

Voraussetzungen für einen emissionsarmen Betrieb biogasbetriebener BHKW



Nr. IV – 8/2018 (3. Auflage)

Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik) im
„Biogas Forum Bayern“ von:



Volker Aschmann
Dr. Mathias Effenberger
Simon Tappen

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung



Gerald Ebertsch
Bayerisches Landesamt für Umwelt

Inhaltsverzeichnis

Hintergrund.....	2
1 Wo liegt das Problem bei der Emissionsminderung?	2
2 Wie können die Schadstoffemissionen minimiert werden?.....	4
3.1 Gasaufbereitung.....	4
3.2 BHKW-Einstellung und Wartung	5
3.3 Verschiedene Motoreinstellungen und Abgascharakteristiken im Vergleich	7
3 Technologien für die Abgasnachbehandlung	8
3.1 Oxidationskatalysator (Oxi-Kat).....	8
3.2 Thermische Nachverbrennung.....	10
3.3 SCR-Katalysator	11
4 Zusammenfassung.....	12

Hintergrund

Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Hubkolbenmotoren sind nach wie vor die wichtigste Technologie für die Verstromung von Biogas. Um die hierbei entstehenden Schadstoffemissionen auf ein Mindestmaß zu reduzieren, definiert die TA-Luft [1] entsprechende Emissionsgrenzwerte. Da sich diese Emissionsgrenzwerte nur auf BHKW mit einer Feuerungswärmeleistung > 1 MW beziehen, wurden im Biogashandbuch Bayern [2] auch für leistungsschwächere BHKW Emissionswerte definiert, die sich an diesen Grenzwerten anlehnen. In der Praxis kommt es jedoch immer wieder zu einem Interessenkonflikt zwischen dem Bestreben, einen möglichst hohen monetären Ertrag zu erwirtschaften und der Vorgabe, die vorhandenen Grenzwerte einzuhalten.

Deutschland ist verpflichtet, die Richtlinie (EU) 2015/2193 vom 25. November 2015 zur Begrenzung der Emissionen bestimmter Schadstoffe aus mittelgroßen Feuerungsanlagen in die Luft (kurz: MCP-Richtlinie (Medium Combustion Plant)) bis Ende 2017 in nationales Recht umzusetzen. Die MCP-Richtlinie enthält gegenüber der bisherigen TA Luft strengere Grenzwerte für SO_x , einen einheitlichen NO_x -Grenzwert für Zündstrahl- und Gas-Otto-Motoren sowie Anforderungen an die Überwachung der Einhaltung der Grenzwerte im realen Betrieb. Die Umsetzung der Anforderungen der MCP-Richtlinie und damit für Anlagen zur energetischen Biogasverwertung erfolgt zukünftig in einer eigenen Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Die Absenkung der Grenzwerte für Formaldehyd und CO spielt hierbei eine wichtige Rolle. Zudem ist ein Grenzwert für die Gesamtkohlenwasserstoffemissionen im Gespräch. Auch die NO_x -Grenzwerte und deren sichere Einhaltung stehen im Fokus.

Diese Veröffentlichung vermittelt einen Überblick über die technischen Voraussetzungen für einen möglichst emissionsarmen Betrieb auf dem Hintergrund der aktuellen bzw. zu erwartenden gesetzlichen Anforderungen.

1 Wo liegt das Problem bei der Emissionsminderung?

Biogas ist aufgrund des hohen Anteils an CO_2 von 40 – 60 Vol. % (wird auch als Löschmittel eingesetzt) zum einen sehr klopfest (geringe Neigung zur Frühzündung) und weist zum anderen eine geringe Flammgeschwindigkeit im Verbrennungsraum auf. Die Verbrennung von Biogas kann daher unter sehr hohen Drücken erfolgen, wobei jedoch darauf geachtet werden muss, dass die Energiedichte im Verbrennungsraum ausreichend hoch ist, da sonst die Effizienz der Verbrennung abnimmt.

Bei einer optimalen und damit hoch effizienten Verbrennung wird dem Verbrennungsprozess so viel Sauerstoff (Luft) zugegeben, wie für die Oxidation (Verbrennung) der energiereichen Bestandteile (im Wesentlichen Methan) benötigt wird. Das Verhältnis zwischen tatsächlich zugeführtem und stöchiometrisch benötigtem Sauerstoff, der sogenannte Lambda-Wert (λ), ist dann gleich 1,0. Je höher der Lambda-Wert, desto sauerstoffreicher aber auch energieärmer ist die Verbrennung (Abbildung 1). Bei einem Lambda-Wert um 1,0 entstehen bei der Verbrennung sehr hohe Temperaturen und in Verbindung mit dem Stickstoffgehalt in der Luft hohe Stickstoffoxidemissionen (NO_x). In der Automobilindustrie werden bei Ottomotoren diese Schadgase sowie Kohlenwasserstoffverbindungen und Kohlenmonoxid (CO) mit Hilfe von Katalysatoren (3-Wege-Katalysator) aus dem Abgas weitgehend eliminiert. Biogasmotoren werden zur NO_x -Minderung üblicherweise mit einem überstöchiometrischen („mageren“) Luftgemisch betrieben. Um nun einen möglichst

effizienten Verbrennungsprozess (niedriges Lambda) zu erzielen, müssten die bei der Verbrennung entstandenen Stickstoffoxide außermotorisch bzw. abgasseitig entfernt werden. (siehe Kap. „Möglichkeiten der Abgasnachbehandlung“). Aus wirtschaftlichen Gründen werden biogasbetriebene BHKW derzeit im Magerbetrieb gefahren, da hier der hohe Luftüberschuss für eine kältere Verbrennung und damit geringe Stickoxidemissionen sorgt und so die derzeitigen Emissionswerte der TA Luft auch ohne sekundäre Abgasbehandlung eingehalten werden können. Dabei müssen allerdings häufig elektrische Wirkungsgradverluste in Kauf genommen werden.

