

Primärmaßnahmen zur Schadstoffminimierung in Krematorien

G. Schetter

Zusammenfassung Die Arbeit zeigt die verbrennungstechnischen Grundlagen bei der Kremation und die Zusammenhänge zur Reduzierung der verbrennungsabhängigen Schadstoffemissionen auf. Daraus lassen sich Konstruktionsmerkmale für Kremationsofensysteme ableiten, die am Beispiel des Etagenofens unter Verwendung gemessener Emissionswerte diskutiert werden. Auch wenn beim Betrieb von Krematorien, nicht zuletzt aus Gründen der Pietät, zwischen Hauptbrennkammer (Kremationsbereich) und Nachbrennkammer (Abgasnachverbrennung) unterschieden werden muss, lassen sich durch turbulente Bedingungen im Bereich der Nachverbrennung geeignete Voraussetzungen zur Minimierung der verbrennungsabhängigen Schadstoffe schaffen. Dabei kommt der sauerstoffgeregelten Verbrennungsführung bei niedrigem Luftüberschuss eine zentrale Bedeutung bei. Die aufgezeigten Zusammenhänge fanden Berücksichtigung bei der Novellierung der Richtlinie VDI 3891, wodurch ein wesentlicher Beitrag zu den in Deutschland für Krematorien entwickelten Standards geleistet werden konnte.

Primary abatement measures for crematoria

Abstract In this paper some fundamentals of combustion processes during cremation are analysed especially considering the potential of reduction of combustion-dependent emission of harmful substances. Based on this design criteria for cremators are developed which are discussed for a multi-stage cremator, system Ruppman, comparing with emission measurement results. Not least with respect to corpse cremators should be divided at least into two combustion chambers, a main combustion chamber for cremation itself and a post combustion chamber in which under high turbulence condition the gaseous burnout has to be achieved. As shown, the oxygen-controlled process management under low excess air rates is the key for reducing combustion-dependent harmful emissions. The relationships discussed in this paper had influenced the amendment of the VDI-Guideline for crematoria in Germany – VDI 3891 – and, therefore, played a significant role in the development of the high German standards in cremation technology.

1 Entwicklung der Kremationstechnik

Die Kremation kann in Deutschland auf eine lange Tradition zurückblicken. So wurde im Krematorium Gotha am 10. Dezember 1878 die erste Kremation durchgeführt. Der erste von der Fa. Ruppman entwickelte und mit Koks befeuerte „Feuerbestattungsöfen“ ging 1908 in Betrieb und verfügte bereits damals über eine Luftvorwärmung zur Unterstützung des Kremationsprozesses [1]. Die nächsten Entwicklungsstufen waren durch den Einsatz von öl- oder erdgasbefeuerten Bren-

nersystemen und die eindeutige verfahrenstechnische Zuordnung der Verbrennungsvorgänge in unterschiedliche Verbrennungsbereiche gekennzeichnet. Diese sog. Mehrkammerofensysteme, ausgeführt als Etagen-, Kompakt- oder Flachbettöfen, verfügen heute mindestens über eine Hauptbrennkammer (Kremationsbereich), eine Abgasnachbrennkammer sowie bei Etagen- und einigen schweren Flachbettöfen über eine zusätzlich beheizte Ascheausbrennkammer. In **Bild 1** ist am Beispiel des Etagenofens die Entwicklung des Ofenaufbaus gegenübergestellt.

Steigendes Umweltbewusstsein führte dazu, dass sich Ende der 1980er Jahre zunächst der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) mit der Erstellung einer Richtlinie für Krematorien, der VDI 3891, befasste und den Stand der Technik zum damaligen Zeitpunkt beschrieb [2]. Darin wurden limitierende Emissionsmassenströme für Kohlenmonoxid (CO), Gesamtkohlenstoff (C_{Ges}), Gesamtstaub sowie Chlor- und Fluorwasserstoff vorgeschlagen. Erst im März 1997 wurden vom Gesetzgeber mit der 27. Bundes-Immissionsschutzverordnung (27. BImSchV) Emissionsgrenzwerte für Krematorien verbindlich festgeschrieben [3], die sowohl auf primär- als auch auf sekundärseitige Maßnahmen zur Schadstoffminimierung ausgerichtet sind (Tabelle 1).

Durch die Limitierung der verbrennungsabhängigen Schadstoffe CO und C_{Ges} einerseits und die parallel geführte öffentliche Diskussion über die Mechanismen der Bildung und Zerstörung polychlorierter Dibenz-p-dioxine und Dibenzofurane andererseits wurden Regelalgorithmen zur Verbrennungsführung unter emissionsmindernden Gesichtspunkten entwickelt. Der Einsatz von speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) gehört daher heute zur Grundausstattung moderner Krematorien.

