



Außenansicht
des Krematoriums
Diemelstadt.

Foto: Roland Hartmann

GEFÖRDERTES VORHABEN

Krematorium: Umsetzung von Klimaschutzzielen – Teil 2

Wie Krematorien Energie besser nutzen können, um die CO₂-Bilanz zu verbessern, hat **Dr.-Ing. Gebhard Schetter** untersucht. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt hat seine Forschung gefördert.

Auch wenn, gemessen am gesamten bundesdeutschen CO₂-Ausstoß (2019: 702 Mio Mg/a, [1]), der Anteil durch Krematorien mit 0,1 bis 0,25 Mio Mg/a [2] vernachlässigbar erscheint, ist es im Sinne eines nachhaltigen Kremationsbetriebs sinnvoll und erforderlich, die CO₂-Emissionen mit der Zielrichtung „Klimaneutraler Kremationsbetrieb“ zu senken.

Im Rahmen umfangreicher, von der Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderter Vorhaben wurde die Verbesserung der Energieeffizienz in Krematorien durch primärseitige Einflussnahme sowie durch Maßnahmen zur Abwärmenutzung untersucht [3–5]. In letztgenanntem Projekt stand ferner die Bedeutung

dieser Maßnahmen für die CO₂-Bilanz von Krematorien im Fokus.

Im ersten Teil (*siehe Friedhofskultur, Ausgabe 6/2022*) wurden die Möglichkeiten energieeffizienter Maßnahmen von Krematorien vorgestellt und bewertet. Im hier vorliegenden zweiten Teil wird deren Relevanz für die CO₂-Bilanz aufgezeigt und diskutiert.

CO₂-Minderung nach dem Greenhouse Gas Protocol

Die im Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) empfohlene Vorgehensweise zur Erreichung der Klimaneutralität einer Organisation (hier: Krematorium) untergliedert sich in die Teilschritte [7]:

- Ermittlung des CO₂-Fußabdrucks (Iststand),
- Entwicklung und Umsetzung einer CO₂-Minderungsstrategie,
- und gegebenenfalls Kompensation nicht vermeidbarer CO₂-Emissionen.

Zunächst ist der Bilanzraum zu definieren. Es ist naheliegend, das Krematorium einschließlich seiner technischen Einrichtungen wie Sargkühlräumen und Kremationslinien einschließlich Abgasbehandlungsanlagen zu berücksichtigen. Da Krematorien jedoch sehr unterschiedlich ausgerichtet sind – von rein technisch geprägten Anlagen bis hin zu Anlagen, die als „Ort des Abschieds“ konzipiert sind – erfordern Betrachtun-

gen zum gesamten CO₂-Ausstoß eine detaillierte Analyse auch weiterer Einrichtungen wie Aufbahrungs- und Abschiedsräumen sowie Verwaltungs- und Betriebsräumen, die gegebenenfalls beheizt und/oder klimatisiert werden müssen. Transportleistungen zur Sargabholung und Rückführung von Urnen, die von manchen Krematorien angeboten werden, bleiben der Einfachheit im Folgenden unberücksichtigt.

Der Vorgehensweise nach dem GHG-Protocol folgend, sind also zunächst die Energieverbrauchsdaten für sämtliche technischen Einrichtungen des Krematoriums zu ermitteln. Diese Energieströme werden mit CO₂-Emissionsfaktoren verknüpft und auf diese Weise eine Treibhausgasbilanz (CO₂-Fußabdruck) erstellt. In einem zweiten Schritt wird ermittelt, welche Klimaschutzziele verfolgt werden können und wie sich Einsparungen erzielen lassen. Dazu sind die Maßnahmen zur Energieeinsparung einerseits und der Abwärmenutzung andererseits zu bewerten und deren Einfluss auf das CO₂-Minderungspotenzial abzuschätzen. Nach Umsetzung einer krematoriumsspezifischen CO₂-Minderungsstrategie empfiehlt es sich, den aktualisierten CO₂-Fußabdruck erneut zu berechnen, um das Potenzial nicht vermeidbarer CO₂-Emissionen zur ermitteln. Weitere Hinweise zur Vorgehensweise der quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen finden sich in DIN EN ISO 14064-1 [8].

