

Technik und rechtliche Vorgaben

# Abgasreinigung im Biogas-BHKW



[www.biogas-forum-bayern.de/bif36](http://www.biogas-forum-bayern.de/bif36)

Biogas Forum Bayern, Verfasser:

Volker Aschmann  
OmniCert GmbH

Rainer Kissel  
LfL

Manuel Maciejczyk  
Fachverband Biogas

Maximilian Prager  
TUM

Sebastian Kortmann  
Air Sonic GmbH

## Foren der ALB Bayern e.V.

ALB-Arbeitsblätter, ALB-Beratungsblätter, ALB-Infobriefe, ALB-Leitfäden und Fachinformationen werden in den Foren der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. erarbeitet.

Die Foren, denen Fachleute der jeweiligen Sachgebiete angehören, sind Expertenausschüsse zum Informationsaustausch und zur Wissensvermittlung in die landwirtschaftliche Praxis.

Foren der ALB Bayern e.V.:

- ▶ Bau Forum Bayern (BaF),  
Leitung: Jochen Simon, LfL-ILT
- ▶ Bewässerungsforum Bayern (BeF)  
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Biogas Forum Bayern (BFB),  
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Landtechnik Forum (LaF),  
Leitung: Dr. Markus Demmel, LfL-ILT

## Partner



Bayerisches Staatministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft



Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

## Impressum

Herausgeber      Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.  
(ALB), Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon            08161 / 887-0078  
Telefax            08161 / 887-3957  
E-Mail             info@alb-bayern.de  
Internet            www.alb-bayern.de

1. Auflage         2023  
© ALB              Alle Rechte vorbehalten  
Titelfoto          V. Aschmann, OmniCert Umweltgutachter GmbH

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung.....	4
2. Motorenmanagement .....	4
3. Grenzwerte und Überwachung .....	5
4. Verfahren der Abgasnachbehandlung .....	9
4.1 Oxidationskatalysator .....	9
4.2 Selective Catalytic Reduction (SCR-Katalysator) .....	10
4.3 Thermische Nachverbrennung .....	11
5. Funktionssicherheit und Wartungsaufwand bei Verfahren zur Abgasnachbehandlung.....	11
Quellenverzeichnis .....	14

## 1. Einleitung

Das Thema Luftreinhaltung nimmt weiter an Bedeutung zu. Die durch die EU-Kommission vorgegebenen Ziele zur Luftreinhaltung, z.B. die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen – (NEC-Richtlinie), erfordern umfassende Maßnahmen an allen Verbrennungsmotoren. Im Bereich des Verkehrs- und Transportwesens (Pkw, Lkw, Schiffe, Schienenverkehr etc.) gibt es bereits deutliche Emissionsminderungen durch den Einsatz neuer Motoren- und Abgasnachbehandlungssysteme.

Aber auch mit Biogas betriebene Blockheizkraftwerke (BHKW) müssen ihren Beitrag zur Emissionsminderung bei Stickstoffoxiden ( $\text{NO}_x$ ), Schwefeloxiden ( $\text{SO}_x$ ), Kohlenstoffmonoxid (CO), Gesamt-Kohlenstoff (Gesamt-C), Formaldehyd (HCHO) und Staub leisten.

## 2. Motorenmanagement

Bei der Verbrennung von Biogas im Motor entstehen verschiedene Schadstoffe (siehe oben) in veränderlichen Konzentrationen, im Wesentlichen in Abhängigkeit von der Gaszusammensetzung und der Motoreneinstellung. So wird beispielsweise der im Biogas vorhandene Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) im BHKW durch die Verbrennung vollständig aufoxidiert und als  $\text{SO}_x$  emittiert. Folglich lassen sich die  $\text{SO}_x$ -Emissionen durch eine vorgeschaltete Feinreinigung des Rohgases minimieren.