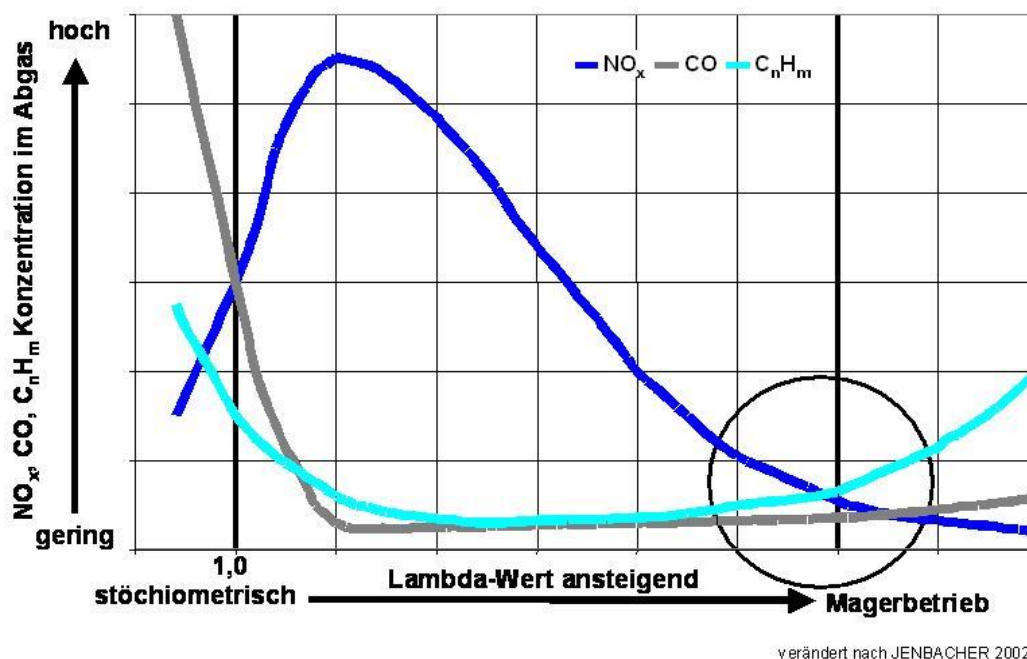


Abbildung 1: Qualitative Darstellung des Einflusses des Lambda-Wertes (Luftzahl) auf die Höhe der Konzentration verschiedener Schadgase im Motorabgas

Durch den hohen Luftanteil im Verbrennungsgemisch kommt es allerdings zu einer weiteren Verminderung der Flammgeschwindigkeit. Dies führt unter anderem zu einer unvollständigen Verbrennung und damit zu einem erhöhten Ausstoß an Kohlenwasserstoffen (C_nH_m, engl.: Total hydrocarbons - THC) (Abbildung 1), darunter auch Formaldehyd (HCHO). Formaldehyd ist zwischenzeitlich als karzinogen eingestuft. Deshalb kommt der Minderung der Emissionen dieses Stoffes besondere Bedeutung zu.

Die Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) hat deshalb im Vorgriff zur Anpassung der TA-Luft Vollzugsempfehlungen für Formaldehyd [2] veröffentlicht, mit denen u.a. die Emissionsbegrenzungen für Formaldehyd bei Zündstrahl und Magergasmotoren, die mit Biogas betrieben werden, wie folgt verschärft wurden:

- Neuanlagen, die nach dem Inkrafttreten der Vollzugsempfehlung errichtet wurden:
 - **30 mg/m³** mit Verschärfung auf **20 mg/m³** ab dem 01.01.2020
- Altanlagen:
 - Biogasmotoranlagen, die Emissionswerte > 40 mg/m³ aufweisen, sollen einen Emissionswert von **30 mg/m³** spätestens ab dem 05.02.2018 einhalten;

- Biogasmotoranlagen, die Emissionswerte $\leq 40 \text{ mg/m}^3$ aufweisen, sollen einen Emissionswert von **30 mg/m³** spätestens ab dem 05.02.2019 einhalten;
- Biogasmotoranlagen, die den „Luftreinhaltbonus“ gemäß EEG 2009 erhalten, müssen ab dem 01.07.2018 einen Emissionswert $< 20 \text{ mg/m}^3$ nachweisen, um weiterhin Anspruch auf 1 Eurocent/kWh zu haben [4]

Zusätzlich haben sich die Messverpflichtungen verschärft. Zukünftig müssen an allen genehmigungsbedürftigen Biogasmotoranlagen unabhängig von der Gewährung des Formaldehydbonus nach EEG jährlich wiederkehrende Einzelmessungen von Formaldehyd, Stickstoffoxiden und Kohlenmonoxid durch eine nach § 29 b BImSchG bekannt gegebene Stelle durchgeführt werden. Diese Vorgaben der LAI werden derzeit in Bayern von den zuständigen Kreisverwaltungsbehörden umgesetzt.

Die neuen Formaldehydemissionsbegrenzungen können durch den Einsatz von geeigneten Oxidationskatalysatoren sicher eingehalten werden (siehe Kap. 3). Für die Zerstörung von Formaldehyd müssen diese speziell dotiert sein. Allerdings steigen aufgrund der strengeren Grenzwerte die technischen Anforderungen an die Oxidationskatalysatoren.

2 Wie können die Schadstoffemissionen minimiert werden?

In der Praxis wird die Motoreinstellung oft primär unter dem Gesichtspunkt der Effizienz vorgenommen, ohne die Abgasemissionen in den unmittelbaren Fokus zu stellen, wie Untersuchungen von Aschmann et al. 2007 [5] gezeigt haben. Werden die Emissionsgrenzwerte in der Folge nicht mehr eingehalten, handelt es sich um einen nicht mehr zulässigen Betrieb der Anlage. Häufig führen bereits unfachmännisch durchgeführte Änderungen bei der Motoeinstellung (z.B. Verstellung Zündzeitpunkt, Lambda-Wert etc.) oder an der Abgasreinigung zu unzulässigen Emissionen. Daraus ergibt sich die Frage, was notwendig ist, um eine effektive Verstromung bei gleichzeitig geringen Emissionen zu erreichen. Im Folgenden werden hierzu einige Fakten und Hinweise zusammengefasst.

2.1 Gasaufbereitung

Für den emissionsarmen Betrieb von Biogasmotoranlagen ist im Hinblick auf die dauerhafte Funktion des zur Formaldehydminderung notwendigen Betriebes eines Oxidationskatalysators eine geeignete Biogasentschwefelung notwendig. Grundsätzlich sind deshalb die Spezifikationen des Katalysatorherstellers, des Motorenherstellers und des Öllieferanten an die Abgasbeschaffenheit und Biogasaufbereitung bei der Auswahl einer geeigneten Entschwefelungstechnik zu berücksichtigen.