CO₂-Emissionsfaktoren und mindernde Maßnahmen

Im ersten Teil dieser Arbeit wurde das primärseitige Potenzial zur Reduzierung des Gaseinsatzes durch Absenkung der in der 27. BImSchV geforderten Mindesttemperatur von 850 °C auf 750 °C diskutiert. Das damit verbundene CO₂-Minderungspotenzial lässt sich unter Verwendung von CO₂-Emissionsfaktoren abschätzen. Diese liegen einer Studie des Umweltbundesamtes zufolge je nach Gasherkunftsgebiet zwischen 55,7 und 55,9 t CO₂/TJ und damit im Bereich des Default CO₂-Emissionsfaktors der IPCC 2006 Guidelines, der für Erdgas mit 56,1 t CO₂/TJ angegeben ist [9].

Für die folgenden Betrachtungen wird Erdgas mit einem Heizwert von 36,4 kJ/m³ (10,1 kWh/m³) zugrunde gelegt. Für die in [6] beschriebenen Versuchsreihen können damit die kremationsbezogenen CO₂-Emissionen berechnet werden (Tabelle 1). Bemerkenswert erscheint insbesondere, dass auch bei einer Linie mit hohen Kremationsleistungen, wie das Beispiel des Krematoriums Pforzheim zeigt, ein deutliches Minderungspotenzial festzustellen war. Ob diese Feststellung auf andere Anlagen übertragen werden kann, bleibt abzuwarten.

Aufgrund dieser positiven Ergebnisse wurde für die Linie 2 des Krematoriums Schwäbisch Hall eine langfristige Ausnahmegenehmigung zur Absenkung der Mindesttemperatur auf 750 °C erteilt, die zwischen-

Danksagung

Das dieser Arbeit zugrunde liegende Forschungsprojekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert. Besonderer Dank gebührt Franz-Peter Heidenreich, der dieses Projekt seitens der DBU betreut hat, sowie Jochen Lutz, der sein Krematorium zur Verfügung gestellt und das Vorhaben mit wertvollen Tipps unterstützt hat. Zudem möchte ich mich bei Heiko Friederichs von der H.R. Heinicke GmbH (Verden) bedanken, der sich als wichtiger Diskussionspartner eingebracht hat. Dank gebührt ferner Dieter Zahn von der IFZW GmbH, der den Zugang zu seiner Pilotanlage im Krematorium Diemelstadt ermöglicht hat.

zeitlich bis 31.12.2023 verlängert wurde. Anfang dieses Jahres wurde für diesen Betriebszustand die Prozesseinstellung weiter optimiert. Der erdgasäquivalente Verbrauch konnte dadurch auf knapp über 2 m³ pro Kremation gesenkt werden.

Unter Verwendung oben genannter CO₂-Emissionsfaktoren liefern die aktuellen Daten an Linie 2 des Krematoriums Schwäbisch Hall für die Ofenbeheizung demnach eine Größenordnung von 4 bis 5 kg CO₂ pro Kremation.