$\text{NO}_x$  wiederum entsteht vor allem durch sehr hohe Verbrennungstemperaturen in Verbindung mit dem Stickstoff in der dem Verbrennungsprozess zugeführten Luft. Eine Reduzierung dieser  $\text{NO}_x$ -Emissionen lässt sich bis zu einem gewissen Punkt über die Erhöhung der Luftüberschusszahl (Lambda-Wert), den sogenannten Magerbetrieb erreichen. Dadurch wird die Verbrennungstemperatur „gekühlt“ und es wird weniger  $\text{NO}_x$  ge-

Der Stand der Technik hat sich hierzu in den vergangenen Jahren maßgeblich weiterentwickelt, weshalb die aktuell geltenden rechtlichen Vorgaben hohe Anforderungen an die Emissionsvermeidung stellen. Mit der am 20.06.2019 neu eingeführten 44. BImSchV (Verordnung über mittelgroße Feuerungs- Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen) als nationale Umsetzung der europäischen Richtlinie „Medium-sized Combustion Plant Directive (MCP) wurden die bisher in der Technischen Anleitung für Luftreinhaltung (TA-Luft 2002) festgelegten Abgasgrenzwerte durch neue ambitioniertere Vorgaben ersetzt. Diese neuen Abgasgrenzwerte erfordern neben einer entsprechenden Reinigung des Brennstoffes Biogas (z.B. Entschwefelung) sowohl innermotorische als auch außermotorische Maßnahmen (Abgasnachbehandlungssysteme).

bildet. Dies wird durch den Einsatz von  $\text{NO}_x$ -Sensoren in der Praxis gesteuert, die für Anlagen in der 44. BImSchV vorgeschrieben sind. Der Nachteil hierbei ist, dass durch einen hohen Luftüberschuss auch die Energiedichte im Verbrennungsprozess und damit die Effizienz der Verbrennung negativ beeinflusst werden, was sich an einem geringeren elektrischen Wirkungsgrad bemerkbar machen kann. Zudem wird durch die etwas schlechtere Verbrennung der Gesamt-C-Gehalt (vor allem unverbranntes Methan) im Abgas erhöht. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, ist der Einsatz der SCR-Technik eine erfolgversprechende Lösung. Hierdurch wird es möglich, die Verbrennung in einem effizienteren Bereich zu fahren und das hierdurch vermehrt gebildete  $\text{NO}_x$  im SCR-Kat weitgehend aus dem Abgas zu eliminieren. Dadurch lässt sich eine effektive Verbrennung mit geringen Schadstoffemissionen realisieren.

### 3. Grenzwerte und Überwachung

Entsprechend der genehmigungsrechtlichen Einstufung der BHKW-Anlage einer Biogasanlage ergeben sich aus dem Immissionsschutzrecht (44. BImSchV, TA-Luft etc.) unterschiedliche Abgasgrenzwerte und Anforderungen an deren Überwachung. Weitere Anforderungen an Abgasgrenzwerte und die Überwachung können sich aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ergeben, wenn der sogenannte Luftreinhaltungsbonus (auch „Formaldehydbonus“) in Anspruch genommen wird.

Es wird zwischen zwei Genehmigungsverfahren für mit Biogas betriebene BHKW unterschieden:

- a. immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig
- b. nicht immissionsschutzrechtlich, d. h. baurechtlich genehmigungsbedürftig

#### Zu a.) immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige BHKW

Biogas-BHKW mit einer Gesamtfeuerungswärmeleistung von 1 MW oder mehr sind immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig. Für diese BHKW gelten die Anforderungen für mittelgroße Verbrennungsmotoranlagen seit dem 13.06.2019.

Diese BHKW sind so auszulegen und zu betreiben, dass die in Tabelle 1 dargestellten Emissionsgrenzwerte für **neue** Motoranlagen nicht überschritten werden.

**Tabelle 1:** Emissionsgrenzwerte für neue Motoranlagen (gem. § 16 i. V. m. § 39, 44. BImSchV)

Schadstoff	Grenzwerte der 44. BImSchV	Einzuhalten
Kohlenmonoxid (auch Zündstrahlmotoren)	0,50 g/m <sup>3</sup>	Inkrafttreten
Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, angegeben als Stickstoffdioxid	0,50 g/m <sup>3</sup> 0,1 g/m <sup>3</sup>	bis 31.12.2022 ab 01.01.2023
Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid, angegeben als Schwefeldioxid	0,09 g/m <sup>3</sup>	Inkrafttreten
Formaldehyd	20 mg/m <sup>3</sup>	ab 01.01.2020
Organische Stoffe, angegeben als Gesamt-C	1,3 g/m <sup>3</sup>	01.01.2023
Ammoniak	30 mg/m <sup>3</sup>	ab Betrieb SCR

**Quelle:** Kapitel 2.2.2 - Biogashandbuch Bayern (LfU, 2022)

Für bestehende Motoranlagen gelten die Werte in Tabelle 2. Die Werte sind bezogen auf Normvolumen (273,15 K; 101,3 kPa) nach Abzug des Wasserdampfgehalts und einem Sauerstoffgehalt von 5 % im Abgas. Fristen und Übergangsregelungen für bestehende Anlagen sind ebenfalls in der Tabelle enthalten.

