigen Umgang mit dem Produkt ist ebenfalls eine wesentliche Qualitätskategorie und somit unmittelbarer Bestandteil von Qualitätsnormen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sollen sich diese Informationen auf die wichtigsten Aussagen beschränken, gleichzeitig jedoch eine möglichst umfassende, verständliche Information für den Verbraucher liefern.

Die Kerze wird oft auch als lebendiges Licht bezeichnet. Die Kerzenflamme stellt letztlich ein offenes Feuer dar und muss entsprechend behandelt werden. Hier liegt die große Verantwortung beim Umgang mit dem Produkt auch beim Verbraucher (Abbildung 20).

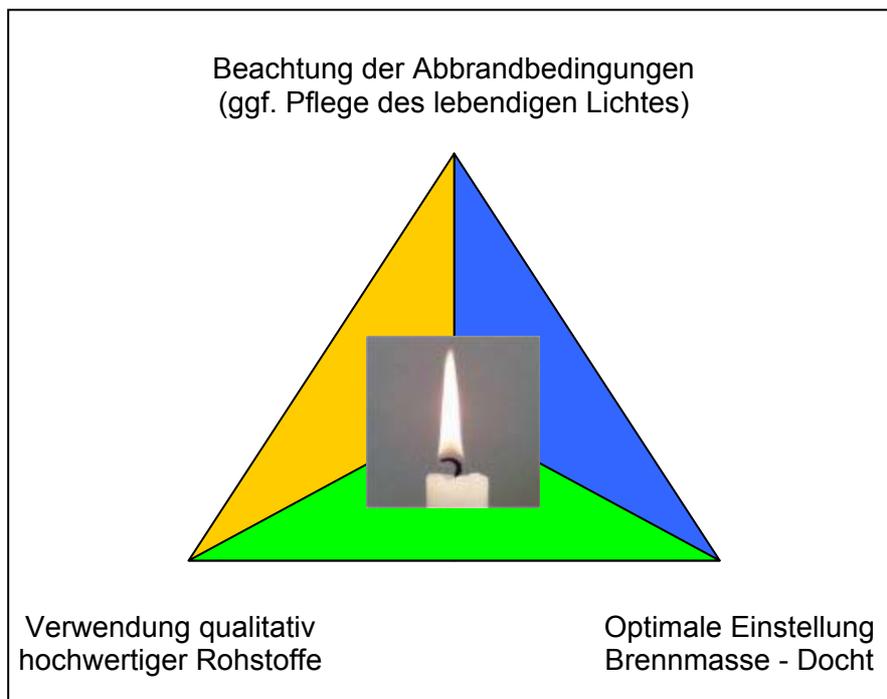


Abbildung 20: Abbrand- Einflussfaktoren

Gerade im Zusammenhang mit dem Abbrandverhalten besteht der größte Informationsbedarf für den Verbraucher. Das betrifft sowohl den ordnungsgemäßen Umgang mit dem Produkt beim Abbrand als auch den Hinweis auf mögliche Gefahren. Die Verantwortung des Kerzenherstellers besteht darin, den Verbraucher darüber ausreichend zu informieren. Das geschieht am häufigsten in Form von Piktogrammen, die sich zumeist auf den Verpackungen befinden.

Es gibt heute eine zum Teil unübersichtliche Vielzahl an Piktogrammen auf dem Markt. Diese wurden zum Teil von Handelsketten, nationalen und internationalen Kerzenverbänden bzw. einzelnen Kerzenherstellern entwickelt. Der Europäische Kerzenverband hat dazu eine Untersuchung der Universität Utrecht in Auftrag gegeben und daraus seine Empfehlungen für die Gestaltung von Piktogrammen abgeleitet [35, 36, 37, 38].

Wenn man die Vielzahl der heute vorhandenen Piktogramme und Hinweise beobachtet, so lassen sich diese im Wesentlichen auf die nachfolgenden Hauptaussagen reduzieren:

1. Kerzen niemals unbeaufsichtigt brennen lassen.
2. Brennende Kerzen nicht in Reichweite von Kindern und Haustieren aufstellen.
3. Kerzen niemals in unmittelbarer Nähe brennbarer Stoffe abbrennen.
4. Mindestabstand zu brennbaren Stoffen sowie Mindestabstand zwischen zwei brennenden Kerzen beachten.
5. Auf nichtbrennbare Unterlage achten – geeignete Behälter oder Kerzenhalter verwenden.
6. Kerzen vor Zugluft und anderen Luftströmungen (z.B. Heizungen) geschützt abbrennen.
7. Wachspool frei von Verunreinigungen und brennbaren Materialien halten.
8. Rußende, flackernde Kerzen löschen – vor Wiederanzünden Docht kürzen bzw. Rand abschneiden.
9. Standort der Kerzen nicht verändern, solange der Wachspool flüssig ist.
10. Brennende Kerzen niemals mit Wasser löschen.

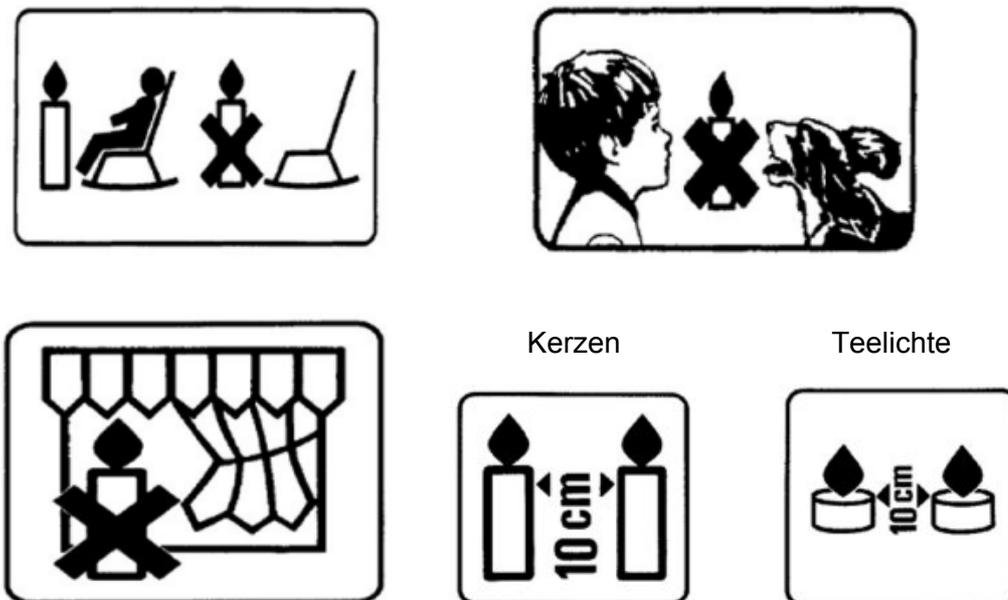


Abbildung 21: Piktogramme

Die Auswertung der von Kerzen verursachten Schadensfälle zeigt dabei deutlich, dass die unter Punkt 1 – 4 genannten Hinweise die häufigste Ursache für diese Schadensfälle darstellen. Wichtigste Regel ist und bleibt: Eine brennende Kerze niemals unbeaufsichtigt brennen lassen!

