

## Vorhersage der Schallemissionen industrieller Fackelsysteme

Carl-Christian Hantschk, Edwin Schorer

MÜLLER-BBM GmbH, 82152 Planegg, Deutschland, Email: CHantschk@MuellerBBM.de, ESchorer@MuellerBBM.de

### Einleitung

Zum sicheren Betrieb von Anlagen in der petrochemischen Industrie bedarf es in der Regel einer Möglichkeit, brennbare Gase möglichst schnell zu entsorgen. Dabei kann es sich um kleinere Mengen aus Leckagen oder Betriebsumstellungen handeln, aber auch um hohe bis sehr hohe Volumenströme beim An- und Abfahren von Verfahrensanlagen oder, im Extremfall, bei der Notabschaltung und Schnellentspannung der Anlage oder von Anlagenteilen. In aller Regel verbietet es der Umweltschutz, die unverbrannten Gase direkt in die Atmosphäre zu entspannen, da sie toxische oder gesundheitsschädliche Komponenten enthalten und zudem bei unkontrollierter Zündung zu Bränden oder Explosionen führen können. Stattdessen werden die Gase üblicherweise in einer Fackel abgebrannt.

Im Wesentlichen handelt es sich bei einer Fackel um eine Anlage, in der brennbare Gase zuverlässig gezündet werden und dann kontrolliert an einem definierten Ort abbrennen. Dies muss für alle möglichen Betriebszustände und Durchsätze so erfolgen, dass Personen und Umwelt vor Wärmestrahlung, heißen Gasen, Schadstoffausstoß und übermäßigen Geräuschemissionen geschützt werden.

### Fackeltypen

Je nach Anwendung können moderne Industriefackeln in folgende drei Kategorien eingeteilt werden [1]:

- Hochfackeln – gekennzeichnet durch ein senkrecht stehendes hohes Rohr („Fackelkamin“, bis > 200 m) an dessen oberem offenen Ende die Fackelgase in einer einzelnen Flamme verbrennen.
- Bodenfackeln – typischerweise mit einer Anzahl von Brennern, die *in* einen oben offenen Kamin (Durchmesser bis > 15 m) feuern. Die Verbrennung findet innerhalb des Kamins statt und die Flammen sind außen nicht sichtbar.
- „Multi-point“-Bodenfackeln – bei denen die Fackelgase auf eine grosse Anzahl von Einzelbrennern verteilt werden (mehrere Hundert), die meist in Reihen auf einer Fläche angeordnet sind (1.000 m<sup>2</sup> bis > 10.000 m<sup>2</sup>), von hohen Schirmen (bis zu 20 m) zum Schutz vor Wärmestrahlung und Lärm umgeben.

### Schallemissionen und Schallschutz

Für die Betreiber von Fackelanlagen ist im Zusammenhang mit deren Geräuschemissionen nicht nur die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte maßgeblich, sondern auch die für die Akzeptanz in der Bevölkerung und das Verhältnis der Nachbarn zur betreffenden Industriean-

lage wichtige Wahrnehmung der Fackelaktivität in der Öffentlichkeit.

Zur schalltechnischen Optimierung von Fackeln finden – je nach Typ – verschiedene primäre (z.B. geräuscharme Brennerkonzepte) und sekundäre Schallschutzmaßnahmen (z.B. Absorptionsschalldämpfer und Schallschirme) Anwendung.

Entscheidendes Charakteristikum der meisten Fackelsysteme ist jedoch, dass sie bei laufendem Betrieb der angeschlossenen Anlagenteile als Notfalleinrichtungen aus Sicherheitsgründen unter keinen Umständen außer Betrieb genommen werden können. Daher besteht bei einer Fackel, die sich nach Inbetriebnahme als zu geräuschintensiv herausstellt, in der Regel für mehrere Jahre (bis zum nächsten Anlagenstillstand) keine wirtschaftlich akzeptable Möglichkeit, das bestehende Schallschutzkonzept zu verbessern.