Eine bestehende Anlage ist folgendermaßen definiert:

- ▶ Inbetriebnahme vor dem 20. Dezember 2018 oder
- ▶ Genehmigung vor dem 19. Dezember 2017 und Inbetriebnahme spätestens am 20. Dezember 2018

**Tabelle 2:** Emissionsgrenzwerte für bestehende Motoranlagen (§ 16 i. V. m. § 39, 44. BImSchV)

Schadstoff	Grenzwerte der 44. BImSchV	Einzuhalten
Kohlenmonoxid	< 3 MW: 1,0 g/m <sup>3</sup> / 2,0 g/m <sup>3</sup> (bei Zündstrahl) > 3 MW: 0,65 g/m <sup>3</sup> (alle) (Werte gemäß TA Luft 02)	bis 31.12.2024
	0,50 g/m <sup>3</sup>	ab 01.01.2025
Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, angegeben als Stickstoffdioxid	0,50 g/m <sup>3</sup> Bei Zündstahlmotoren: < 3 MW: 1,0 g/m <sup>3</sup> > 3 MW: 0,50 g/m <sup>3</sup>	bis 31.12.2028
	0,1 g/m <sup>3</sup>	ab 01.01.2029
Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid, angegeben als Schwefeldioxid	0,31 g/m <sup>3</sup> (Wert gemäß TA Luft 02)	bis 31.12.2024
	0,1 g/m <sup>3</sup>	ab 01.01.2029
Formaldehyd	30 mg/m <sup>3</sup>	ab 05.02. / 20.06.2019
Organische Stoffe, angegeben als Gesamt-C	1,3 g/m <sup>3</sup>	ab 01.01.2029
Ammoniak	30 mg/m <sup>3</sup>	ab Betrieb SCR

**Quelle:** Kapitel 2.2.2 - Biogashandbuch Bayern (LfU, 2022)

Die Grenzwerte können nur bei ordnungsgemäßem Betrieb in Verbindung mit Abgasnachbehandlungsverfahren (Sekundärmaßnahmen) eingehalten werden. Zur Verringerung der Emissionen von Formaldehyd- und Kohlenmonoxid werden Oxidationskatalysatoren (Kapitel 4.1)

verwendet, SCR-Katalysatoren (Kapitel 4.1) reduzieren die Stickoxide im Abgas zu elementarem Stickstoff. Die Emissionswerte der Motoren und der sekundären Abgasreinigungseinrichtungen müssen bei den Herstellern erfragt werden.

Für Motoren mit weniger als 300 Betriebsstunden pro Jahr gilt ein Stickoxidgrenzwert von 0,50 g/m<sup>3</sup>. Für CO, SO<sub>2</sub> und Gesamtgehalt an Kohlenwasserstoffen müssen lediglich die motorischen Maßnahmen nach dem Stand der Technik ausgeschöpft werden. Für Formaldehyd gelten die Grenzwerte in den Tab. 1 und 2.

Die dauerhafte Einhaltung der Grenzwerte für NO<sub>x</sub> im Abgas einer Gasmotoranlage muss vom Betreiber durch den Einsatz von geeigneten Sensoren nachgewiesen und als Tagesmittelwert dokumentiert werden.

### Zu b.) nicht immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige BHKW

Für immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftige Biogasmotoranlagen gibt es keine eigenen Anforderungen an die Emissionsbegrenzung. Gemäß dem Biogashandbuch Bayern sollten aber folgende Emissionsbegrenzungen eingehalten werden:

**Tabelle 3:** Emissionsbegrenzungen für immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftige Biogasmotoranlagen (< 1 MW Gesamt-Feuerungswärmeleistung)

	Gasmotor	Zündstrahlmotor
Gesamtstaub	-	50 mg/m <sup>3</sup>
Stickstoffoxide, angegeben als NO <sub>2</sub>	0,5 g/m <sup>3</sup>	1,0 g/m <sup>3</sup>
Kohlenmonoxid	1,0 g/m <sup>3</sup>	2,0 g/m <sup>3</sup>
Formaldehyd	40 mg/m <sup>3</sup>	40 mg/m <sup>3</sup>

**Quelle:** Kapitel 2.2.2 - Biogashandbuch Bayern (LfU, 2022)

Der Hersteller muss geeignete Nachweise bezüglich des Abgasverhaltens des Motors vorlegen. Überprüfungsmessungen im Rahmen der Motorwartung sind ausreichend. Hier ist nachzuweisen

und zu dokumentieren (Betriebstagebuch), dass die in Tabelle 3 genannten Werte für NO<sub>x</sub>, CO und Formaldehyd sicher eingehalten werden.