Darüber hinaus haben sich ergänzend zur technischen Entwicklung auch im Hinblick auf die öffentliche Akzeptanz weiterführende Zielsetzungen ergeben, die in die im Entwurf vorliegende, aktualisierte Richtlinie VDI 3891 eingeflossen sind [4]. Hierzu zählen:

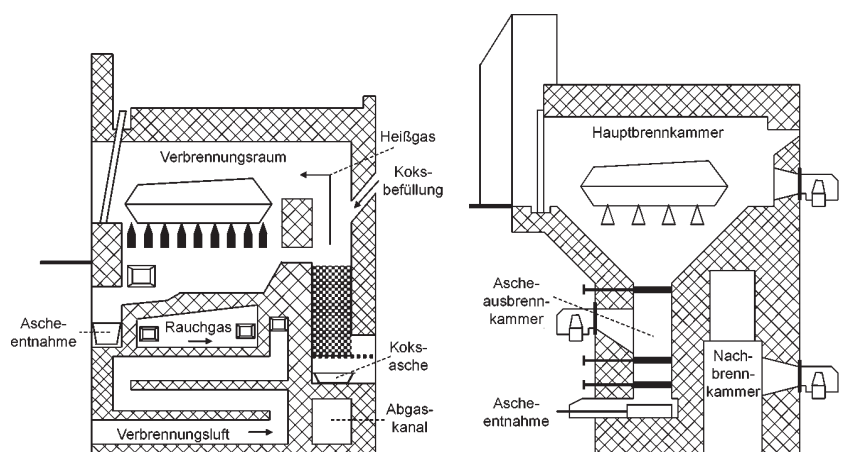


Bild 1. Aufbau Etagenofens (System Ruppman) – 1908 und heute.

Dr. Gebhard Schetter,

Dipl.-Ing. Ruppman Verbrennungsanlagen GmbH, Stuttgart.

Tabelle 1. Emissionsgrenzwerte für Krematorien [3].

Komponente	Bezug 27. BImSchV	Grenzwert ¹⁾
Kohlenmonoxid (CO)	§ 4 Nr. 1	50 mg/m ³ (i. N.)
Gesamtkohlenstoff (C _{ges})	§ 4 Nr. 2 b)	20 mg/m ³ (i. N.)
Gesamtstaub	§ 4 Nr. 2 a)	10 mg/m ³ (i. N.)
Dioxine/Furane (PCDD/F) ²⁾	§ 4 Nr. 3	0,1 ng-TE/m ³ (i. N.)

Anmerkungen:

¹⁾ Sauerstoffbezug: 11 % Volumengehalt; Ausnahme: 15 % bei Elektroofensystemen
²⁾ Summenwert unter Verwendung von Äquivalenzfaktoren (TE) gemäß Anhang 2 der 27. BImSchV

- betriebswirtschaftliche Faktoren: jährliche Kremationsleistung, Reparatur- und Wartungsaufwendungen sowie Energieeinsatz- und Verbrauchsstoffe,
- Klimaschutz und Ressourcenschonung: verminderter Energieverbrauch und damit reduzierter CO₂-Ausstoß,
- betriebliche Ablauforganisation: Auswahl geeigneter Betriebsformen in Verbindung mit Mitarbeiterschulungen, um derart komplexe technische Anlagen unter Einhaltung der Emissionsvorgaben gesichert zu betreiben,
- pietätvoller Umgang mit Verstorbenen: auch im Hinblick darauf, die Akzeptanz für die Kremation in Deutschland zu verbessern.

2 Kremation und Emissionen

Der Begriff der Kremation ist aus dem lateinischen cremare (verbrennen) abgeleitet. Die bei der Kremation vorherrschende Reaktion ist die exotherme Umsetzung von Kohlenstoff (C) mittels Sauerstoff (O₂) über CO zu Kohlendioxid (CO₂), wobei das Umsetzungsverhältnis zwischen CO₂ und CO durch das Boudouard-Gleichgewicht bestimmt wird. Die Verbrennung ist dann vollständig abgeschlossen, wenn C_{Ges} in CO₂ umgesetzt ist [5]. Obwohl es sich um eine exotherme Reaktion handelt, wird zum Start (Zündung) Aktivierungsenergie benötigt (Bild 2). Diese ist entweder durch zusätzliche Stützfeuerung und/oder aus der freigesetzten Reaktionswärme bereitzustellen.