Wie in [5, 6] ausführlich gezeigt, kommen unterschiedliche Möglichkeiten der Abwärmenutzung infrage:

- Wärmenutzung zur Raumheizung oder Brauchwassererwärmung,
- Ab-/Adsorptionstechnik zur Kälteerzeugung, ▶

Tabelle 1: CO₂-Emissionsminderung durch Betrieb mit reduzierter Mindesttemperatur

Kremationsspez. CO ₂ -Emission inkl. Aufheizbetrieb	Krematorium Berlin-Baumschulenweg Linie 3	Krematorium München Linie 5	Krematorium Pforzheim
Betriebsweise	2 (3) - Schichtbetrieb ca. 16 Kremationen/ Tag	1 (2) - Schichtbetrieb ca. 9 Kremationen/ Tag	2 (3) - Schichtbetrieb 24 bis 32 Kremationen/ Tag
850 °C (Referenz)	40,2 m ³ / Kremation 82,1 kg CO ₂ / Kremation	26,0 m ³ / Kremation 53,1 kg CO ₂ / Kremation	7,6 m ³ / Kremation 15,5 kg CO ₂ / Kremation
750 °C	28,8 m ³ / Kremation 58,8 kg CO ₂ / Kremation	22,6 m ³ / Kremation 46,2 kg CO ₂ / Kremation	1,7 m ³ / Kremation 3,5 kg CO ₂ / Kremation
CO₂-Einsparung	23,3 kg CO ₂ / Kremation (= 28,4 %)	6,9 kg CO ₂ / Kremation (= 13,1 %)	12,0 kg CO ₂ / Kremation (= 77,6 %)

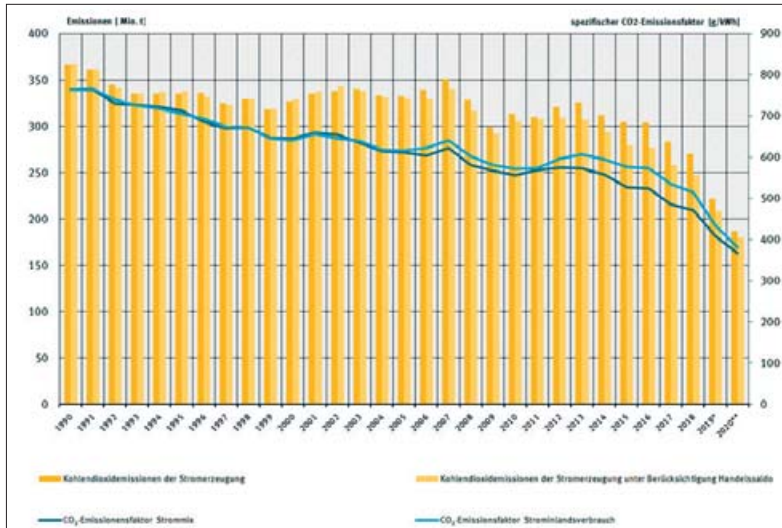


Bild 1: Entwicklung der CO₂-Emissionsfaktoren für den bundesdeutschen Strommix (aus [10]).

- ORC-Technik zur Stromerzeugung.

Da durch die Kälteerzeugung aus Abwärme Stromverbrauch für Kompressionskältemaschinen substituiert wird, kann die Bewertung letztgenannter Technologien anhand von CO₂-Emissionsfaktoren zur Stromerzeugung erfolgen. Nach den Ermittlungen des Umweltbundesamtes der Jahre 1990 bis 2019 haben sich die CO₂-Emissionsfaktoren für den in Deutschland geltenden Strommix entsprechend Bild 1 entwickelt [10]. Für 2020 wird in dieser Studie der CO₂-Emissionsfaktor mit 366 g/kWhel angegeben. Es sei darauf verwiesen, dass der von den örtli-

chen Energieversorgern gelieferte Strom hiervon abweichende CO₂-Emissionsfaktoren aufweisen kann.