## Emissionsüberwachung

Für Motoren im Anwendungsbereich der 44. BImSchV gibt es zusätzliche Hinweise zur Überwachung des kontinuierlichen effektiven Betriebes im Einheitsblatt VDMA 6299 (Stand September 2019). Es beschreibt unter Punkt 4 ein allgemeines Konzept zur Überwachung eines dauerhaft emissionsseitig konformen Betriebes sowie unter Punkt 5 Maßnahmen zur Überwachung des

emissionsseitig konformen Betriebes mit den folgenden wesentlichen Elementen:

- ▶ Visuelle Ausgabe einer Alarmmeldung (z.B. über Display/Anzeige), wenn die in Tabelle genannten Tagesmittelwerte für NO<sub>x</sub> überschritten werden:

**Tabelle 4:** Alarmwerte für NO<sub>x</sub> im Abgas in Abhängigkeit des einzuhaltenden Grenzwerts

NO <sub>x</sub> -Grenzwert	Tagesmittelwert, bei dem der Alarm ausgelöst wird
0,1 g/m <sup>3</sup>	≥ 0,15 g/m <sup>3</sup>
0,5 g/m <sup>3</sup>	≥ 0,60 g/m <sup>3</sup>
1,0 g/m <sup>3</sup>	≥ 1,20 g/m <sup>3</sup>

**Quelle:** Ergänzt nach Kapitel 2.2.2 - Biogashandbuch Bayern (LfU, 2022)

- ▶ Dokumentation und Speicherung der Alarme für mindestens ein Jahr
  - ▶ Nicht zerstörungsfrei entfernbare Verplombung der Katalysatoren mit eindeutig identifizierbarem Merkmal (z. B. fortlaufende Nummer oder individuelle Kennzeichnung wie Herstellerlogo oder Kennung des Servicebefugten).
  - ▶ Entfernen und Anbringen der Verplombungen
  - ▶ Ergebnisse von Überprüfungsmessungen (z.B. durch Service-Personal)
  - ▶ Historie von Alarm- oder Fehlermeldungen sowie Abhilfemaßnahmen
  - ▶ Gemäß der Vollzugsvorgaben der LAI (Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz) ergeben sich folgende technische sowie organisatorische Anforderungen und Fristen an BHKW, die den Luftreinhaltebonus in Anspruch nehmen (Stand: 11.09.2020).
- Ferner müssen folgende Vorgänge in einem Betriebstagebuch dokumentiert werden:
- ▶ Überwachungs- und Servicemaßnahmen (z. B. Änderungen an der Motorsteuerung, Komponentenaustausch wie z. B. Oxidationskatalysator)



**Tabelle 5:** LAI – Vorgaben und Fristen zur Inanspruchnahme des Luftreinhaltebonus

Anforderungen für jeden Einzelmotor  (die jährlichen Messungen für Motoranlagen mit Standort in Bayern haben durch die zugelassenen Messstellen gemäß dem modifizierten Anhang A Bay der LAI-Vollzugshinweise zu erfolgen)	Motoren im Baurecht	Motoren in 44. BImSchV
Logbuch gem. VDMA 6299 5.1 (Vorlage FVB)	01.01.2022	01.01.2022
Zugangsbeschränkung Motorsteuerung gem. VDMA 6299 5.2.1	01.01.2023	01.01.2022
Ent-/Verplombung des Oxikats gem. VDMA 6299 5.3 (nur externer Servicebefugter oder Messinstitut)	01.01.2022	01.01.2022
Temperaturüberwachung Oxikat (ggf. auch andere Verfahren gem. Behördenbewertung) gem. VDMA 6299 5.4.1 mit SENSOR	01.01.2023	01.01.2022
mind. monatliche H <sub>2</sub> S- und CH <sub>4</sub> -Messung im Biogas gem. VDMA 6299 5.5 und Umrechnung H <sub>2</sub> S zu SO <sub>2</sub>	01.01.2022	01.01.2022
NO <sub>x</sub> -Sensor gem. VDMA 6299 5.6;	-	01.01.2022