5 Zusammenfassung

Die Kerze wird immer stärker in die Qualitätsdiskussion einer vom Umweltbewusstsein geprägten Zeit mit einbezogen.

Voraussetzung einer fachlich fundierten und sachlich geführten Diskussion im Zusammenhang mit der Erstellung von Qualitätsnormen ist die Kenntnis der eingesetzten Roh- u. Hilfsstoffe, eine eindeutige Begriffsbestimmung und Klassifizierung der Kerze sowie das Wissen um die physikalisch-chemischen Vorgänge beim Kerzenabbrand. Neben den sichtbaren Qualitätskriterien spielt dabei die Reinheit der eingesetzten Roh- und Hilfsstoffe sowie die Unbedenklichkeit der entstehenden Abbrandprodukte eine entscheidende Rolle.

Das wichtigste Ziel der Erstellung von Qualitätsnormen für Kerzen ist der Schutz des Verbrauchers. Die Erarbeitung derartiger Qualitätsnormen muss deshalb konsequent aus der Sicht des Verbrauchers erfolgen.

Qualitätsnormen für Kerzen lassen sich in 4 Qualitätskategorien gliedern:

1. Technische Parameter - als sichtbare Kriterien bezeichnet – sind entscheidend für das Kaufverhalten der Verbraucher.
2. Die Reinheit der eingesetzten Rohstoffe sowie die Unbedenklichkeit der entstehenden Abbrandprodukte sind als nicht sichtbares Qualitätsmerkmal wichtige Voraussetzungen für das Vertrauen in das Produkt.
3. Die Gewährleistung der Sicherheit - insbesondere beim Kerzenabbrand - durch Kerzenform und Gestaltung (Accessoires) muss bereits bei der Entwicklung neuer Kerzen beachtet werden.

4. Die Information des Verbrauchers zum Umgang mit dem Produkt (z.B. in Form von Piktogrammen), speziell im Zusammenhang mit den Abbrandbedingungen, muss zielgerichtet und effizient erfolgen.

Darüber hinaus ist die generelle Verbraucherinformation ein wichtiger Teil der Qualitätsdiskussion um das Produkt Kerze.

Um eine Überregulierung eines solch alltäglichen Gebrauchsgegenstandes zu vermeiden, besteht die aktuelle Aufgabe nationaler und internationaler Kerzenverbände darin, unter Beachtung der bereits bestehenden Qualitätsanforderungen einheitliche, europäische Qualitätsnormen zu schaffen. Als für den Verbraucher sichtbarstes Zeichen zur Einhaltung dieser Normen ist ein europäisches Gütezeichen zu etablieren.



Abbildung 22: Vorschlag Europäisches Gütezeichen

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei allen Freunden und Kollegen recht herzlich für die aktive Mitarbeit, die zahlreichen Diskussionen und Anregungen, die entscheidend zum Zustandekommen dieses Artikels beigetragen haben. Unser ganz besonderer Dank gilt Herrn Professor Siegfried Hauptmann aus Leipzig sowie Herrn Dr. Günter Hildebrand aus Rehmsdorf.

6 Literatur

- [1] J. W. v. Goethe, Sprüche in Reimen; Sprichwörtlich 1815 aus R.Büll; „Das große Buch vom Wachs“ Verlag Georg o.W. Callwey Bd.2/(1977) 562
- [2] W. Schütz „Der Abbrand von Kerzen - wissenschaftlich untersucht und bewertet“, SÖFW-Journal, 123. Jahrgang, 776-779, 11 (1997)
- [3] Lau C., Fiedler H., Hutzinger O., Schwind K.H., Hosseinpour J. „Levels of selected organic compounds in materials for candle production and human exposure to candle emissions“ Chemosphere 34 (5-7), 1997, 1623-1630
- [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 den Brandgasen von Kerzen“, UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 6 (5) 243-246 (1994)
- [5] R. Ackermann „Untersuchungsbericht über den Abbrand von Paraffinkerzen“ DEKRA Umwelt GmbH, Stuttgart, 30.04.2003
- [6] Gütegemeinschaft Kerzen e.V., Kerzen Gütesicherung RAL-GZ 041 „Allgemeine Güte- und Prüfbestimmungen für Kerzen“, Stuttgart 1997
- [7] Wolfgang Weidenfeld "Wichtige Kriterien bei der Herstellung von Qualitätskerzen", Verlag für chemische Industrie H. Ziolkowsky GmbH, Augsburg 1983
- [8] Universal-Lexicon Aller Wissenschaften und Künste, Verlegts Johann Heinrich Zedler, Leipzig und Halle, XVII. Bd., 1738, Sp. 827
- [9] W.T. O'Dea "The Social History of Lighting", London 1958, S. 22
- [10] Gütegemeinschaft Kerzen e.V., Kerzen Gütesicherung RAL-GZ 040 A 2 „Güte- und Bezeichnungsvorschriften“, Stuttgart, Februar 1993
- [11] Reinhard Büll „Das große Buch vom Wachs“, Verlag Georg D. W. Callwey, München 1977
- [12] M. Faraday, Naturgeschichte einer Kerze ("Lectures on the chemical history of a candle"), Verlag Franzbecker – Didaktischer Dienst, Bad Salzdetfurth, 2. Auflage 1980;
- [13] Public Citizen, Pressemitteilung 24.02.2000, Internet: www.citizen.org
- [14] NATUR „Romantik und Rauchgas“, Nr. 12 (1987), S. 79-81
- [15] "Dioxin in lila Kerzen und Farben gefunden"; Stuttgarter Zeitung, 22.8.1992, S. 24 (AP)
- [16] ÖKOTEST 12/97 „Da geht ein Licht auf“, S. 35-40
- [17] J. David Krause „Characterization of Scented Candle Emissions and Associated Public Health Risks“, Thesis University of South Florida, August 1999
- [18] NEWS from CPSC, U.S. Consumer Product Safety Commission Office of Information and Public Affairs Washington, DC 20207, 1999; Internet: www.cpsc.gov
- [19] ÖKOTEST 01/2000 „Docht in Aspik“, S. 35-40
- [20] Knight, L., Levin, A., Mendenhall, C. "Candles and Incense as Potential Sources of Indoor Air Pollution: Market Analysis and Literature Review", United States Environmental Protection Agency, EPA/600/SR-01/001, Januar 2001
- [21] Eggert, T., Bødker, J., Hansen, O.C. "Chemical ingredients in candles sold in Danish Retail", Danish Environmental Protection Agency, Survey no. 6, 2002; Internet: http://www.mst.dk/chemi/Chemicals/lys_uk.doc
- [22] European Commission: Opinion of the CSTE (Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment) on „Potential Health Risks Associated with the Use of Lead Containing Candle-Wicks“, Brussels, 6th February 2003
- [23] K.-H. Homann, Angw. Chem. 1998, 110 Nr. 18, 2572-2590
- [24] Presse-Information des VDK „Keine Gefährdung durch lila Kerze“, 30. August 1993
- [25] „Auch gefärbte Kerzen sind unschädlich“, SÖFW-Journal, 122. Jahrgang, 330-331, 5 (1996)
- [26] Unterzeichnung eines freiwilligen Verzichts auf Blei in Kerzen durch amerikanische Kerzenhersteller, Februar 2001; Internet: <http://www.cpsc.gov/CPSC/PUB/PREREL/prhtml01/nolead.html>
- [27] Gossens H., „Die Russentwicklung durch Opferkerzen in Kirchen - eine Studie“, Firmenschrift Firma Mahr, Aachen 1975
- [28] Mitgliederrundschreiben des amerikanischen Kerzenverbandes NCA, 1998
- [29] Guo, Z., Mosley, R., McBrian, J., Fortmann, R. „Fine Particulate Matter Emissions from Candles“, (2001)