Angewandt auf die ORC-Technik, lassen sich erste Abschätzungen zur CO₂-Minderung durch den Einsatz der ORC-Technik vornehmen. Legt man den Wirkungsgrad der ORC-Anlage mit rund 5 Prozent zugrunde [6], so kann für einen Zwei-Linienbetrieb mit 500 kWth eine Stromerzeugungsleistung von 25 kWel angenommen werden. Eine mittlere Kremationszeit von einer Stunde unterstellt, ergibt sich im Durchschnitt pro Kremation die erzeugte Strommenge zu 12,5 kWel. Basierend auf

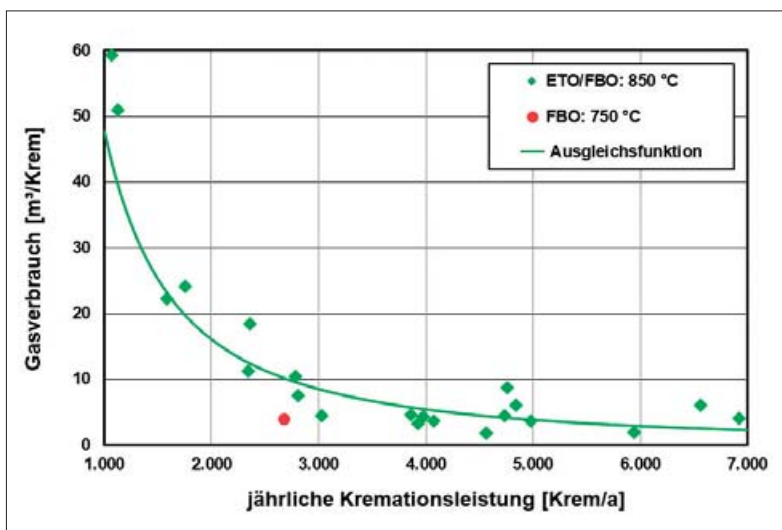


Bild 2: Gasverbrauch einiger Krematorien (ETO: Etagenofen; FBO: Flachbettöfen) (aus [6]).

dem bereits beschriebenen bundesdeutschen Strommix ergibt sich die kremationsbezogene CO₂-Minderung zu etwa 4,5 kg CO₂.

In ähnlicher Weise lässt sich auch die CO₂-Einsparung durch Einsatz einer Absorptionskältemaschine als Unterstützung der Sargkühlung abschätzen. Eine LiBr/H₂O-Absorptionsanlage unterstellt, kann diese wie in [5] ausgeführt, rund 50 Prozent des Stromverbrauchs für eine Kompressionskältemaschine substituieren, die für die Sargkühlung erforderlich ist. Selbst bei kleinen Sargeinstellräumen liegt der übliche Stromverbrauch in der Größenordnung von 3 kWel.

Die Halbierung des Stromverbrauchs liefert, auf das Jahr bezogen, eine Einsparung von 13.15 MWhel oder eine CO₂-Minderung von rund 4,8 Mg. Bezieht man diese Größenordnung auf eine Kremationsanlage mit kleiner Kremationsleistung (rund 1.500 Kremationen pro Jahr), so ergibt sich daraus eine kremationsbezogene CO₂-Minderung von etwa 3,2 kg CO₂ für die Sargkühlung. Zusätzliche Effekte lassen sich außerdem bei der Raumklimatisierung erzielen.

Modellierung der CO₂-Emission für Krematorien

Um modellhaft die CO₂-Emission für Krematorien abzuschätzen, sind folgende Quellen in Betracht zu ziehen:

- Kremation des Sargs,
- Ofenbeheizung (durch Gas oder elektrisch),
- Stromverbrauch für den Anlagenbetrieb,
- Sargkühlung (Kompressions- / Ad- / Absorptionskälte)
- Raumheizung / -klimatisierung.

Sarg und Leichnam als nachwachsender Rohstoff?

In den in Deutschland geltenden VDI-Richtlinien 3891, Absatz 4.1, ist geregelt, dass die Kremation in einem Sarg durchzuführen ist [11]. Dabei sind ausschließlich Vollholzsärge oder holzbasierte Produkte gemäß DIN EN 12775 zugelassen.