Quelle: Fachverband Biogas

## 4. Verfahren der Abgasnachbehandlung

Die deutlich verschärften Abgasgrenzwerte, wie sie in Kap. 2 dargestellt wurden, können durch alleinige motorseitige Maßnahmen (Primärmaßnahmen) nicht eingehalten werden und erfordern daher zusätzliche Verfahren zur Abgasbehandlung (Sekundärmaßnahmen). Dabei können die geforderten Abgaseigenschaften nur dann

erreicht werden, wenn unterschiedliche Technologien in Kombination zum Einsatz kommen. Funktionsprinzipien, Eigenschaften und Verbreitung der wichtigsten Verfahren zur Entfernung der verschiedenen Schadstoffe aus dem Abgas werden im Folgenden kurz erläutert.

### 4.1 Oxidationskatalysator

Bei Magermotoren ( $\lambda > 1$ , also Motoren mit Luftüberschuss) kann ein (ungeregelter) Oxidationskatalysator („Oxikat“) eingesetzt werden, um die Emissionen von Formaldehyd (HCHO), gesamten organischen Stoffen (Gesamt-C) und Kohlenmonoxid (CO) zu vermindern. Für eine hohe Wirksamkeit sind Katalysatortemperaturen von über 300 °C erforderlich, Formaldehyd wird bereits ab etwa 250 °C weitgehend eliminiert. Die sogenannte „Light-Off-Temperatur“, ab der eine effektive Oxidation erfolgt, sollte möglichst schnell erreicht werden. Die Vorteile des Oxikats liegen in der einfachen

Bauweise und den vergleichsweise geringen Anschaffungskosten. Der Oxikat hat jedoch keine Wirksamkeit für NO<sub>x</sub> und bei den üblichen Abgastemperaturen auch nicht für Methan. Um Methan effektiv zu oxidieren, sind Abgastemperaturen im Bereich von über 600 °C erforderlich, welche nach einem Turbolader meist nicht erreicht werden.

Die Katalysatoren verlieren deutlich an Wirksamkeit, wenn Schwefelverbindungen im Abgas enthalten sind (Katalysatorvergiftung). Daher ist eine wirksame Feinentschwefelung des Brenngases mittels Aktivkohle oder Ähnlichem zum Schutz

des Katalysators erforderlich. An dieser Stelle sollten die Vorgaben des Herstellers bezüglich der maximalen Schwefelbelastung für den Katalysator eingehalten werden. Auch können Stäube die reaktive Oberfläche im Katalysator bedecken und somit dessen Leistungsfähigkeit mindern.

#### VORTEILE:

- ▶ reduziert CO, Gesamt-C (ohne Methan) und HCHO
- ▶ moderate Anschaffungskosten

#### NACHTEILE:

- ▶ anfällig gegen Schadstoffe, z.B. Schwefel, Staub
- ▶ anfällig gegen hohe Temperaturen
- ▶ geringe Haltbarkeit

## 4.2 Selective Catalytic Reduction (SCR-Katalysator)

Zur Reduktion der  $\text{NO}_x$ -Emissionen im Magerbetrieb ist derzeit die selektive katalytische Reduktion (*engl.*: Selective Catalytic Reduction - SCR) das Verfahren der Wahl für Biogasmotoren. Hierbei wird eine Harnstofflösung (z. B. AdBlue®) in den Abgastrakt eingedüst. Das durch Thermolyse und Hydrolyse aus der Harnstofflösung entstehende Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) reagiert als Reduktionsmittel mit  $\text{NO}_x$  in einem SCR-Katalysator zu Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und Wasserdampf ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Entscheidend für eine hohe Reduktionsrate und die Vermeidung der Emission von überschüssigem Ammoniak ist die exakte Regelung der Harnstoffzugabe sowie der richtige Temperaturbereich für den Katalysator von etwa 350 - 480°C. Sind die Temperaturen zu hoch oder zu niedrig, kann die Reduktionsrate zum Teil deutlich gemindert werden und es können erhöhte  $\text{NO}_x$ - oder Ammoniak-Emissionen auftreten.

Der große Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass der Motor auf optimale Leistung eingestellt werden kann, während die hierdurch erhöhten  $\text{NO}_x$ -Gehalte im Rohabgas mittels SCR-Kat behandelt werden. Grund hierfür ist vereinfacht ausgedrückt, dass ein hoher Motorwirkungsgrad durch eine schnelle Verbrennung begünstigt wird, welche wiederum hohe Brennraumtemperaturen erfordert und damit die  $\text{NO}_x$ - Bildung befördert.

