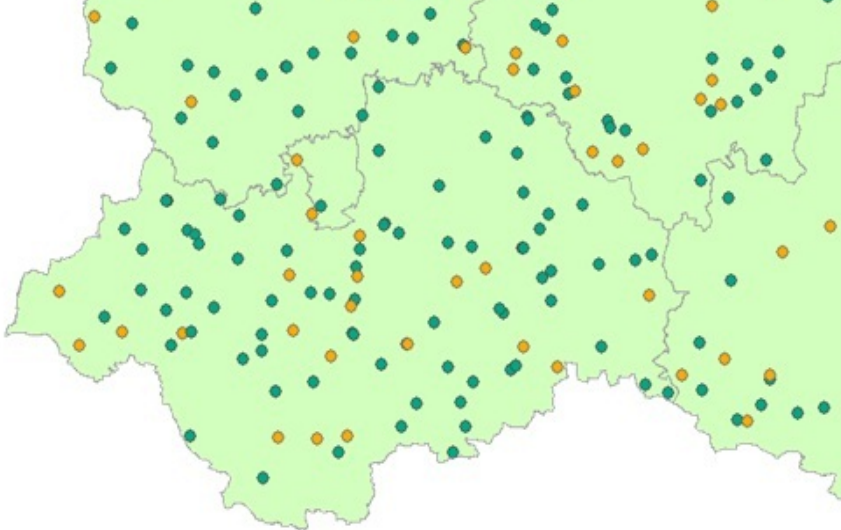
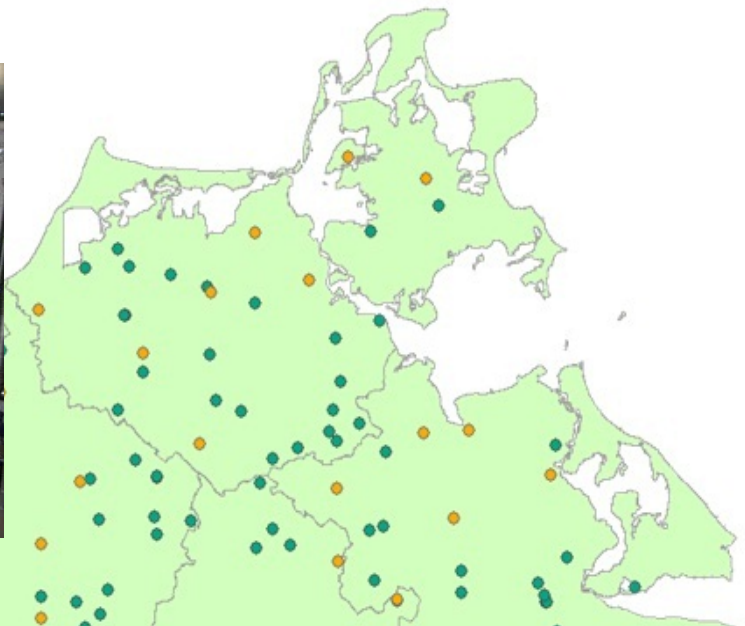


Stand der Technik zur Lärminderung bei Biogasanlagen

Schalltechnische Analysen, Recherchen, Untersuchungen



Materialien zur Umwelt 2014, Heft 1

**Mecklenburg
Vorpommern** 

Landesamt für Umwelt,
Naturschutz und Geologie

Impressum

- Herausgeber: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie
Mecklenburg-Vorpommern (LUNG)
Goldberger Straße 12
18273 Güstrow
- Tel.: 03843 777-0 Fax: 03843 777-106
E-Mail: poststelle@lung.mv-regierung.de
- Auftragnehmer/Bearbeitung: Ingenieurbüro für Lärmschutz
Förster & Wolgast
Inh.: Dipl.-Ing. Lothar Förster
Bayreuther Straße 12
09130 Chemnitz
- Fotos: Ingenieurbüro für Lärmschutz
Förster & Wolgast
- Abbildung Deckblatt: © GeoBasis-DE/M-V 2014
- Druck: Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-
Vorpommern
Druckerei der Landesregierung
Innenseiten gedruckt auf EnviroTop, ausgezeichnet
mit dem Umweltzeichen "Blauer Engel"
Enviro Top wird CO₂-neutral hergestellt
- Bezug: Einzelexemplare beim Herausgeber sowie als Download unter
[http://www.lung.mv-
regierung.de/insite/cms/umwelt/laerm/laerm_dokumente_laermschutz.htm](http://www.lung.mv-regierung.de/insite/cms/umwelt/laerm/laerm_dokumente_laermschutz.htm)

Güstrow, im Mai 2014

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten und Helfern während des Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwandt werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwandt werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden kann. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist.

Inhalt	Blatt
1. Einführung	5
1.1. Aufgabenstellung	5
1.2. Einleitung	6
1.3. Tieffrequente Geräuschanteile von BHKW-Anlagen	6
2. Beschreibung der maßgeblichen Schallquellen von Biogas- und BHKW-Anlagen	8
2.1. Verbrennungsmotorenanlage einschl. der Nebenaggregate	8
2.2. Biogaserzeugungsanlage	8
2.3. Anlagenbezogener Fahrverkehr	8
3. Einteilung der BHKW-Anlagen in unterschiedliche Leistungsklassen	9
4. Maßgebliche Schallquellen von Biogas- und BHKW-Anlagen	10
4.1. BHKW-Anlage	10
4.1.1. Verbrennungsmotor (BHKW-Motor)	11
4.1.2. Ausführungsformen der baulichen Hülle von BHKW-Anlagen und deren Einfluss auf die Minimierung der Schallabstrahlung in die Nachbarschaft	16
4.1.3. Einfluss der Ausführungsformen der baulichen Hülle von BHKW-Anlagen im Hinblick auf die Vermeidung/Minimierung eines Körperschalleintrages	25
4.1.4. Zuluft- und Abluftöffnungen zum/vom BHKW-Raum	32
4.1.5. Abgasmündung des Verbrennungsmotors	35
4.1.6. Not- und Gemischkühler	42
4.1.7. Weitere Geräuschquellen einer BHKW-Anlage	47
4.2. Biogaserzeugungsanlage	53
4.2.1. Feststoffeintrag	53
4.2.2. Antriebsmotoren der Rührwerke an den Behältern	54
4.3. Anlagenbezogener Fahrverkehr	58
5. Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der vorliegenden Studie	61
6. Allgemeine Hinweise	65
6.1. Standortanalyse für eine Biogas- und/oder BHKW-Anlage aus schalltechnischer Sicht	66
6.2. Spezielle Aufgabenstellung einer detaillierten Schallimmissionsprognose	67
7. Empfehlungen zur Auslegung von Biogas- und BHKW-Anlagen	69

LITERATURVERZEICHNIS	71
ANLAGEN	74
ANLAGE 1: Datenblätter von BHKW-Motoren (12 Blätter)	
ANLAGE 2: Fotodokumentation (10 Blätter)	
ANLAGE 3: A- und C-Bewertung K_{Ai} und K_{Ci} für das Terzspektrum $f_{Terz} = 8 \text{ Hz} \dots 20 \text{ kHz}$ (1 Blatt)	

Vorwort

Infolge der Energiewende kommt den erneuerbaren Energien auch in Mecklenburg-Vorpommern eine immer größer werdende Bedeutung zu. Ein zentrales Element ist dabei die Erzeugung von Biogas und dessen Verstromung bzw. Aufbereitung für die Einspeisung in das Gasnetz. Im Land werden derzeit ca. 480 Biogasanlagen betrieben, die vorwiegend in einem landwirtschaftlichen Kontext errichtet wurden. Anfang des Jahres 2014 wurde etwa 15 Prozent des Stroms in M-V durch einheimische Biogasanlagen erzeugt. Ein Ausbauende ist derzeit nicht abzusehen.

Aufgrund vorhandener, landwirtschaftlich geprägter Strukturen werden Biogasanlagen in M-V auch in der Nähe von dem Wohnen dienenden Gebieten errichtet. Dies stößt in der Nachbarschaft nicht immer auf Verständnis. Ein Grund dafür ist, dass beim Betrieb von Biogasanlagen störende Geräuschemissionen, insbesondere auch tieffrequente Geräusche verursacht werden können. Diese werden im Wesentlichen vom Motor des Blockheizkraftwerkes und weiteren Komponenten bestimmt, die in der Regel 24 Stunden in Betrieb sind. Deshalb ist eine gute Schallschutzplanung zur Einhaltung der immissionsschutzrechtlichen Anforderungen unerlässlich.

Die Veröffentlichung in der Reihe „Materialien zur Umwelt“ des LUNG geschieht in der Hoffnung, den Behörden, Planern und Ingenieurbüros ein geeignetes Mittel zur Verfügung zu stellen, um Biogasanlagen unter Berücksichtigung des Standes der Technik möglichst konfliktfrei planen, errichten und betreiben zu können.



Dr. Harald Stegemann

Direktor des Landesamtes für Umwelt,
Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern

1. Einführung

1.1. Aufgabenstellung

Aufgrund der staatlichen Förderung bei der Errichtung von Elektroenergie-Gewinnungsanlagen mit erneuerbaren Energien wurden in den vergangenen Jahren in Deutschland in erheblichem Umfang Biogasanlagen, bestehend aus einer Biogaserzeugungsanlage und einer Blockheizkraftwerksanlage (BHKW-Anlage), errichtet, die in Abhängigkeit von einer Vielzahl an Faktoren (z. B. Feuerungswärmeleistung des BHKW, Größe der Behälter, ...) immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig bzw. immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftig sind.

Durch die Konstruktion und Betriebsweise der Biogasanlagen und der damit technisch bedingten Geräuschemission und der möglichen freien Schallausbreitung von den verschiedenen Geräuschquellen in die Wohnnachbarschaft sind diese Anlagen in besonderem Maße geeignet, schädliche Umwelteinwirkungen in Form erheblicher Belästigungen durch Geräusche zu erzeugen /19/.

Mit der vorliegenden Studie soll der aktuelle Stand der Lärminderungstechnik von Biogasanlagen gemäß Nr. 2.5 der TA Lärm /5/ (vgl. dazu auch Aussagen im folgenden Punkt 1.2.) - vor allem im Hinblick auf die jeweilige Anlagengröße - ermittelt werden. Dabei sind die wesentlichen Geräuschquellen und deren Besonderheiten detailliert zu untersuchen und Möglichkeiten zu Schallschutzmaßnahmen zu benennen. Für die jeweils infrage kommenden Schallschutzmaßnahmen soll eine Verhältnismäßigkeitsbetrachtung angestellt werden, in der die erreichbaren Pegelminderungen der Geräuschemission und damit der Geräuschimmission im Hinblick auf die aufzuwendenden Kosten gegenübergestellt werden. Zudem soll mit den Betreibern und den Herstellern von Biogasanlagen die praktische Eignung der verschiedenen Schallschutzmaßnahmen erörtert werden.

Im Ergebnis der vorliegenden Studie sollen für die zuständigen Behörden, Hersteller, Planer und Betreiber von Biogas- und BHKW-Anlagen praktische Hinweise bzw. Empfehlungen zu den sich herauskristallisierenden verhältnismäßigen Schallschutzmaßnahmen benannt werden, die sich in der Vergangenheit bei einer Vielzahl an Biogas- und BHKW-Anlagen als geeignet erwiesen haben.

1.2. Einleitung

Gemäß § 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG /1/ sind genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass insbesondere durch die dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen getroffen wird.

Die TA Lärm /5/ enthält in Nr. 2.5 eine auf die Lärminderung bezogene Definition des Standes der Technik. Danach sind Maßnahmen auf dem Schallausbreitungsweg ebenso dem Stand der Lärminderungstechnik zuzurechnen wie Maßnahmen an der Schallquelle.

Zur Ausfüllung des unbestimmten Rechtsbegriffes „Stand der Lärminderungstechnik“ sind letztlich die Genehmigungs- und Überwachungsbehörden gefordert.

Im Rahmen eigener Ermittlungen können sie dazu Entscheidungshilfen heranziehen (z. B. Veröffentlichungen von Normungsorganisationen wie DIN, VDI). Dazu kommen Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik, die sich im Laufe der Zeit als praktikabel und wirksam erwiesen haben.

Nachfolgende Betrachtungen sollen einen Überblick über den aktuellen Stand der Lärminderungstechnik im Bereich der Errichtung und des Betriebs von BHKW- und Biogasanlagen geben.

1.3. Tieffrequente Geräuschanteile von BHKW-Anlagen

Die im Punkt 1.2. beschriebenen Emissionseigenschaften bestehen auch darin, dass von Biogasanlagen nicht nur die bei sonstigen Anlagen relevanten mittel- und hochfrequenten Geräusche emittiert werden, sondern von den zum Bestand einer Biogasanlage gehörenden wesentlichen Teilgeräuschquellen - den BHKW - zusätzlich dominant tieffrequente Töne emittiert werden können.

Während die im Einwirkungsbereich der Biogasanlage zu erwartenden „üblichen“ mittel- und hochfrequenten Geräuschmissionen einer Lärmbewertung nach Nummer 6.1 der TA Lärm mittels A-frequenzbewerteter Beurteilungspegel zu unterziehen sind, müssen die in der Nachbarschaft der Biogas- und BHKW-Anlage möglichen (zumeist tonalen) tieffrequenten Geräusche nach Nummer 7.3 der TA Lärm in Anwendung der DIN 45680 /10/ einschl. des Beiblattes 1 /11/ beurteilt werden. Die DIN 45680 i.V.m. Beiblatt 1 enthalten für tieffrequente Anlagengeräusche ein spezielles Lärmbewertungsverfahren, welches sich auf den Terzfrequenzbereich von 10 Hz bis 80 Hz bezieht. Zu berücksichtigen ist des Weiteren, dass aktuell der Entwurf einer Neufassung der DIN 45680 aus dem Jahre 2013 /12/ vorliegt, der den zu beurteilenden Bereich tiefer Frequenzen auf 8 Hz bis 125 Hz erweitert. Damit fällt die tieffrequente Schallemission der BHKW genau in den Geltungsbereich der DIN 45680 bzw. deren Neufassung.

Maßnahmen zur Geräuschemissionsminderung an Biogasanlagen, die den „Stand der Technik zur Lärminderung“ repräsentieren, sollten deshalb nicht nur auf den mittel- und hochfrequenten Bereich des emittierten Schallspektrums, sondern auch auf den tieffrequenten Terzfrequenzbereich von 8 Hz bis 125 Hz abgestellt werden.

Dieser Forderung kommt insofern besondere Bedeutung zu, da in der Regel technische Maßnahmen zur Minderung der Anlagen-Geräuschemission auf eine Minderung des A-bewerteten Schalleistungspegels und in Folge auf eine Absenkung des A-bewerteten Immissionspegels im Einwirkungsbereich der Anlage abzielen.

Hinweis:

Da die tieffrequenten Schallenergieanteile durch die A-Bewertungskurve ohnehin stark gedämpft werden (vgl. rot markierte Korrekturwerte K_{Ai} in der ANLAGE 3), leisten sie keinen relevanten Beitrag zum Gesamtschallpegel in dB(A) und müssen deshalb zunächst für eine Minderung der Geräuschemission in dB(A) in der Regel nicht ebenfalls zusätzlich abgesenkt werden.

Bei bestimmten Schallquellen mit koexistierender tief-, mittel und hochfrequenter Geräuschemission führt die im Interesse niedriger A-bewerteter Schalleistungspegel vollzogene emissionsseitige Absenkung der mittleren und hochfrequenten Schallenergien zu einer Dominanz der emittierten tieffrequenten Schallenergien. Wegen der starken Dämpfung der A-Bewertungskurve bei tiefen Frequenzen stellen sich zwar im Einwirkungsbereich der Anlage dann sehr niedrige A-bewertete Pegel ein, diese führen aber zu einer Unterbewertung der Lärmimmission aufgrund der durch tieffrequenten Schall möglicherweise verursachten starken Störwirkungen.

2. Beschreibung der maßgeblichen Schallquellen von Biogas- und BHKW-Anlagen

In der vorliegenden Studie werden auftragsgemäß nur die technischen Einrichtungen im Detail untersucht. Zu den Geräuschemissionen des anlagenbezogenen Fahrverkehrs (z. B. im Zusammenhang mit den Einlagerungen von Mais in die Fahrsiloanlage) sollen lediglich kurze Einschätzungen getroffen werden.

Damit wird vor allem die Schallsituation im kritischeren Nachtzeitraum beurteilt, weil im Ergebnis der Schallimmissionsprognose bzw. nach den immissionschutzrechtlichen Nebenbestimmungen im Genehmigungsbescheid in den meisten Fällen anlagenbezogener Fahrverkehr nur im Tageszeitraum (6 bis 22 Uhr) zugelassen und im Nachtzeitraum (22 bis 6 Uhr) auszuschließen ist.

2.1. Verbrennungsmotorenanlage einschl. der Nebenaggregate

Die maßgeblichen Immissionen in der Wohnnachbarschaft werden durch folgende Geräuschquellen der BHKW-Anlage (siehe auch Abbildung 1 im Punkt 4.1.) bestimmt:

- Schallabstrahlung durch die bauliche Hülle um das BHKW (s. Punkt 4.1.1.-3., ab Blatt 12)
- Zuluft- und Abluftöffnungen zum/vom BHKW-Raum (s. Punkt 4.1.4., ab Blatt 34)
- Abgasmündung des Verbrennungsmotors (s. Punkt 4.1.5., ab Blatt 37)
- Not- und Gemischkühler (s. Punkt 4.1.6., ab Blatt 44)

Die weiteren Geräuschquellen (z. B. Abgaswärmetauscher, Abgasverrohrung, Schalldämpferkörper, Gasdruckerhöhungsgebläse, Gasreinigung, Oxidationskatalysator, s. Punkt 4.1.7., ab Blatt 49) können im Einzelfall - insbesondere bei geringen Abständen zwischen der BHKW-Anlage und der Wohnnachbarschaft - ebenfalls von Bedeutung für die Geräuschbelastung der Nachbarschaft sein.

2.2. Biogaserzeugungsanlage

Die bestimmenden Geräuschquellen einer Biogasanlage im Beurteilungszeitraum „nachts“ der TA Lärm sind:

- der Feststoffeintrag
- die Antriebsmotoren der Rührwerke an den Behältern

2.3. Anlagenbezogener Fahrverkehr

Der anlagenbezogene (Lkw-) Fahrverkehr beim Betrieb einer Biogasanlage stellt die zumeist nur saisonalen Antransporte der zu vergärenden Stoffe (z. B. Mais), die Abtransporte des vergorenen Substrates (zumeist im Frühjahr und im Herbst) sowie den innerbetrieblichen Transport der zu vergärenden Stoffe mit einem Radlader dar. Diese Aktivitäten finden an den meisten Standorten nur im Tageszeitraum statt, siehe Angaben unter Punkt 2.

3. Einteilung der BHKW-Anlagen in unterschiedliche Leistungsklassen

Die derzeit am häufigsten zum Einsatz kommenden BHKW werden in Abstimmung mit dem Auftraggeber nach ihrer elektrischen Leistung wie folgt in Gruppen eingeteilt:

(a) $190 \text{ kW} \leq P_{\text{el.}} \leq 265 \text{ kW}$

(b) $265 \text{ kW} < P_{\text{el.}} \leq 400 \text{ kW}$

(c) $400 \text{ kW} < P_{\text{el.}} \leq 550 \text{ kW}$

(d) $550 \text{ kW} < P_{\text{el.}} \leq 800 \text{ kW}$

BHKW-Anlagen mit einer geringeren oder höheren elektrischen Leistung sind nicht Bestandteil der Untersuchung.