Stattdessen muss ein optimales Schallschutzkonzept bereits im Planungsstadium ausgearbeitet werden. Dies wiederum kann nur dann erfolgreich geschehen, wenn die zu erwartenden Schallemissionen und deren Spektrum mit ausreichender Genauigkeit prognostiziert werden können.

### Einfache Prognosemodelle

Einfache Beziehungen zur Vorhersage der Schallemissionen von Fackeln können beispielsweise der VDI-Richtlinie VDI 3732 [2] entnommen werden. Diese unterscheidet zwischen Hochfackeln und Bodenfackeln und bietet zur Berechnung des A-bewerteten Schalleistungspegels der von diesen Fackeln abgestrahlten Geräusche die folgenden Formeln an:

$$\text{Bodenfackeln: } L_{WA} = 100 + 15 \cdot \lg\left(\frac{Q}{Q_0}\right) \quad (1)$$

$$\text{Hochfackeln: } L_{WA} = 112 + 17 \cdot \lg\left(\frac{Q}{Q_0}\right) \quad (2)$$

Dabei sind  $L_{WA}$  der A-bewertete Schalleistungspegel in dB (re  $1 \cdot 10^{-12}$  W),  $Q$  der in der Fackel verbrannte Gasmassenstrom in t/h und  $Q_0$  der Bezugsmassenstrom von 1 t/h. Ein bedeutender Vorteil der Gleichungen ist, dass die Berücksichtigung des Betriebszustandes über eine einzige Eingabegröße  $Q$  erfolgt und so eine schnelle Abschätzung der zu erwartenden Emissionen möglich ist. Allerdings ist das Spektrum an Fackelausführungen und Betriebszuständen, innerhalb dessen die Näherungen brauchbare Ergebnisse liefern, eingeschränkt, da die obigen Beziehungen eine Regression an Messdaten sind, die an einer begrenzten Anzahl vergleichbarer Fackeln gewonnen wurden. Idealerweise sollten daher Gleichungen (1) und (2), um große Ungenauigkeiten zu vermeiden,

nur auf Fackelsysteme mit den folgenden Eigenschaften angewendet werden:

- Fackel-Bauart: Standardausführung
- Betriebszustand: Gas-Auslegungsmenge für rauchlose Verbrennung
- Gaseigenschaften:  $\approx$  Ethylen; niedrige Drücke

## Anforderungen an universelle Prognosemodelle

Moderne Fackelsysteme sind hochoptimierte Speziallösungen, die sich so deutlich voneinander unterscheiden, dass von einer „Standardausführung“ kaum gesprochen werden kann. Darüber hinaus werden sie in den unterschiedlichsten Zuständen betrieben, von denen für den Betreiber nicht nur der Auslegungsfall schalltechnisch relevant ist. Für die Schallschutzplanung wird daher eine zuverlässige Emissionsprognose für ein breites Spektrum von Fackelkonfigurationen und -zuständen benötigt.

Wieviel Geräusche von den zahlreichen zu einer Fackel gehörigen Einzelquellen abgestrahlt werden und welcher Anteil davon letztendlich an einem bestimmten Immissionsort in der Nachbarschaft empfangen wird, hängt von einer Vielzahl von Parametern ab, z.B. [3]:

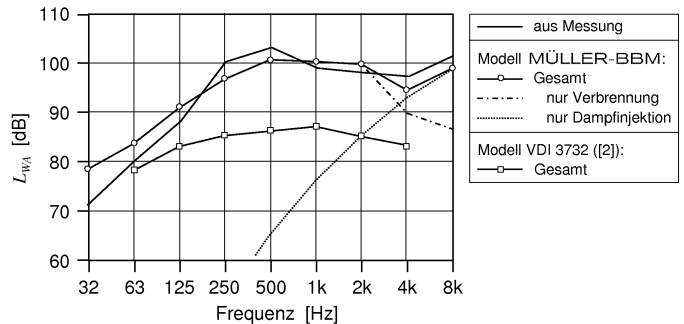
- Fackelbauart und -geometrie: Hoch-, Boden-, Multi-point-Fackeln; Anzahl, Gestaltung und Anordnung des/der Brenner(s); Kaminhöhe und -durchmesser
- Einrichtungen zur Gewährleistung einer rauchlosen Verbrennung: Dampf-/Luft-eindüsung, Anzahl, Anordnung, Gestaltung etc. der Injektoren; Verbrennungsluftgebläse, Gebläseparameter
- Lastfall: Teillast, Vollast, Auslegungsfall; Dampf-/Luft-Überschuss/-Mangel
- Eigenschaften von Fackelgas, Dampf und Luft: Durchsatz, Zusammensetzung, Temperatur, Druck, Austrittsgeschwindigkeiten
- Flammenvolumen und -länge
- (Regel-)Ventilparameter: Typ, Druckabfall, Druckstufung, angeschlossene Rohrleitungen
- Spektrum, Richtwirkung, Ton- und Impulshaltigkeit der abgestrahlten Geräusche
- Schallschutzmaßnahmen: Schalldämpfer, absorbierende Auskleidungen, Schirme, Isolierungen
- Schallausbreitungsbedingungen