- [30] Mitgliederrundschreiben des amerikanischen Kerzenverbandes NCA, **2002**
- [31] Stephen, F. D., Stineman, C. H., Jonmaire, P. W., Kelly, D. W. „Risk Analysis of Candle Emissions“, Ecology and Environment, Inc. **1999**, presented at http://www.litigation.support.ene.com/candle_emissions.htm
- [32] DTI (Department of Trade and Industry) „The Safety and Use of Tealights and Candles“, November **2000**, URN 00/1106
- [33] „Consumer Agency’s Guidelines on Safety Requirements for Candle Products and Related Indications“, Kuluttaja, Finnish Consumer Agency & Ombudsman, Publication series 06/**2001**
- [34] Jim Becker “Candles”, ASTM Standardization News, March **2003**
- [35] Firmenbroschüre IKEA „Bright Ideas Candles“, **2002**
- [36] Piktogramme für Kerzen; Empfehlungen des Europäischen Verbandes der Kerzenhersteller, **1991**
- [37] British Candlesmakers Federation (BCF) “Guidelines on the Safe Use of Candles”, **1995**
- [38] H.J.G. Zwaga, H.C.M. Hoonhout “Gebrauchsanweisungen in Form von graphischen Bildzeichen: die Entwicklung von Bildzeichen als Gebrauchshinweis zur Förderung des richtigen Gebrauchs von Kerzen”, Psychologisches Labor der Universität Utrecht, Niederlande, **1990**

7 Anhang 1

Spurenstoffe in eingesetzten Kerzenmaterialien

Die im Zusammenhang mit der Reinheit der in Kerzen eingesetzten Materialien diskutierten Spurenstoffe werden nachfolgend kurz beschrieben und bewertet:

Spurenstoff	Jahr	Quelle
Blei	1974	Public Citizen (Verbraucherorganisation in USA), Blei soll in Kerzen verboten werden.
Ruß	1975	Firma Mahr, Aachen: quantitative Messung der Rußabgabe von Stearinkerzen
Schwermetalle (z. B. Blei) PAK Aldehyde, Ketone: z. B. Acrolein (Propenal)	1987	natur 12/87 PAK wurden sowohl in der Kerzenmasse als auch im Ruß nachgewiesen Artikel bezieht sich auf Studie der Gesellschaft für interdisziplinäre Technologie (GFIT) Bernstadt: 40 Kerzen (je 10 g) in einem Raum von 50 m ³ abgebrannt erzeugen so viele Aldehyde, dass die MAK-Werte um eine Vielfaches überschritten werden.
Dioxine (lila Kerzen)	1992	Verbraucherzentrale Niedersachsen / Umweltbehörde Hamburg: in lila Kerzen ließen sich Spuren von Dioxinen nachweisen, die aber gesundheitlich unbedenklich sind.
aromatische Amine halogenorganische Verbindungen Chrom Kupfer polycyclische Moschusverbindungen Schwefel	1997	ÖKOTEST 12/97: aromatische Amine als Indiz für Azofarbstoffe konnten nicht nachgewiesen werden 16 von 55 Kerzen enthielten halogenorganische Verbindungen 2 von 55 Kerzen enthielten mehr als 5 mg/kg Chrom keine Beanstandungen in 3 von 55 Kerzen ließen sich polycyclische Moschusverbindungen nachweisen 3 von 55 Kerzen enthielten mehr als 30 mg S/kg

Tabelle 4: Spurenstoffe beim Kerzenabbrand

7.1 Schwefel

Schwefel selbst ist nur wenig toxisch. Er wird aber während des Verbrennungsvorgangs zu Schwefeldioxid umgewandelt, welches ein Atemgift ist und in höheren Konzentrationen zu Reizungen der Atemwege bzw. bei längerer Exposition zu einer Bronchitis bis hin zum Lungenödem führen kann. Schwefelverbindungen sind Begleitstoffe vom Rohöl (S- Gehalt durchschnittlich 1,8 Gew. %). Auch in den daraus gewonnenen Fertigprodukten finden sich noch geringe Mengen, die technisch (noch) nicht vermeidbar sind. So dürfen Ottokraftstoffe derzeit bis zu 150 ppm Schwefel (ab 2005: 50 ppm), Dieselloststoffe bis zu 350 ppm (ab 2005: 50 ppm) und Heizöl bis zu 2000 ppm Schwefel enthalten. In den USA werden ab 2006 Schwefelgehalte von max. 15 ppm vorgeschlagen, Deutschland hat für einen Schwefelgehalt von weniger als 10 ppm plädiert. Schon heute wird in Schweden Dieselloststoff mit max. 10 ppm Schwefel angeboten. In Japan ist bereits Ottokraftstoff mit 6,5 ppm Schwefel erhältlich. In hochraffinierten Paraffinen, die eine Hydoraffination durchlaufen haben, lässt sich Schwefel praktisch nicht mehr nachweisen (unterhalb der Nachweisgrenze: < 5 ppm). Konventionelle Raffinationsverfahren (z.B. Bleicherdebehandlung) entfernen Schwefelverbindungen nur unzureichend, so dass im gebleichten Paraffin Schwefelgehalte von 100 ppm keine Seltenheit sind! Das *RAL-Gütezeichen 041 Kerzen* legt für Paraffine einen Grenzwert von 20 mg Schwefel /kg fest.