Bei unvollständiger Verbrennung, d. h. nicht jeder Kohlenstoff oxidiert zu CO₂, verbleibt das Zwischenprodukt CO. Die Effektivität der Verbrennung wird somit durch die CO-Kon-

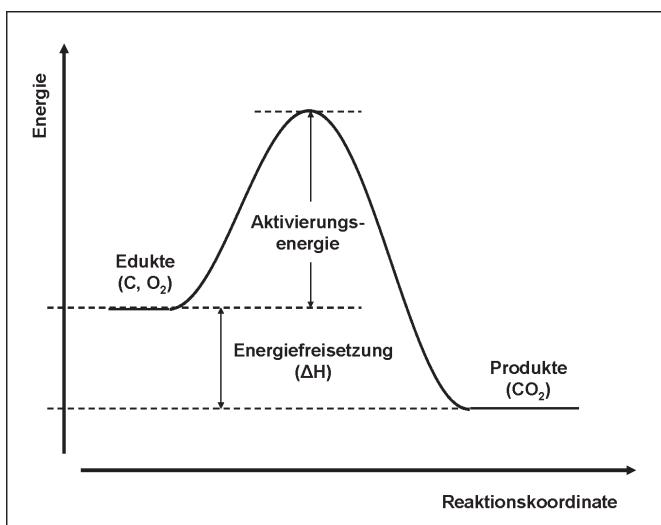


Bild 2. Reaktionsschema der Verbrennung (nach [6]).

zentration im Abgas charakterisiert. Im Idealfall wird zur vollständigen Umsetzung des Kohlenstoffs eine exakt definierte Sauerstoffmenge (Mindestsauerstoffmenge) benötigt, sodass jeder Kohlenstoff mit Sauerstoff reagiert. Dies lässt sich bei der Kremation aufgrund stark schwankender Verbrennungsreaktionen nicht erreichen, d. h. die Verbrennung muss bei Sauerstoffüberschuss erfolgen. Mit steigendem Sauer-

stoffgehalt sinkt allerdings die Verbrennungstemperatur und auch die Aktivierungsenergie. Damit wird die zweite Teilreaktion von CO zu CO₂ behindert, in deren Folge „kaltes“ CO entstehen kann. Um dies zu kompensieren, muss der Prozess über einen zusätzlichen Brenneinsatz gestützt werden. Andererseits können bei der Kremation infolge stark variierender Prozessabläufe kurzfristige und lokal begrenzte Sauerstoffmangelbedingungen auftreten, die trotz hoher Verbrennungstemperaturen nur eine unvollständige (Teil-)Verbrennung zulassen. Dieser Effekt lässt sich auch als die Entstehung von „heißem“ CO beschreiben (Bild 3). Vor diesem Hintergrund muss die Prozessführung auf die Regelung des Sauerstoffgehalts im Abgas ausgerichtet sein. In der Praxis hat sich bei Krematorien eine anzustrebende Bandbreite für den Sauerstoffgehalt im Abgas von 6 bis 15 %, bezogen auf O₂-trocken, als zweckmäßig erwiesen, wodurch noch Reserven für instationäre Reaktionsabläufe vorhanden sind.

Eine weitere sehr wirkungsvolle verbrennungstechnische Maßnahme beruht auf dem von *Gumz* postulierten Grundsatz der Verbrennung: Gemischt = Verbrannt!

Zweckmäßigerweise empfiehlt es sich demnach, die Nachbrennkammer als Turbulenzzone (Rotationsbrennkammer) auszubilden, sodass die aus dem Hauptbrennraum austretenden Produkte unvollständiger Verbrennung mit Verbrennungsluft oxidieren können. Im Gegensatz dazu erweisen sich Maßnahmen zur Turbulenzsteigerung durch vermehrte Verbrennungsluftzugabe aufgrund des damit verbundenen erhöhten Sauerstoffgehalts im Rauchgas als nicht zielführend, da, wie Bild 3 zeigt, der Prozess zur Vermeidung von „kaltem“ CO durch Zusatzfeuerung unterstützt werden muss.

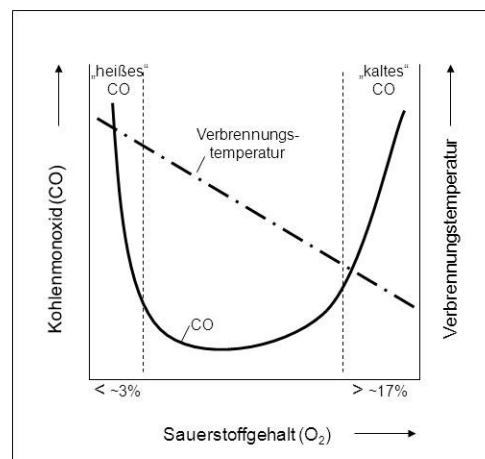


Bild 3. Qualitative Zusammenhänge im Rauchgas von Verbrennungsprozessen.