Nachteilig am Einbau eines SCR-Systems sind der Aufwand und die Verbrauchskosten für die Bevorratung des Harnstoffs, der zudem schwach wassergefährdend ist (Wassergefährdungsklasse 1). Bei einer Reduktion der Emissionen von etwa 0,5 g/m<sup>3</sup>  $\text{NO}_x$  im Rohgas auf 0,1 g/m<sup>3</sup>  $\text{NO}_x$  im Reingas (bezogen auf 5 % Sauerstoffgehalt) kann bei 1 MW Motorleistung von einem Verbrauch von 3 L Harnstofflösung pro Stunde ausgegangen werden. Höhere  $\text{NO}_x$ -Rohemissionen können bei wirkungsgradoptimierten Motoren entstehen. Diese können durch eine entsprechend angepasste Auslegung des SCR-Systems kompensiert werden, was jedoch auch einen erhöhten Einsatz von Harnstofflösung mit sich bringt.

Da als  $\text{NO}_x$ -Reduktionspartner letztendlich Ammoniak genutzt wird und dies eine ähnliche Gesundheitsrelevanz wie  $\text{NO}_x$  hat, werden die SCR-Katalysatoren meist mit einer sogenannten Sperrschicht in Form eines Oxidationskatalysators gebaut, damit der Grenzwert der Ammoniakemissionen von 30 mg/m<sup>3</sup> eingehalten werden kann. Um die Dosierung der Harnstofflösung zu regeln, werden  $\text{NO}_x$ -Sensoren hinter dem SCR-System genutzt, teilweise auch zusätzliche Sensoren vor dem Katalysator.

#### VORTEILE:

- ▶ reduziert  $\text{NO}_x$
- ▶ Wirkungsgradverbesserung (mehr Biogas zur Verwertung)

#### NACHTEILE:

- ▶ Anschaffungs- und Betriebskosten
- ▶ Einsatz von schwach wassergefährdender Harnstofflösung
- ▶ erhöhter Installationsaufwand in der Nachrüstung

### 4.3 Thermische Nachverbrennung

Eine weitere Methode zur Abgasbehandlung stellt die sogenannte thermische Nachverbrennung dar. Hierbei werden die noch im Abgas verbliebenen oxidierbaren Schadstoffe (Formaldehyd,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ) auf einem stark erhöhten Temperaturniveau oxidiert. Hierdurch wird auch unverbranntes Methan („Methanschlupf“) aus dem Abgas eliminiert und es kann mit diesem Verfahren der Grenzwert für die Gesamt-C-Konzentration im Abgas von  $1,3 \text{ g/m}^3$  problemlos eingehalten werden.

Der Nachteil dieses Verfahrens liegt neben den Investitionskosten im zusätzlichen Verbrauch von Brennstoff (ca. 2 % des zur Nutzung zur Verfügung stehenden Biogases), um das für die Verbrennung erforderliche Temperaturniveau zu er-

reichen, sowie in der langen Aufheizphase, was eine Anwendung im flexiblen Fahrbetrieb wirtschaftlich nicht darstellbar macht.

#### VORTEILE:

- ▶ reduziert  $\text{CO}$ ,  $\text{HCHO}$  und Gesamt-C
- ▶ lange Haltbarkeit

#### NACHTEILE:

- ▶ hohe Anschaffungskosten
- ▶ zusätzlicher Brennstoffbedarf
- ▶ kein Reduktionsvermögen für  $\text{NO}_x$
- ▶ nur bedingt für den flexiblen Betrieb geeignet

### 5. Funktionssicherheit und Wartungsaufwand bei Verfahren zur Abgasnachbehandlung

Grundsätzlich unterscheidet man beim Betrieb von Biogasmotoren zwei Verfahren der Abgas(nach)behandlung. Als „klassisches“ Verfahren wird der Oxidationskatalysator eingesetzt, um die Abgasbestandteile Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ) und Formaldehyd ( $\text{HCHO}$ ) in  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  umzuwandeln. Daneben werden im Oxikat auch Kohlenwasserstoffe oxidiert, nicht jedoch Methan. Zukünftig wird an allen Motoren im Anwendungsbereich der 44. BImSchV ein System aus Oxidations- und SCR-Katalysator eingesetzt werden müssen, um die entsprechenden Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Nur so können neben den oxidierbaren Schadstoffen auch Stickoxide

( $\text{NO}_x$ ) weitgehend aus dem Abgas entfernt werden.