7.2 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) finden sich im Erdöl. Die PAK werden im Laufe des Erdölraffinationsprozesses entfernt bzw. umgewandelt und kommen in hydoraffinierten Paraffinen nur in Spuren vor. Zur Sicherung der Reinheit von Paraffin als einem der Hauptrohstoffe der Kerzenherstellung schreibt die *RAL-Gütezeichen 041 Kerzen* die Einhaltung der Adsorptionsgrenzen nach FDA 172.886 vor.

7.3 Lösemittel

Bedingt durch die verwendeten Lösemittel in Entparaffinierungs- und Entöhlungsanlagen können die entöhlten Produkte mit Spuren von Lösemitteln kontaminiert sind. Diese Produkte werden mit Hilfe moderner Raffinationsverfahren, z.B. der Hydoraffination, sorgfältig gereinigt und danach die noch enthaltenen Lösemittel nahezu vollständig entfernt. Qualitativ hochwertiges Paraffin ist frei von Lösemitteln. Das *RAL-Gütezeichen* fordert auch hier strenge Einhaltung der Lösemittelfreiheit bei Zugrundelegung eines Analysenverfahrens mit einer Nachweisgrenze von 0,2 mg/kg.

7.4 Halogenorganische Verbindungen

Halogenorganische Verbindungen können beim Verbrennungsprozess unter ungünstigen Bedingungen zur Bildung von polychlorierten Dioxinen und polychlorierten Furanen führen, die extrem toxisch sind. Farbstoffe bestanden in früheren Zeiten aus halogenorganischen Stoffen. Solche Farbstoffe werden aber heute in der Kerzenproduktion nicht mehr eingesetzt.

7.5 Aromatische Amine

Aromatische Amine, wie z. B. Anilin, Toluidine, Naphtylamine und deren Abkömmlinge finden überall in unserer Umwelt Verwendung. So werden sie u.a. als Ausgangsprodukte zur Herstellung von Arzneistoffen, Kunststoffen, Pflanzenschutzmitteln und Farbstoffen eingesetzt. Aromatische Amine wurden früher auch in Kerzenfarbstoffen eingesetzt. Viele dieser aromatischen Amine sind mittlerweile als krebserzeugend eingestuft und ihr Einsatz ist nur noch sehr begrenzt erlaubt. Heute werden aromatische Amine in Qualitätsfarbstoffen für die Kerzenindustrie nicht mehr verwendet.

7.6 Nitromoschus- und polycyclische Moschusverbindungen

Es gibt eine Vielzahl chemischer Verbindungen mit einem Moschusduft. Als kritisch werden Nitromoschusverbindungen sowie polycyclische Moschusverbindungen betrachtet. Diese Produkte werden seit vielen Jahren vom Research Institute of Fragrance Materials (RIFM) auf mögliche Gesundheitsgefährdungen untersucht. Bei Produkten, bei denen eine solche Gefährdung nachgewiesen wurde, ist der Einsatz inzwischen verboten (z.B. Moschus Ambrette). Bei anderen Produkten, bei denen eine Gefährdung zwar nicht nachgewiesen, aber auch nicht ausgeschlossen werden kann, wurden Einsatzbegrenzungen empfohlen. Im Zuge der geführten Diskussionen haben zahlreiche Hersteller auf den Einsatz von Nitro- und polycyclischen Moschusverbindungen bei Kerzenparfüms verzichtet.

7.7 Schwermetalle (z. B. Blei)

Blei und Bleiverbindungen reichern sich im menschlichen Körper an und führen zu Erkrankungen des Nervensystems sowie zu Leber- und Nierenschädigungen. Blei war bislang das am häufigsten vorkommende Schwermetall in Kerzen und wurde in Kerzendochten eingesetzt, um den Docht ausreichend Stabilität zu verleihen und ein Abknicken des Dochts in den Brennteller zu vermeiden. Schon 1974 einigten sich führende Kerzenhersteller in den USA auf einen freiwilligen Verzicht von Blei im Docht. Doch trotz freiwilliger Verpflichtungen der Hersteller enthalten einer aktuellen Untersuchung zufolge bis zu 8 % der in den USA erhältlichen Kerzen noch Blei im Docht. Die europäische Kommission veröffentlichte dies am 06.02.2003 in einer Stellungnahme des wissenschaftlichen Komitees für Toxikologie, Ökotoxikologie und Umwelt (CSTEE) zum Gesundheitsrisiko durch Abbrand von Kerzen mit bleihaltigen Dochten.

Führende international tätige Kerzenhersteller und Dochtlieferanten verzichten schon lange auf den Einsatz von Bleiseelendochten. Für den Verbraucher garantiert das RAL-Gütezeichen, dass kein Blei in der Kerze eingesetzt wurde. Das gilt neben den eingesetzten Wachsen auch für die verwendeten Farbstoffe und Lacke.