3 Mechanismen zur Bildung und Zerstörung von PCDD und PCDF

Die Mechanismen zur Bildung und Zerstörung von PCDD und PCDF unter besonderer Berücksichtigung der Anwendung auf Krematorien wurden in einer früheren Arbeit ausführlich beschrieben [7]. Demnach treten die PCDD/F-Bildungsreaktionen, die Kondensations- und Radikalreaktionen, vornehmlich bei Temperaturen unter 600 °C auf (Bild 4). Diesen Bildungsmechanismen stehen Zerstörungsreaktionen gegenüber, die während des Verbrennungsprozesses vorzugsweise in der Nachbrennkammer ablaufen. Dabei handelt es sich um die beiden ebenfalls in Bild 4 angegebenen Zerfallsreaktionen. Während der unimolekulare Zerfall in der Gasphase wesentlich von der Temperatur und der Verweilzeit bestimmt wird, handelt es sich bei den heterogenen Zerfallsreaktionen um Mechanismen, die erheblich über die Stoßrate mit im Rauchgas vorhandenen Staubpartikeln beeinflusst und somit durch turbulente Strömungsverhältnisse begünstigt werden. Diese Bedingungen für einen wirkungsvollen Abbau von PCDD/F korrespondieren mit den Anforderungen, die an eine möglichst vollständige Verbrennung, charakterisiert durch niedrige CO- und C_{Ges} -Konzentrationen, gestellt werden. Vor diesem Hintergrund ist es also naheliegend, die kontinuierlich gemessene CO-Konzentration als Leitgröße für ein günstiges PCDD/F-Potenzial nach der Nachverbrennung zu wählen. Leider lassen die bis dato vorliegenden Daten aus Krematorien sowie aus anderen technischen Verbrennungsanlagen bei CO-Konzentrationen, wie sie in der 27. BImSchV festgelegt sind, keine Korrelation zwischen CO und PCDD/F erkennen [8; 9]. Erst extreme CO-Gehalte lassen erhöhte Konzentrationen von C_{Ges} und PCDD/F erwarten [10; 11].

4 Übertragung der verbrennungstechnischen Grundkenntnisse auf die Ofentechnik am Beispiel eines Etagenofens

Von wenigen elektrisch beheizten Ofensystemen abgesehen haben sich in Deutschland die in der Regel mit Erdgas beheizten Etagen- und Flachbettofen in unterschiedlichen Ausführungsvarianten etabliert [4]. Dabei unterliegen die Vorgänge in der Haupt-, Nachbrenn- und Ascheausbrennkammer (siehe Bild 1, rechts) unterschiedlichen Zielsetzungen.

In der Hauptbrennkammer findet die eigentliche Kremation statt. Um eine möglichst gleichförmige und allseitige Energiezuführung und Sauerstoffversorgung zu erreichen, läuft die Kremation im Strahlungsaustausch zwischen Feuerwand und Sarg ab. Über ein Verbrennungsluft-Verteilungssystem, das zweckmäßigerweise aus Ober-, Seiten- und Unterluftzuführung besteht, wird der Kremationsvorgang mit Verbrennungsluft versorgt. Damit lassen sich trotz hoher Energiedichte niedrige Rauchgasgeschwindigkeiten in der Hauptbrennkammer erzielen („weiches Feuer“), wodurch der Staubaustrag über den Gaspfad gering gehalten werden kann. Im Ergebnis stellt sich ein flammenumhüllendes

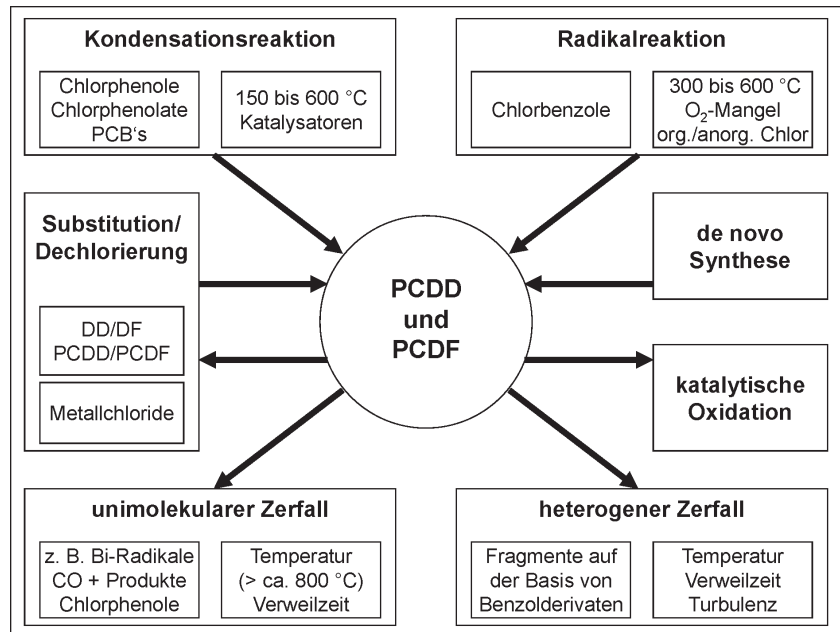


Bild 4. Bildung und Zerstörung von PCDD und PCDF (nach [7]).



Bild 5. Entwicklung des Flammenbilds bei der Kremation (Hauptbrennkammer).

der Abbrand des Sargs ein (Bild 5) ein. Erst gegen Ende einer Kremation wird der Hauptbrennkammer über den Hauptbrenner zusätzliche Wärme zugeführt.