Ein universell anwendbares Prognosemodell, das als Basis für die Schallschutzplanung an Fackeln geeignet sein soll, muss die beschriebenen Effekte und Parameter berücksichtigen können, um ausreichende Planungssicherheit zu gewährleisten.

## Modellvergleich

Um die erhöhte Vorhersagegenauigkeit von Modellen mit detaillierter Berücksichtigung der beschriebenen

Einflussparameter zu illustrieren, werden im Folgenden die Ergebnisse des einfachen Modells aus VDI-Richtlinie VDI 3732 ([2]) und die aus einem höher entwickelten Modell (MÜLLER-BBM) mit Werten aus Messungen verglichen. Der betrachtete 4,5 MW Bodenfackel-Brenner ist mit Dampf-injektoren zur Rauchunterdrückung ausgestattet. Abb. 1 zeigt das Oktavspektrum des A-bewerteten Schalleistungspegels  $L_{WA}$  des Brenners, berechnet aus den beiden Modellen und aus Messungen.



**Abbildung 1:** Oktavspektrum des A-bewerteten Schalleistungspegels  $L_{WA}$  eines 4,5 MW Fackelbrenners mit Dampf-injektion zur Rauchunterdrückung: Werte aus verschiedenen Prognosemodellen ([2] und MÜLLER-BBM) im Vergleich zu Werten aus Messungen. Die Gesamtschalleistungspegel betragen 108 dB (aus Messung), 106 dB (Modell MÜLLER-BBM) und 93 dB (Modell [2]).

Es ist erkennbar, dass die Messungen (durchgezogene Linie, ohne Symbole) durch Modell MÜLLER-BBM (durchgezogen, runde Symbole) wesentlich besser wiedergegeben werden als durch Modell [2] (durchgezogen, quadratische Symbole).

Neben der quantitativ besseren Übereinstimmung ist vor allem die richtige Erfassung der Teilschallquellen – in diesem Falle der Verbrennung selbst (strichpunktiert) und der Strahlgeräusche durch die Dampf-injektion (gepunktet) – ein Vorteil von Modell MÜLLER-BBM, weil dadurch der Einfluss dieser Quellen auf die Gesamtschallemissionen getrennt betrachtet werden kann. Dies ermöglicht eine schalltechnisch optimierte Auslegung der Fackel und der notwendigen Schallschutzmaßnahmen, abgestimmt auf die jeweils maßgeblichen Anforderungen und Betriebszustände.

## Literatur

- [1] BAUKAL JR., C. E. (Hrsg.); SCHWARTZ, Robert (Hrsg.): *The John Zink Combustion Handbook*. Boca Raton: CRC Press LLC / John Zink Co., LLC, 2001.
- [2] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: *VDI 3732 – Emissionswerte technischer Schallquellen – Fackeln (Characteristic noise emission values of technical sound sources – flares)*. VDI-Richtlinie. 1999. – (Ausgabe deutsch/engl.).
- [3] HANTSCHK, C.-C.; SCHORER, E.: Flares – noise prediction and Thermo-Acoustic Efficiency. In: *AFRC-JFRC 2004 Joint Int. Combustion Symp.*, 2004.