4. Maßgebliche Schallquellen von Biogas- und BHKW-Anlagen

4.1. BHKW-Anlage

In den folgenden Abbildungen sind zunächst die maßgeblichen Teil-Schallquellen einer BHKW-Anlage sowie die üblicherweise vorgesehenen Schallschutzeinrichtungen dargestellt. In den darauf folgenden Punkten wird auf die verschiedenen Teil-Schallquellen genauer eingegangen.

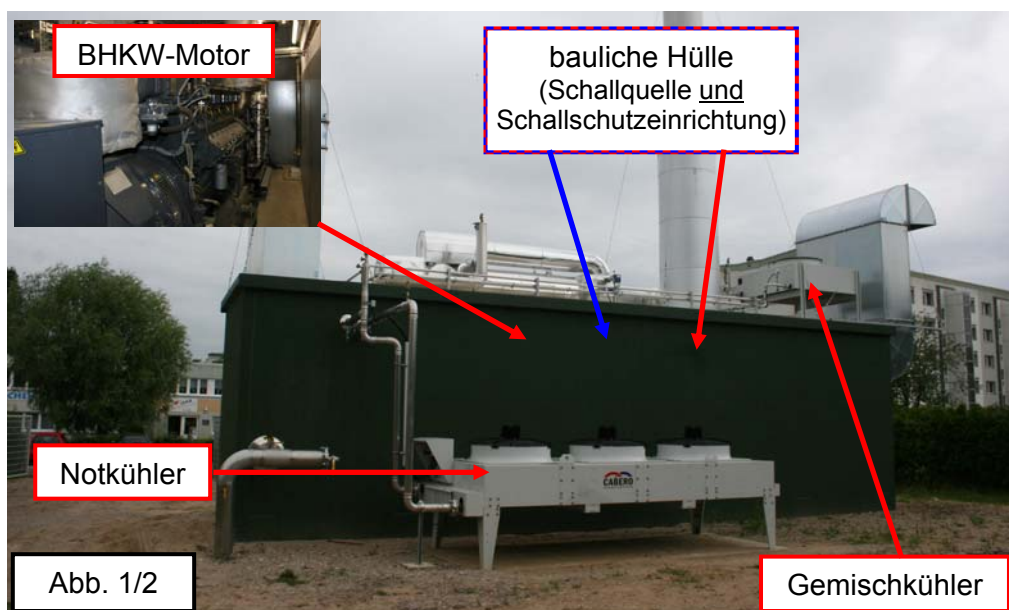
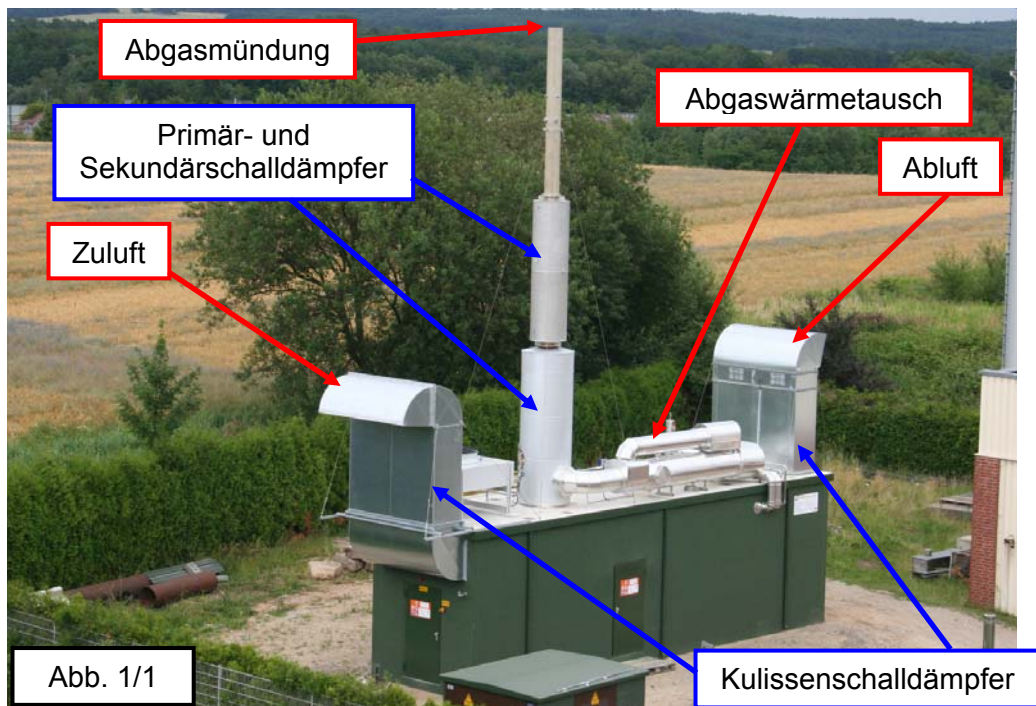


Abb. 1: Schallquellen einer BHKW-Anlage (rot markiert) und vorgesehene Schallschutzeinrichtungen (blau markiert)

4.1.1. Verbrennungsmotor (BHKW-Motor)

Als die üblicherweise wesentlichste Geräuschquelle einer BHKW-Anlage ist der Verbrennungsmotor zu benennen. Durch den Verbrennungsvorgang in den Zylindern des Motors wird der Motorblock u. a. zu Schwingungen angeregt, die als Luftschall in die Umgebung abgestrahlt werden. Seitens der Motorenhersteller wird in den Datenblättern dieser abgestrahlte Luftschall oft als Motorschall bezeichnet.

In den im Punkt 3. aufgeführten Leistungsklassen kommen Motoren unterschiedlicher Bauform - entweder als Reihenmotor oder als V-Motor - zum Einsatz. In der folgenden Tabelle 1 wird eine Auswahl der sich derzeit auf dem Markt befindlichen Motoren renommierter Motorenhersteller aufgezeigt. Es erfolgt eine Zuordnung der Motoren in die jeweilige Leistungsklasse und die Benennung der Anzahl der Zylinder sowie der Bauform des Motors.

Tabelle 1: Zuordnung der Verbrennungsmotoren zu den Leistungsklassen gemäß Punkt 3.

Leistungsklasse ¹⁾	Motorenhersteller	Motortyp	Zylinder
(a) $190 \text{ kW} \leq P_{\text{el.}} \leq 265 \text{ kW}$	MAN	E 2876 LE 302 E 2848 LE 322	6 in Reihe 8 in V-Form
	MTU	GC 192 B5	6 in Reihe
(b) $265 \text{ kW} < P_{\text{el.}} \leq 400 \text{ kW}$	Jenbacher	JMS 208 GS - B.L	8 in Reihe
	MAN	E 2842 LE 322	12 in V-Form
	MTU	GC 400 B5	12 in V-Form
	MWM	TCG 2016 V08 C	8 in V-Form
	Schnell ²⁾	6R20 1B ²⁾	6 in Reihe
(c) $400 \text{ kW} < P_{\text{el.}} \leq 550 \text{ kW}$	Jenbacher	JMS 312 GS - B.L	12 in V-Form
(d) $550 \text{ kW} < P_{\text{el.}} \leq 800 \text{ kW}$	Jenbacher	JMS 412 GS - B.L	12 in V-Form
	MWM	TCG 2016 V12 C TCG 2016 V16 C	12 in V-Form 16 in V-Form
	MTU	GC 800 B5	8 in V-Form
	Schnell ³⁾	6R41 1B ³⁾	6 in Reihe

1) Die in der Tabelle 1 aufgezeigten BHKW-Motoren können im späteren Einsatz auch leistungsreduziert betrieben werden, um den Verschleiß der Bauteile zu reduzieren und um damit eine längere Laufzeit des Motors zu gewährleisten. Damit ist nicht ausgeschlossen, dass die in der Tabelle 1 benannten Motoren im Einzelfall auch in einer niedrigeren Leistungsklasse betrieben werden.

2) Grundmotor stammt von der Fa. Scania

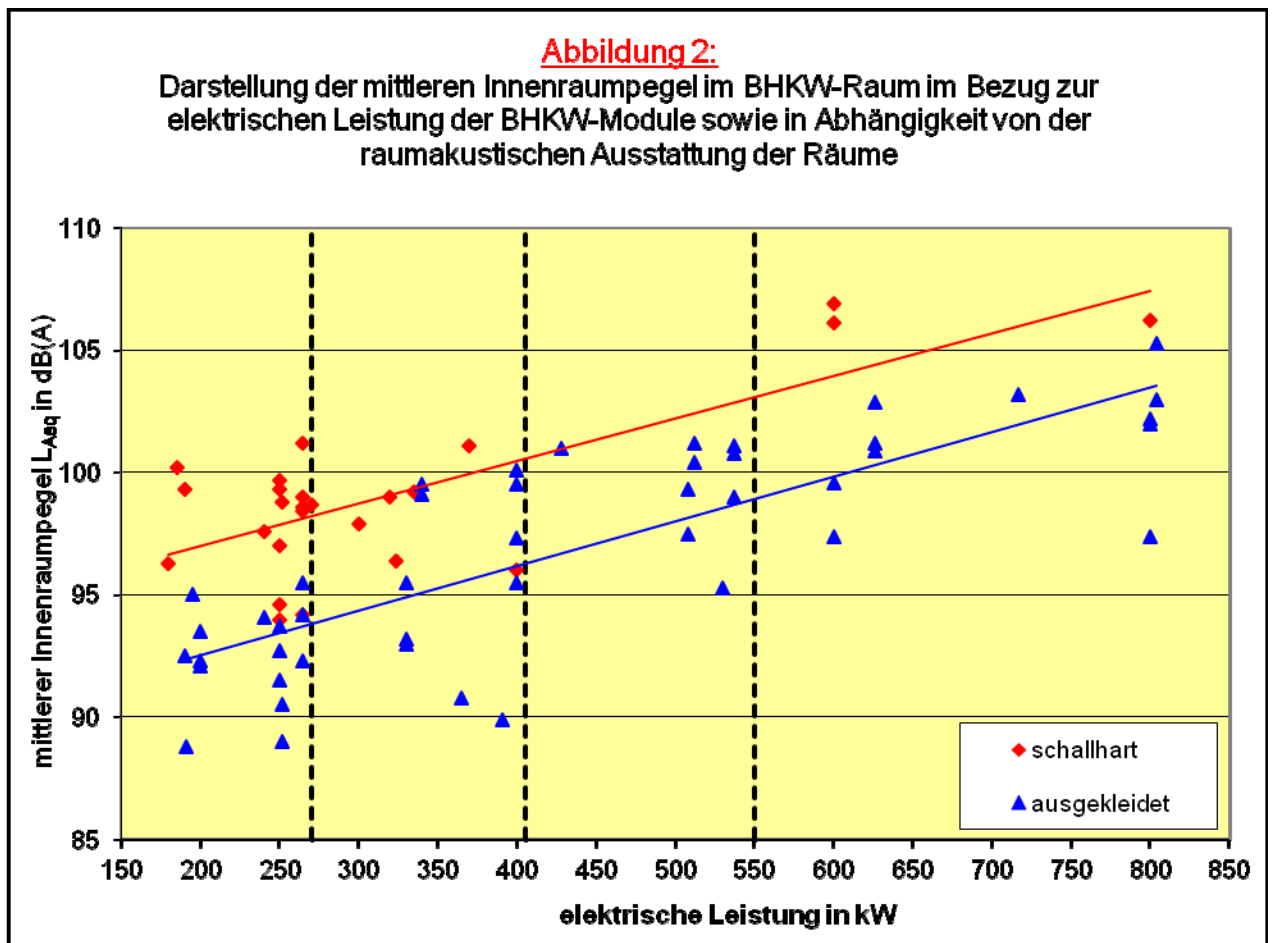
3) Grundmotor stammt von der Fa. Mitsubishi

Beim Betrieb von BHKW-Motoren erhöht sich mit steigender Motorleistung auch die verursachte Geräuschemission, d. h., der Schalleistungspegel des Motors. Dieser Zusammenhang ist auch in /17/ dargestellt.

Die Datenblätter der Motoren gemäß Tabelle 1 sind mit den Angaben zu den Geräuschemissionen in der ANLAGE 1 aufgezeigt. Daraus geht hervor, dass die untersuchten Motoren beim Betrieb Schalleistungspegel zwischen 103 dB(A) und 117 dB(A) verursachen.

Aufgrund der Höhe dieser Schallemissionen wird der Motorblock innerhalb einer baulichen Hülle betrieben, z. B. in einem massiven Gebäude, in einer Betonschallhaube oder in einem Stahlblech-Container.

Die sich dabei in Abhängigkeit von der Leistung der Motoren und des Schallabsorptionsvermögens der BHKW-Räume einstellenden Innenraumpegel L_I (= L_{Aeq}) beim Vollastbetrieb der Motoren sind in der folgenden Abbildung 2 für insgesamt 71 untersuchte BHKW-Räume aufgezeigt. Dabei wird zwischen einer schallharten Ausführung der Innenraum-Oberfläche der BHKW-Räume (z. B. einer glatten Beton- oder Putzfläche) und einer absorbierenden Auskleidung der Innenräume (z. B. mit Mineralwolle, die auf der schallharten Oberfläche des Innenraumes angebracht und mittels Lochblech fixiert wird) unterschieden.



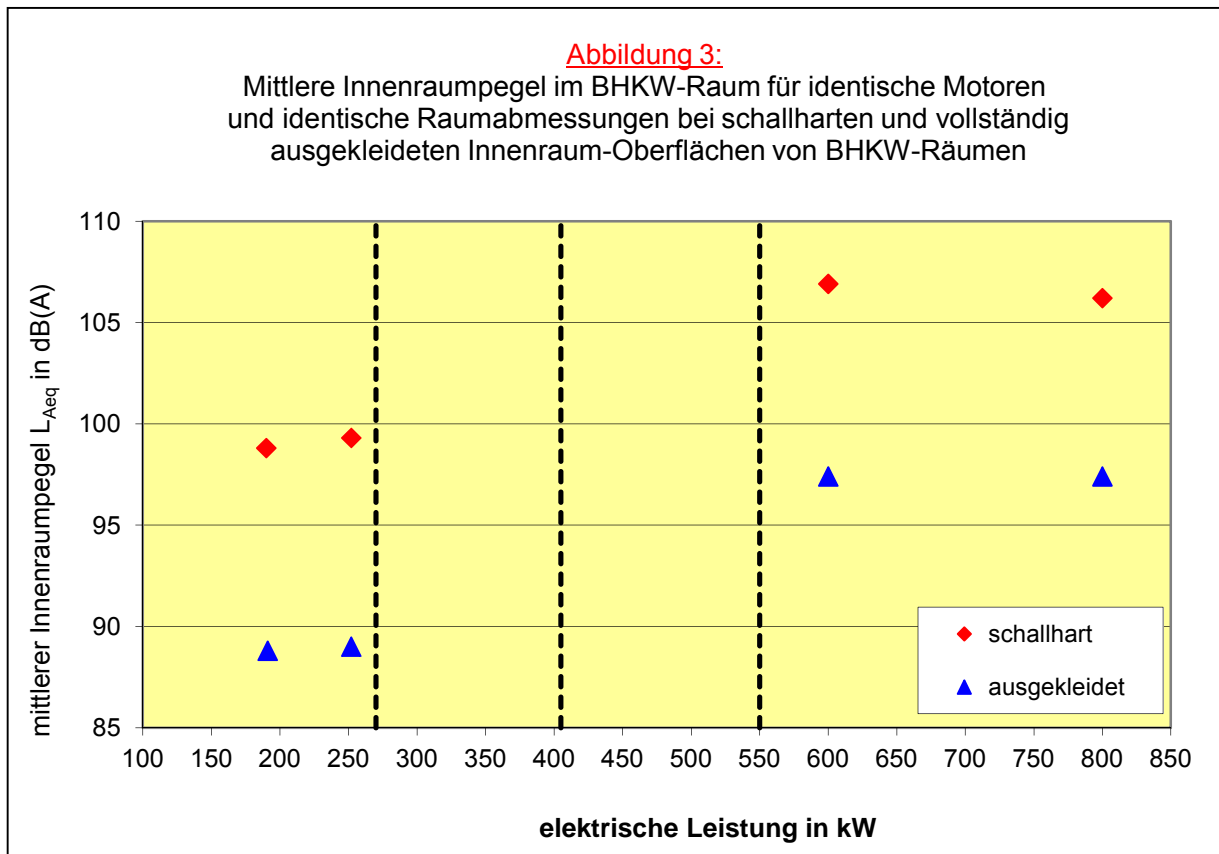
Aus der Abbildung 2 geht hervor, dass mit steigender Leistung der Motoren auch der Innenraumpegel - infolge der bereits beschriebenen höheren Schalleistungspegel der Motoren - im BHKW-Raum ansteigt.

In der Leistungsklasse (a) sind - je nach der Auskleidung des Raums - Innenraumpegel von $89 \text{ dB(A)} \leq L_1 \leq 101 \text{ dB(A)}$ möglich. In der Leistungsklasse (b) ergeben sich im Schnitt um nur rund 1 bis 2 dB(A) höhere Innenraumpegel. Bei Betrachtung der Innenraumpegel in der Leistungsklasse (c) lässt sich ein etwas höherer Sprung der Pegelwerte gegenüber den Leistungsklassen (a) und (b) erkennen. Bei den untersuchten - schallabsorbierend ausgekleideten Räumen - wurden Innenraumpegel von $95 \text{ dB(A)} \leq L_1 \leq 101 \text{ dB(A)}$ ermittelt. In der höchsten betrachteten Leistungsklasse (d) wurden Innenraumpegel von $97 \text{ dB(A)} \leq L_1 \leq 107 \text{ dB(A)}$ festgestellt.

Die Spanne der Innenraumpegel zwischen einem BHKW in der Leistungsklasse (a), das innerhalb eines Raums mit einer absorbierenden Auskleidung des Innenraums aufgestellt wird, und einem BHKW in der Leistungsklasse (d), welches in einem schallharten Raum (ohne schallabsorbierende Auskleidung) aufgestellt wird, beträgt größenordnungsmäßig $\Delta L = 20 \text{ dB(A)}$. Dabei sind 10 dB(A) der Spanne auf die steigende Schalleistung infolge der höheren Leistung der Motoren im Untersuchungsbereich zurückzuführen (siehe auch Untersuchungen der Fa. Müller BBM /17/). Die verbleibenden 10 dB(A) sind dagegen nach den hier vorliegenden Untersuchungen auf die raumakustische Ausstattung (Art der Auskleidung) der BHKW-Räume zurückzuführen.

In Abbildung 3 wird der Einfluss des Einsatzes von schallabsorbierenden Materialien auf die Innenraumpegel verschiedener BHKW-Leistungsklassen dargestellt.