Nach Abschluss des Kremationsvorgangs in der Hauptbrennkammer wird die verbleibende Asche, auch Urnenasche genannt, einer weiteren thermischen Nachbehandlung in der unterhalb der Hauptbrennkammer befindlichen Nachbrennkammer unterzogen. In einem Prozessschritt wird die Asche in der Aschekühlkammer langsam abgekühlt (Oberflächenmineralisierung), bevor sie über eine Aschebox dem Ofen entnommen wird. Die einzelnen Aschekammern sind gegeneinander verriegelt, sodass eine Vermischung der Aschen verhindert wird.



Bild 6. Ansichten des Etagenofens im Krematorium Salzburg (Oberofen im öffentlichen Einfahrbereich und Unterofen im Technikraum).

Neben dem Aschepfad ist innerhalb des Etagenofens auch die Nachbrennkammer zur Abgasnachverbrennung integriert. Sie ist als Rotationsbrennkammer konzipiert, womit durch turbulente Verbrennungsbedingungen die Voraussetzungen für einen guten Gasausbrand geschaffen sind. Unterstützt durch eine sauerstoffgeregelt Verbrennungsluftdosierung und bei Bedarf durch Zuschaltung des Nachbrenners unterliegen somit die Verbrennungsgase aus der Haupt- und Ascheausbrennkammer einer intensiven Nachverbrennung, bevor sie der Abgasbehandlungsanlage zugeführt werden.

Der in Bild 6 dargestellte Etagenofen zeigt den Oberofen am Beispiel des Etagenofens im Krematorium Salzburg.

5 Feuerfestauskleidung und Energieverbrauch

Zur betriebswirtschaftlichen Bewertung von Krematorien wird zunehmend der zusätzlich benötigte Energieeinsatz, meist Gasverbrauch, herangezogen. Um diesen Aspekt zu verdeutlichen, bedarf es einer wärmetechnischen Betrachtung des Kremationsofens. Das wärmetechnische Verhalten eines Kremationsofens wird bestimmt durch die Ofenauskleidung (Masse und wärmetechnische Eigenschaften) sowie der Einbeziehung der Anlagenbetriebsweise, die ihrerseits durch die Anzahl der täglichen Kremationen (Ein- oder Mehrschichtbetrieb) charakterisiert ist. Da in Krematorien, von wenigen, meist zeitlich begrenzten Ausnahmen abgesehen, üblicherweise zwischen sechs und 14 Kremationen pro Tag durchgeführt werden und Kremationsanlagen an den Wochenenden in der Regel außer Betrieb sind, ergeben sich unterschiedliche Abkühlverhältnisse. So muss beim Aufwärmen der Ofenanlage nach einem Wochenende die Ofenauskleidung nicht selten um 400 bis 500 °C erwärmt werden. Selbst nach intensiver Nutzung am Vortag gilt es für die reguläre Wochentagserwärmung eine Temperaturdifferenz von ca. 200 °C zu überwinden.

In Abhängigkeit von diesem Ausgangszustand lässt sich der Energiebedarf zur Erwärmung des Feuerfestmaterials berechnen (Bild 7). Unterstellt man eine spezifische Wärmekapazität der Feuerfestmasse von 1,1 kJ/kgK bei 20 Mg, so ergibt sich rechnerisch für eine erforderliche angenommene Wochentagserwärmung von etwa 200 °C ein Energiebedarf von rund 5 000 MJ, der einem Erdgasbedarf von etwa 135 m³ entspricht. Zu Wochenbeginn kann unter sonst gleichen Bedingungen auch mehr als die doppelte Gasmenge erforderlich werden.

Im praktischen Kremationsbetrieb wird dieser Energiebedarf zum Erwärmen der Kremationsanlage nur zum Teil vor der jeweils ersten Kremation aufgebracht, da sich infolge der trägen Wärmeleitvorgänge im Feuerfestmauerwerk zunächst die dem Rauchgas zugewandte Mauerwerksseite erwärmt. Daher ist es nicht überraschend, dass während der ersten Kremationen eines Tages der kremationsbezogene Gasverbrauch unter Einbeziehung der Aufheizphase deutlich höher ist als im weiteren Tagesverlauf (Bild 8). Dennoch stellte sich, unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs für die Ofenaufheizung, in diesem Fall im Tagesmittel ein auf die Anzahl der Kremationen bezogener Gasverbrauch (inkl. Aufheizen) von rund 17,5 m³ pro Kremation ein.

Vor dem Hintergrund umweltpolitischer Zielsetzungen zu Ressourcenschonung und Klimaschutz wurde bei der Novellierung der Richtlinie VDI 3891 den Maßnahmen zur Minderung des Primärenergieeinsatzes konsequenterweise ein eigener Abschnitt gewidmet [4], der folgende Kerninhalte umfasst:

- Ofenaufbau mit entsprechenden Materialempfehlungen,
- Prozessführung bei niedrigem Luftüberschuss,
- Reduzierung von Stillstandsverlusten, z. B. durch den Einsatz einer geregelten Abgasabsperrklappe,
- Temperaturabsenkung in der Nachbrennkammer.