Mit Blick auf die hier angestellte CO₂-Betrachtung wird vereinfachend von Holz ausgegangen, das

beim Verbrennen die Menge an CO₂ freisetzt, die der Baum vorher aus der Atmosphäre über die Photosynthese aufgenommen hat. Analog hierzu kann auch der Leichnam, der im Wesentlichen aus Wasser und Kohlenstoff besteht, bei den nachfolgenden Betrachtungen als „nachwachsender Rohstoff“ betrachtet werden, so dass die verbrennungstechnische Umsetzung des Sargs und Leichnams vereinfachend als CO₂-neutral angesehen werden kann.

Ofenbeheizung

Die Modellierung der Ofenbeheizung erfolgt unter Verwendung der Ausgleichsfunktion, die auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden Gasverbrauchsdaten in [6] ermittelt wurde (Bild 2).

Stromverbrauch für den Anlagenbetrieb

Der Stromverbrauch für sämtliche Aggregate des Anlagenbetriebs, wie Antriebsmotoren, Gebläse, insbesondere Saugzuggebläse, Pumpen und Ventilatoren (Rückkühlwerk), Kompressoranlage für Druckluftabreinigung und Steuerluft, SPS Prozesssteuerung sowie Server und Klimageräte für Mess- und Steuerschrank, wird maßgeblich von der Betriebszeit des Krematoriums, aber auch von der technischen Anlagenkonfiguration (beispielsweise Druckverluste im System) und der Umgebungstemperatur bestimmt.

Letzteres betrifft insbesondere das Rückkühlwerk, das in Sommermonaten bei höherer Umgebungstemperatur und somit geringerer Temperaturspreizung eine deutlich höhere Ventilatorleistung zur Abführung der Abwärme benötigt. Aber auch der Einsatz verfahrenstechnisch bedingter Klimageräte unterliegen den jahreszeitlichen Schwankungen.

Die Ermittlung des Strombedarfs dieser Verbraucher bedarf somit einer Einzelfallanalyse. Aus dem Betrieb von Kremationslinien kann für den Stromverbrauch eine Größenordnung von etwa 8 bis 18 kWhel pro Kremation angenommen werden, der in Einzelfällen bei ungünstigeren Bedingungen auch höher ausfallen kann.

Sargkühlung

Bei der Sargkühlung wird üblicherweise die Kühlkammertemperatur auf 2 bis 6 °C, in einigen Fällen auch geringfügig höher, gehalten. Die bei Einsatz von Kompressionskältemaschinen aufzubringende elektrische Leistung liegt im Bereich von rund 0,4 bis 0,5 kWhel/kW_K. Der Kältebedarf für ein Sarglager hängt maßgeblich von der Konzeption der Kammer (Größe der Türöffnung im Verhältnis zum Raumvolumen), Anzahl der eingestellten Särge sowie Frequentierung der Kühlkammer ab. Um die Sargkühlung möglichst realistisch abzubilden, müssen Annahmen getroffen werden.

Im Folgenden wird zwischen unterschiedlichen Einstellmöglichkeiten differenziert, die dem Bedarf der jährlichen Kremationsleistung Rechnung tragen sollen. Folgende Leistungsansätze wurden gewählt:

- Geringe Sargeinstellkapazität:

- 3 kWhel (etwa 6 bis 7,5 kWh_K)
- Mittlere Sargeinstellkapazität: 10 kWhel (etwa 20 bis 25 kWh_K)
- Große Sargeinstellkapazität: 15 kWhel (etwa 30 bis 37,5 kWh_K).