Die in der Regel an jeder Biogasanlage durchgeführte Entschwefelung und Trocknung des Biogases mittels biologischer oder chemischer Verfahren sowie aktiver oder passiver Kühlung hat einen unmittelbaren Einfluss auf die Höhe der Emissionen (siehe hierzu auch die Fachinformation "[Entschwefelung von Biogas in landwirtschaftlichen Biogasanlagen](#)"). Der Schwefelanteil im H₂S wandelt sich bei der Verbrennung in Schwefeldioxid (SO₂) um und kann außerdem Probleme bei der Einhaltung des SO₂-Grenzwertes (derzeit 310 mg m⁻³)

³⁾¹ verursachen. Auch deshalb ist die Entschwefelung des Biogases von großer Bedeutung. Darüber hinaus verursachen H_2S bzw. SO_2 Korrosionsprobleme im Motor und Abgaswärmetauscher und führen zu einer schnelleren Versäuerung des Motoröls. Im Oxidationskatalysator wird zudem teilweise Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid oxidiert, was die Korrosionsprobleme verschärfen kann.

Außerdem ist auf eine ausreichende Entfeuchtung des Biogases bis zum Beginn der Gasdruckregelstrecke für einen effizienten Betrieb des BHKW zu achten. In Verbindung mit Schwefeloxiden bilden sich schweflige Säure bzw. Schwefelsäure, die zur Korrosion von Anlagenteilen führen können. Zur Entfeuchtung des Biogases werden in der Praxis entweder im Boden verlegte Kühlstrecken, eine aktive Kühlung oder eine Kombination beider Verfahren verwendet. Bei im Boden verlegten Kühlstrecken ist auf eine ausreichende Länge und eine funktionierende Wasserentnahme zu achten. Fehlerhafte Ausführungen führen oft zu Wassertassenbildung in der Gasleitung bzw. zu einer ungenügenden Entfeuchtungsleistung, vor allem im Sommer. Die aktive Kühlung kann bei richtiger Dimensionierung sehr gute Entfeuchtungsergebnisse bringen, jedoch ist hierfür auch ein gewisser Stromverbrauch mit einzukalkulieren. Auch sollte nach der aktiven Kühlung eine Beruhigungsstrecke vorgesehen werden, damit sich Schwebstoffe und Restfeuchte im Gas absetzen können. Alternativ kann auch eine Gaserwärmung zur Trocknung des Gases geprüft werden. Prinzipiell soll vor der Gasdruckregelstrecke die relative Gasfeuchte $< 80\%$ betragen und keine Taupunktunterschreitung erreicht werden.

Vor dem Hintergrund einer wachsenden Flexibilisierung der Stromproduktion mit mehreren täglichen Starts und Stopps kommt der richtigen Gasaufbereitung eine immer größere Bedeutung zu. In diesem Fall sollten eine aktive Gastrocknung (Kühlung oder/und Erwärmung) und eine Feinentschwefelung des Biogases standardmäßig verbaut sein.

2.2 BHKW-Einstellung und Wartung

Durch geeignete Einstellung des Motors und eine regelmäßige und fachkundige Wartung des BHKW lassen sich die Emissionswerte erheblich beeinflussen. Dies haben Untersuchungen an der LfL gezeigt [5]. Dringend zu berücksichtigen ist, dass Einstellung und Wartung des BHKW nur von fachkundigen Personen bzw. vom Serviceteam des Herstellers vorgenommen werden sollten. Hierdurch lassen sich der Verschleiß und die Schadstoffemissionen des BHKW vermindern. Bei der Wartung und Einstellung des Motors sind die Abgaswerte des BHKW mit zu prüfen. Nur so lässt sich ein dauerhaft emissionsarmer Betrieb bei gleichzeitig hoher Effizienz gewährleisten.

Einige BHKW-Hersteller haben mittlerweile standardmäßig ihre Motoren mit Motorsteuerungen zur automatischen Reduktion der NO_x -Gehalte während des Betriebes realisiert. Durch diese Maßnahmen können sich z.B. bei hohen Lambdazahlen teilweise jedoch die Kohlenwasserstoffemissionen in Form von Methan („Methanschlupf“) und Formaldehyd erhöhen.

Bei der Verbrennung können im Motor Tot- bzw. Kaltraumzonen auftreten, in denen die Verbrennung nicht vollständig erfolgt und Formaldehyd als Zwischenprodukt nicht weiter

¹ Der aktuelle Grenzwert der TA Luft für SO_2 ist 310 mg/m^3 bei $5\% \text{ O}_2$. In der MCPD-Richtlinie ist für bestehende Motoren ein Grenzwert von 60 mg/m^3 bei $15\% \text{ O}_2$, entspricht 160 mg/m^3 bei $5\% \text{ O}_2$ bzw. für neue Motoren 40 mg/m^3 bei $15\% \text{ O}_2$, entspricht ca. 107 mg/m^3 bei $5\% \text{ O}_2$.

oxidiert wird. Untersuchungen von Bauer und Wachtmeister 2008 [7] haben den Feuersteg (Raum zwischen Kolbenboden und erstem Abstreifring) als möglichen Entstehungsort von Formaldehyd lokalisiert.

In Messungen des LfU vor 2009, also bevor durch den „Luftreinholdungsbonus“ des EEG ein finanzieller Anreiz für die Reduzierung der Formaldehydemission auf 40 mg m^{-3} geschaffen wurde, wurden erhöhte Formaldehydemissionen besonders bei größeren Gas-Otto-Motoren neuerer Bauart mit hohem elektrischem Wirkungsgrad festgestellt [8]. In diesen Fällen wurde selbst der alte Grenzwert nach TA-Luft 2002 von 60 mg m^{-3} Formaldehyd ohne nachgeschaltete Abgasreinigung nicht eingehalten. Bei den vor 2009 gemessenen Zündstrahlmotoren traten Formaldehydkonzentrationen im Abgas von über 60 mg m^{-3} deutlich häufiger auf, als bei Gas-Otto-Motoren, und zwar vor allem bei Motoren älterer Bauart. Nach 2009 wurden in den überwiegenden Fällen bei Gas-Otto-Motoren und in allen Fällen bei Zündstrahlmotoren Formaldehydwerte von weniger als 40 mg m^{-3} gemessen

Im Rahmen eines flexiblen Betriebes z.B. bei Teillast ist zu beachten, dass die Kohlenwasserstoff- (Methanschluß!) und Formaldehydkonzentrationen im Abgas ansteigen, während der elektrische Wirkungsgrad deutlich abnimmt (Abbildungen 2 und 3). Die Stickoxid-Konzentration kann bei Teillast aufgrund der „kälteren“ Verbrennung sinken.