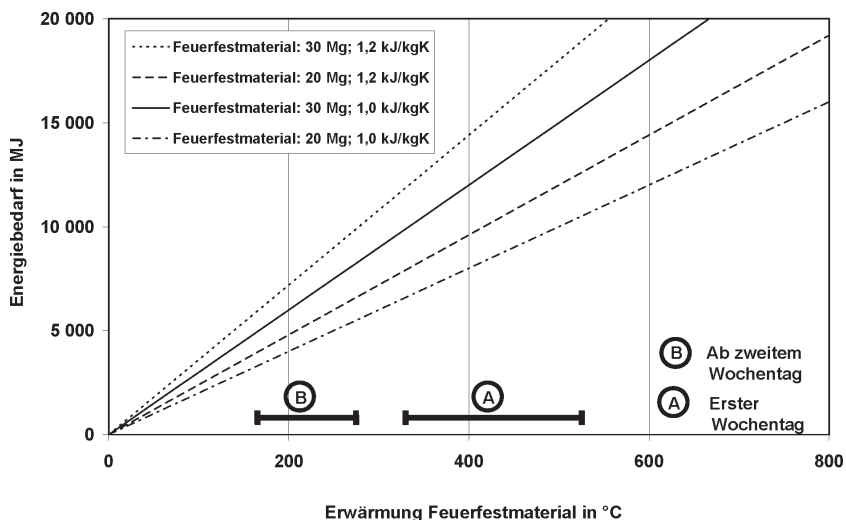


Bild 7. Energiebedarf zur Aufheizung des Feuerfestmaterials (vgl. hierzu auch [8]).

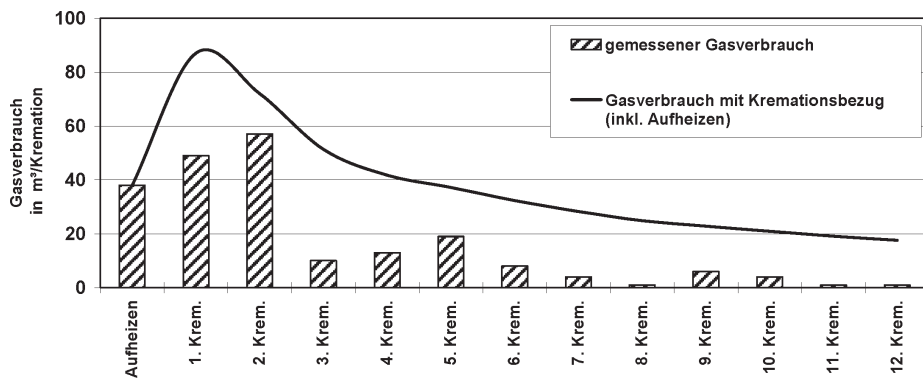


Bild 8. Gemessener Gasverbrauch an einem Etageofen.

Wie bereits berichtet [5; 8], konnte im Krematorium Düsseldorf durch die Absenkung der Temperatur in der Nachbrennkammer der Primärenergieeinsatz um rund 30 bis 35 % gesenkt werden. Dabei wurde für diese Anlage nachgewiesen, dass die Emissionsgrenzwerte der 27. BImSchV, insbesondere für PCDD und PCDF, auch bei Nachverbrennungstemperaturen von 650 und 750 °C mit entsprechendem Sicherheitsabstand eingehalten werden (Tabelle 2).

6 Novellierung der Richtlinie VDI 3891 nach dem Stand der Technik

Seit Inkrafttreten der 27. BImSchV im Jahr 1997 wurden Krematorien sowohl in technologischer als auch in organisatorischer Weise unter Berücksichtigung vorgenannter Aspekte weiterentwickelt und optimiert. Die erstmals vom Bayerischen Landesamt für Umwelt durchgeführte Datenerhebung an bayerischen Krematorien zeigte, dass bei der Kremation Betriebszustände auftreten können, die gegebenenfalls eine Überschreitung des CO-Grenzwerts zur Folge haben [12]. Aus vielen Betriebsaufzeichnungen bestehender Anlagen ging hervor, dass derartige Betriebszustände meist durch einen plötzlichen Sauerstoffabfall gekennzeichnet sind, bei denen die lokal vorhandene Sauerstoffmenge temporär nicht mehr ausreicht, um sämtliche frei werdenden Pyrolyseprodukte, d. h. Produkte unvollständiger Verbrennung, zu oxidieren. Solche Betriebszustände können z. B. beim „Zusammenfallen des Sargdeckels“ auftreten und las-

sen sich auch durch schnell öffnende Verbrennungsluftklappen nur bedingt verhindern.