8 Anhang 2

Betrachtungen zu den Verbrennungsprodukten

Zahlreiche Studien, Artikel und Berichte wurden in den letzten Jahrzehnten veröffentlicht, die sich mit der Emission von Kerzen und dadurch resultierende mögliche Gesundheitsfolgen beschäftigen. Im Zusammenhang damit, wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Verbrennungsprodukte diskutiert:

Spurenstoff	Jahr	Quelle
Ruß Benzol Tetrachlorkohlenstoff Chloroform Blei Kohlenmonoxid	1998	California's Proposition 65: 1. Verfahren gegen Kerzenhersteller, Händler und Handelsketten, die in Kalifornien Kerzen vertreiben ohne vor möglichen Schadstoffen zu warnen. Verfahren wurde 2000 nach einer Zahlung der Beklagten an den Staat Kalifornien beendet.
Ruß Benzol Blei	1999	J.D. Krause, Master's Thesis, University of South Florida
Blei	1999	CPSC (Consumer Product Safety Commission, USA): Blei in Kerzen soll verboten werden (Vorschlag für Grenzwert: 0,06 Gew.% im Metall bei metallhaltigen Dochten)
Nitro- und polycyclische Moschusverbindungen Schwefel Halogenorganische Verbindungen	2000	ÖKOTEST 01/2000: 20 verschiedene Gelwachs-kerzen wurden untersucht. Schwefel und halogenorganische Verbindungen konnten nicht nachgewiesen werden. In einem Fall ließen sich Moschusverbindungen nachweisen.
Partikelemission	2001	Z. Guo et al. (US EPA); Untersuchung der Partikelemission beim Kerzenabbrand und beim Kerzenlöschen zeigt, dass beim Nachglimmen der Kerze so viele Teilchen gebildet werden, wie nach mehreren Stunden normalen Abbrands.
Blei, Ruß, organische Stoffe (PCDD/PCDF, PAK, Aldehyde, Ketone, Benzol, Isopren), Kohlenmonoxid, Duftstoffe (Moschusverbindungen)	2001	Studie der US-Umweltbehörde EPA

Spurenstoff	Jahr	Quelle
Schwermetalle (Blei, Nickel) Organische Stoffe Ruß	2002	Studie der dänischen Umweltbehörde; es wurden in einigen Fällen nur geringe, gesundheitlich bedenkliche Mengen gefunden nennenswerte Mengen an Aldehyden und PAK konnten nicht nachgewiesen werden; Emission von VOC waren 2 – 7400 µg/h Abbrand von mehreren Kerzen in einem kleinem Raum führt zur Überschreitung der Aerosolkonzentration in der Innenraumluft; Aerosolemissionsraten: 200 – 300 µg/h
Ruß Formaldehyd Acetaldehyd PCDD/PCDF Toluol	2002	California's Proposition 65: 2. Verfahren gegen Kerzenhersteller, Händler und Handelsketten, die in Kalifornien Kerzen vertreiben ohne vor möglichen Schadstoffen zu warnen
Blei	2003	Europäische Kommission; Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment: Blei in Kerzendochten ist ein Gesundheitsrisiko

Tabelle 5: Verbrennungsprodukte

8.1 Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid entsteht bei der Verbrennung von organischen Materialien unter Sauerstoffunterschuss. Kohlenmonoxid blockiert im menschlichen Körper das Hämoglobin, welches dann nicht mehr zum Sauerstofftransport zur Verfügung steht. Da beim Abbrand der Kerze Kohlendioxid entsteht, wird in diesem Zusammenhang oft auf das Boudouard-Gleichgewicht verwiesen.

Das Boudouard-Gleichgewicht besitzt keine Bedeutung für die Zusammensetzung der Zonen einer Kerzenflamme. Aus seinen Reaktionsparametern (siehe Abbildung A 2) geht hervor, dass es bis 400 °C auf der rechten, bei 1000 °C aber völlig auf der linken Seite liegt. Demnach müsste Zone 3 hauptsächlich aus CO bestehen und Zone 4 würde dann wegen der Verbrennung von CO eine blaue Farbe aufweisen. Beides trifft nicht zu, weil in Zone 2 und 3 kein CO entstehen kann.

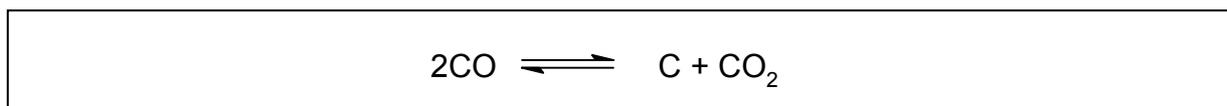


Abbildung 23 : Reaktionsparameter des Boudouard-Gleichgewichtes

8.2 Aldehyde, Ketone: z. B. Acrolein (Propenal)

Bei der unvollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen können sich kurzkettige Aldehyde und Ketone bilden. Diese Verbindungen gelten als schleimhautreizend und teilweise auch als kanzerogen (z. B. Formaldehyd, Acetaldehyd).

Die nachgewiesene Emission geringer Mengen Formaldehyd, Acetaldehyd und Acrolein kommt dadurch zustande, dass die Depolymerisations- und Dehydrierungsprozesse der Paraffin-Moleküle bei Methylradikalen, Ethylradikalen und Allylradikalen enden.

Letztere sind besonders bildungsbegünstigt und langlebig, weil durch konjugierte Doppelbindungen stabilisiert. Sobald die Radikale Zone 4 mit O₂ in Kontakt kommen, reagieren sie wie in Abb. 4 für das Allylradikal angegeben zu Aldehyden. Die Entstehung der drei Aldehyde ist geradezu ein Indiz für den Mechanismus der Pyrolyse, der Kombination von Depolymerisation und Dehydrierung.

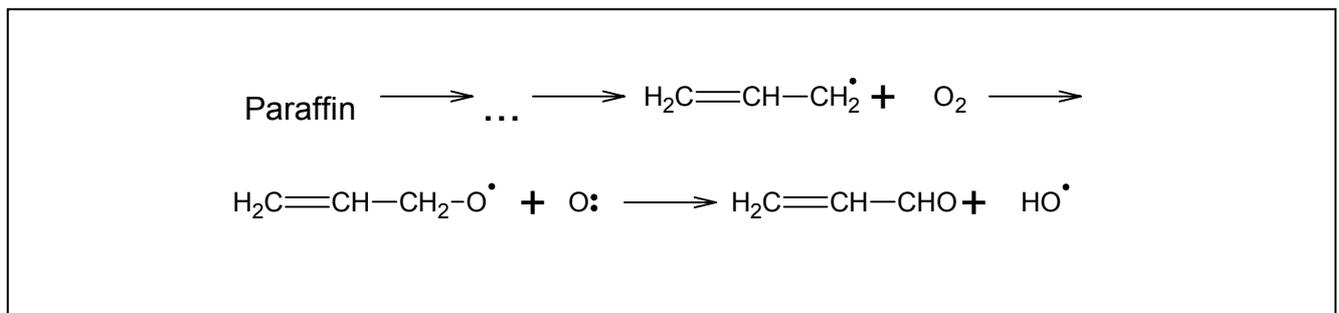


Abbildung 24: Abfangen von Allylradikalen durch Sauerstoff unter Entstehung von Acrolein

Beim Ausblasen der Kerze wird der Pyrolyseprozess abgebrochen, der Docht glimmt nach. Alle Zwischenstufen, also auch die Radikale, sind sofort dem Sauerstoff der Luft ausgesetzt. Sie reagieren mit ihm, die Allylradikale zu Acrolein. Die Entstehung des stechend riechenden, weißen Rauchs wird vollständig unterbunden, wenn man das Streichholz, mit dem die Kerze angezündet wurde, neben ihr ablegt. Statt die Kerze auszublasen, drückt man den Docht mit dem unverbrannten Ende des Streichholzes in die Brennschüssel (in den flüssigen Brennstoff). Die Flamme erlischt sofort, ohne dass Rauch entsteht. Wenn man den Docht danach wieder aufrichtet, ist die Kerze für das nächste Anzünden bestens vorbereitet!