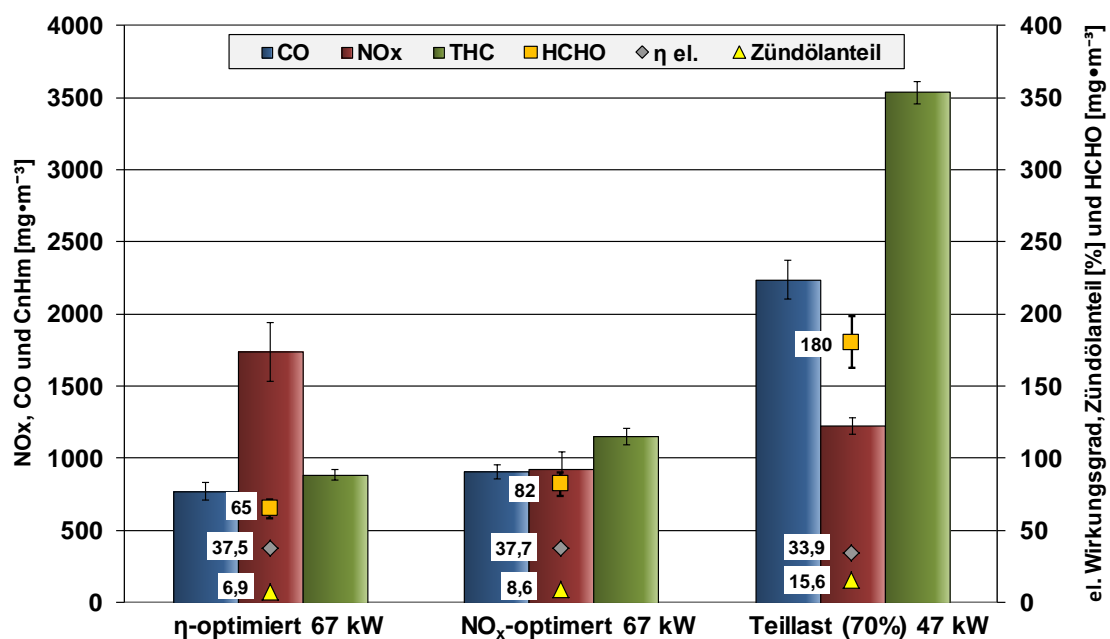


Abbildung 2: Ergebnisse aus Praxismessungen zum Abgasverhalten eines Biogas betriebenen Zündstrahlmotors in Abhängigkeit von der Motoreinstellung und der Last nach [9]

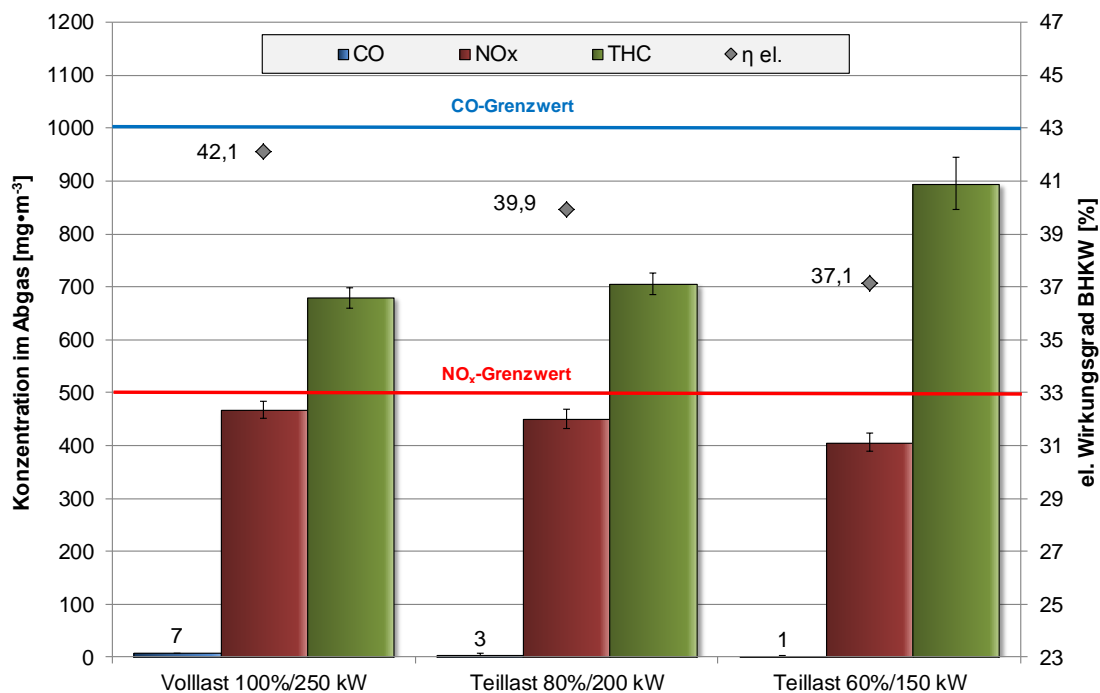


Abbildung 3: Ergebnisse aus Praxismessungen zum Abgasverhalten eines Biogas betriebenen Gas-Otto-Motors mit „BlueRail“-Technologie und Oxi-Kat in Abhängigkeit von der Last

Bei Motoren, die allein durch innermotorische Maßnahmen die Anforderungen an die Emissionsbegrenzungen einhalten, müssen in der Regel Abstriche beim elektrischen Wirkungsgrad in Kauf genommen werden. Aufgrund der Verschärfung bei der Begrenzung der Formaldehydemission ist es in der Regel jedoch nicht mehr möglich, die neuen Grenzwerte ohne Betrieb eines ausreichend ausgelegten Oxidationskatalysators einzuhalten (siehe Kapitel Nr. 2.1).