Die aus den Datenerhebungen in Bayern abgeleiteten systematischen Anstrengungen zur Verbesserung der Emissionssituation erstreckten sich nicht nur auf verbrennungstechnische Prozessoptimierungen, sondern auch auf die Betriebsabläufe und die Schulung der verantwortlichen Mitarbeiter in Krematorien. Die Verpflichtung der Krematoriumsbetreiber, sich auch mit einzelnen CO-Überschreitungen auseinanderzusetzen,

fürte zu einem besseren Verständnis für die bei der Kremation vorherrschenden Prozessabläufe. Einem ersten Zwischenbericht zufolge [12] repräsentiert die Einhaltung des CO-Grenzwerts in 97 bis 99 % der Jahresbetriebsstunden den derzeitigen Stand der Technik. Die in anderen Bundesländern durchgeführten verwaltungsinternen Abfragen kamen zum gleichen Ergebnis, weshalb sich der Arbeitskreis zur Novellierung der Richtlinie VDI 3891 diesem Vorschlag anschloss und sich im Richtlinienentwurf auf nachfolgende Formulierung zu den CO-Emissionen verständigte [4]:

„Auch bei zeitgemäßer Auslegung und Konstruktion von Kremationsofenanlagen unter Würdigung sämtlicher prozesstechnischer Parameter sowie bei ordnungsgemäßigem Anlagebetrieb, einschließlich regelmäßiger Wartung und Instandhaltung, kann es in Einzelfällen vorkommen, dass die in der 27. BImSchV vorgeschriebenen Kohlenmonoxidgrenzwerte als Stundenmittelwert überschritten werden.“

Kremationsanlagen nach dem Stand der Technik halten erfahrungsgemäß unter Berücksichtigung des Verschleißes der Anlage in 97 % bis 99 % der Fälle den CO-Grenzwert ein.

Für den Fall der Grenzwertüberschreitung sind die Ursachen zu ermitteln und gegebenenfalls geeignete Maßnahmen zur Abhilfe einzuleiten.“

Parallel zur Kremationstechnik sind in der letzten Dekade die Verfahren zur Emissionsüberwachung optimiert und verfeinert worden. Beispielhaft sei darauf verwiesen, dass die heutige Messeinrichtung für CO zur Erfassung kurz-

	Kohlenmonoxid – CO – in mg/m ³ (i. N.) ¹⁾	Gesamtkohlenstoff – C _{ges} – in mg/m ³ (i. N.) ¹⁾	Staub in mg/m ³ (i. N.)	Dioxine/Furane – PCDD/F – in ngTE/m ³ (i. N.)	Geruch in GE/m ³ (i. N.) ⁵⁾
27. BImSchV	50	20	10	0,1	–
650 °C	16,9 (13,0)	0,8 (1,5)	2,18 ²⁾	0,0091 ²⁾ 0,0152 ²⁾ 0,0157 ²⁾	240 160 151
750 °C	11,6 (11,2)	6,6 (5,2)	n. g.	0,0093 ³⁾ 0,0112 ³⁾ 0,0106 ³⁾	891 151 –
850 °C	6,4 (6,8)	3,0 (3,8)	0,82 ⁴⁾	0,0221 ⁴⁾ 0,0204 ⁴⁾ 0,0197 ⁴⁾	180 113 240

Tabelle 2. Emissionsmessungen im Krematorium Düsseldorf [8].

Hinweise: ¹⁾ CO, C_{ges}: kontinuierliche Messung (11/2008 bis 02/2009) – Mittelwert und Standardabweichung

²⁾ Staub, PCDD/F: diskontinuierliche Messung (12/2008)

³⁾ PCDD/F: diskontinuierliche Messung (02/2007)

⁴⁾ Staub, PCDD/F: diskontinuierliche Messung (01/2009)

⁵⁾ Olfaktometrische Messung nach jeder Betriebsphase

zeitiger Emissionsspitzen einen maximalen Messbereich von 0 bis 3 000 mg/m³(i. N.) aufweisen muss. Ältere CO-Messgeräte waren und sind infolge Bestandsschutz häufig auf 750 oder 1 500 mg/m³ (i. N.) limitiert. Es bleibt daher abzuwarten, welche Konsequenzen sich für den CO-Grenzwert mit Blick auf den mit 97 bis 99 % angegebenen Toleranzbereich nach dem Stand der Technik ergeben.



Bild 9. Freistehender Etagenofen im Krematorium Augsburg und Einfahrraum im Krematorium Dresden.