Studien zeigen, dass die in Kerzengasen ermittelten Werte unterhalb der gesundheitlich bedenklichen Schwellenwerte liegen [4].

8.3 Dioxine (lila Kerzen)

Dioxine und Furane erlangten 1976 durch einen Chemieunfall im italienischen Seveso, bei dem mehrere tausend Menschen verletzt wurden und an den Folgen der Chlorakne leiden, unrühmliche Bekanntheit. Die Bezeichnung polychlorierte Dibenz-p-dioxine und -furane (PCDD/PCDF) - kurz Dioxine genannt - ist der Oberbegriff einer Gruppe von tricyclischen chlororganischen Verbindungen mit ähnlichen chemischen sowie biologischen Eigenschaften. Für jeden Chlorierungsgrad ergibt sich eine bestimmte Anzahl von Isomeren, insgesamt liegt die Summe aller möglichen Einzelverbindungen (Kongenere) bei den PCDD bei 75 und bei den PCDF bei 135. Dioxine sind heute ubiquitär, d.h. in der gesamten Umwelt zu finden, obwohl diese Chemikalien zu keiner Zeit kommerziell hergestellt wurden.

Die Entstehung von Tetrachlordibenzodioxin und Tetrachlordibenzofuran in der Kerzenflamme ist nicht möglich, wenn die Materialien, aus denen die Kerze besteht, kein Chlor enthalten.

1992 hat man herausgefunden, dass die Substanz Chloranil (2,3,5,6-Tetrachlor-p-benzochinon), das u. a. Ausgangsprodukt zur Herstellung blau-violetter Farbstoffe ist, mit dioxin- und furanhaltigen Substanzen verunreinigt sein kann. Die Umweltbehörde Hamburg fand bei lilafarbenen Kerzen in drei Fällen einen Gehalt von 1 ng Dioxinäquivalenten/kg und in einem Fall einen Gehalt von 33 ng Dioxinäquivalenten/kg. Die Verbraucherzentrale Niedersachsen meldete daraufhin „Giftige Weihnachten, Farbkerzen können Dioxine absondern“. Diese irreführende Meldung verbreitete sich leider über die Medien, obwohl Hamburgs Innensenator und später auch andere Experten bekannt gaben, dass die gefundenen Werte keinen Anhaltspunkt für eine gesundheitliche Gefährdung geben. Die gemessenen Werte machen nur einige Prozent der täglichen durchschnittlichen Aufnahme von Dioxinäquivalenten aus, die jeder Mensch über die Nahrung und die Atemluft aufnimmt. In keinem Fall wurde das „Sevesogift“ 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin gefunden.

8.4 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

In den Abgasen von Verbrennungsprozessen können sich bei „fetten“ Abbrandbedingungen (d.h. bei Brennstoffüberschuss) PAK bilden, die emittiert werden. PAK gelten als kanzerogen.

Wie bereits in Punkt 4.3 dargestellt, entsteht beim thermischen Abbau der Paraffinmoleküle Acetylen, das in C_2 und H_2 zerfällt.

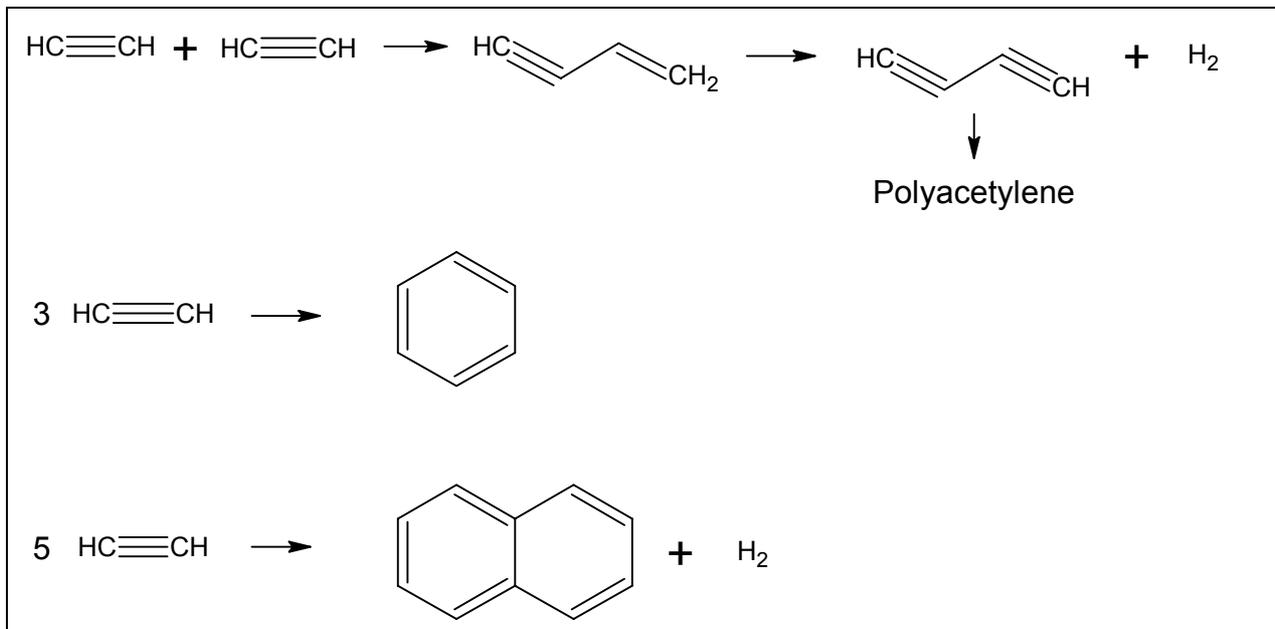


Abbildung 25: Entstehung von Polyacetylenen und Aromaten aus Acetylen

Aus Acetylen kann durch Cyclotrimerisierung Benzol entstehen. Auch die Cyclisierung von fünf Molekülen Acetylen zu Naphthalin ist noch denkbar (siehe Abbildung A2-3). Beide Stoffe verbrennen in Zone 4, allerdings wird bei Paraffinkerzen etwas Naphthalin freigesetzt. Die Entstehung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen wie Benzo[a]pyren dagegen ist sowohl durch Cyclooligomerisation von Acetylenen als auch über Polyacetylene äußerst unwahrscheinlich. Die Polyacetylene sind starre, lineare Moleküle und können nicht cyclisieren. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass beim Abbrand von Kerzen, je nach Abbrandbedingungen, nur Spuren von PAK entstehen, die als gesundheitlich unbedenklich gelten.