Insgesamt ist für einen emissionsarmen Betrieb der Motoren auf eine regelmäßige und fachgerechte Wartung zu achten. Diese hat auch einen entscheidenden Einfluss auf den betriebsbedingten Verschleiß des BHKW. So nimmt im Laufe der Betriebsdauer der elektrische Wirkungsgrad ab. Der Verlauf dieser Abnahme kann durch ein gutes Wartungskonzept positiv beeinflusst werden. Messungen in der Praxis zeigten, dass durch eine Generalüberholung (in diesem Fall nach 33.000 Betriebsstunden) der elektrische Wirkungsgrad auf den Ausgangswert zurückgebracht werden konnte [6].

2.3 Verschiedene Motoreinstellungen und Abgascharakteristiken im Vergleich

Wie bereits zuvor beschrieben, beeinflusst u.a. die Lambda-Einstellung die Höhe der Emissionswerte für verschiedene Schadgase. In Vor-Ort-Messungen an verschiedenen mit Biogas betriebenen Verbrennungsmotoren konnten zwei grundlegende Charakteristiken unterschieden werden: (1) Hoch verdichtende Motoren im sehr mageren Bereich mit hohen THC-Konzentrationen (überwiegend Methan sowie Formaldehyd) bei gleichzeitig niedrigen NO_x-Konzentrationen im Abgas und (2) Motoren mit weniger magerem Gemisch und hohen NO_x-Konzentrationen bei gleichzeitig geringen Kohlenwasserstoff-Konzentrationen im Abgas. Durch die ggf. zu erwartenden Verschärfungen bei den Emissionsgrenzwerten für NO_x und Gesamt-Kohlenstoff wird der Spielraum für die Motortechnik weiter eingeengt.

Zu beachten ist, dass bei Änderungen an der Einstellung von Motorparametern (Lambda-Wert, Zündzeitpunkt, etc.) sicherzustellen ist, dass die festgelegten Emissionsgrenzwerte im Rahmen eines ordnungsgemäßen Betriebes weiterhin dauerhaft eingehalten werden. Solche Änderungen sollen deshalb nur von Servicetechnikern durchgeführt und mit Überprüfungsmessungen verbunden sein. Auf die entsprechenden Betreiberpflichten des BImSchG wird ausdrücklich hingewiesen.

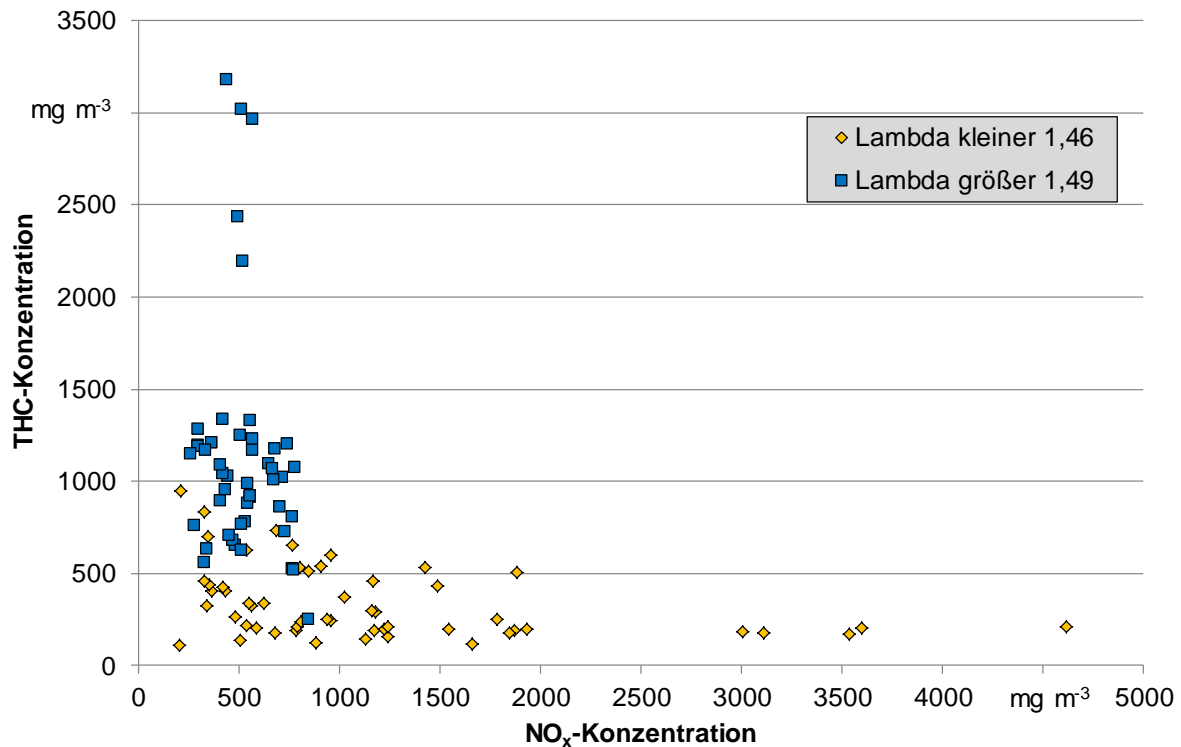


Abbildung 4: Korrelation der mittleren gemessenen NO_x- und THC-Konzentrationen im Abgas von zehn BHKW

3 Technologien für die Abgasnachbehandlung

Mittlerweile existieren immer effizientere BHKW-Modelle, welche in Verbindung mit einer Abgasnachbehandlung die Vorgaben der TA-Luft erfüllen. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die Technologien zur Abgasnachbehandlung gegeben.