7 Ofengestaltung und Pietät

Neben den vorgenannten verbrennungstechnischen und damit emissionsrelevanten Gesichtspunkten hängt die Wahl des Ofensystems auch von der Konzeption des Krematoriums und der damit verbundenen Betriebsstrategie ab, die viele Facetten vom „Ort des Abschieds“ bis hin zu einer „kremationsintensiven technischen Einrichtung“ aufweisen kann. In diese Entscheidungsfindung fließen weitere Faktoren ein, wie beispielsweise die prognostizierten Kremationszahlen, bauliche Rahmenbedingungen, z. B. mehrgeschossige Bauweise und Hanglage, Vorstellungen zur räumlichen Gestaltung, Arbeitsabläufe und vieles mehr. Die beiden in Bild 9 dargestellten Beispiele veranschaulichen unterschiedliche Ansätze zur Raumplanung und damit auch für die Auswahl der Ofensysteme. So eröffnen sich in Verbindung mit einem freistehenden Ofensystem vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten, die dem Bedürfnis einer individuellen Verabschiedung seitens der Angehörigen entgegenkommt, während der eher technisch konzipierte Einfahrraum Vorteile in den Arbeitsabläufen mehrerer parallel betriebener Kremationslinien aufweist.

8 Schlussfolgerungen

Die hier diskutierten Aspekte der Kremationstechnik zeigen, dass die Verbrennungsluft (Menge und Verteilung) der Schlüssel für die Abgasqualität und die sich einstellenden Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen sind. Bedingt durch die Heterogenität des Sargs und Sarginhalts unterliegen die Kremationsvorgänge einem stark variierenden Verbrennungsverhalten, das in Einzelfällen den angestrebten vollständigen Abgasausbrand behindert, sodass erhöhte CO- und C_{Ges}-Emissionswerte nicht ausgeschlossen werden können.

Das in der 27. BImSchV vorgegebene niedrige CO-Emissionspotenzial erlaubt keine Rückschlüsse auf die Rauchgasqualität hinsichtlich der Emissionen von PCDD/F. Vielmehr kommt es darauf an, dass die Komponenten der Rauchgaskühlung und -reinigung im Sinne einer ganzheitlichen Strategie zur Minimierung dieser Substanzen ausgelegt sind. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die in Deutschland für Krematorien entwickelten Standards, wie sie in der 27. BImSchV und der Richtlinie VDI 3891 definiert sind, bei konsequenter Umsetzung nur durch qualitativ hochwertige Kremationssysteme, wie hier beschrieben, erfüllt werden können.

Literatur

- [1] Nagel, R.: Wege und Ziele der modernen Feuerbestattung, Stuttgart: Wilhelm Ruppmann 1922.
- [2] Plegnière, P.: Überarbeitung der VDI-Richtlinie 3891: In: Schetter, G. (Hrsg.): Krematorium – Aktualisierung der VDI-Richtlinie 3891. Düsseldorf: Fachverlag des deutschen Bestattungsgewerbes 2011.
- [3] Siebenundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Artikel 1 der Verordnung über Anlagen zur Feuerbestattung und zur Änderung der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen) (Verordnung über Anlagen zur Feuerbestattung – 27. BImSchV) vom 19. März 1997. BGBl. I, S. 545, zul. geänd. durch Art. 11 des Gesetzes vom 3. Mai 2000. BGBl. I, S. 632.
- [4] VDI 3891: Emissionsminderung – Anlagen zur Humankremation. Berlin: Beuth 2011.
- [5] Schetter, G.: Theorie und Praxis der Kremationstechnik. In: Schetter, G. (Hrsg.): Krematorium – Aktualisierung der VDI-Richtlinie 3891. Düsseldorf: Fachverlag des deutschen Bestattungsgewerbes 2011.
- [6] Moore, W. J.; Hummel, D. O.: Physical chemistry. 4th ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall 1972.
- [7] Schetter, G.: Möglichkeiten zur Verminderung des Austrages polychlorierter Dibenzo-p-dioxine (PCDD) und -furane (PCDF) bei der Einäscherung. Vortrag VDI-Seminar, 6./7. Dez. 2000 Düsseldorf.
- [8] Schetter, G.: Untersuchung der Möglichkeiten und Auswirkungen der Temperaturabsenkung in der Nachbrennkammer bei der Einäscherung in Krematorien. DBU-Schlussbericht, Januar 2010.
- [9] Launhardt, T.: Umweltrelevante Einflüsse bei der thermischen Nutzung fester Biomasse in Kleinanlagen: Schadstoffemissionen, Aschequalität und Wirkungsgrad. Dissertation, Technische Universität München 2005.
- [10] Nussbaumer, T.: PCDD/F-Emissionen der illegalen Abfallverbrennung: Einflussgrößen, Korrelationen und Konsequenzen für Holzfeuerungen. Immissionsschutz 2 (2005), S. 43-49.
- [11] Blumenstock, M.; Zimmermann, R.; Schramm, K.; Kettrup, A.: Elucidation of relationships between chloroaromatics in full scale incinerators: high temperature formation and long-term concentration increase. Organohal. Comp. 50 (2001), S. 301-306.
- [12] Djeradi, B.: Emissionssituation in bayerischen Krematorien – Bewertung anhand von Langzeituntersuchungen. In: Schetter, G. (Hrsg.): Krematorium – Aktualisierung der VDI-Richtlinie 3891. Düsseldorf: Fachverlag des deutschen Bestattungsgewerbes 2011.