Die Innenraumpegel wurden in Räumen mit gleichen Abmessungen und identischen BHKW-Motoren ermittelt:



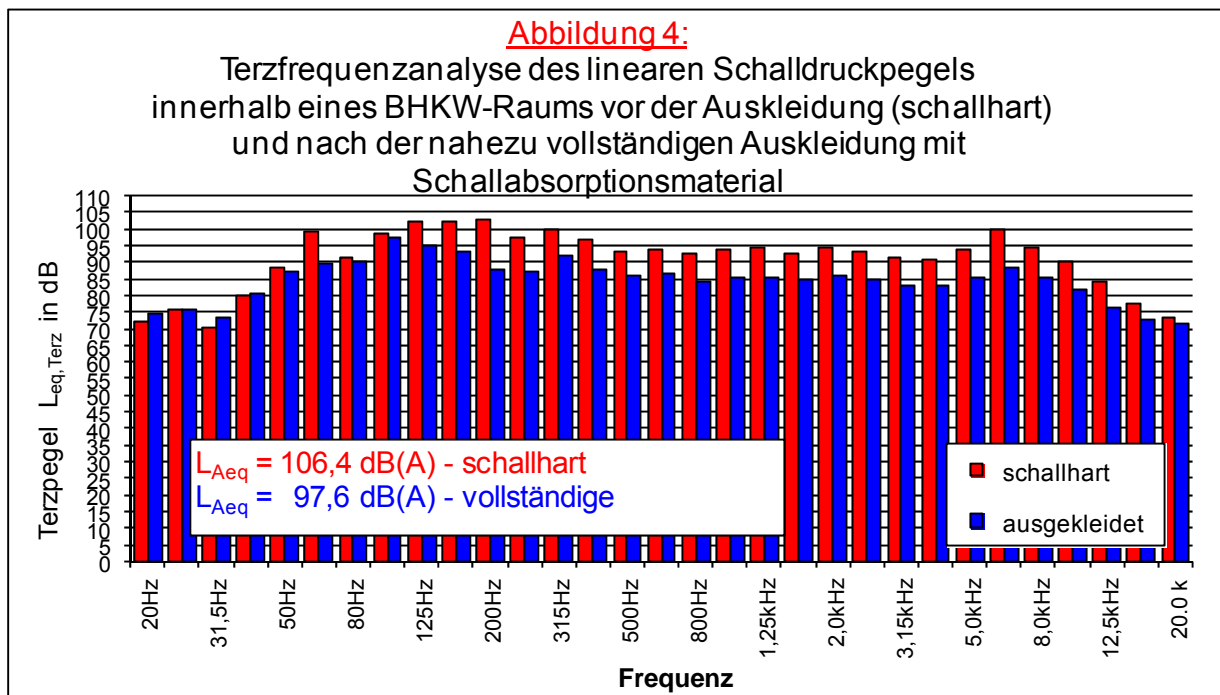
Aus der Abbildung 3 geht hervor, dass beim Einsatz schallabsorbierender Materialien innerhalb des BHKW-Raums der Innenraumpegel im Vergleich zu einer schallharten Ausführung der Oberflächen um bis zu 10 dB(A) reduziert werden kann. Damit wird die Schallabstrahlung über die Außenbauteile des BHKW-Raums um gleichfalls 10 dB(A) reduziert.

Die Realisierung einer solchen Maßnahme in schallharten BHKW-Betonschallhauben oder in massiven schallharten BHKW-Gebäuden ist auch noch nachträglich möglich und sinnvoll, auch wenn dann nicht mehr alle zur Verfügung stehenden Flächen vollständig bekleidet werden können. Selbst dann, wenn im Nachgang z. B. nur 65 % der Fläche schallabsorbierend ausgekleidet werden kann, kann der Innenraumpegel immer noch um ca. 8 dB(A) niedriger ausfallen als ohne Realisierung dieser Maßnahme. (Dies ist der logarithmischen Abhängigkeit der Höhe der erreichbaren Pegelminderung von der Größe der bekleideten Fläche geschuldet.)

Aus den durchgeführten Recherchen ist bekannt, dass eine solche Maßnahme - die nachträgliche Auskleidung der Innenraum-Oberflächen mit Schallabsorptionsmaterial (hier: Schaumstoff) - Kosten in Höhe von ca. 30 €/m² (ohne Lochblech und Montage) verursacht. Für einen z.B. l * b * h = 9 m * 3 m * 3 m großen Aggregaterraum mit einer Größe der zu bekleidenden Fläche von ca. 100 m² entstehen insofern Kosten für das Absorptionsmaterial in Höhe von ca. 3.000 €. Zzgl. der Kosten für die Fixierung mit Lochblech und der Montagekosten in Höhe von ca. 8.500 € ergeben sich die Gesamtkosten von ca. 11.500 €.

In Anbetracht der erreichbaren Schallpegelminderung in Höhe von bis zu 10 dB(A) ist eine solche Maßnahme als durchaus verhältnismäßig anzusehen.

Im Folgenden ist beispielhaft ein Terzfrequenzspektrum des linearen Schalldruckpegels dargestellt, welches innerhalb eines BHKW-Raums vor der Auskleidung der Innenraum-Oberflächen mit Schallabsorptionsmaterial (d. h., im schallharten Zustand) und nach der nahezu vollständigen Auskleidung dieses Raumes mit Schallabsorptionsmaterial (Schallabsorptionsgrad $\alpha = 0,9$) ermittelt wurde.



Es ist zu erkennen, dass durch die nahezu vollständige Auskleidung der Innenraum-Oberflächen eine Reduzierung des Innenraumpegels von rund 9 dB(A) erreicht wurde. Maßgebliche Pegelminderungen wurden insbesondere im mittel- und hochfrequenten Bereich erzielt. Die in einem BHKW-Raum vorhandenen tieffrequenten Geräusche können durch vorgenommene Auskleidungen mit schallabsorbierendem Material deutlich weniger bedämpft werden.

Insofern können zur Minimierung der Ausbreitung der tieffrequenten Geräusche aus dem BHKW-Raum verhältnismäßige Schallschutzmaßnahmen nur durch andere Maßnahmen realisiert werden. Dies betrifft insbesondere die Auswahl einer verbesserten baulichen Hülle der BHKW-Anlage (vgl. Aussagen im folgenden Punkt 4.1.2.) bzw. die Auswahl geeigneter Kulissenschalldämpfer (vgl. Aussagen im Punkt 4.1.4.).

Im folgenden Punkt 4.1.2. sollen die weiteren Möglichkeiten der Geräuschpegelminderung hinsichtlich der Schallabstrahlung der baulichen Hülle der BHKW-Anlage benannt und deren Einfluss auf die Geräuschbelastung der Nachbarschaft dargestellt werden.

4.1.2. Ausführungsformen der baulichen Hülle von BHKW-Anlagen und deren Einfluss auf die Minimierung der Schallabstrahlung in die Nachbarschaft

Es gibt eine Reihe unterschiedlicher Ausführungsformen der baulichen Hülle von BHKW-Anlagen, die auch regional mehr oder weniger weit verbreitet sind. Gemäß /20/ sind die BHKW-Anlagen im Freistaat Bayern vor allem in massiven Gebäuden untergebracht. Stahlblech-Container bilden eher die Ausnahme. In anderen Bundesländern (z. B. auch in Mecklenburg-Vorpommern) finden sich dagegen BHKW-Anlagen sehr häufig in Stahlblechcontainern, was in der Vergangenheit durchaus mit einer Vielzahl von immissionsschutzrechtlichen Problemen verbunden war, insbesondere dann, wenn die Abstände zwischen den BHKW-Containern und den schutzbedürftigen Nutzungen eher gering waren.

Im Folgenden sollen die verschiedenen Ausführungsformen der baulichen Hülle von BHKW-Anlagen dargestellt und einer qualitativen Bewertung unterzogen werden.

a) BHKW-Anlagen in Stahlblech-Containern in Standard-Ausführung

Das gesamte BHKW mit Zubehör wird komplett in einem Stahlblech-Container montiert und beim Hersteller der Anlage getestet. Diese Container besitzen eine Länge (je nach Größe des Aggregates) von zumeist 6 m, 9 m oder 12 m, Breite und Höhe betragen je 2,5 bis 3 m. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse werden einige der durchaus auch relevanten Schallquellen, wie z. B. der Abgaswärmetauscher, die Schalldämpferkörper oder ggf. auch das Druckerhöhungsgebläse, auf dem Dach des Containers untergebracht.

Auch Notkühler finden sich überwiegend auf der Dachfläche, so dass von dort freie Schallausbreitung nach allen Seiten vorherrscht und die Schirmwirkungen bei ebenerdiger Aufstellung, die der Stahlblech-Container bieten könnte, nicht genutzt werden.

Die meisten der Anbieter benennen für solche Anlagen Standardschallpegel zwischen 65 dB(A) und 70 dB(A) in 10 m Abstand vom Rand der Containerschachtel (für alle Schallquellen in Summe). Mit dem Hüllflächenverfahren lassen sich daraus Gesamt-Schalleistungspegel berechnen, die im Wertebereich

$$98 \text{ dB(A)} \leq L_{\text{WA}} \leq 103 \text{ dB(A)}$$

liegen.

Die als Garantiewerte der Hersteller anzusehenden Schalleistungspegel werden im praktischen Anlagenbetrieb allerdings zumeist nicht erreicht.

Die folgende Abbildung 4 zeigt einen BHKW-Stahlblech-Container in Standardausführung:

Abbildung 4: BHKW-Stahlblech-Container in Standardausführung



Bei solchen Stahlblech-Containern ist die Schallübertragung vom BHKW über die bauliche Hülle bis in den Freibereich recht hoch, was sich auch aus den oben angegebenen Schalldaten der Hersteller ergibt. Das bewertete Schalldämm-Maß R'_w der baulichen Hülle kann nach Erfahrungswerten mit ca.

$$20 \text{ dB} \leq R'_w \leq 24 \text{ dB}$$

spezifiziert werden. Diese recht niedrigen Werte sind üblicherweise auch auf eine zusätzliche Körperschallübertragung vom BHKW über den Boden des Containers bis in die Seitenwände und die Dachfläche zurückzuführen (vgl. weitergehende Ausführungen im Punkt 4.1.3.).

Die Kosten für einen leeren, nicht mit einer schallabsorbierenden Auskleidung versehenen Stahlblech-Container in Standard-Ausführung liegen bei 25.000 € für einen Motor mit einer elektrischen Leistung von 250 kW bzw. bei bis zu 39.000 € für einen Motor mit einer elektrischen Leistung von 530 kW. Zudem gehört bei solchen Containern eine schallabsorbierende Auskleidung zum allgemein üblichen Lieferumfang der Hersteller. Die Kosten für eine solche Auskleidung (ab Werk) sind mit ca. 8.000 € zu beziffern.

Damit liegen die Kosten für Stahlblechcontainer in Standard-Ausführung - je nach elektrischer Leistung und Größe - zwischen ca. 33.000 € und ca. 47.000 €.

BHKW-Container in Standardausführung erweisen sich bedingt durch die hohen Schallemissionen als ungeeignet für die Aufstellung in der Nähe schutzbedürftiger Bebauung. Dies gewinnt im Hinblick auf eine effiziente Nutzung der erzeugten Wärme aber immer mehr an Bedeutung.

Deshalb fanden verstärkt ab etwa dem Jahre 2008 Entwicklungen von „Super-Silent-Containern“ statt, mit denen BHKW-Anlagen (insbesondere Satelliten-BHKW-Anlagen) näher als bislang üblich zu Wohnnutzungen aufgestellt werden konnten.

b) BHKW-Anlagen in Stahlblech-Containern in Super-Silent-Ausführung

Solche Ausführungen zeichnen sich dadurch aus, dass weitergehende Maßnahmen zur Verminderung der Luftschallübertragung und -abstrahlung durch die Containerschachtel getroffen wurden. Solche Maßnahmen waren z. B.:

- verstärkte Innenraumauskleidung mit 100 mm starker Spezial-Steinwolle
- schallgedämmter Boden mit 100 mm starker Spezial-Steinwolle

Darüber hinaus wurden Maßnahmen auch zur Verminderung des Körperschalleintrages in die bauliche Hülle getroffen, so z. B. der Einsatz optimierter Aggregatefüße und Komponenten-Befestigungen.

Schließlich wurden auch die Außengeräuschquellen der BHKW-Anlage schalltechnisch optimiert:

- vergrößerte (1.000 mm x 1.500 mm) und damit schalltechnisch optimierte Zu- und Abluftkulissen mit Strömungs-Umlenkung im Außenbereich nach unten
- überdimensionierte Notkühler für sehr geringe Lüfterdrehzahlen
- Spezial-Schalldämpfer im Abgasstrang mit speziell auf das BHKW abgestimmtem Absorber und Resonator

Abbildung 5: BHKW-Stahlblech-Container in Super-Silent-Ausführung



Ogleich mit solchen Ausführungen deutliche Verbesserungen hinsichtlich der Schallabstrahlung der Container verbunden sind und insbesondere die tieffrequente Schallabstrahlung durch die Abgasmündung des Verbrennungsmotors erheblich reduziert werden kann, verhindert die verbleibende Abstrahlung von tieffrequentem Schall durch die Stahlblech-Hülle des Containers das noch weitere Heranrücken einer solchen Anlage an schutzbedürftige Nutzungen, was hinsichtlich der erreichten Verminderung im A-bewerteten Schallpegel durchaus möglich wäre.

Der Gesamt-Schalleistungspegel solcher kleineren Anlagen (ca. 250 kW elektrische Leistung) kann auf bis zu

$$L_{WA} \geq 80 \text{ dB(A)}$$

reduziert werden, das bewertete Schalldämm-Maß der Containerhülle wird durch die Anbieter - eher auf der sicheren Seite - mit

$$R'_W = 28 \text{ dB}$$

benannt. In 10 m Abstand von solchen Anlagen lassen sich Schalldruckpegel von

$$50 \text{ dB(A)} \leq L_{Aeq} \leq 55 \text{ dB(A)}$$

erreichen.

Die Mehrkosten für einen mit einer schallabsorbierenden Auskleidung versehenen Stahlblech-Container in Super-Silent-Ausführung liegen bei ca. 10.000 € (für einen Motor mit einer elektrischen Leistung von 250 kW), so dass Gesamtkosten von 43.000 € allein für die bauliche Hülle einer solchen BHKW-Anlage aufzuwenden sind.

Für einen Motor mit einer elektrischen Leistung von 530 kW liegen die Mehrkosten für den leeren Container bei ca. 15.000 €, so dass Gesamtkosten von sogar 62.000 € aufzuwenden sind.

Die Grenzen solcher Anlagen im Hinblick auf den Schallimmissionsschutz in der Wohnnachbarschaft ergeben sich - wie bereits beschrieben - hinsichtlich des Körperschallschutzes und der verbleibenden tieffrequenten Schallabstrahlung durch den Stahlblech-Container, weil eine Unterbrechung des Körperschallübertragungsweges vom Boden des Containers in die Außenwände und in die Dachfläche bauartbedingt nicht möglich ist.

c) BHKW-Anlagen in Beton-Schallhauben

Die Errichtung von BHKW-Anlagen in Beton-Schallhauben (als Fertigteilgebäude) ist ebenfalls seit langer Zeit üblich, um - ebenso wie bei Stahlblech-Containern in Super-Silent-Ausführung - die Geräuschemissionen und -immissionen zu reduzieren und deren Anordnung in geringer werdenden Abständen zur schutzbedürftigen Bebauung zu ermöglichen.

Abbildung 6: BHKW-Anlage in einer Beton-Schallhaube



Allerdings sind hierbei die Aufstellungsbedingungen der Anlage nahezu vollständig vergleichbar mit dem Stahlblech-Container in Super-Silent-Ausführung, d. h., es gibt eine Reihe von Beispielen für die Überschätzung des „schalltechnischen Leistungsvermögens“ solcher Anlagen. Schließlich befinden sich auch hier einige der relevanten Schallquellen (z. B. Abgaswärmetauscher, Verrohrung, Schalldämpferkörper, ...) auf dem Dach der Beton-Schallhaube.

Günstiger ist hier nur das bewertete Schalldämm-Maß der Außenbauteile der Betonschallhaube, das je nach Dicke der Hülle (10 cm bis 20 cm) nach Herstellerangaben von vornherein im Wertebereich von

$$47 \text{ dB} \leq R'_W \leq 58 \text{ dB}$$

liegt (vgl. z. B. Angaben in „www.betonbau.com“). Auch sind für die übrigen (bauakustisch schwächeren) Bauteile eine große Anzahl verschiedener Varianten verfügbar, z. B. sind bei Türen Schalldämm-Maße von $18 \text{ dB} \leq R_W \leq 40 \text{ dB}$ und sogar noch darüber hinaus erreichbar.

Solange allerdings keine schallabsorbierende Auskleidung des Raumes (vgl. Punkt 4.1.1.) erfolgt, wird ein Minderungspotential von bis zu 10 dB einfach verschenkt.

Ein weiteres Heranrücken an schutzbedürftige Bebauung wird - ebenfalls wie bei Stahlblech-Containern in Super-Silent-Ausführung - zumeist durch eine nicht vollständig mögliche Körperschallentkopplung vom BHKW über den Fußboden und weiter bis in die Seitenwände und das Dach der Betonschallhaube verhindert. Es verbleibt dann - trotz der recht hohen Werte für die Luftschalldämmung - wegen der zusätzlichen Abstrahlung des eingetragenen Körperschalls als Luftschall nach außen ein höheres als das eigentlich zu erwartende Geräuschniveau.

Dabei spielen auch hier die verbleibenden tieffrequenten Schallanteile die entscheidende Rolle, die hör- und messbar von den Außenwänden und von der Dachfläche abgestrahlt werden. Messtechnische Ermittlungen an solchen Anlagen zeigen, dass auch hier das noch weitere Heranrücken an schutzbedürftige Bebauung insbesondere durch die verbleibenden tieffrequenten Schallanteile behindert wird.

Die Mindestkosten für eine BHKW-Betonschallhaube sind nach Angaben von BHKW-Lieferanten mit 45.000 € (ohne schallabsorbierende Auskleidungen) anzusetzen. Für verbesserte schalltechnische Anforderungen sind für Sonderausführungen (einschl. schallabsorbierender Auskleidung, einschl. getrennter Zu- und Abluftführungen über Zu- und Ablufttürme) im Einzelfall Kosten bis 160.000 € möglich.

d) BHKW-Anlagen in massiven ein- oder zweischaligen Gebäuden

Alle in den vorangegangenen Anstrichen a) bis c) dargestellten Probleme können mit der Einordnung von BHKW-Anlagen in massive ein- oder zweischalige Gebäude beseitigt werden:

- Das Gebäude kann so groß gebaut werden, dass sämtliche relevanten Außengeräuschquellen (z. B. Abgaswärmetauscher, Abgas-Schalldämpfer) in das Innere des Gebäudes verlagert und durch die bauliche Hülle mit bedämpft werden.
- Es sind bei einschaligen Ausführungen mit $R'_w \geq 55$ dB und bei zweischaligen Ausführungen mit $R'_w \geq 60$ dB sehr hohe bewertete Schalldämm-Maße für die Außenwände möglich.
- Es sind hohe bewertete Schalldämm-Maße für die Decke des BHKW-Raumes möglich, so z. B. $R'_w = 54$ dB für eine 20 cm dicke und $R'_w = 57$ dB für eine 25 cm dicke Stahlbetondecke (vgl. Zeilen 21 und 24 der Tabelle 1 im Beiblatt 1 zu DIN 4109 /16/).
- Es sind hohe bewertete Schalldämm-Maße für die Eingangstür zum BHKW-Raum möglich, sofern diese als Doppeltür (innen und außen an die Außenwand des BHKW-Raumes angeschlagen) realisiert wird. Die vergleichsweise „dicken“ Außenwände sichern große Abstände zwischen den beiden Türen, so dass auch die Schalldämmung der tieffrequenten Schallanteile durch derartige Türkonstruktionen (siehe Abbildung 7a) sehr hoch ausfällt.
- Es ist eine Unterbrechung des Körperschallübertragungsweges vom Fundament des BHKW-Motors zum übrigen Fundament und/oder eine Unterbrechung des Körperschallübertragungsweges vom BHKW über den Fußboden bis zu den Außenwänden (und zum Dach) des Gebäudes möglich (vgl. weitergehende Ausführungen im folgenden Punkt 4.1.3).