3.1 Oxidationskatalysator (Oxi-Kat)

Der Oxidationskatalysator (kurz: Oxi-Kat) ist die am häufigsten eingesetzte Technologie, um Formaldehyd und Kohlenmonoxid (CO) aus dem Abgasstrom zu mindern. Die Entwicklung der Oxidationskatalysatoren ist in den letzten Jahren enorm vorangeschritten. Vor allem auf dem Gebiet der Haltbarkeit und Anfälligkeit gegenüber Schwefel sind mittlerweile deutliche Fortschritte erzielt worden. Dennoch ist eine wirksame Entschwefelung des Biogases vorzunehmen, um die Vergiftung des Katalysators und Korrosion im Abgas- und Wärmetauschersystem durch die Bildung von SO₃ bzw. von Schwefelsäure bei Taupunktunterschreitung zu vermeiden. Dies kann nur durch eine zusätzliche Feinreinigung des Gases auf weniger als 10 ppm H₂S mittels spezieller Filtersysteme (z. B. Aktivkohle oder Cellulosefasergranulate) gewährleistet werden (siehe hierzu auch die Fachinformation ["Entschwefelung von Biogas in landwirtschaftlichen Biogasanlagen"](#)). Zur Kontrolle der

Reinigungsleistung sollte die Wirkung der Entschwefelung mittels eines automatischen Gasanalysators oder einer manuellen Kontrolle regelmäßig überprüft werden.

Zwischenzeitlich liegen von verschiedenen Anlagen in Bayern Erfahrungen beim Einsatz von nachgerüsteten Oxidationskatalysatoren vor. Nach Untersuchungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) lagen die Messergebnisse für die Formaldehydkonzentration im Abgas nach Einbau eines Oxidationskatalysators überwiegend im Bereich von 2 bis unter 40 mg m^{-3} . Gleichzeitig verminderten sich die CO-Emissionen der Motoren deutlich. Bei einigen Anlagen wurde jedoch auch nach der Nachrüstung von Oxidationskatalysatoren im Motorenabgas der Grenzwert für die Realisierung des „Luftreinhaltungsbonus“ von 40 mg m^{-3} Formaldehyd nicht eingehalten. In einem Fall wurde sogar der Formaldehyd-Grenzwert der TA Luft von 60 mg m^{-3} überschritten. Aufgrund der verschärften Anforderungen an die Emissionsbegrenzung von Formaldehyd ist daher der Einsatz von Oxidationskatalysatoren unumgänglich, wobei besonderes Augenmerk auf die Auswahl des richtigen Katalysatortyps und eine ausreichende Dimensionierung zu legen ist, damit der Formaldehyd-Grenzwert im Abgas dauerhaft eingehalten werden kann. Dabei ist das Alterungsverhalten des Katalysators zu beachten, wie Langzeitmessungen des LfU zeigen (Abbildung 5).

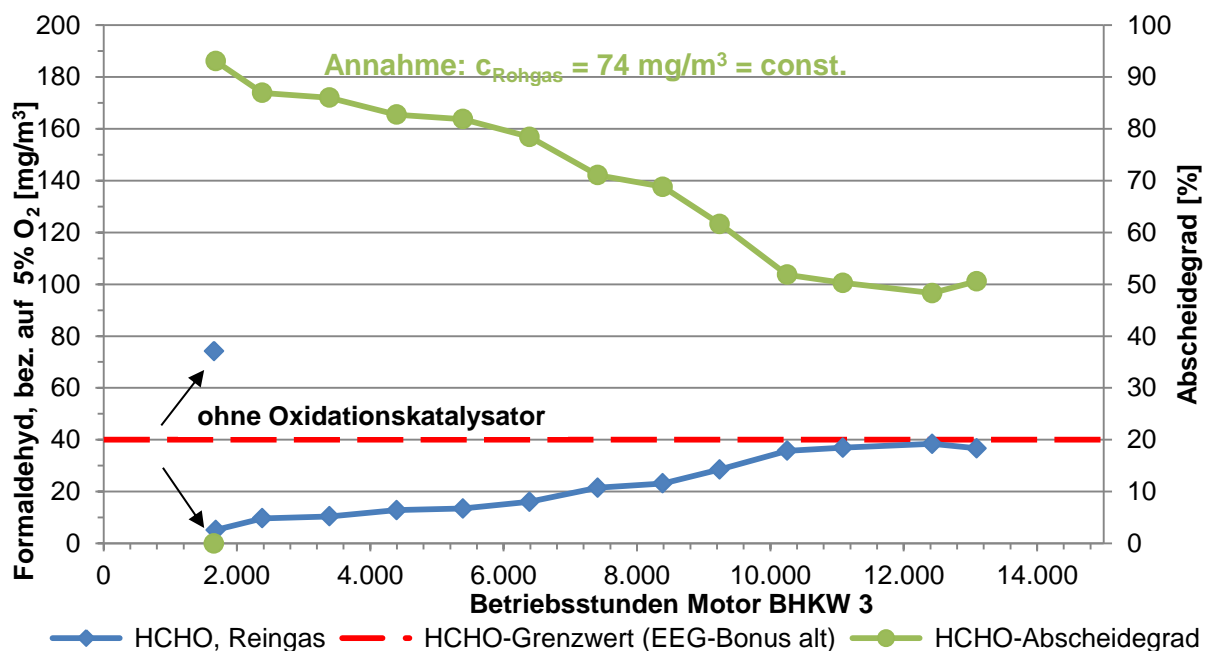


Abbildung 5: Alterungsverhalten eines Oxidationskatalysators an einem Biogasmotor mit hohem elektrischen Wirkungsgrad (Eigenmessungen LfU)

Die Oxidationskatalysatoren haben sich in den letzten Jahren jedoch enorm weiterentwickelt. Vor allem auf dem Gebiet der Haltbarkeit und Anfälligkeit gegenüber H_2S sind mittlerweile Fortschritte erzielt worden. Der Auswahl des richtigen Katalysatortyps, der neben der Minderung der CO-Emissionen auch auf die Minderung von Formaldehyd optimiert sein sollte, kommt deshalb entscheidende Bedeutung zu. Grundsätzlich sind die Herstellerspezifikation an die Rohgasbeschaffenheit zu beachten, um eine lange Haltbarkeit des Katalysators sicherzustellen.

Die Auswahl und Installation eines Oxi-Kats sollten in jedem Fall in Zusammenarbeit mit dem BHKW-Hersteller erfolgen, da nur dieser den richtigen Einbauort kennt und das BHKW auf die neuen Abgasgedruckverhältnisse einstellen kann. Ein falscher Einbau kann zu einem nennenswerten Wirkungsgradverlust führen.