8.5 Schwermetalle/Bleiverbindungen

Die Europäische Kommission veröffentlichte am 06.02.2003 eine Stellungnahme des wissenschaftlichen Komitees für Toxikologie, Ökotoxikologie und Umwelt (CSTEE) zum Gesundheitsrisiko durch Abbrand von Kerzen mit bleihaltigen Dochten. Untersuchungen zeigen, dass die Bleiemissionsraten zwischen 0,05 bis 1,7 mg Blei/h liegen und damit Innenraumluftkonzentrationen erreicht werden, die die WHO-, US EPA- und EU-Grenzwerte übersteigen. Beim Abbrand mehrerer stark Blei emittierender Kerzen kann sogar der Arbeitsplatzgrenzwert für Blei überschritten werden. Die vom Kerzenabbrand stammenden Bleiverbindungen (Bleicarbonate und Bleihydroxide) liegen als kleine Teilchen vor und sind hochbioverfügbar. Insgesamt kommt das CSTEE zu der Aussage, dass der Abbrand von Kerzen mit bleihaltigen Dochten zu einer hohen Blei-Exposition für empfindliche Bevölkerungsgruppen (z.B. Kinder) führt und ein Gesundheitsrisiko darstellt.

In qualitativ hochwertigen Kerzen werden deshalb Bleidochte nicht mehr eingesetzt. Die RAL GZ 041 stellt auch hier hohe Anforderungen an die eingesetzten Materialien, so dass beim Abbrand von gütegeprüften Kerzen eine Bleiemission ausgeschlossen werden kann.

8.6 Stickoxide NOx

Stickoxide entstehen bei hohen Verbrennungstemperaturen durch Reaktion von Sauerstoff mit Luftsauerstoff. Außerdem sind Stickoxide immer dann in erhöhten Konzentrationen nachzuweisen, wenn stickstoffhaltige Brennstoffe verbrannt werden. Das trifft zum Beispiel auf den Einsatz von Polyamidwachsen zu. Beim Abbrand von Kerzen können Spuren von Stickoxiden nachgewiesen werden, die aber auch länger andauernden Kerzenabbrand von zahlreichen Kerzen in Innenräumen nicht zu gesundheitsschädlichen Konzentrationen führen.

8.7 Schwefeloxide SOx

Schwefeloxide entstehen bei Verbrennungsprozessen nur dann, wenn der Brennstoff Schwefel oder Schwefelverbindungen enthält. Bei Einhaltung der durch die RAL GZ 041 vorgegebenen Grenzwerte ist der Anteil entstehender Schwefeloxide vernachlässigbar klein und stellt keine Gesundheitsgefährdung für den Verbraucher dar.

8.8 Ruß

Bei der unvollständigen Verbrennung organischer Verbindungen kommt es zur Bildung von Ruß. Ruß besteht im Wesentlichen aus elementarem Kohlenstoff. Je nach den Verbrennungsbedingungen kann darin noch ein Anteil organischer Verbindungen (u. a. PAK) enthalten sein. Ruß wird kritisch betrachtet, da er aufgrund der Teilchengröße als so genannter Feinstaub alveolengängig ist und somit tief in die Lunge eindringt. Neben den möglichen gesundheitlichen Auswirkungen einer Rußexposition wurde auch die Beteiligung von Ruß an der Schwärzung von Kirchen und Kunstgegenständen sowie dem Phänomen schwarzer Wohnungen (auch als Fogging bekannt) diskutiert. Das komplexe Thema „Schwärzungen“ wird an anderer Stelle eingehend behandelt.