Abbildung 7a: Grundriss eines zweischaliges BHKW-Gebäudes (hier als Anbau an ein bestehendes Gebäude)

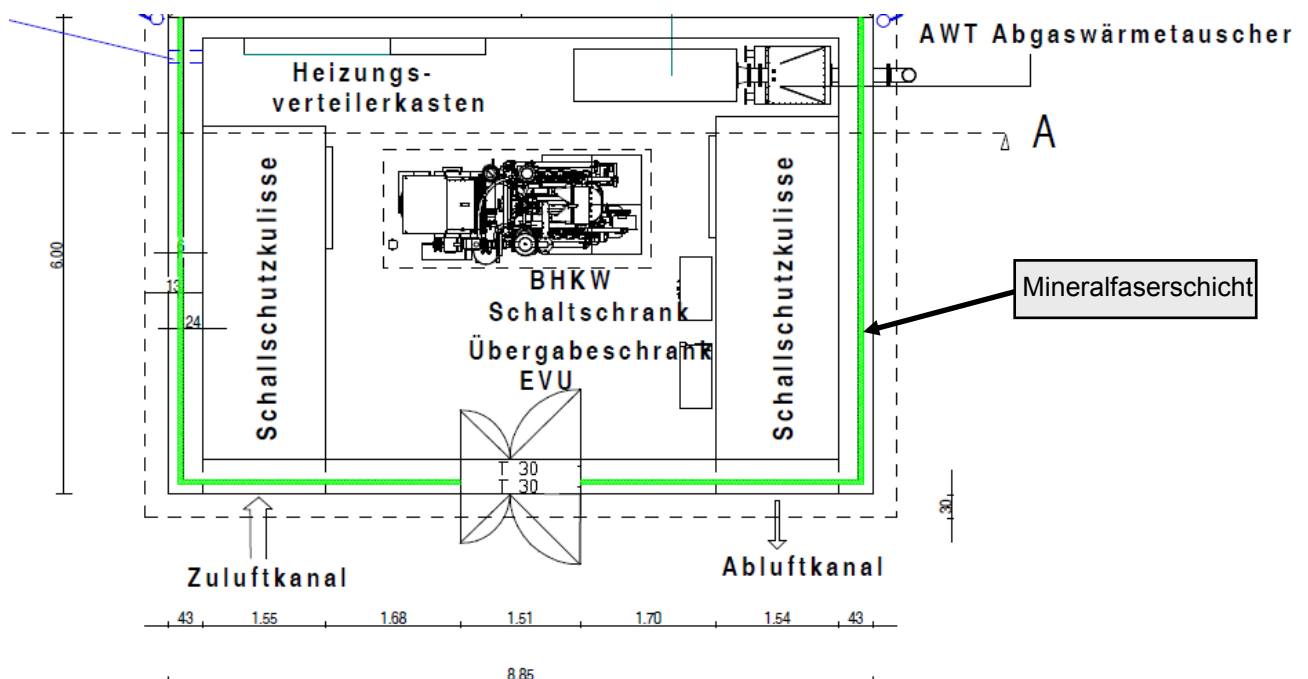


Abbildung 7b: Schnitt durch ein zweischaliges BHKW-Gebäude

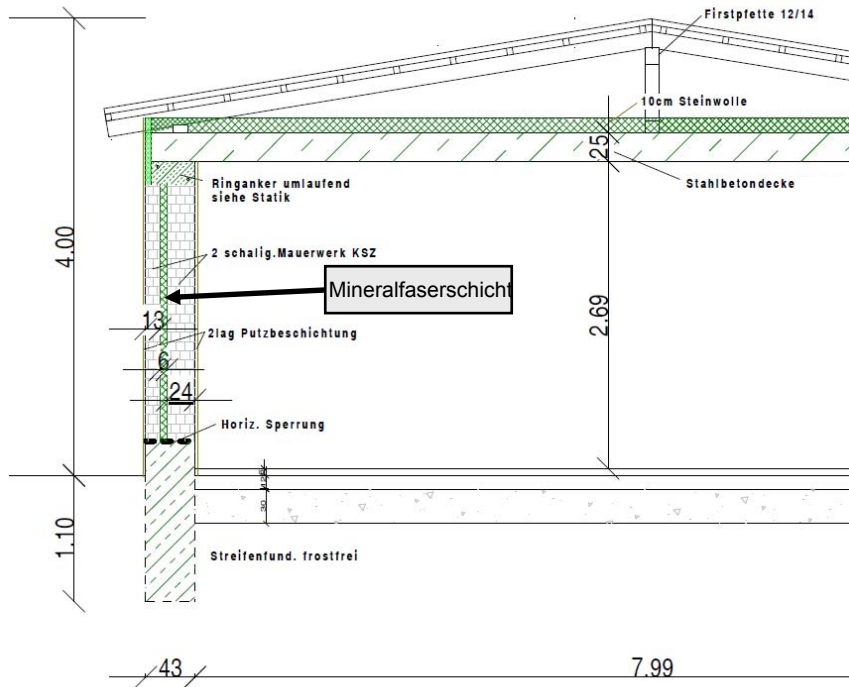


Abbildung 7c: BHKW-Anlage in einem massiven zweischaligen Gebäude



Einziges wesentlicher Unterschied zwischen ein- und zweischaligen Gebäuden ist hinsichtlich der Schallproblematik das um nochmals bis zu 10 dB(A) höhere Schalldämm-Maß einer zweischaligen Ausführung gegenüber einer einschaligen Ausführung. Insofern eignen sich solche baulichen Hüllen explizit für den Einsatz von Satelliten-BHKW-Anlagen in hochsensiblen Gebieten wie z. B. reinen Wohngebieten oder in der Nähe von Krankenhäusern. Dies wird durch den praktischen Betrieb einer Vielzahl solcher bauausgeführter Anlagen in der jüngsten Vergangenheit bestätigt.

Die Kosten für das in den Abbildungen 7a bis 7c dargestellte Gebäude, in dem eine BHKW-Anlage mit einer elektrischen Leistung von 250 kW untergebracht ist, betragen ca. 40.000 €. Ähnliche Ausführungen finden sich an vielen anderen Standorten im Bundesgebiet, an denen höchste Anforderungen an den Schallschutz gestellt werden.

Die Außenwände wurden in Einzelfällen bis auf ein Maß von 30 / 6 / 30 cm verstärkt, wodurch das bewerte Schalldämm-Maß auf bis zu $R'_w = 66$ dB erhöht werden konnte.

Eine bauausgeführte Lösung für eine BHKW-Anlage mit einer elektrischen Leistung von 800 kW im Bundesland Niedersachsen war mit Kosten von „nur“ ca. 65.000 € verbunden.

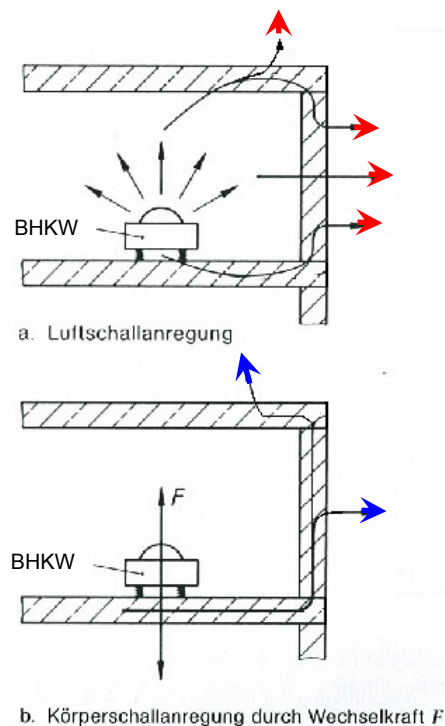
4.1.3. Einfluss der Ausführungsformen der baulichen Hülle von BHKW-Anlagen im Hinblick auf die Vermeidung/Minimierung eines Körperschalleintrages

Auch wenn sich rechnerisch ein bestimmtes Schalldämm-Maß für die bauliche Hülle festlegen lässt, darf nicht übersehen werden, dass sich dieses ausschließlich auf eine Luftschallübertragung bezieht. Unter realen Betriebsbedingungen von BHKW findet aber auch eine nicht zu unterschätzende Körperschallübertragung vom BHKW-Motor bis in die Außenbauteile des Containers oder des Gebäudes statt. Durch diesen Körperschalleintrag werden durch die zusätzlichen Schwingungen der Außenbauteile weitere Luftschallanteile nach außen abgestrahlt.

Insbesondere bei der Errichtung von Satelliten-BHKW in hochsensiblen Gebieten können solche Auswirkungen zu fatalen Folgen nach Inbetriebnahme der Anlage führen, weil die tatsächlich eintretenden Beurteilungspegel deutlich höher ausfallen als die prognostizierten.

Eine nachträgliche Beseitigung des Mangels ist in solchen Situationen zumeist nicht oder nur mit wesentlich überhöhten Aufwendungen und dann eher unvollständig möglich. Eine vorsorgliche Betrachtung dieser Problematik im Rahmen einer Schallimmissionsprognose für das Vorhaben ist deshalb unverzichtbar. Der „Einbau von Sicherheiten“ in das Schallschutzkonzept ist hier dringend zu empfehlen.

Abbildung 8: Luft- und Körperschallübertragungswege von einer BHKW-Anlage über die bauliche Hülle ins Freie (Quelle: Beiblatt 2 zu DIN 4109)



Die im vorangegangenen Punkt 4.1.2. dargestellten verschiedenen Ausführungsformen der baulichen Hüllen von BHKW-Anlagen unterscheiden sich im Hinblick auf die Vermeidung eines Körperschalleintrages wesentlich. Die tatsächlichen Standortbedingungen der BHKW-Anlage und des unmittelbaren Umfeldes haben insofern auch einen entscheidenden Einfluss auf die Art der baulichen Hülle, die für die konkrete Anlage vorgesehen werden muss, um von vornherein schalltechnische Konflikte zu vermeiden.

Im Folgenden werden die qualitativen Unterschiede der verschiedenen Ausführungsformen der baulichen Hüllen von BHKW-Anlagen im Hinblick auf den Körperschallschutz dargestellt.

Stahlblechcontainer (einschl. Super-Silent-Stahlblechcontainer):

Die Stahlblechcontainer stellen einen kompletten Baukörper als Einheit dar. Eine Körperschallentkopplung kann daher einzig und allein zwischen dem Stahlrahmen, auf dem der BHKW-Motor gelagert ist, und dem Boden des Containers erfolgen.

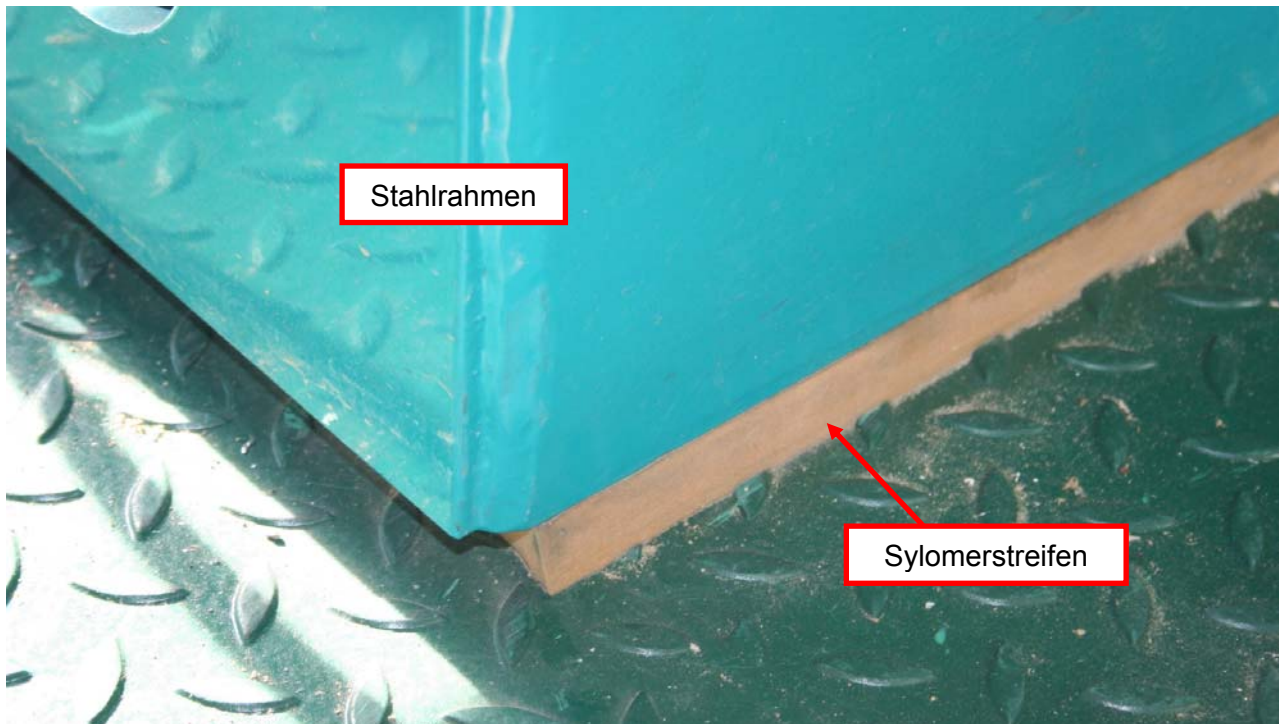
Hier finden sich - nicht zuletzt wegen der begrenzten Bauhöhe innerhalb des Containers - zumeist einfache Lösungen, mit denen eine Körperschallentkopplung nur in einem Umfang erfolgt, der aus schalltechnischer Sicht wenig Wirkung bringt.

Vorzugsweise kommen „Gummimetalldämpfer“ unter dem Stahlrahmen des BHKW zum Einsatz, in Einzelfällen wurden auch Sylomerstreifen installiert, die die Entkopplung sicherstellen sollen.

Abbildung 9: Gummimetalldämpfer unter dem Stahlrahmen eines BHKW-Motors zur Körperschallentkopplung der Maschine, diese Elemente kommen u. a. in Stahlblech-Containern zum Einsatz



Abbildung 10: Sylomerstreifen unter dem Stahlrahmen eines BHKW-Motors zur Körperschallentkopplung der Maschine



Die bei aufgetretenen Problemfällen gutachterlicherseits vorgeschlagene Maßnahme des Einsatzes von Luftfedern zwischen BHKW und dem Boden des Stahlblech-Containers konnte zumeist nicht umgesetzt werden, weil die damit verbundene größere Bauhöhe der Maschine im Container und/oder die beengten Platzverhältnisse derartige Lösungen im Nachgang gar nicht mehr zulassen (vgl. folgende Abbildung Nr. 12).

BHKW-Betonschallhauben:

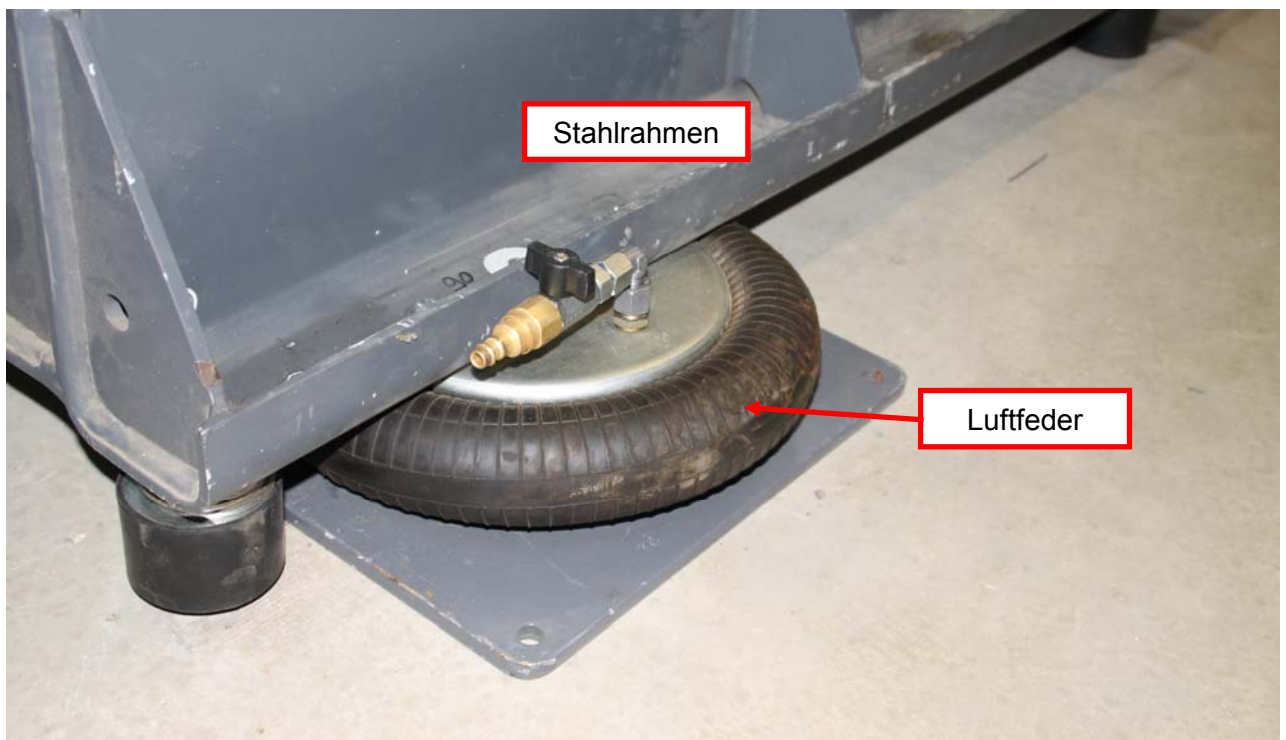
Bei den BHKW-Betonschallhauben handelt es sich ebenfalls um eine bauliche Einheit mit den vorstehend beschriebenen Möglichkeiten der Körperschallentkopplung.

Die Platzverhältnisse innerhalb einer Betonschallhaube sind aber im Allgemeinen nicht so begrenzt wie in Stahlblech-Containern. Außerdem handelt es sich um glatte Fußböden aus Beton, so dass neben den üblichen Stahlfedern an kritischen Standorten auch Luftfedern zum Einsatz gebracht werden können.