Da beide Verfahren zur Abgasbehandlung hinsichtlich Funktionssicherheit und Wartungsaufwand ähnliche Anforderungen stellen, wird im Folgenden auf eine Unterscheidung verzichtet.

Die Wirksamkeit der hier betrachteten Katalysatoren ist an einen bestimmten Temperaturbereich gebunden. Dieser liegt zwischen  $288 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  mit einem Kernbereich für eine optimale Funktion von  $380 - 450 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ist die Temperatur im Abgas geringer, muss im Zweifelsfall ein größeres Katalysatorvolumen verbaut werden, um die

gewünschte Reinigungsleistung zu erzielen. Wird der Katalysator hingegen dauerhaft bei zu hohen Temperaturen betrieben, versintern die Edelmetalle in der Katalysatorbeschichtung. Die Wirksamkeit des Katalysators nimmt rasch ab und die Lebensdauer wird deutlich reduziert. Im Extremfall kann es zu einer Verbrennung der Katalysatormatrix und somit zu einem völligen Funktionsverlust kommen.

Um eine dauerhafte Funktionssicherheit des Katalysators zu gewährleisten, sind weitere Faktoren wichtig. Da in der Vergangenheit die Emissionsgrenzwerte wiederholt verschärft wurden, der Einbauraum für die Katalysatoren jedoch nicht entsprechend angepasst wurde, sind viele Katalysatoren mittlerweile zu klein ausgelegt. Somit ist der Abgasstrom im Verhältnis zur Katalysatoroberfläche zu groß, um eine optimale Schadstoffumwandlung zu erzielen. Auch die Überprüfung der Strömungsverhältnisse im Katalysator wurde in vielen Fällen vernachlässigt, so dass zwar das Volumen des Katalysators nominal ausreichend dimensioniert ist, durch eine suboptimale Strömungsführung jedoch beispielsweise lediglich 70 % der Katalysatoroberfläche tatsächlich angeströmt werden. Weiterhin wird oftmals davon ausgegangen, dass „viel Edelmetall im Katalysator viel hilft“. Wesentlich entscheidender für die Aktivität / Wirksamkeit des Katalysators als die reine Edelmetallmasse ist jedoch die Beschaffenheit und Verteilung der Edelmetalle in der Katalysator-

matrix.

Auf die oben genannten Faktoren der Dimensionierung und Qualität der Katalysatoren haben Anlagenbetreiber in der Regel wenig Einfluss. Allerdings gibt es durchaus Möglichkeiten im Betrieb, die Lebensdauer des Abgasbehandlungssystems zu verlängern. Grundsätzlich sollten Katalysatortoxine und schädigende Stoffe im Rohgas minimiert werden. Im Falle von Biogasmotoren stellen Schwefelverbindungen aus der Fermentation, insbesondere Schwefelwasserstoff, das wichtigste Katalysatortoxin dar. Durch eine entsprechend ausgelegte und regelmäßig gewartete Entschwefelungseinrichtung kann dieses nahezu vollständig aus dem Brenngas entfernt werden. Weitere Katalysatortoxine stammen aus Verbrennungsrückständen von Motorenöl. Hier sollte auf die Verwendung ascheärmer Motorenöle geachtet werden. Auch der Ölverbrauch sollte anhand der Vorgaben des BHKW-Herstellers fortlaufend überwacht werden.

Ein weiterer Risikofaktor für die nachhaltige Schädigung des Katalysators sind, wie bereits erläutert, zu hohe Temperaturen. Ursächlich hierfür kann eine unvollständige Verbrennung im Motor sein. In der Folge sammeln sich unverbrannte Kohlenwasserstoffe (Methanschluß) im Katalysator. Ist die Temperatur im Abgas bzw. im Katalysator hoch genug, entzündet sich dieses Gemisch, wodurch der Katalysator irreparabel geschädigt werden