Raumklimatisierung

Im Gegensatz zur Sargkühlung liegt die zu erzielende Raumtemperatur bei etwa 21 °C. Für die Klimatisierung von Sargaufbauungsräumen sollten dagegen Temperaturen von etwa 8 bis 12 °C angestrebt werden. Für die Raumkühlung ist nach Erfahrungswerten etwa 0,25 bis 0,35 kWhel/kW_K an elektrischer Leistung aufzubringen. Die Raumkühlung fällt, abgesehen von Aufbauungsräumen, nicht ganzjährig an und ist auch arbeitstäglich nicht durchgängig erforderlich. Diesem Umstand wird vereinfachend mit folgenden Ansätzen Rechnung getragen:

- Geringer Bedarf: 3 kWhel, 8 Stunden/Tag, 120 Arbeitstage ▶

Anzeige

Sachsenband
Rasenkanten, Beeteinfassungen & Wegbegrenzungen aus Aluminium und Cortenstahl
 Seit 20 Jahren Markenqualität

- ✓ Feste Ansprechpartner
- ✓ individuelle Beratung
- ✓ kurze Lieferzeiten

Sachsenband Metalltechnik GmbH
 Grothwisch 8 · 25482 Appen bei Hamburg
 Telefon: +49 (0) 4101 5179050
 Mail: info@sachsenband.de · Web: www.sachsenband.de

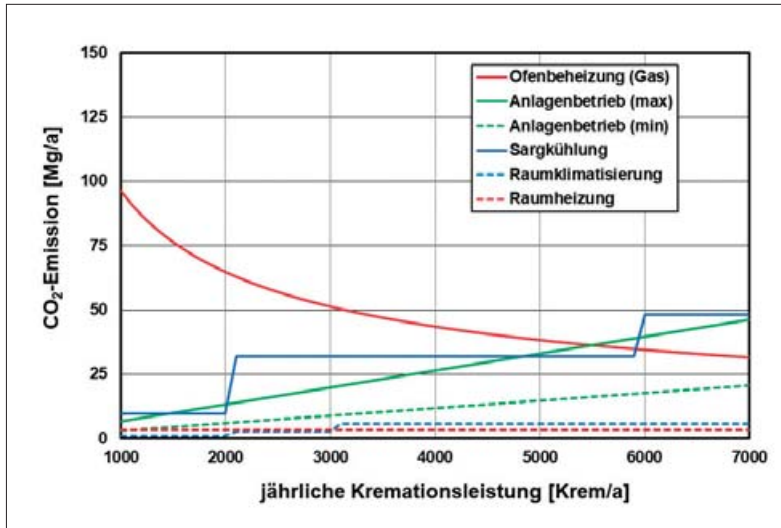


Bild 3: Modellierter CO₂-Emissionsanteile in Abhängigkeit von der jährlichen Kremationsleistung.

- Mittlerer Bedarf: 5 kWhel, 12 Stunden/Tag, 120 Arbeitstage
- Großer Bedarf: 8 kWhel, 16 Stunden/Tag, 120 Arbeitstage.

Raumheizung

Für die Beheizung der Betriebsräume wird willkürlich ein KfW 55 Effizienzgebäude zugrunde gelegt.

In diesem Fall beträgt der maximale Jahresprimärenergiebedarf 55 kWh/m². Obwohl in Krematorien mit höherer jährlicher Kremationsleistung mehr Mitarbeiter tätig sind, wird nachfolgend von einer einheitlichen Grundfläche der Büro- und Verwaltungsräume von 300 m² aus-

gegangen. Der jährliche Heizbedarf ergibt sich demnach zu 16.500 kWh. Für die Betrachtung der erzeugten CO₂-Emission wird eine konventionelle, gasbefeuerte Heizungsanlage unterstellt.

Modellierung

Auf der Basis vorgenannter Annahmen und unter Berücksichtigung der in diesem Beitrag verwendeten CO₂-Emissionsfaktoren lassen sich die Anteile der CO₂-Emissionen in Abhängigkeit der jährlichen Kremationsleistung berechnen (Bild 3).

Die Modellierung der einzelnen CO₂-Quellen zeigt, dass bei nied-

rigen jährlichen Kremationsleistungen der Anteil der Kremationsofenbeheizung den entscheidenden Beitrag liefert.