Abbildung 11: Stahlfedern unter dem Stahlrahmen eines BHKW-Motors zur Körperschallentkopplung der Maschine vom Boden der Beton-Schallhaube



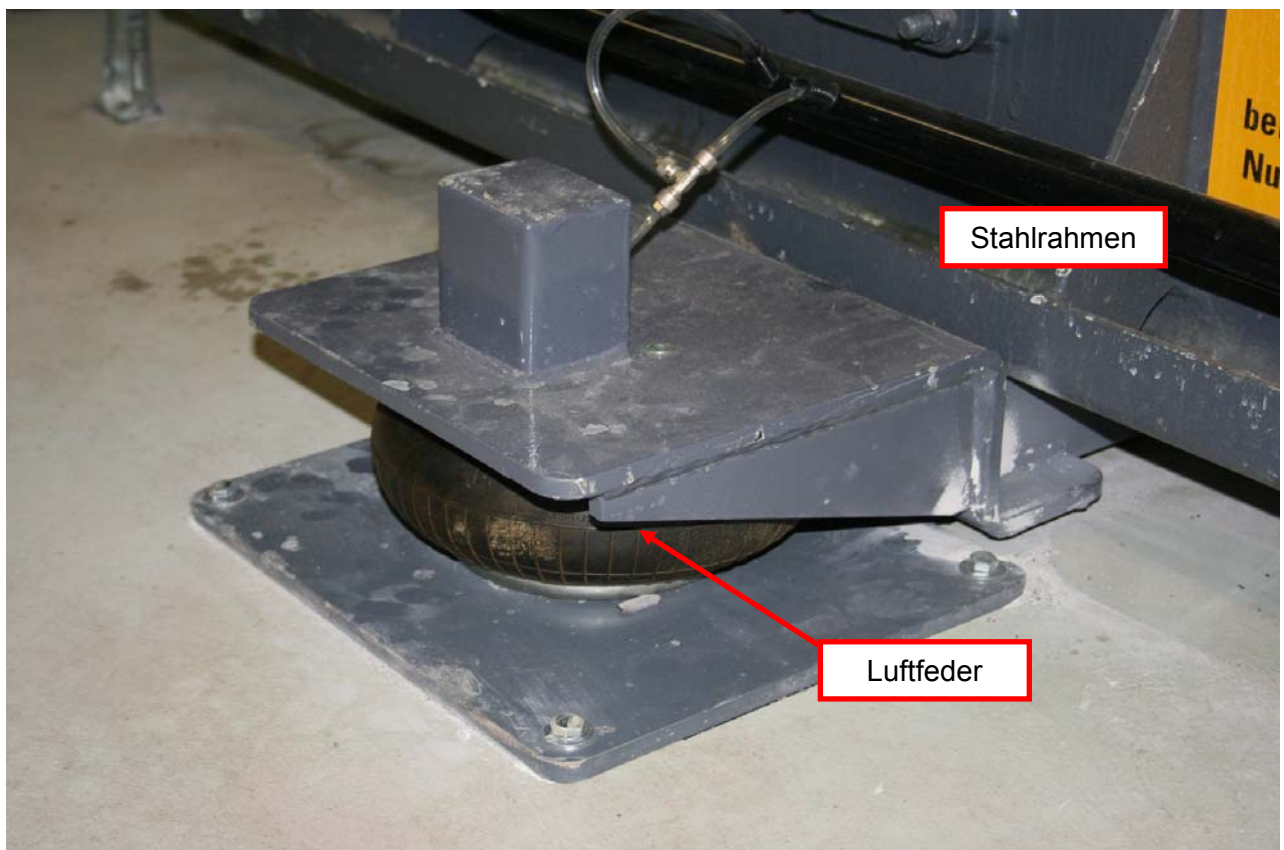
Abbildung 12: Luftfedern unter dem Stahlrahmen eines BHKW-Motors zur Körperschallentkopplung der Maschine vom Boden der Beton-Schallhaube



Luftfedern zeichnen sich durch eine extrem niedrige Eigenfrequenz ($f < 5$ Hz) aus und gewährleisten einen hohen Isoliergrad. Deshalb wird empfohlen, BHKW-Anlagen, deren Betrieb immissionschutzrechtliche Probleme in der Nachbarschaft erwarten lassen, von vornherein mit Luftfedern auszustatten.

Auch im Nachgang lassen sich oftmals noch Luftfedern in Beton-Schallhauben zum Einsatz bringen. Es sind Fälle bekannt, in denen ein Wechsel der Federelemente weitgehend problemlos möglich war. In anderen Fällen mussten handelsübliche Luftfedern, die eine größere Bauhöhe als die vorhandenen Stahlfedern aufwiesen, seitlich neben dem BHKW angeordnet werden, um eine Anhebung des gesamten BHKW zu umgehen.

Abbildung 13: Sonderlösung für installierte Luftfedern neben dem Stahlrahmen eines BHKW-Motors zur Körperschallentkopplung der Maschine bei geringster Bauhöhe



Massive (einschalige oder zweischalige) Gebäude:

Die vielfältigsten und auch effektivsten Möglichkeiten für eine ausreichend hohe Körperschallentkopplung bietet die Aufstellung von BHKW-Anlagen in bestehenden oder neu geplanten massiven Gebäuden.

Hier kann als Maßnahme entweder von vornherein oder aber auch noch im Nachgang der **Einsatz von Luftfedern** unter dem BHKW vorgesehen werden (siehe vorangegangene Ausführungen unter dem Anstrich „BHKW-Betonschallhaube“).

Darüber hinaus eröffnet sich dann, wenn die BHKW-Anlage im Untergeschoss bzw. Erdgeschoss des Gebäudes aufgestellt wird, die Möglichkeit der **Anordnung einer Trennfuge** zwischen dem BHKW-Fundament (bzw. dem BHKW-Fußbodenbereich) und dem übrigen Fußboden des BHKW-Raumes.

Zudem gibt es die Möglichkeit der Anordnung einer **zweiten Trennfuge** zwischen dem gesamten Fußboden des BHKW-Raumes und den aufsteigenden Außenwänden. Diese zweite Trennfuge kann einerseits die ohnehin schon vorhandene gute Körperschallentkopplung noch weiter verbessern, andererseits können kleinere Baumängel bei der Herstellung der erstgenannten Trennfuge ausgeglichen werden.

Der größte Effekt bei der Herstellung einer zweiten Trennfuge tritt aber dann ein, wenn andere Aggregate im BHKW-Raum wie z. B. der Abgaswärmetauscher oder aber die Schalldämpferkörper, die ebenfalls noch bestimmte Körperschallanteile führen, über Stützen auf dem Fußboden neben dem BHKW aufgeständert werden. Für diese Aggregate wird mit der Herstellung der 1. Trennfuge (unmittelbar um die BHKW-Anlage herum) keine Unterbrechung des Körperschallübertragungsweges eintreten. Eine zweite Trennfuge schafft damit nicht nur weitere Sicherheiten hinsichtlich des Körperschalleintrages von der BHKW-Maschine in das Gebäude, sondern kann eine zusätzliche Körperschalleintragung von Nebenaggregaten in den Baukörper verhindern.

Nach gutachterlichen Erfahrungen aus der Vergangenheit ist bekannt, dass die Realisierung von 2 der 3 genannten Maßnahmen zur Körperschallentkopplung ausreichend sein sollte. Aufgrund der vergleichsweise sehr niedrigen Kosten der Maßnahmen spricht aber aus Sicherheitsgründen nichts gegen die Realisierung aller aufgezeigten Möglichkeiten.

Schließlich betragen die Kosten für die Maßnahme „Luftfedern“ nur ca. 300,- € netto, so dass beim Einsatz von 4 derartigen Federn für ein BHKW mit insgesamt ca. 1.200,- € zu rechnen ist. Die beiden anderen Möglichkeiten verursachen keine wesentlichen Mehrkosten, allerdings sollte hier seitens des Bauherrn die Bauüberwachung bei der Herstellung des Fußbodens mit den Trennfugen allumfassend sichergestellt werden, denn schließlich führen hier kleinste Mängel (z. B. Mörtelreste in den Trennfugen) schnell zur Wirkungslosigkeit der Entkopplungsmaßnahme.

Abbildung 14: Anordnung von insgesamt 2 Trennfugen in einem massiven BHKW-Gebäude zur bestmöglichen Körperschallentkopplung



Hinweise:

Problematisch ist oftmals die Errichtung einer BHKW-Anlage im untersten Geschoss eines Gebäudes bzw. eines zudem selbst schutzbedürftigen Gebäudes. Sofern der Aufstellungsraum für eine geräuschintensive Nutzung durch eine BHKW-Anlage nicht vorgesehen war, kann sich im Vorfeld eine überschlägliche bauakustische Prüfung der Trittschalldämmung des Fußbodens anbieten, in deren Ergebnis die Art und der Umfang an noch zu leistendem Körperschallschutz festgelegt werden kann. Hierzu wird auf die Ausführung unter Punkt 4.2. der DIN 4109 /16/ verwiesen:

„In vielen Fällen ist zusätzlich eine Körperschalldämmung von Maschinen, Geräten und Rohrleitungen gegenüber den Gebäudedecken und -wänden erforderlich. Sie kann zahlenmäßig nicht angegeben werden, ...“.

4.1.4. Zuluft- und Abluftöffnungen zum/vom BHKW-Raum

Die Lüftungsöffnungen der Zu- und Abluft (vgl. Abb. 1/1 im Punkt 4.1.) sind zur Belüftung des BHKW-Raums notwendig. Die Zuluft wird dabei sowohl als Kühlluft (insbesondere für den Generator) als auch als Verbrennungsluft für den BHKW-Motor benötigt. Über die Abluftöffnung wird die warme Raumluft aus dem BHKW-Raum ins Freie abgeleitet.

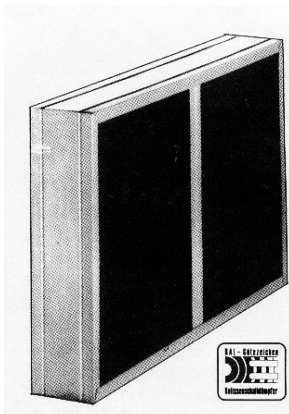
Der Zuluftkanal wird dabei so angeordnet, dass die von außen eingeleitete Luft (Außenluft) den Generator - der zur Erzeugung des elektrischen Stroms notwendig ist und im Netzparallelbetrieb mit 50 Hz Netzspannung betrieben wird - anströmt, um dessen ausreichende Kühlung zu gewährleisten. Die Abluftöffnung wird üblicherweise 180° versetzt zur Zuluftöffnung angeordnet. Dies ist auch erforderlich, um einen ausreichenden Luftaustausch im BHKW-Raum sicherzustellen. Darüber hinaus ist wegen der versetzten Lage der Öffnungen an der baulichen Hülle des BHKW sichergestellt, dass kein „lüftungstechnischer Kurzschluss“ entsteht.

Bei nahezu allen untersuchten BHKW-Anlagen wurden in die Zu- und Abluftstrecken entsprechende Kulissenschalldämpfer integriert (vgl. Abb. 1/1), um die Schallabstrahlung durch die im Inneren des BHKW-Raums - durch den Betrieb des Verbrennungsmotors - erzeugten Geräusche ins Freie zu minimieren bzw. auf ein Mindestmaß zu beschränken. Seitens der renommierten Hersteller von kompletten BHKW-Anlagen werden diese entsprechenden Schalldämpfer „von Haus aus“ vorgesehen. Als Anbieter von Kulissenschalldämpfern können z. B. die Firmen Berliner Luft, Stange Lärmschutz, TROX Technik und Solidux benannt werden. Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

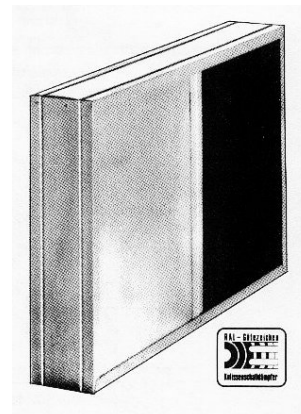
Für die Lüftungsöffnungen bei BHKW-Anlagen kommen insbesondere die im Folgenden genannten Arten von Kulissenschalldämpfern zum Einsatz. Es wird darauf hingewiesen, dass die jeweiligen Kulissenschalldämpfer prinzipiell mit der benötigten Einfügungsdämpfung für jede BHKW-Anlage separat und für den Einzelfall ausgelegt werden können.

Abbildung 15: Blick auf Absorberkulissen und auf kombinierte Absorber- und Resonanzkulissen, wie sie in Zu- und Abluftstrecken zu/von BHKW-Räumen zum Einsatz kommen

Absorberkulissen



kombinierte Absorber- und Resonanzkulissen



Quelle: /33/

Mit längeren Kulissenschalldämpfern wird auch eine größere Einfügungsdämpfung erreicht. Der Vorteil des Einsatzes von kombinierten Absorber- und Resonanzkulissen besteht im Vergleich zu ausschließlichen Absorberkulissen in der Reduzierung von Baulängen um bis ca. 30 % bei gleicher Einfügungsdämpfung D_E für den A-bewerteten Schallpegel (vgl. /21/). Als ein zusätzlicher Effekt bei der Verwendung von kombinierten Absorber- und Resonanzkulissen ist auch die bessere Bedämpfung der tieffrequenten Geräuschanteile ($f < 90$ Hz) zu nennen /20/, die ebenfalls im BHKW-Raum durch den Betrieb des Verbrennungsmotors - jedoch im Vergleich zum Abgasgeräusch (vgl. Punkt 4.1.5.) deutlich weniger und zudem breitbandig - angeregt werden (vgl. dazu Abbildung 4 im Punkt 4.1.1.).

Neben der Länge der Kulissenschalldämpfer ist als ein weiterer Parameter für die Höhe der Einfügungsdämpfung D_E das Verhältnis zwischen der Breite der Kulisse und dem Luftspalt zu nennen, vgl. folgende Abbildung 16.

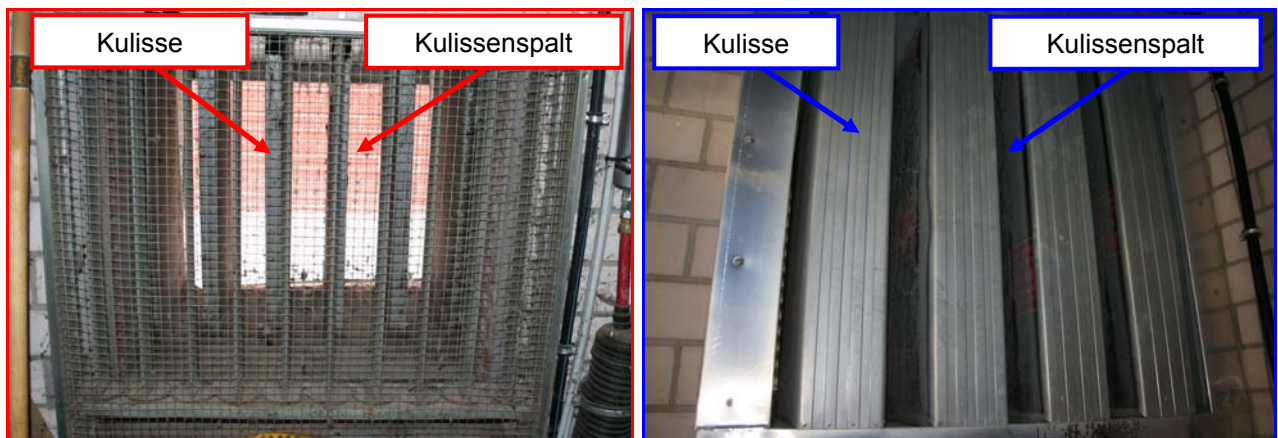


Abbildung 16: Vergleich von Kulissenschalldämpfern, die nicht dem Stand der Lärminderung entsprechen (rot markiert) und die dem Stand der Lärminderung entsprechen (blau markiert)

Je geringer der Luftspalt zwischen den einzelnen Kulissen vorgesehen wird, desto größer ist die Einfügungsdämpfung D_E des Schalldämpfers. Hierbei erhöht sich jedoch auch der Druckverlust, welcher durch saug- bzw. druckseitig arbeitende Ventilatoren, die innerhalb des BHKW-Raums an der Lufteintritt- bzw. Luftaustrittsöffnung des BHKW-Raums angeordnet werden, kompensiert werden kann. Die zusätzlich durch die Ventilatoren im BHKW-Raum verursachten Geräuschemissionen sind dabei im Vergleich zum Geräusch des Verbrennungsmotors eher zu vernachlässigen.

Der Charakter der Schallabstrahlung der Zu- und Abluftöffnungen kann für eine Vielzahl der untersuchten BHKW-Anlagen - bei Einsatz der genannten Kulissenschalldämpfer - als weitgehend breitbandig (mit mehr oder weniger hohen tieffrequenten Schallanteilen) beschrieben werden.

Die Listenpreise für übliche Kulissenschalldämpfer mit einer Länge von 1 m, welche eine Einfügungsdämpfung von $D_E \approx 15$ dB (bei $f_{\text{Oktav}} = 250$ Hz) besitzen, werden - je nach Ausführungsform und Größe des BHKW - von verschiedenen Herstellern mit 400 € bis 1.000 € beziffert.

Für die Erfüllung deutlich höherer schalltechnischer Anforderungen, für die Kulissen mit 3 m Länge benötigt werden und die eine Einfügungsdämpfung von $D_E \approx 35$ dB (bei $f_{\text{Oktav}} = 250$ Hz) besitzen, werden von verschiedenen Herstellern Listenpreise von 1.000 bis 3.000 € genannt.

Der Preisunterschied von kombinierten Absorptions- und Resonanzschalldämpfern, die erhöhte Einfügungsdämpfungen im tieffrequenten Bereich (vor allem bei $125 \text{ Hz} \leq f_{\text{Oktav}} \leq 250 \text{ Hz}$) aufweisen, beträgt nach Herstellerangaben im Vergleich zu normalen Absorptionsschalldämpfern rund 10 %.

Von einer Einhaltung des Standes der Lärminderungstechnik kann ausgegangen werden, wenn bei BHKW-Anlagen, die in wenig sensiblen Lagen errichtet werden, die Kulissenschalldämpfer eine Länge $l \geq 1$ m aufweisen. Die Kosten dieser Maßnahme im Verhältnis zur eintretenden Wirkung sind als vergleichsweise gering zu bezeichnen.

Sofern allerdings BHKW-Anlagen in sensiblen oder gar hochsensiblen Gebieten errichtet werden oder in solchen, in denen niedrige Umgebungsgeräuschpegel vorhanden sind, muss die Länge der Kulissen deutlich vergrößert und eine Länge von bis zu 3 m in Erwägung gezogen werden.

Dabei wird aber nicht ausgeschlossen, dass in besonderen Einzelfällen auch noch größere Längen vorgesehen werden müssen. Als besonders effektiv erweisen sich Dämpfungsstrecken mit mehreren Umlenkungen (90°-Ecken, d. h., keine Bögen), die zu einer wesentlich verbesserten Gesamt-Einfügungsdämpfung führen.

Die bislang längsten Dämpfungsstrecken an einer Satelliten-BHKW-Anlage, an deren Planung die Verfasser der vorliegenden Studie beteiligt waren, wurden bei einer BHKW-Maschine verbaut, die eine elektrische Leistung von 800 kW aufweist und sich in einem zweischaligen massiven Gebäude in etwa 12 m Abstand vom nächsten Wohnhaus befindet. Um die überaus hohen schalltechnischen Anforderungen zu erfüllen, wurde eine insgesamt 7,5 m lange Zuluftstrecke mit mehreren integrierten Kulissenschalldämpfern und Hängeabsorbersystemen (Länge insgesamt 4,4 m) geplant und bauausgeführt. Eine nachträgliche Abnahmemessung an der Anlage durch eine Messstelle gemäß §§ 26, 28 BImSchG ergab die Einhaltung der gestellten Anforderungen.

4.1.5. Abgasmündung des Verbrennungsmotors

In vielen Fällen stellte - zumindest in der Vergangenheit - die Abgasmündung des Verbrennungsmotors (vgl. Abbildung 1/1 im Punkt 4.1.) aufgrund der im Folgenden genannten Zusammenhänge die immissionsschutzrechtlich problematischste Schallquelle dar. Der zumeist tieffrequente tonale Schall wird - sofern nur ein einfaches Schalldämpfersystem in Form eines einzelnen Absorptionsschalldämpfers verbaut ist - nur unzureichend bedämpft in die Umgebung abgestrahlt. Aufgrund der Eigenschaft des tieffrequenten Schalls, sich gut um Hindernisse zu beugen, ist weiterhin eine fast ungehinderte Ausbreitung in die Umgebung die Folge. Zudem befindet sich die Abgasmündung mit $h \geq 10$ m in einer so großen Höhe, dass der emittierte tieffrequente Schall ohnehin nicht mehr durch Hindernisse - wie z. B. Gebäude - abgeschirmt wird.