9 Anhang 3

Studien zur Bestimmung und Bewertung von Kerzenemissionen

- **Schönbucher:** Voruntersuchungen zur Anwendung moderner optischer Meßmethoden im Hinblick auf das windabhängige Rußverhalten von Kerzen, Prof. A. Schönbucher, Stuttgart, Januar **1987**
Aufgabe: Anwendung von holographischer real-time Durchlichtinterferometrie, Farb-Thermographie sowie digitale Bildauswertung von Fotogrammen zur Untersuchung von Kerzenflammen.
- **Grimmer:** Bericht „Bildung von PAH beim Abbrand und Ausblasen von Kerzen Paraffin- u. Stearinkerzen“ Biochemisches Institut für Umweltcarcinogene, 22927 Großhansdorf, 13.04.**1988**
- **Grimmer:** Untersuchungsbericht „Abbrand von gefärbten und lackierten Kerzen“, Biochemisches Institut für Umweltcarcinogene, 22927 Großhansdorf, 11.05.**1988**
- **Grimmer:** Untersuchungsbericht „Rußabgabe-Bestimmung von Kerzen“, Biochemisches Institut für Umweltcarcinogene, 22927 Großhansdorf, 09.01.**1989**
- **TÜV Rheinland:** Bericht über die Untersuchung des Temperatur- und Strömungsfeldes im Limburger Dom in der Umgebung des Opferlichttisches, 22.09.**1989**:
Aufgabe: Es wurde mit einem Hitzedrahtanemometer untersucht, wie durch Opferlichter die Luftströmung und die Lufttemperatur oberhalb des Opferlichttisches (max. 250 Lichter) beeinflußt werden. *Ergebnis:* Raumlufttemperatur und Raumluftgeschwindigkeit werden von den Opferlichtern deutlich nachweisbar beeinflußt: es wurden Temperaturen bis zu 4 °C über Raumtemperatur und Luftgeschwindigkeiten bis zu 0,8 m/s gemessen.
- **Kaufmann:** Bericht zu LAMMA (Laser Mikrosonden Massenanalyse)-Untersuchungen zur Kerzenrußdeposition im Frankfurter Dom und in der Max Kirche (Düsseldorf); Prof. R. Kaufmann, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Institut für Lasermedizin; 29.06.**1992**
Aufgabe: Mit Hilfe der LAMMA sollten Staubpartikel aus Kirchen mit starkem Opferkerzenabbrand untersucht werden. Dabei sollte untersucht werden ob und ggfs. in welchem Umfang diese Partikel aus Kerzenruß bestehen bzw. durch Kerzenruß kontaminiert sind. *Ergebnis:* Kerzenruß zeigt für die untersuchten negativen Ionen als auch für die positiven Ionen ausschließlich Kohlenstoff-Clustersignale (CnHm). Die im Kirchenraum aufgehängten und mit Partikeln belegten Grids zeigen folgendes: Hinweise auf C-Kontamination finden sich nur in 10% der Spektren (Frankfurter Dom) bzw. 40% der Spektren (Max Kirche) positiver Ionen. Bei den negativen Ionen sind mindestens 80% der der Spektren aus beiden Kirchen durch CnHm-Clusterionen dominiert sind, die grundsätzlich aus das Vorhandensein organischer Substanzen hinweisen. Im Vergleich zu den Referenzmustern kann davon ausgegangen werden, dass auch in den untersuchten Proben die Kontamination im Wesentlichen auf Ruß-Beimengungen zurückzuführen ist. Die LAMMA ermöglicht keine quantitativen Aussagen. Ein Ausschluß anderer Kontaminationsquellen ist nicht mit Sicherheit möglich, wird aber aufgrund der lokalen Umstände ausgeschlossen.
- **Grimmer:** Untersuchungsbericht Untersuchungen der Luftkonzentration von Polychlordibenzo-dioxinen und -furanen nach Abbrennen von lilagefärbten Kerzen (Ikarus und Antikljus), Biochemisches Institut für Umweltcarcinogene (Prof. Grimmer), 22927 Großhansdorf, 09.12.**1992**
- **ÖKOMETRIC:** Ergebnisbericht „Untersuchung von Kerzenrohstoffen und Bestimmung von PCDD/PCDF, PAK und kurzkettigen Aldehyden aus den Brandgasen von Kerzen“, ÖKOMETRIC GmbH Bayreuther Institut für Umweltforschung, Oktober **1994**
Die Untersuchungen zeigten, dass die Abbrandemissionen der untersuchten Paraffin-, Stearin- und Bienenwachskerzen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der untersuchten Schadstoffklassen (PAK und Aldehyde) zeigen. Auch die untersuchten Schadstoffklassen (PCDD/PCDF, Chlorphenole, Chlorbenzole, Pestizide) in den Wachsen und Dochten zeihen keine signifikanten Unterschiede. ÖKOMETRIK kommt zu dem Schluß: „Die aus Paraffin hergestellten Kerzen sind toxikologisch ebenso unbedenklich wie die Bienenwachs- oder Stearinkerzen.“

- **ÖKOMETRIC:** Ergebnisbericht „Untersuchung von Kerzenfarben und Kerzentauchlacken sowie Untersuchung der Brandgase von gefärbten und/oder lackierten Kerzen auf toxikologisch besonders relevante Schadstoffklassen“, ÖKOMETRIC GmbH Bayreuther Institut für Umweltforschung, Juli **1995**
- Vorläufiger Ergebnisbericht „Untersuchung einer Farbpigment-, einer Lackmischung und **ÖKOMETRIC:** Bestimmung von PCDD/PCDF, PAK und kurzkettigen Aldehyden aus den Brandgasen von gefärbten u. lackierten Paraffinkerzen“, ÖKOMETRIC GmbH Bayreuther Institut für Umweltforschung **1995**
- **ÖKOMETRIC:** Ergebnisbericht „Untersuchung der Brandgase von Paraffin-Duftkerzen auf toxikologisch relevante Schadstoffklassen“; ÖKOMETRIC GmbH Bayreuther Institut für Umweltforschung, Oktober **1997**
- **ÖKOMETRIC:** Untersuchungsbericht 293/97 „Untersuchung der Rohstoffe und Brandgase von 2 Kerzentypen auf die Schadstoffe PCDD/PCDF, PAK und kurzkettige Aldehyde (Formaldehyd, Acetaldehyd, Acrolein, Propionaldehyd“; ÖKOMETRIC GmbH Bayreuther Institut für Umweltforschung, 15. Dezember **1997**
Untersucht wurde eine Gel Wax –Kerze und eine Paraffinkerze (OFA5603 + 1,5% Basiswachs). PAK (EPA 610) im Gelwachs waren allesamt unterhalb der Nachweisgrenze. Für die nachgewiesenen Substanzen PCDD/PCDF, Benz(a)pyren und Formaldehyd werden MAK- und TRK-Werte bei der Basiswachskerze um mindestens den Faktor 500, bei der Gel Wax-Kerze um den Faktor 40 unterschritten.
- **ÖKOMETRIC:** Ergebnisbericht „Zweite Untersuchung von Brandgasen bei Paraffin-Duftkerzen auf toxikologisch relevante Schadstoffklassen“; ÖKOMETRIC GmbH Bayreuther Institut für Umweltforschung, März **1999**
- **TÜV Rheinland:** Bericht über Raumlufmessungen in einer Kirche bei unterschiedlichen Betriebszuständen (Gottesdienst, Kerzenabbrand, Besucher, Heizung), 10.09.**1998**:
Aufgabe: Es wurden die Staubgehalte und Schwärzungsgrade in der Raumluf einer Kirche unter verschiedenen Betriebszuständen bestimmt. Der Einfluss des Kerzenabbrandes auf den Staubgehalt der Raumluf soll ermittelt werden.
Ergebnis: Der Einfluss der Kirchenbesucher ist eindeutig abzuleiten. Die Staubgehalte sind während der Gottesdienste im Allgemeinen höher als bei anderen Betriebszuständen. Aus dem Abbrennen der Opferlichter läßt sich kein eindeutiger Einfluss auf die Anteile der Staubgehalte in der Raumluf sowie auf den Schwärzungsgrad ziehen. Die Staubkonzentrationen und Schwärzungen sind vormittags geringer als nachmittags (Erklärung fehlt; unterschiedliche Thermik? Einfluss von Außenluftbelastung).
- **DEKRA:** R. Ackermann „Prüfbericht zu Stickoxidemissionen beim Abbrand von Gel-, Haushalts- und Bienenwachskerzen“, Stuttgart, 19.04.**2002**
- **DEKRA:** R. Ackermann „Untersuchungsbericht über den Abbrand von Paraffinkerzen“, Stuttgart, 30.04.**2003**