Da der Stromverbrauch für den Anlagenbetrieb direkt von der Anzahl der durchgeführten Kremationen abhängt, gewinnt dieser Anteil mit steigender jährlicher Kremationsleistung an Bedeutung. Ähnlich verhält es sich mit der Sargkühlung, wobei die fiktiv angenommenen Größenverhältnisse lediglich orientierenden Charakter haben.

Die für eine Gesamtbetrachtung für ein Krematorium der Vollständigkeit halber zu berücksichtigenden Anteile der Raumheizung und -klimatisierung sind für den CO₂-Gesamtausstoß von untergeordneter Bedeutung.

Fasst man die CO₂-Emissionsbeiträge der einzelnen Quellen zusammen und bezieht das Gesamtergebnis auf die jährliche Kremationsleistung, so ergibt sich der in Bild 4 dargestellte kremationsbezogene CO₂-Ausstoß in Abhängigkeit der jährlichen Kremationsleistung.

Kremationsspezifische Zielgröße für die CO₂-Emission

Aus der Modellbetrachtung im vorangegangenen Abschnitt ist es naheliegend, für die Kremation eine CO₂-Emissionszielgröße abzuleiten. Aufgrund der in dieser Arbeit beschriebenen Möglichkeiten zur CO₂-Minderung wird folgende Zielgröße vorgeschlagen:

20 kg CO₂/Kremation

Angesichts des Umstandes, dass bei Kremationslinien mit geringer jährlicher Kremationsleistung Stillstandsverluste stärker zu Buche schlagen, wäre zu überlegen, ob beispielsweise für Anlagen mit weniger als 2.000 Kremationen pro Jahr ein höherer Zielwert in Betracht zu ziehen ist.

Ziel sollte es jedoch sein, durch Maßnahmen, wie sie in dieser Arbeit sowie in [5,6] beschrieben sind, vorgenannten Ansprüchen auch für Kremationslinien kleiner Leistung gerecht zu werden. Gleichwohl geht es dem Autor nicht darum, den Betrieb kleiner Krematorien, die nicht selten einen hohen Stellenwert für die örtliche Bestattungskultur besitzen, infrage zu stellen.

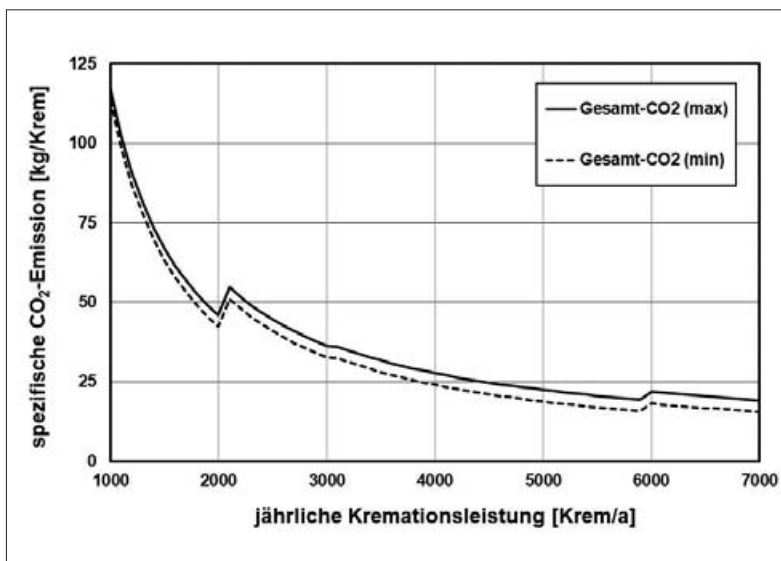


Bild 4: Modellhaft berechnete, kremationsbezogene CO₂-Emission in Abhängigkeit der jährlichen Kremationsleistung.



Foto: Thomas Engmann

Feuerbestattung Traunstein – Blick in den Sargübergabebereich.