Im Folgenden soll zunächst kurz auf die tieffrequente Schallentstehung und die Berechnung der Erregerfrequenz (Zündfrequenz) von typischen BHKW-Motoren (vgl. Tabelle 1) eingegangen werden:

Durch die Verbrennungsvorgänge im BHKW-Motor bilden sich in schneller Folge Druckpulsationen von den einzelnen Zylindern in den Abgasstrang aus, wobei insbesondere die tiefen Frequenzen pegelbestimmend sind [17].

Durch die Verbrennung des Brennstoffgemisches im Verbrennungsmotor entsteht je nach Anzahl der vorhandenen Zylinder, der Arbeitsweise des Motors (2-Takt-Motor oder 4-Takt-Motor) und der vorherrschenden Drehzahl eine spezifische Erregerfrequenz des Motors. Ausgehend von einer konstanten Drehzahl der Verbrennungsmotoren für die zu betrachtenden BHKW von $n = 1.500$ 1/min (für die Netzfrequenz $f = 50$ Hz) kann die spezifische Erregerfrequenz des Motors (Zündfrequenz) für z. B. 4-Takt-Motoren mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$f = \frac{1500}{60} \cdot 0,5 \cdot z = \underline{\underline{12,5 \cdot z}}$$

Sofern die Anzahl der Zylinder z des Verbrennungsmotors bekannt ist, kann so die Zündfrequenz des Motors berechnet werden.

Es ergeben sich für die in der Tabelle 1 (vgl. Punkt 4.1.1.) aufgeführten Motoren folgende Zündfrequenzen:

- 6-Zylinder Reihenmotor: $f = 75$ Hz
- 8-Zylinder V-Motor: $f = 100$ Hz (**und** $f = 50$ Hz, für die 2 Blöcke mit je 4 Zylindern)
- 12-Zylinder V-Motor: $f = 150$ Hz (**und** $f = 75$ Hz, für die 2 Blöcke mit je 6 Zylindern)
- 16-Zylinder V-Motor: $f = 200$ Hz (**und** $f = 100$ Hz, für die 2 Blöcke mit je 8 Zylindern)

Im Abgasstrang sind demzufolge deutlich erhöhte Pegel für diese Frequenzen zu erwarten, die - sofern keine geeigneten Schalldämpfer verbaut werden - über die Abgasmündung emittiert werden.

Es ist zu erkennen, dass die BHKW-Motoren im gesamten hier zu untersuchenden Leistungsspektrum von 190 kW_{el.} bis 800 kW_{el.} tieffrequente tonale Geräusche in den Abgasstrang einleiten. Dominant werden insofern die Frequenzen $f = f_{\text{Terz}} = 50 \text{ Hz}$, $f = 75 \text{ Hz}$ (in der Terz mit der Mittenfrequenz $f_{\text{Terz}} = 80 \text{ Hz}$) und $f = f_{\text{Terz}} = 100 \text{ Hz}$ angeregt.

Um diese tieffrequenten tonalen Komponenten effektiv bedämpfen zu können, ist aus einer Vielzahl untersuchter BHKW-Anlagen bekannt, dass das Schalldämpfersystem im Abgasstrang des Verbrennungsmotors aus mindestens 2 Schalldämpfern bestehen muss.

Hierbei sind verschiedene Kombinationen der im Folgenden genannten Schalldämpfertypen möglich:

- Absorptionsschalldämpfer

Ein Absorptionsschalldämpfer enthält poröses Material (Steinwolle, Glaswolle, Glasfaser), das die Schallenergie teilweise absorbiert und diese damit in Wärme umwandelt. Durch die Mehrfachreflexion wird der Effekt der Schallabsorption noch verstärkt. Durch derartige Schalldämpfer werden aber insbesondere die mittleren und oberen Frequenzen bedämpft, d. h., wesentliche Wirkungen im tieffrequenten Bereich $f \leq 100 \text{ Hz}$ (bzw. $f \leq 125 \text{ Hz}$) dürfen von solchen Schalldämpfern nicht erwartet werden.

- Reflexionsschalldämpfer

Diese Schalldämpfer besitzen mehrere Kammern und nutzen das Prinzip der Schallreflexion. Beim mehrfachen Durchlaufen der Innenräume kommt es zu einer Mittelung der Schalldruckamplitude, was eine Reduzierung der Schalldruckspitzen zur Folge hat. Reflexionen werden in einem Schalldämpfer durch Prallwände, Querschnittserweiterungen und -verengungen erzeugt. In Abhängigkeit von der Konstruktionsweise erhöht sich jedoch der Abgasgegendruck. Durch Reflexionsschalldämpfer können die tiefen Frequenzen gut bedämpft werden, weshalb sie sich für den Einsatz in Abgassträngen von BHKW-Anlagen besonders anbieten.

- Resonanzschalldämpfer

Resonanzschalldämpfer können speziell auf die zu dämpfenden dominanten Spektralanteile ausgelegt werden. Solche Schalldämpfer wirken im Gegensatz zum Absorptionsschalldämpfer schmalbandig. Ihre Wirkungsweise beruht auf der destruktiven Interferenz. Dabei werden die in die Resonator-kammern hineinlaufenden Schallwellen durch phasenverschobene rücklaufende Wellen gleicher Frequenz ausgelöscht.

Durch in Reihe geschaltete unterschiedlich große Kammern kann die Wirkung des Resonanzschalldämpfers erhöht werden, da in jeder Kammer ein bestimmter Frequenzbereich optimal bedämpft wird. Je nach Dimensionierung der jeweiligen Kammern kann so der Schalldämpfer auf eine selektiv zu dämpfende Frequenz ausgelegt werden.

- Kombinierte Schalldämpfer

Zusätzlich zu den genannten Wirkprinzipien, die in den Abgassträngen bei BHKW-Anlagen standardmäßig zum Einsatz kommen, besteht auch die Möglichkeit, die Schalldämpfertypen miteinander zu kombinieren. So existieren kombinierte Absorptions- und Resonanzschalldämpfer bzw. kombinierte Absorptions- und Reflexionsschalldämpfer auf dem Markt. Mit solchen kombinierten Schalldämpfern kann der in den Abgasstrang von BHKW-Anlagen eingeleitete Schall im gesamten interessierenden Frequenzbereich bedämpft werden, d. h., neben einer Dämpfung im hoch- und mittelfrequenten Bereich erfolgt auch eine Bedämpfung der tonalen tieffrequenten Geräuschanteile.

Mit den im Folgenden genannten Kombinationen der Schalldämpfer können erfahrungsgemäß die seitens der Abgasmündung emittierten Geräuschemissionen auf ein Minimum reduziert bzw. sogar vollständig beseitigt werden:

- 1 x Absorptionsschalldämpfer, 1 x Resonanz- oder Reflexionsschalldämpfer
- 1 x Absorptionsschalldämpfer, 1 x kombinierter Absorptions- und Resonanz- oder Reflexionsschalldämpfer
- 2 x kombinierte Absorptions- und Resonanz- oder Reflexionsschalldämpfer

Aufgrund des vernachlässigbaren Druckverlustes von Resonanzschalldämpfern bieten sich solche Schalldämpfersysteme auch bestens für den nachträglichen Einbau in bereits baulich fertiggestellte und in Betrieb befindliche BHKW-Anlagen an. Dies zeigen auch die vorliegenden Erfahrungen bei der Lärmsanierung einer Vielzahl von BHKW-Anlagen.

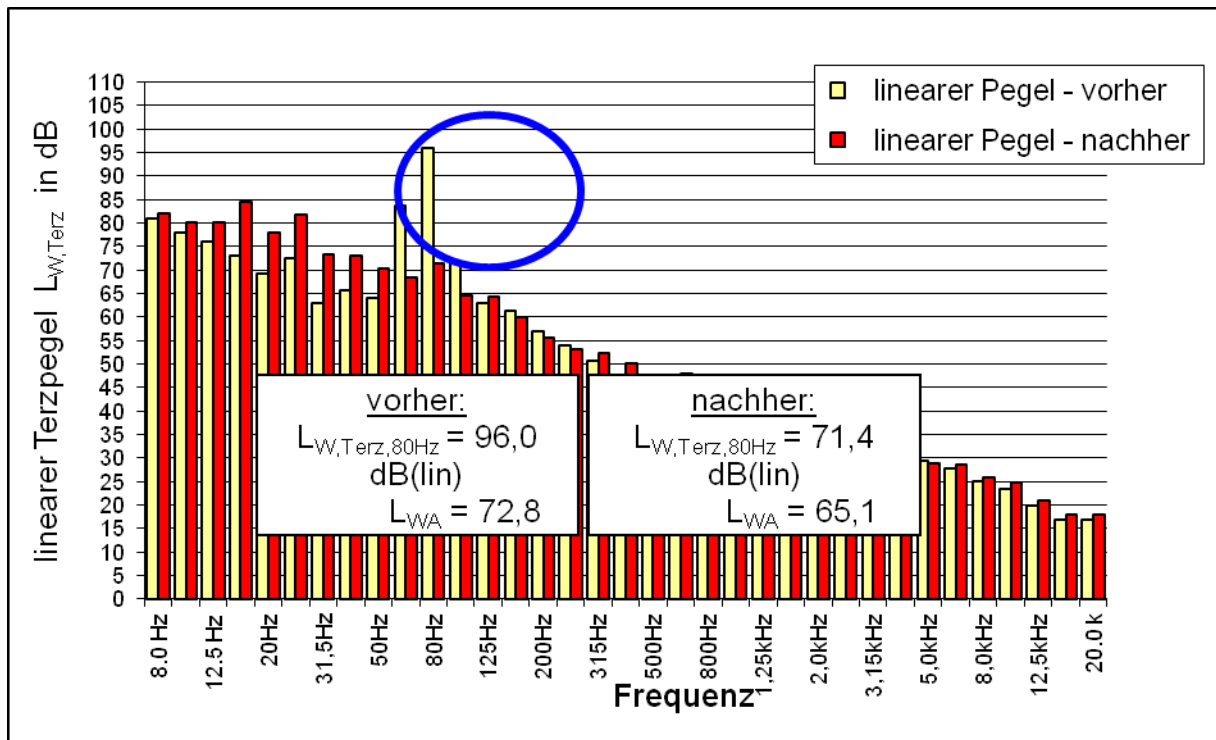


Abbildung 17: Vergleich der linearen Terzfrequenzspektren des Schalleistungspegels der Abgasmündung einer BHKW-Anlage (vor und nach dem nachträglichen Einbau eines zusätzlichen Resonanzschalldämpfers)

Mit einem im Einzelfall exakt auf die Schallemission des ungedämpften Abgasschalls des BHKW ausgelegten Schalldämpfersystems kann sowohl jeder beliebig niedrige Zielwert für den höchstzulässigen A-Schalleistungspegel als auch jeder Vorgabewert hinsichtlich der höchstzulässigen linearen Terz-Schalleistungspegel im tieffrequenten Bereich $f \leq 100$ Hz (bzw. $f \leq 125$ Hz) erreicht werden.

Solche „Zielwerte“ können z. B. aus den „Hinweisen zur Genehmigung und Überwachung von Biogasanlagen“ vom 31.08.2012 /26/ des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern ermittelt werden, die Empfehlungen zur Bewältigung des Problems „Tieffrequenter Abgasschall“ im Rahmen der Planungen einer BHKW-Anlage geben.

Beispielhaft sind in der nachfolgenden Tabelle 2 die Abmessungen solcher Schalldämpfer für verschiedene Zielwerte (Rest-Schalldruckpegel von 60, 42 und 33 dB(A) in 10 m Abstand von der Mitte der Abgasmündung) angegeben, die aus den fachlichen Abstimmungen zwischen BHKW- und Schalldämpfer-Hersteller resultieren.

Tabelle 2: Auswahltabelle von kombinierten Absorptions-/Resonanzschalldämpfern der Fa. Nießing, Druckverlust je Schalldämpfer (SD) ca. 100 - 150 Pa, gültig für Ein-/Austritt axial/axial, Restschallpegel in 10 m, gültig für AWT-Betrieb (ohne Bypass)

Motor	Kategorie 3 nur Primärschall- dämpfer für 60 dB(A) in 10 m [$L_{WA} = 88 \text{ dB(A)}$]	Kategorie 2 Primär- und Sekundärschall- dämpfer für 42 dB(A) in 10 m [$L_{WA} = 70 \text{ dB(A)}$]	Kategorie 1 verbesserter Primär- und Sekundärschall- dämpfer für 33 dB(A) in 10 m [$L_{WA} = 61 \text{ dB(A)}$]
MAN 2876 LE302, 190 kW _{el.}	1. SD: 102129 ¹⁾ 125/400 - 2,0 m ²⁾	1. SD: 102129 125/400 - 2,0 m	1. SD: 102098 125/640 - 2,5 m
	-	2. SD: 101933 125/400 - 1,25 m	2. SD: 101933 125/400 - 1,25 m
MAN 2848 LE322, 250 kW _{el.}	1. SD: 101992 200/480 - 2,0 m	1. SD: 101992 200/480 - 2,0 m	1. SD: 101992 200/480 - 2,0 m
	-	2. SD: 102285 250/640 - 2,0 m	2. SD: 102140 200/480 - 2,0 m
MAN 2842 LE 322, 370 kW _{el.}	1. SD: 101935 200/640 - 3,0 m	1. SD: 101935 200/640 - 3,0 m	1. SD: 101935 200/640 - 3,0 m
	-	2. SD: 101993 200/640 - 1,0 m	2. SD: 102084 200/640 - 2,2 m
TCG 2016 V08, 400 kW _{el.}	1. SD: 102153 200/640 - 2,5 m	1. SD: 102153 200/640 - 2,5 m	1. SD: 102666-01 200/640 - 3,0 m
	-	2. SD: 102656 200/640 - 2,0 m	2. SD: 102666-02 200/640 - 3,0 m
lin. Schalldruckpegel in 10 m Abstand ³⁾ Mindestabstand schutzbedürftiger Nutzungen	$L_{eq, Terz, 50/100Hz}$ = 73/60 dB(lin) s = 950 m ⁴⁾ s = 575 m ⁵⁾	$L_{eq, Terz, 50/100Hz}$ = 57/30 dB(lin) s = 90 m ⁴⁾	$L_{eq, Terz, 50/100Hz}$ = 40/10 dB(lin) s = 13 m ⁴⁾
Kosten (Richtwerte ohne ggf. Montagekosten und ohne Preisnachlässe)	6.500 €	12.000 €	15.000 €
TCG 2016 V12, 600 kW _{el.}	1. SD: 102066 250/640 - 2,5 m	1. SD: 102066 250/640 - 2,5 m	1. SD: 102667-1 250/700 - 3,0 m
	-	2. SD: 102285 250/640 - 2,0 m	2. SD: 102667-2 250/700 - 3,0 m
TCG 2016 V16, 800 kW _{el.}	1. SD: 102081 300/850 - 2,8 m	1. SD: 102081 300/850 - 2,8 m	1. SD: 102668-1 300/800 - 3,50 m
	-	2. SD: 102659 300/800 - 2,0 m	2. SD: 102668-2 300/800 - 3,50 m

- 1) Serien-Auftragsnummer/Zeichnungsnummer.
- 2) DN-Nennweite Ein-/Austritt in mm/Außendurchmesser in mm - Gehäuselänge in m.
- 3) Die angegebenen linearen Schalldruckpegel gelten für einen Abstand von $s = 10$ m von der Mitte der Abgasmündung sowie für die Terzen mit den Zündfrequenzen des Motors.
- 4) Die Berechnungen der Mindestabstände basieren auf der ANLAGE 4 gemäß /26/, d. h., nur mit Berücksichtigung der geometrischen Schallausbreitungsdämpfung, für die sich im Freibereich neben dem schutzbedürftigen Gebäude eine Unterschreitung der Hörschwellenpegel gemäß DIN 45680 /10/ um 3 dB ergibt.
- 5) Diese zusätzlichen Berechnungen der Mindestabstände gelten lediglich für die Unterschreitung der Anhaltswerte gemäß Beiblatt 1 /11/ zu DIN 45680 um 3 dB im Freibereich neben dem schutzbedürftigen Gebäude. Bei den Berechnungen wurde ebenfalls nur die geometrische Schallausbreitungsdämpfung berücksichtigt.

In der folgenden Tabelle 3 ist die Berechnung des Schalleistungspegels für das gedämpfte Abgasgeräusch zusammengestellt, ausgehend von den oktavbezogenen Schalleistungspegeln für die in der Tabelle 1 beispielhaft ausgewählte Maschine vom Typ „TCG 2016 V08“ der Fa. MWM mit einer elektrischen Leistung von 400 kW (vgl. ANLAGE 1 Blatt 10) und unter Berücksichtigung der oktavbezogenen Einfügungsdämpfungen für den in der vorangegangenen Tabelle 2 benannten Schalldämpfertyp der Kategorie „3“ sowie unter Berücksichtigung der zusätzlich eintretenden System-Dämpfungen (Abgasverrohrung einschließlich Abgaswärmetauscher).

Tabelle 3: Berechnung der A-Schalleistungspegel und der tieffrequenten linearen Schalleistungspegel an der Abgasmündung einer 400-kW_{el.}-Maschine der Fa. MWM für ein Abgas-Schalldämpfersystem der Kategorie „3“

	ungedämpft L _{W,lin.} in dB	D _{E,1} ¹⁾ in dB	D _{E,2} ²⁾ in dB	gedämpft L _{W,lin.} in dB	A-Bewertung K _{Ai} in dB	gedämpft L _{WA} in dB(A)
63 Hz	120	15	4	101	- 26	75
125 Hz	137	45	4	88	- 16	72
250 Hz	135	40	5	90	- 9	81
500 Hz	128	33	6	89	- 3	86
1000 Hz	126	40	8	78	± 0	78
2000 Hz	124	35	12	77	+ 1	78
4000 Hz	119	25	15	79	+ 1	80
8000 Hz	115	15	20	80	- 1	79
Summe	140					89

- 1) Einfügungsdämpfungen des Schalldämpfers Nr. 102153 (200/640 - 2,5 m), vgl. Tabelle 2
- 2) System-Einfügungsdämpfungen (Abgaswärmetauscher, Rohrleitungen, ...)

Als namhafte Hersteller von Abgasschalldämpfern sind u. a. die Firmen Nießing Anlagenbau GmbH, Martin Adam GmbH, Energietechnik Bremen GmbH, Gebr. Raichle GmbH, AIR SONIC, Lärmschutz Pfensig GmbH, Weihe GmbH und Lindenbergl-Anlagen GmbH bekannt. Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

4.1.6. Not- und Gemischkühler

Bei BHKW-Anlagen kommen - je nach Funktion des BHKW - Notkühler und/oder Gemischkühler zum Einsatz (vgl. Fotos 11 und 12 in der ANLAGE 2):

Abhängig von der Höhe der Leistung des Verbrennungsmotors und der beim Betrieb des Motors erzeugten Wärme sind - insbesondere bei stromgeführten BHKW - Notkühler notwendig, um die durch die an das BHKW angeschlossenen Verbraucher ungenutzte Abwärme in die Umgebung abzugeben. Die Notkühler werden betriebsbedingt vorzugsweise im Freien aufgestellt.