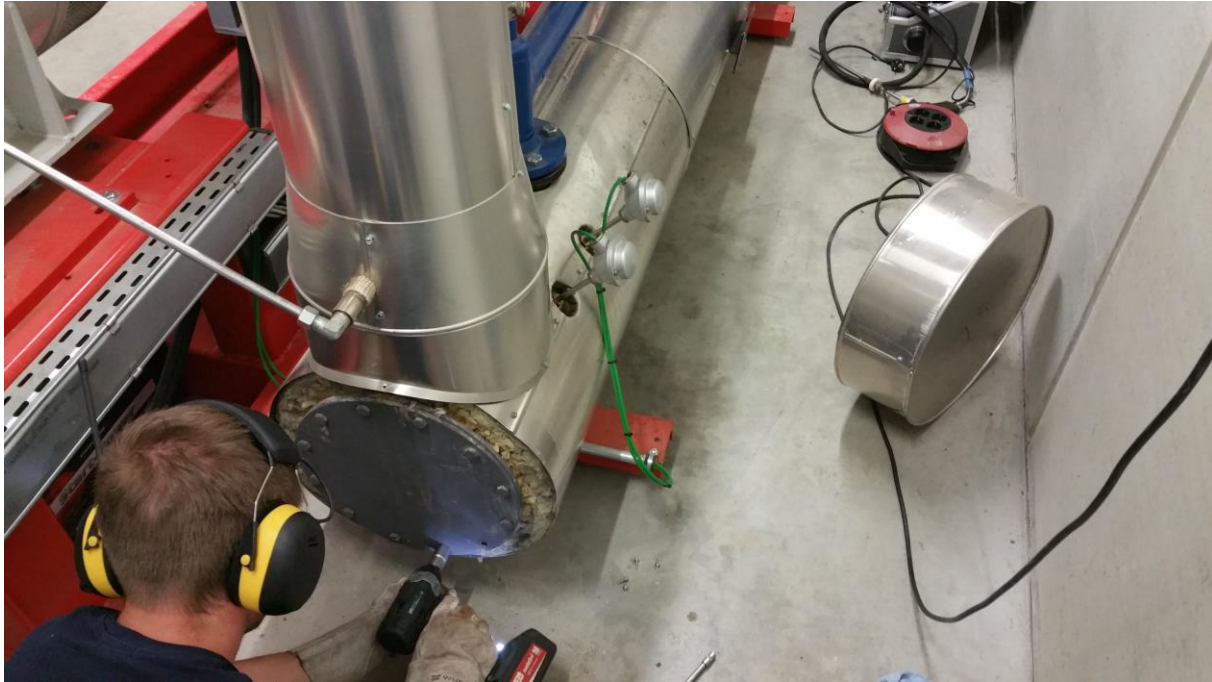


Abbildung 6: Installation eines Oxidationskatalysators im Abgastrakt eines Blockheizkraftwerks (Bildquelle: Tappen, LfL)

Fazit zum Oxi-Kat

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Umwandlungsgrad für CO und HCHO von über 90 % • kostengünstig (ca. 2.000 bis 9.000 €)
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • sehr anfällig auf H₂S: Entschwefelung auf unter 10 ppm nötig • eingeschränkte Haltbarkeit (ca. 10.000 Bh, je nach H₂S-Gehalt) • keine Wirkung auf NO_x • keine Wirkung auf Methan

3.2 Thermische Nachverbrennung

Bei der thermischen Nachverbrennung in sogenannten Thermoreaktoren werden die Abgase auf einem hohen Temperaturniveau oxidiert. Dies ermöglicht eine sichere Einhaltung auch der neuen Formaldehyd- und der diskutierten Gesamt-C Emissionsgrenzwerte.

Unabhängige Messungen zur Wirksamkeit der oxidativ-regenerativen Nachverbrennung liegen zwischenzeitlich von einigen wenigen Anlagen vor. Emissionsmessungen des LfU im Abgas einer solchen Anlage belegen Formaldehydkonzentrationen von $< 5 \text{ mg m}^{-3}$ bei einem Abbaugrad von 98 %. Gleichzeitig wurden die CO-Emissionen deutlich reduziert

($< 0,1 \text{ g m}^{-3}$). Die Methanemissionen des Motors reduzierten sich durch die Nachverbrennung von ca. 1300 mg m^{-3} auf ca. 10 mg m^{-3} . Thermoreaktoren haben damit den Vorteil, dass klimaschädliche Methanemissionen im Abgas von Biogasmotoren effektiv gemindert werden können. Dieses Verfahren ist allerdings mit einem hohen Investitionsbedarf verbunden und in der Regel nur im Dauerbetrieb anwendbar, da eine lange Aufheizphase erforderlich ist.

Fazit zur thermischen Nachverbrennung

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr gute Wirksamkeit für CO und Kohlenwasserstoffe • lange Haltbarkeit
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Anschaffungspreis (ca. 150.000 €) • zusätzlicher Brennstoffbedarf (ca. 2 % des produzierten Methans) • keine Wirkung für NO_x • für den intermittierenden/flexiblen Betrieb nicht geeignet



Abbildung 7: BHKW-Container mit Abgas-Nachverbrennung (rote Markierung) während eines Messvorgangs (Bildquelle: Tappen, LfL)

3.3 SCR-Katalysator

Eine interessante Alternative zur Stickstoffreduktion der sogenannte „SCR-Kat“ (selective catalytic reduction/selektive katalytische Reduktion) dar. Im PKW- und LKW-Bereich wird dieses Verfahren unter dem Namen „Ad-Blue“ bereits serienmäßig eingesetzt, um die Stickoxidemissionen von Dieselmotoren zu reduzieren. Hierbei wird zum Abgasstrom eine wässrige Harnstofflösung dosiert. Aus der Zersetzung von Harnstoff wird Ammoniak frei, welches Stickstoffdioxid zu Stickstoff und Wasserdampf reduziert.

Der Einsatz von SCR-Katalysatoren könnte zukünftig eine Option sein, BHKW-Motoren bei maximalem elektrischem Wirkungsgrad, sicher unter dem NO_x -Grenzwert von 500 mg/m^3 zu betreiben. Hierbei stellt sich allerdings die Frage nach den Kosten, da neben der Anschaffung des SCR-Katalysators noch zusätzlich erhebliche Mengen Harnstoff als Betriebsmittel benötigt werden. Dennoch kann diese Variante wirtschaftlich interessant sein, um dem Zielkonflikt zwischen niedrigen Emissionen bei gleichzeitig hohem elektrischem Ertrag zu entgehen. Es wird zu prüfen sein, inwieweit diese zusätzlichen Kosten durch eine Verringerung des Biogasverbrauchs bei wirkungsgradoptimierter Fahrweise (bei höheren NO_x -Emissionen im Roh-Abgas) kompensiert werden können.