Handlungsempfehlung zur Einhaltung der CO₂-Zielgröße

Die im vorangegangenen Abschnitt formulierte CO₂-Zielgröße stellt eine zukunftsweisende Anforderung an Krematorien dar, die insbesondere für Anlagen mit geringen Kremationsleistungen eine umfassende strategische Ausrichtung erfordert.

Die Möglichkeiten zur Einhaltung dieser Zielsetzung lassen sich in mehrere Maßnahmen untergliedern:

- **Primärmaßnahmen:**

Der Kremationsprozess sollte entsprechend Abschnitt 6.1.3 der VDI Richtlinie 3891 [11] betrieben werden. Darüber hinaus sollten auch die Möglichkeiten zur Reduzierung der Mindesttemperatur in der Nachbrennkammer ausgeschöpft werden, wie sie bei Elektroofensystem seit vielen Jahren akzeptiert werden.

Es wäre daher konsequent, wenn der Gesetzgeber bei einer Novellierung der 27. BImSchV [12] generell auf die Einhaltung jedweder Min-

desttemperatur in der Nachverbrennung verzichten würde.

- **Sekundärmaßnahmen:**

Als nachgeordnete Maßnahmen kommen sämtliche Möglichkeiten der Abwärmenutzung infrage. Die Umsetzung in Bestandsanlagen ist jedoch nicht immer oder nur mit sehr hohem technischem und finanziellem Aufwand möglich.

- **Tertiärmaßnahmen:**

Hierunter werden Maßnahmen ver-

standen, die mittelbar die CO₂-Emission am Krematoriumsstandort reduzieren. Eine wirkungsvolle Ergänzung könnte durch den Einsatz der Solartechnik erreicht werden. Auch der Bezug von Ökostrom und der Einsatz von Biogas sollte in Erwägung gezogen werden.

👤 **Dr.-Ing. Gebhard Schetter, Schetter GmbH & Co. KG, Kirchheim unter Teck**

Quellenverzeichnis

- 1 <https://www.vdi.de/news/detail/deutschlands-anteil-an-den-globalen-co2-emissionen>, abgerufen am 07.02.2022.
- 2 <https://www.welt.de/wirtschaft/article236678657/Bestattungen-Das-erste-klimaneutrale-Krematorium-Deutschlands.html>, abgerufen am 07.02.2022.
- 3 Schetter, G.: Untersuchung der Möglichkeiten und Auswirkungen der Temperaturabsenkung in der Nachbrennkammer der der Einäscherung in Krematorien, DBU Schlussbericht (AZ 26847), 2010.
- 4 Schetter, G.: Langzeituntersuchungen zu Emissions- und Schadstoffminderungen in Krematorien durch veränderte energieeffiziente Betriebsweisen, DBU Schlussbericht (AZ 31407/01), 2016.
- 5 Schetter, G.: Steigerung der Energieeffizienz von Krematorien durch Einsatz der ORC-Technik oder Verfahren zur Kälteerzeugung, DBU Schlussbericht (AZ 35389/01), 2022.
- 6 Schetter, G.: Krematorium – Teil 1: Energieeffiziente Betriebsweise, Friedhofskultur, Nr. 6, Juni 2022.
- 7 <http://www.greengas.org.uk/pdf/GGCS-and-GHG-Protocol.pdf>, abgerufen am 02.03.2022.
- 8 DIN EN ISO 14064-1: Treibhausgase – Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene (ISO 14064-1:2018); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14064-1:2018.
- 9 Jührich, K.: CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe, Umweltbundesamt Fachgebiet Emissionssituation (I 2.6), Juni 2016.
- 10 Icha, P., Lauf, T., Kuhs, G.: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2019, Umweltbundesamt, 2020.
- 11 VDI-Richtlinie 3891: Emissionsminderung – Anlagen zur Humankremation, März 2013.
- 12 27. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (BImSchV): Verordnung über Anlagen zur Feuerbestattung, 19.03.1997, Beck-Texte, 9. Auflage, Nov. 2007.