Der Einsatz eines Gemischkühlers erfolgt unter einem anderen Hintergrund. Bei modernen Blockheizkraftwerken erreicht das Luft-Brennstoff-Gemisch durch eine starke Verdichtung hohe Temperaturen. Um einen höheren Wirkungsgrad zu erreichen, kühlt der Gemischkühler dieses Gas vor dem eigentlichen Verbrennungsvorgang auf Betriebstemperatur ab. Diese Gemischkühler werden - wie auch die Notkühler - als Tischkühler ausgeführt und ebenfalls im Freien aufgestellt.

Die Not- und Gemischkühler (im Folgenden als Tischkühler bezeichnet) besitzen in Abhängigkeit von der notwendigen Kühlleistung eine unterschiedliche Anzahl von Ventilatoren und dementsprechend unterschiedliche Abmessungen. Die Schallleistung der Tischkühler hängt insbesondere von den Faktoren Drehfrequenz, Lüfterdurchmesser, Anzahl und Form der Rotoren, der Art des Motors sowie der Betriebsweise der Lüfter ab.

Auf dem Markt existiert eine Vielzahl von Herstellern für Tischkühler, die jeden Kühler exakt auf die zum Einsatz kommende BHKW-Anlage - sowohl hinsichtlich der notwendigen Kühlleistung als auch hinsichtlich des zulässigen Schalleistungspegels - auslegen können. Als namhafte Hersteller sind die Firmen Güntner, LU-VE Contardo, GEA, Cabero, Friga-Bohn, Thermokey und Thermofin zu nennen. Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Von den Herstellern werden sowohl Tischkühler mit hohen Schalleistungspegeln (bis ca. $L_{WA} = 100$ dB(A)) als auch mit sehr niedrigen (bis minimal ca. $L_{WA} = 50$ dB(A)) angeboten. Es herrscht insofern eine auf den Schalleistungspegel bezogene Bandbreite von ca. 50 dB vor.

Prinzipiell sind 2 Betriebsarten der Kühler möglich. Es kann zwischen einer Stufenregelung und einer stufenlosen Regelung, z. B. der FU-Regelung, der Spannungsregelung oder der EC-Regelung unterschieden werden. Der Vorteil der stufenlosen Regelung besteht darin, dass die Drehzahl der Lüfter kontinuierlich an die notwendige Kühlleistung angepasst wird.

Der Einsatz der stufenlosen Regelung bietet gegenüber der Stufenregelung insbesondere für den Betrieb der BHKW-Anlagen im Nachtzeitraum, in dem geringere Außen-

temperaturen als im Tageszeitraum vorherrschen und eine verminderte Kühlleistung erforderlich ist, den Vorteil einer deutlich reduzierten Auffälligkeit der Lüftergeräusche.

Die stufenlose Regelung entspricht dem Stand der Technik und hat sich zuletzt in der Praxis auch durchgesetzt.

Entsprechend den an die Anlage zu stellenden Anforderungen aus schalltechnischer Sicht kann die erforderliche Kühlleistung mit unterschiedlichen Kühler-Typen erreicht werden. Dabei werden die Kühler mit abnehmender Schalleistung erwartungsgemäß teurer (vgl. Tab. 4a, 4b).

Tabelle 4a: Vergleich der Schalleistungspegel L_{WA} und der entstehenden Kosten von 5 Notkühlern der Fa. Güntner in Normalausführung (N) bzw. in mittelleiser Ausführung (M), von 5 Notkühlern in einer schalloptimierten Ausführung (L - leise Ausführung, S - sehr leise Ausführung) und von 5 Notkühlern in extrem leiser Ausführung (E - extrem leise Ausführung) für 5 ausgewählte BHKW-Motoren ¹⁾

- Tagesbetrieb bei 35 °C Umgebungstemperatur -

BHKW-Motor	Notkühler-Typ (ausgelegt auf thermische Leistung des BHKW)	Schalleistungspegel L_{WA} in dB(A)	Listen- preis in €
Motor 1: MTU GC 192B5 190 kW _{el.} 215 kW _{therm}	GFH 067AC/2-N(D)-F6/8P	89	7.017
	GFH 090.2A/2-S(D)-F4/6P	73	8.443
	GFH 090.3A/3-E(S)-F4/5P	59	11.113
Motor 2: MAN E 2848 LE 322 265 kW _{el.} 300 kW _{therm}	GFH 090.2A/2-M(D)-F6/6P	89	8.129
	GFH 100.3C/2-S(D)-F4/6P	75	8.544
	GFH 100.3C/3-E(S)-F4/5P	66	11.908
Motor 3: MWM TCG 2016V08 400 kW _{el.} 450 kW _{therm}	GFH 090.2D/2-M(D)-F6/6P	89	10.741
	GFH 100.3B/3-S(D)-F4/3P	77	11.521
	GFH 100.3A/2x2-E(D)- F4/6P	72	13.875
Motor 4: JMS 312 GS-B.L. 527 kW _{el.} 530 kW _{therm}	GFH 100.2A/3-N(D)-F6/4P	92	12.788
	GFH 100.3A/4-S(D)-F4/2P	78	13.389
	GFH 100.3A/5-E(D)-F4/2P	73	16.688
Motor 5: MWM TCG 2016V16 800 kW _{el.} 910 kW _{therm}	GFH 090.2A/5-M(D)-F6/2P	93	19.715
	GFH 100.3C/5-L(D)-F4/2P	82	19.729
	GFH 100.3A/2x4-E(D)-F4/3P	75	25.812
durchschnittliche Pegelminderung, absolute und prozentuale Mehrkosten für leiseren Kühler		13	650 € ± 6%
durchschnittliche Pegelminderung, absolute und prozentuale Mehrkosten für superleisen Kühler		21	4.200 € ± 36%

¹⁾ Es wurde eine Eintrittstemperatur von 90 °C in den Kühler und eine Austrittstemperatur von 70 °C aus dem Kühler den Berechnungen zugrunde gelegt. Zusätzlich wurde eine Flächenreserve von mindestens 20 % berücksichtigt. Als Kühl-Medium wurde 37 Vol. % Ethylenglykol ausgewählt. Die Berechnungen wurden weiterhin für eine geodätische Höhe von 500 m durchgeführt.

Tabelle 4b: Vergleich der Schalleistungspegel L_{WA} und der entstehenden Kosten von 5 Notkühlern der Fa. Güntner in Normalausführung (N) bzw. in mittelleiser Ausführung (M), von 5 Notkühlern in einer schalloptimierten Ausführung (L - leise Ausführung, S - sehr leise Ausführung) und von 5 Notkühlern in extrem leiser Ausführung (E - extrem leise Ausführung) für 5 ausgewählte BHKW-Motoren ¹⁾

- Nachtbetrieb bei 27 °C Umgebungstemperatur -

BHKW-Motor	Notkühler-Typ (ausgelegt auf thermische Leistung des BHKW)	Schalleistungspegel L_{WA} in dB(A)	Listen- preis in €
Motor 1: MTU GC 192B5 190 kW _{el.} 215 kW _{therm}	GFH 067A/2-N(D)-F6/8P	79	7.017
	GFH 090.2A/2-S(D)-F4/6P	60	8.443
	GFH 090.3A/3-E(S)-F4/5P	46	11.113
Motor 2: MAN E 2848 LE 322 265 kW _{el.} 300 kW _{therm}	GFH 090.2A/2-M(D)-F6/6P	71	8.129
	GFH 100.3C/2-S(D)-F4/6P	63	8.544
	GFH 100.3C/3-E(S)-F4/5P	53	11.908
Motor 3: MWM TCG 2016V08 400 kW _{el.} 450 kW _{therm}	GFH 090.2D/2-M(D)-F6/6P	75	10.741
	GFH 100.3B/3-S(D)-F4/3P	68	11.521
	GFH 100.3A/2x2-E(D)- F4/6P	61	13.875
Motor 4: JMS 312 GS-B.L. 527 kW _{el.} 530 kW _{therm}	GFH 100.2A/3-N(D)-F6/4P	78	12.788
	GFH 100.3A/4-S(D)-F4/2P	67	13.389
	GFH 100.3A/5-E(D)-F4/2P	63	16.688
Motor 5: MWM TCG 2016V16 800 kW _{el.} 910 kW _{therm}	GFH 090.2A/5-M(D)-F6/2P	81	19.715
	GFH 100.3C/5-L(D)-F4/2P	73	19.729
	GFH 100.3A/2x4-E(D)-F4/3P	64	25.812
durchschnittliche Pegelminderung, absolute und prozentuale Mehrkosten für leisere Kühler		11	650 € △ 6%
durchschnittliche Pegelminderung, absolute und prozentuale Mehrkosten für superleisen Kühler		19	4.200 € △ 36%

¹⁾ Es wurde eine Eintrittstemperatur von 90 °C in den Kühler und eine Austrittstemperatur von 70 °C aus dem Kühler den Berechnungen zugrunde gelegt. Zusätzlich wurde eine Flächenreserve von mindestens 20 % berücksichtigt. Als Kühl-Medium wurde 37 Vol. % Ethylenglykol ausgewählt. Die Berechnungen wurden weiterhin für eine geodätische Höhe von 500 m durchgeführt.

Aus der Tabelle 4a geht hervor, dass mit der Wahl leiserer Notkühler - mit einem durchschnittlich um 13 dB(A) niedrigeren Schallleistungspegel - Mehrkosten in Höhe von nur rund 650 € verbunden sind. Im Falle des Motors 5 ergeben sich für den leiseren Kühler ($L_{WA} = 82$ dB(A)) in etwa die gleichen Kosten wie für den lauterer Kühler ($L_{WA} = 93$ dB(A)). Insofern kann geschlussfolgert werden, dass - sofern auch ausreichend Fläche für die Aufstellung von Notkühlern zur Verfügung steht - bei einer gezielten Suche nach leiseren Notkühlern mit nur geringen Mehrkosten - im Vergleich zu einer Normalausführung des Kühlers - zu rechnen ist.

In der Tabelle 4a wurde der Tagesbetrieb der Notkühler im maximal möglichen Fall betrachtet. Für den kritischeren Nachtzeitraum kann gemäß Tabelle 4b für diese Kühler von einem um rund 11 dB niedrigeren Schallleistungspegel ausgegangen werden.

Anmerkungen:

Bei den vorgenommenen Betrachtungen wurde noch nicht das Einsparpotential berücksichtigt, das sich aufgrund der Verwendung von modernen stromsparenden Ventilatormotoren ergibt, die bei den leiseren Notkühlern zum Einsatz kommen. Außerdem wird mit dem Betrieb der - im Vergleich zu den lauterer Kühlern - größeren Ventilatoren und/oder der höheren Anzahl an Ventilatoren ein Betrieb in einer geringeren Drehzahl erreicht. Mit dieser Betriebsweise kann zusätzlich Strom gespart werden.

Somit ergibt sich beispielsweise im Vergleich des leisesten Notkühlers vom Typ GFH 100.3C/3-E(S)-F4/5P mit dem lautesten Notkühler vom Typ GFH 090.2A/2-M(D)- F6/6P für den BHKW-Motor 2 (vgl. Tabellen 4) eine um den Faktor 11 geringere elektrische Leistung des leiseren Kühlers.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein ausreichend großes Sortiment von Tischkühlern für höchste schalltechnische Anforderungen zur Verfügung steht.

4.1.7. Weitere Geräuschquellen einer BHKW-Anlage

Weitere Geräuschquellen einer BHKW-Anlage stellen bei freier Schallausbreitung zu den maßgeblichen Immissionsorten im Umfeld die folgenden bereits im Punkt 2.1. benannten Aggregate dar:

- Abgaswärmetauscher
- Abgasverrohrung
- Schalldämpferkörper
- Gasdruckerhöhungsgebläse
- Gasreinigung
- Oxidationskatalysator

Diese Geräuschquellen werden erfahrungsgemäß regelmäßig vernachlässigt. Dies liegt darin begründet, dass für diese Quellen (noch) keine belastbaren Schallangaben durch die Hersteller verfügbar sind.

Da grundsätzlich die Möglichkeit der Lärmbelästigung der Nachbarschaft durch vorstehend genannte Aggregate besteht, werden diese im Folgenden zumindest verbal beschrieben und eingeschätzt.

Abgaswärmetauscher (AWT)

In den Abgaswärmetauscher, der zwischen dem Motor und den Schalldämpfern im Abgasstrang angeordnet ist, wird das noch ungedämpfte Abgasgeräusch des Motors eingetragen und letztendlich über die zumeist schon isolierte Oberfläche des AWT abgestrahlt. Da beim Einsatz von BHKW-Stahlblech-Containern und BHKW-Betonschallhauben aufgrund der beengten Platzverhältnisse eine Installation des AWT üblicherweise auf dem Dach der baulichen Hüllen erfolgt, hat dies zur Folge, dass eine freie Schallausbreitung möglich ist und daher auch diese Quelle immissionswirksam und maßgeblich hinsichtlich der Geräuschbelastung der Nachbarschaft sein kann. Sofern aufgrund eines eher weniger sensiblen BHKW-Standortes nur ein Stahlblech-Container in Standardausführung zum Einsatz kommt, dessen Schallabstrahlung über die Außenbauteile seinerseits die dominierende Schallquelle der Gesamt-Anlage darstellt, sind weitergehende Schallschutzmaßnahmen am Abgaswärmetauscher eher nicht erforderlich.

Zumindest dann, wenn an sensibleren Standorten BHKW in Betonschallhauben aufgestellt werden, sind in der Nachbarschaft durchaus nicht nur unerhebliche Immissions-Beiträge feststellbar. Dies gilt auch für die tieffrequenten Geräuschanteile. Solche Problemfälle mit bauausgeführten BHKW-Anlagen in Betonschallhauben bzw. in Stahlblech-Containern ergaben aufgrund der Ergebnisse von parallelen Immissions- und Emissionsmessungen das Erfordernis, den Abgaswärmetauscher einzuhausen. Dazu werden Mineralfaserverkleidungen vorgesehen, die nach außen hin mit Blech abgedeckt werden. Empfehlenswert ist in jedem Falle, dass die vom BHKW-Motor ankommenden und zum Abgas-Schalldämpfer weiterführenden Rohrleitungen eine vergleichbare Umkleidung erhalten, vgl. folgender Unterpunkt „Abgas-Verrohrung“.

Abbildung 18a: Beispiel für die nachträgliche Einhausung eines Abgaswärmetauschers auf dem Dach einer BHKW-Betonschallhaube

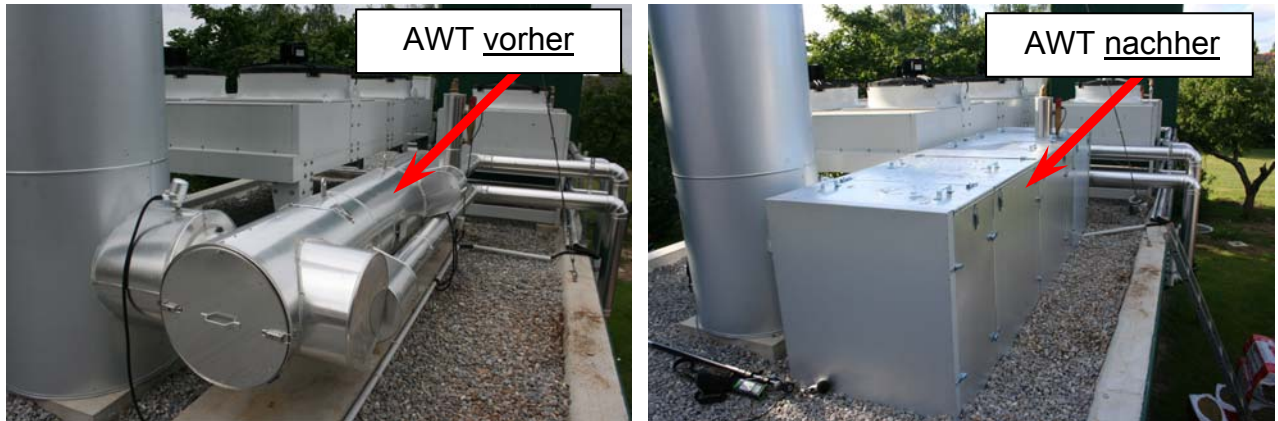


Abbildung 18b: Beispiel für die nachträgliche Einhausung eines Abgaswärmetauschers auf dem Dach einer BHKW-Betonschallhaube - als begehbare Ausführung



Solche Verkleidungen der Abgas-Schalldämpfer wären dann, wenn sie bereits im Zuge der Errichtung der BHKW-Anlage vorgesehen und realisiert werden, zu geringeren Kosten zu erhalten als in den in den Fotos Nr. 11a bis 11b dargestellten Fällen, in denen eine nachträgliche Einhausung des Abgaswärmetauschers aufgrund von Anwohnerbeschwerden erforderlich wurde.

Die Kosten für die Verkleidung/Einhausung betragen im Beispiel nach Abbildung 18a nach den Angaben des BHKW-Lieferanten 4.900 € (davon ca. 950 € aufgrund der nachträglichen Realisierung), im Beispiel nach Abbildung 18b sogar 13.800 € (davon ca. 2.800 € aufgrund der nachträglichen Realisierung).

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass zumindest bei Beton-Schallhauben, bei denen die Abgaswärmetauscher in aller Regel auf dem Dach installiert werden, eine Einhausung/Verkleidung dieser Abgaswärmetauscher (einschl. der ankommenden und weiterführenden Rohrleitungen) zur Grundausstattung an sensiblen bzw. hochsensiblen Standorten gehören sollte (vgl. Punkt 6.). Erst dann kann auch dem Abgaswärmetauschersystem der „Stand der Lärminderungstechnik“ bescheinigt werden.

Bei den schalltechnisch anspruchsvollsten Lösungen - Errichtung der BHKW-Anlage in massiven Gebäuden - gehört zum Stand der Lärminderungstechnik, dass die Abgaswärmetauscher innerhalb des Gebäudes aufgestellt und daher für die Nachbarschaft ohnehin nicht immissionswirksam werden.

Abgasverrohrung

Sofern längere Abgasverrohrungen vor dem Eintritt in die Schalldämpferkörper außerhalb der baulichen Hülle des BHKW angeordnet sind, können auch von diesen maßgebliche Schallanteile emittiert werden. Neben tieffrequenten Schallanteilen können hier auch hochfrequente Schallanteile mit Störwirkungen für die Nachbarschaft abgestrahlt werden, wenn z. B. in engen Rohrbögen hohe Strömungsgeräusche auftreten, vgl. folgende Abbildung 19.

Es gelten die gleichen Aussagen wie im Anstrich „Abgaswärmetauscher“ beschrieben, dass zumindest bei Beton-Schallhauben (sofern solche an konflikträchtigen Standorten zum Einsatz kommen) eine Einhausung/Verkleidung der Abgasverrohrung zur Grundausstattung und zum „Stand der Lärminderungstechnik“ gehört. Die Kosten hierfür sind - so die Maßnahme im Zuge der Errichtung der BHKW-Anlage realisiert wird - überschaubar.