4 Zusammenfassung

Die Anforderungen an die Begrenzung der Formaldehydemissionen im Abgas von Biogasmotoren wurden zwischenzeitlich von der Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) im Vorgriff auf die Anpassung der TA Luft verschärft. Für Altanlagen gelten dabei Übergangsfristen (je nach Emissionsniveau 05.02.2018 bzw. 05.02.2019). Aufgrund dieser strengeren Anforderungen wird in der Regel der Einsatz eines Oxidationskatalysators zur Minderung der Formaldehydemissionen von Biogasmotoren unumgänglich sein. Augenmerk ist auf eine ausreichende Auslegung des Oxidationskatalysators für die dauerhafte Einhaltung des Grenzwertes unter Berücksichtigung der Katalysatoralterung zu legen.

Neben der Minderung der Formaldehydemissionen stehen auch die Stickoxidemissionen von Biogasmotoren im Fokus. Für einen emissionsarmen Betrieb der Motoren ist grundsätzlich auf eine regelmäßige und fachgerechte Wartung zu achten. Diese hat auch einen entscheidenden Einfluss auf den betriebsbedingten Verschleiß des BHKW. Für einen ordnungsgemäßen Betrieb ist bei Änderungen an den Motorparametern (Lambda-Wert, Zündwinkel, etc.) z.B. zur Wirkungsgradoptimierung stets sicher zu stellen, dass die festgelegten Emissionsgrenzwerte im Dauerbetrieb sicher eingehalten werden. Auf die entsprechenden Betreiberpflichten nach Bundesimmissionsschutzgesetz wird hiermit ausdrücklich hingewiesen.

Der Einsatz von SCR-Katalysatoren könnte zukünftig eine interessante Option sein, BHKW-Motoren bei maximalem elektrischem Wirkungsgrad sicher unter dem NO_x -Grenzwert von 500 mg/m^3 zu betreiben. Die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen dieses Verfahrens sind allerdings noch zu prüfen.

Quellenangaben

- [1] TA-Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (GMBl. Nr. 25-29/2002 – 29 S. 511) in der Fassung vom 24. Juli 2002, S. 96-98
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): [Biogashandbuch Bayern – Materialienband](#). Zugriff: 08.09.2017
- [3] Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz: [Vollzugsempfehlung Formaldehyd \(Stand 09.12.2015\)](#). Zugriff: 08.09.2017
- [4] Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz: [Vollzugsempfehlung Formaldehyd \(Stand 10.01.2018\)](#). Zugriff: 26.01.2018
- [5] Aschmann, V., R. Kissel, M. Effenberger, R. Eichelser, A. Gronauer (2007): [Effizienzsteigerung, Emissionsminderung und CO₂-Einsparung durch optimierte Motoreinstellung bei Biogas-Blockheizkraftwerken zur dezentralen Stromerzeugung](#). Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Augsburg 2007
- [6] Aschmann, V., M. Effenberger, W. Jin, A. Gronauer (2009): [Emissionsproblematik und Energieeffizienz biogasbetriebener Blockheizkraftwerke \(BHKW\) im Verlauf der Standzeit](#). In: Internationale Wissenschaftstagung „Biogas Science“, 2.-4.12.2009, Erding, Band 3, S. 193-200
- [7] Bauer, M., G. Wachtmeister (2008): Formaldehydbildung – Wirkmechanismen: Untersuchung der Wirkzusammenhänge zur innermotorischen Beeinflussung der Formaldehyd-Bildung und Darstellung der Einflussparameter. Bericht zum Forschungsvorhaben. Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (Hrsg.), Frankfurt a. Main 2008
- [8] Ebertsch, G., A. Fiedler (2010): Formaldehyd im Abgas von Biogasmotoranlagen und Erdgas-Blockheizkraftwerken. Wasser und Abfall, Heft 11, S. 14-20
- [9] Jin, W. (2010): Emission and electrical efficiency of biogas driven CHPU influenced by different operating conditions. Master Thesis am Wissenschaftszentrum Weihenstephan der Technischen Universität München, Freising 2010

Abkürzungsverzeichnis

Bh	Betriebsstunden
BHKW	Blockheizkraftwerk
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
C _n H _m	Kohlenwasserstoffe, siehe auch „THC“
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
el.	elektrisch
g	Gramm
HCHO	Formaldehyd
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
kW	Kilowatt
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
m ³	Kubikmeter
mg	Milligramm
MW	Megawatt
η _{el.}	Elektrischer Wirkungsgrad
NO _x	Stickoxid
ppm	parts per million
SO ₂	Schwefeldioxid
SO ₃	Schwefeltrioxid
THC	total hydrocarbons, Kohlenwasserstoffe, s.a. C _n H _m
%	Prozent

Zitiervorlage

Aschmann, V., Effenberger, M., Tappen, S. und G. Ebertsch (2018): Voraussetzungen für einen emissionsarmen Betrieb biogasbetriebener BHKW
In: Biogas Forum Bayern Nr. IV – 8/2018 (3. Auflage), Hrsg. ALB Bayern e.V., LINK, Stand [Abrufdatum]

Das „Biogas Forum Bayern“ ist eine Informationsplattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern.

Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik)

Hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Sicherheit
- Emissionen
- Funktion
- System/Standort

Mitglieder der Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik)

- Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Neustadt a.d. Saale
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung
- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Biogas Beratung Barth
- BIOVoltaik GmbH
- Böck Silosysteme GmbH
- C.A.R.M.E.N. e.V.
- ennox biogas technology
- Fachverband Biogas e.V.
- Gutachtergemeinschaft Biogas
- Landratsamt Neuburg-Schrobenhausen
- Regierung von Oberbayern (Gewerbeaufsichtsamt) und Oberfranken
- RegPower GmbH
- SVLFG Berufsgenossenschaft
- UGN Umwelttechnik GmbH



Herausgeber:

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik
und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
Vöttinger Straße 36
85354 Freising
Telefon: 08161/71-3460
Telefax: 08161/71-5307
Internet: <http://www.biogas-forum-bayern.de>
E-Mail: info@biogas-forum-bayern.de