**Bild 1:** Katalysator mit Ascheablagerungen (Quelle: AirSonic GmbH)



**Bild 2:** Katalysatorelement mit thermischer Zerstörung (Quelle: Air Sonic GmbH)

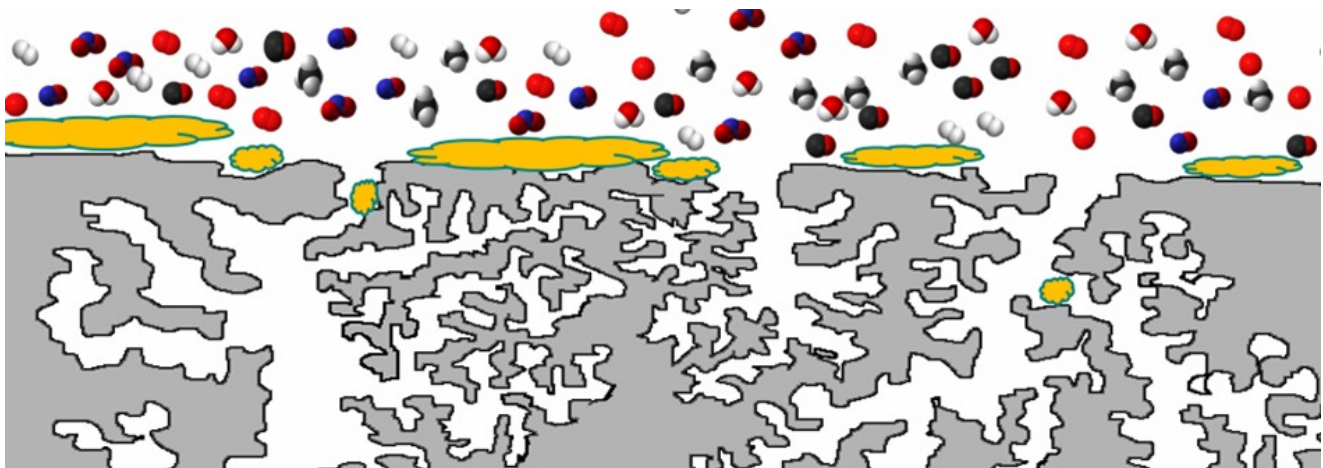


kann. Einem solchen „Durchbrennen“ des Katalysators lässt sich durch eine regelmäßige Wartung des BHKW durch eine Fachfirma vorbeugen.

Sollte bei einer Abgasmessung festgestellt werden, dass die geforderten Emissionsgrenzwerte nicht eingehalten werden, besteht die Möglichkeit, das metallische Katalysatorelement chemisch zu reinigen. Diese Reinigung ist stationär möglich. Dabei werden zunächst die oberflächlichen Ablagerungen abgesaugt. Anschließend wird das Katalysatorelement in ein Becken mit Chemikalien getaucht und so porontief gereinigt (siehe Bild 3). Von einer selbst durchgeführten Reinigung mittels Druckluft ist abzuraten. Neben unweigerlich freigesetzten Stäuben besteht hier vor allem die Gefahr, dass Ascheablagerungen tief in die Poren der Beschichtung gedrückt werden und diese

dauerhaft verschließen. Dadurch wird die Katalysatoroberfläche reduziert, die Aktivität nimmt ab und es wird das Gegenteil von dem erreicht, was eigentlich Ziel der Reinigungsmaßnahme war.

Um den Nachweis für die effektive Reinigung der Katalysatormatrix zu führen, wird der Katalysator bei Einlieferung und nach Abschluss der Reinigung mit synthetischem Abgas beaufschlagt und es wird ein entsprechendes Prüfprotokoll ausgefertigt. Die Kosten für eine solche Reinigung variieren je nach Größe des Katalysators, liegen aber deutlich unter dem Preis für eine Neuanschaffung. Nach der Reinigung ist der Katalysator wieder voll einsatzbereit. Diese Möglichkeit, den Lebenszyklus eines Katalysators zu verlängern, ist nicht nur umweltschonend, sondern bietet auch ein großes Einsparpotential für Anlagenbetreiber.



**Bild 3:** Zeigt oberflächliche Ascheablagerungen und Einlagerungen in die tiefere Porenstruktur

## Quellenverzeichnis

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Biogashandbuch Bayern, Kap. 2.2.2, Stand: Juni 2021, Augsburg, <https://www.lfu.bayern.de/energie/biogashandbuch/index.htm>
- Fachverband Biogas e.V. (Hrsg.): div. Publikationen zur Umsetzung der 44. BImSchV und den LAI-Vollzugshinweisen zum Erhalt des Luftreinhaltebonus, 2021/2022 (Maciejczyk, M.)



Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und  
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)  
in Bayern e.V.  
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon	08161 / 887-0078
Telefax	08161 / 887-3957
E-Mail	<a href="mailto:info@alb-bayern.de">info@alb-bayern.de</a>
Internet	<a href="http://www.alb-bayern.de">www.alb-bayern.de</a>