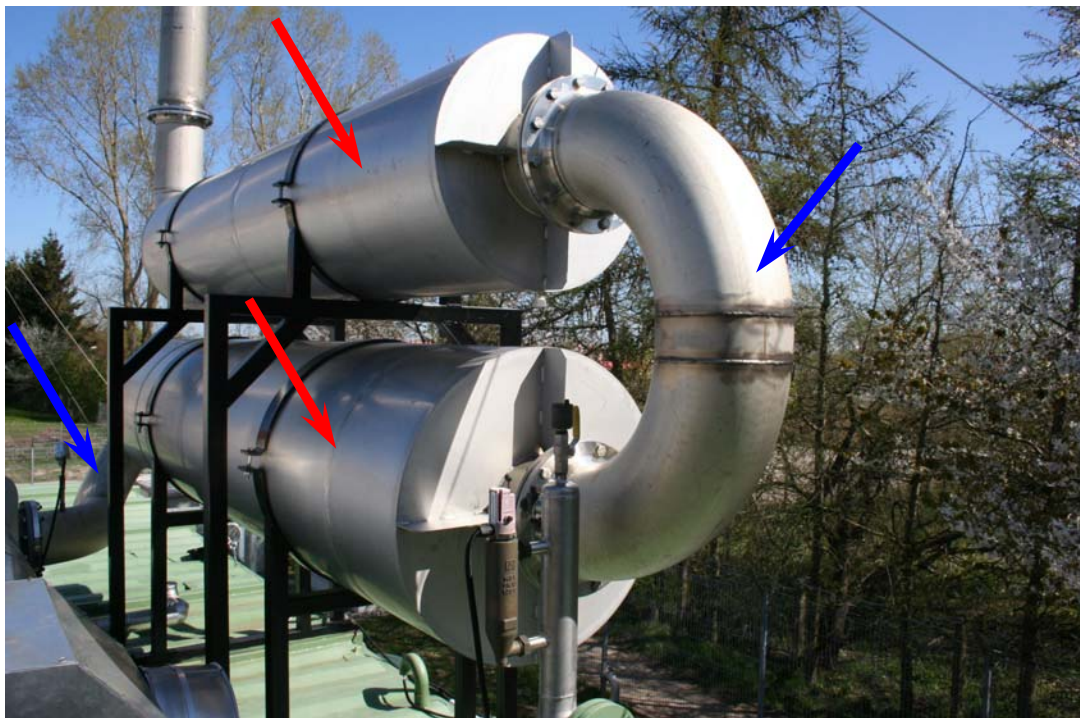
Schalldämpferkörper

Sofern die Schalldämpferkörper (Primär- und Sekundär-Schalldämpfer) ebenfalls außerhalb der baulichen Hülle des BHKW angeordnet sind, können auch von diesen Schallanteile in die Nachbarschaft emittiert werden, obgleich dies in einem geringeren Umfang als z. B. bei den Abgaswärmetauschern erfolgt. Schließlich gehen erst vom letzten Ende der Abgasstrecke - dem Rohr zwischen dem letzten Schalldämpfer und der Mündungsöffnung - vergleichsweise geringe Schallemissionen aus, die gegenüber den übrigen Geräuschquellen zu vernachlässigen sind.

Die beschriebene Anordnung der Schalldämpferkörper ist beim Einsatz von BHKW-Stahlblech-Containern und BHKW-Beton-Schallhauben aufgrund der beengten Platzverhältnisse der Regelfall.

Insofern ist wie beim Abgaswärmetauscher und bei den Abgasverrohrungen der Stand der Lärminderungstechnik zumindest beim Einsatz von Betonschallhauben wiederum erst dann erreicht, wenn eine Einhausung/Verkleidung der beiden Schalldämpferkörper vorgenommen wird. Die Kosten hierfür dürften dann, wenn die Maßnahme bereits bei Errichtung der BHKW-Anlage vorgenommen wird, überschaubar sein.

Abbildung 19: Blick auf die Abgasverrohrung und die (hier horizontal) angeordneten Schalldämpferkörper einer BHKW-Anlage, die in sehr geringen Abständen zur nächsten schutzbedürftigen Bebauung errichtet wurde. Die Schalldämpferkörper (rote Pfeile) und die Abgasverrohrung (blaue Pfeile) mussten nachträglich mit einer Schallisolierung versehen werden.



Bei den schalltechnisch anspruchsvollsten Lösungen - Errichtung der BHKW-Anlage in massiven Gebäuden - gehört zum Stand der Lärminderungstechnik, dass die Schalldämpferkörper innerhalb des Gebäudes aufgestellt werden und damit für die Nachbarschaft nicht immissionswirksam sind. Bei solchen Lösungen befindet sich nur der letzte Abschnitt des Abgasrohres - zwischen dem letzten Schalldämpfer und der Mündungsöffnung - außerhalb der baulichen Hülle, von dem allerdings nur vernachlässigbar geringe Schallemissionen ausgehen.

Gasdruckerhöhungsgebläse

Bei allen aufgezeigten Möglichkeiten der baulichen Hüllen für BHKW-Module (Stahlblech-Container, Beton-Schallhaube, massives Gebäude) ist die Aufstellung des Gasdruckerhöhungsgebläses innerhalb der BHKW-Aufstellungsräume die Regel. Daher sind dessen Emissionen schalltechnisch ohne jede Bedeutung. Sie gehen im Gesamt-Innenraumpegel unter, der absolut dominierend durch den BHKW-Motor selbst verursacht wird.

Nur in ganz wenigen Einzelfällen wurde eine freie Aufstellung des Gasdruckerhöhungsgebläses ebenerdig oder aber auf dem Dach der baulichen Hülle (zumeist Stahlblech-Container) festgestellt. Obgleich die A-bewerteten Schallemissionen im Vergleich zum Stahlblech-Container ohne größere Bedeutung sind, darf nicht übersehen werden, dass solche Gasdruckerhöhungsgebläse in aller Regel eine tonale Schallabstrahlung in die Nachbarschaft verursachen.

Die Frequenz dieser tonalen Komponenten ist abhängig von der Schaufelanzahl und der Drehzahl des Ventilators. Sie lag bei den untersuchten Aggregaten in den Terzen $f_{\text{Terz}} = 600 \text{ Hz}$, $f_{\text{Terz}} = 2 \text{ kHz}$ oder $f_{\text{Terz}} = 4 \text{ kHz}$ sowie $f_{\text{Terz}} = 8 \text{ kHz}$ und erzeugt daher durchaus Auffälligkeiten auch noch in größeren Entfernungen. Sofern solche Probleme nach Inbetriebnahme einer BHKW-Anlage festgestellt werden, ist eine nachträgliche Kapselung dieses Aggregates zu empfehlen.

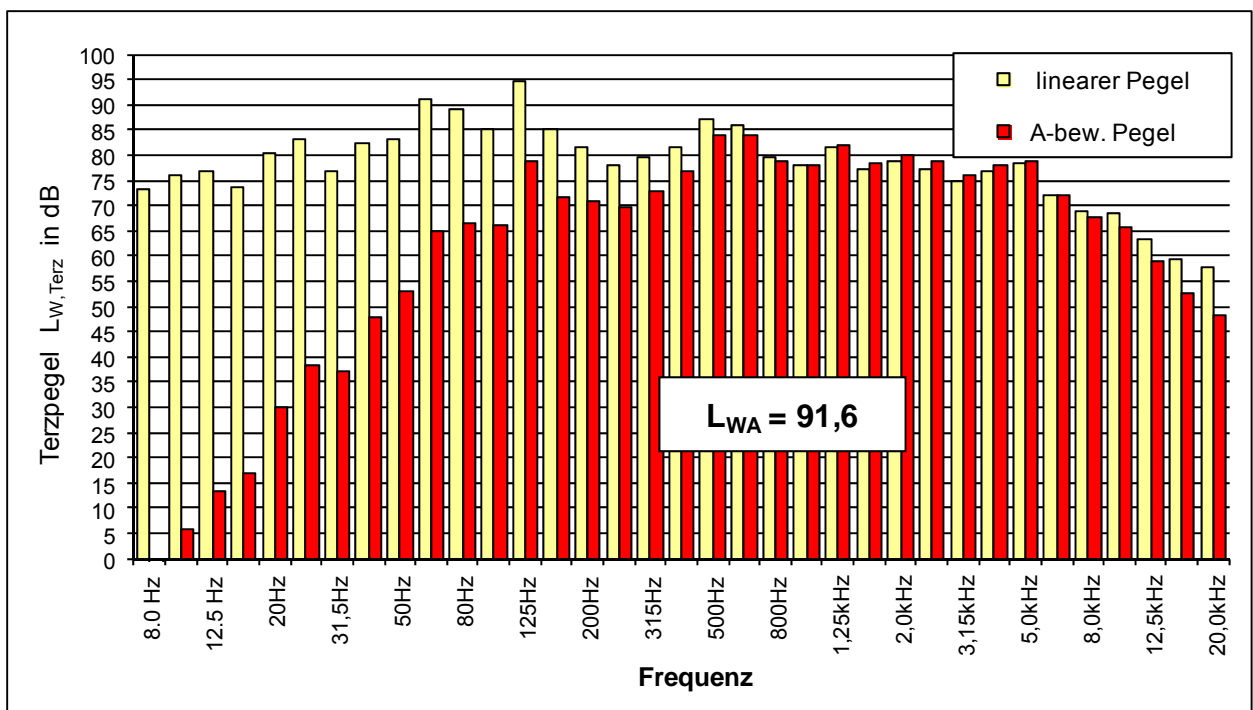
Abbildung 20: Blick auf ein Gasdruckerhöhungsgebläse, das nicht innerhalb, sondern außerhalb der baulichen Hülle der BHKW-Anlage aufgestellt ist.



Die folgende Abbildung 21 zeigt das Terzfrequenzspektrum des Schalleistungspegels eines Gasdruckerhöhungsgebläses.

Die tonale Komponente bei $f_{\text{Terz}} = 125 \text{ Hz}$ wurde von der Schallabstrahlung des unmittelbar benachbarten BHKW-Stahlblech-Containers verursacht.

Abbildung 21: Blick auf ein Gasdruckerhöhungsgebläse, das nicht innerhalb, sondern außerhalb der baulichen Hülle der BHKW-Anlage aufgestellt ist.



Gasreinigung, Oxidationskatalysator

Diese Anlagenteile kommen erst seit einiger Zeit in Biogas- und BHKW-Anlagen regelmäßig zum Einsatz. Die Aufstellung erfolgt vorzugsweise außerhalb und ebenerdig neben der baulichen Hülle der BHKW-Anlage.

Belastbare und umfassende Daten zur Geräusentwicklung dieser Aggregate liegen derzeit noch nicht vor.

4.2. Biogaserzeugungsanlage

4.2.1. Feststoffeintrag

Der Feststoffeintrag dient der Versorgung der Gasgewinnungsanlage mit nicht pumpfähiger Biomasse. Als Feststoffe kommen z. B. Maissilage und Festmist in Betracht. Diese Stoffe werden mittels Radlader antransportiert und in den Feststoffeintrag übergeben. Von dort erfolgt die Übergabe in den Fermenter. Die Betriebszeit dieser Aggregate liegt im Mittel bei ca. 4 Stunden pro Tag, d. h., bei ca. 10 Minuten je Stunde.

Es ist prinzipiell zwischen 2 Arten von Feststoffeinträgen zu unterscheiden, den klassischen Feststoffdosierern und den Feststoffeinträgen mit Schubbodensystem (siehe z. B. Fotos Nr. 13 bis 15 in der ANLAGE 2).

Als maßgebliche Geräuschquellen der Feststoffeinträge sind die Antriebsmotoren der Dosiereinrichtung sowie die Antriebsmotoren der Förderschnecken (Steilförderschnecke und Fermenterschnecke) zu benennen. Der Schalleistungspegel dieser Anlagen ist insofern im Wesentlichen von der Art und der Anzahl der zum Einsatz kommenden Antriebsmotoren abhängig.

Die Spannweite in den Werten für den Schalleistungspegel von Feststoffdosierern ist mit $82 \text{ dB(A)} \leq L_{\text{WA}} \leq 96 \text{ dB(A)}$ recht groß. Dies belegen Messungen an unterschiedlichen Typen. Z. B. liegen die Geräuschemissionen der Feststoffeinträge vom Typ „MT Alligator“ und „MT Fortis“ mit einem Wert von $L_{\text{WA}} = 86 \text{ dB(A)}$ im unteren Bereich der o. g. Spannweite. Der Feststoffeintrag der Fa. Trioliet vom Typ Solomix 2, 4000 befindet sich mit einem Wert von $L_{\text{WA}} \approx 90 \text{ dB(A)}$ etwa in der Mitte. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass die Geräuschemissionen dieser Anlagen weitgehend breitbandig und damit ohne wesentliche Auffälligkeiten sind.

Schalltechnische Messungen an einigen der Feststoffdosierer unterschiedlicher Firmen ergaben, dass im Anlagengeräusch auch geringe tonale Komponenten auftreten können, die jedoch immissionsseitig zumeist ohne Belang sind.

Anmerkung:

Zusätzlich zu den stationären Geräuschen der Antriebsmotoren der Feststoffdosierer können in Einzelfällen - je nach Art und Größe der zum Einsatz kommenden Feststoffe - auch kurzzeitige Geräuschspitzen beim Dosiervorgang auftreten.

Der Schalleistungspegel von Feststoffeinträgen in größeren BHKW-Anlagen mit Schubbodensystemen, die innerhalb von massiven Gebäuden installiert wurden, ist deutlich geringer als der von konventionellen Feststoffdosierern (siehe z. B. Foto Nr. 15 in der ANLAGE 2).

Von der Einhaltung des Standes der Technik zur Lärminderung kann derzeit dann gesprochen werden, wenn der Schalleistungspegel eines Feststoffdosierers $L_{\text{WA}} \leq 90 \text{ dB(A)}$ beträgt. Dies belegen sowohl Herstellerangaben als auch Ergebnisse von Messungen.

Wird der Feststoffdosierer im Hinblick auf den maßgeblichen Immissionsort abgeschirmt aufgestellt, lässt sich der immissionswirksame Schalleistungspegel deutlich reduzieren.

Der zeitbewertete Schalleistungspegel liegt bei einem Betrieb des Dosierers über 10 min je Stunde zudem um einen weiteren Betrag von

$$K = (10 \text{ min} / 1 \text{ h}) \text{ dB(A)} = - 7,8 \text{ dB}$$

unterhalb des immissionswirksamen Schalleistungspegels, so dass Lärmbeschwerden aus der Wohnnachbarschaft hinsichtlich des Betriebes von Feststoffdosierern kaum zu erwarten sein dürften.

4.2.2. Antriebsmotoren der Rührwerke an den Behältern

Innerhalb bzw. außerhalb der Behälter von Biogasanlagen kommen Rührwerke zum Einsatz. Sie dienen u. a. der Durchmischung bzw. Homogenisierung des Substrates, der Vermeidung von Sink- und Schwimmschichten und dem erforderlichen Wärmeaustausch des Substrates mit den in den Behälterwänden befindlichen Heizelementen.

Es existieren Rührwerke in unterschiedlichen Bauformen. So kann aus schalltechnischer Sicht zwischen folgenden Rührwerksarten unterschieden werden:

- Rührwerke mit Antriebsmotoren außerhalb der Behälter:
(vgl. auch Fotos Nr. 17 bis 19 in der ANLAGE 2)
 - * Langwellenrührwerk
 - * Paddelrührwerke (horizontale bzw. vertikale)
 - * Stabmixrührwerke

- Rührwerke mit Antriebsmotoren innerhalb der Behälter:
(vgl. auch Foto Nr. 16 in der ANLAGE 2)
 - * Tauchmotorrührwerke

Eine Besonderheit stellen hydraulische Antriebe von Rührwerken dar, die als kompakte Einheiten außerhalb des Behälters und zudem in einiger Entfernung installiert werden.

Ein ausgereiftes Rührwerkskonzept ist nicht nur entscheidend für einen störungsfreien Anlagenbetrieb, sondern auch für den Gasertrag. Es ist daher eher eine betriebsinterne Entscheidung der Planer von Biogasanlagen aus den Erfahrungen der Vergangenheit, welche Art von Rührwerken bevorzugt oder gar ausschließlich vorgesehen wird. So sind Unternehmen bekannt, die von vornherein die Behälter mit Rührwerkstechnik ausrüsten, die innen liegende Antriebsmotoren (Tauchmotorrührwerke) besitzt, als auch solche, die Rührwerke mit außen liegende Antriebsmotoren favorisieren.

Die dieser Auswahl innewohnende „Philosophie“ der Planer und Betreiber und die ständig stattfindenden Untersuchungen zu einer weiter verbesserten Gasausbeute wird es nicht gestatten, ausschließliches Augenmerk auf schalltechnische Aspekte bei der Auswahl der Rührwerkstechnik legen zu können. Es muss daher auch weiterhin vom Einsatz und der

Weiterentwicklung der auf dem Markt verfügbaren Rührwerke ausgegangen werden. Vielfach ist auch der kombinierte Einsatz von Rührwerken mit innerhalb und außerhalb der Behälter liegenden Antriebsmotoren in einer Biogasanlage vorzufinden.

(1) Innerhalb der Behälter liegende Antriebsmotoren

Es stehen Tauchmotorrührwerke zur Verfügung, bei denen sowohl das Rührwerk als auch der Antriebsmotor vollständig im Substrat eingetaucht sind. Deren Geräuschemissionen sind im Freibereich kaum wahrnehmbar und liegen damit wesentlich unterhalb der Pegelwerte, die von Rührwerken mit außen liegenden Antriebsmotoren verursacht werden. Hierzu liegen die Ergebnisse detaillierter messtechnischer Untersuchungen /18/ zu den Geräuschemissionen vor.

Daraus geht hervor, dass die bei den untersuchten Tauchmotorrührwerken mit einer Leistung von $17 \text{ kW}_{\text{el}}$ verursachten Geräuschemissionen i.d.R. nicht mehr messbar waren. Nur an 2 Standorten konnten - aufgrund eines ausreichend geringen Fremdgeräuschpegels am Anlagenstandort - überhaupt Geräuschemissionen wahrgenommen und gemessen werden. Die geringen Geräusche wurden über die Außenwand der Behälter abgestrahlt. Die ermittelten Geräuschemissionen lagen bei maximal $L_{\text{WA}} = 68 \text{ dB(A)}$. Die ausgewiesene Geräuschemission war damit so gering, dass empfohlen werden kann, die Schallemissionen und -immissionen von Tauchmotorrührwerken im Rahmen von Schallimmissionsprognosen für Biogasanlagen nicht weiter zu berücksichtigen.

(2) Außerhalb der Behälter liegende Antriebsmotoren

Als maßgebliche Geräuschquellen der Rührwerke mit außen am Gärbehälter liegenden Antriebsmotoren sind der Motor selbst sowie das installierte Getriebe zu benennen. Diese Art von Rührwerken weist dabei - je nach dem zum Einsatz kommenden Antriebsmotor - eine spezifische Geräuschemission auf.

Die Streuung der Schalleistungspegel beträgt nach durchgeführten Emissionsmessungen an insgesamt 15 verschiedenen Rührwerken $\Delta L_{\text{WA}} > 30 \text{ dB(A)}$. Der niedrigste Schalleistungspegel wurde im praktischen Betrieb mit $L_{\text{WA}} \approx 69 \text{ dB(A)}$ an einem Rührwerk der Fa. Streisal mit 50 % Last bestimmt. Das dabei emittierte Geräusch war insgesamt als breitbandig zu bezeichnen. Die höchsten Schalleistungspegel wurden bei 100 % Last im praktischen Betrieb mit $L_{\text{WA}} \approx 101 \text{ dB(A)}$ bestimmt, wobei das Anlagengeräusch jeweils einen deutlich wahrnehmbaren Einzelton aufwies. Der Großteil der untersuchten Rührwerke (Paddelrührwerke sowie Stabmischrührwerke) wies Schalleistungspegel zwischen $L_{\text{WA}} = 78$ und 83 dB(A) auf.

Bei einer Vielzahl von Anlagen werden die Rührwerke mit Frequenzumrichtern ausgestattet, so dass die notwendige Rührleistung dem Bedarf angepasst werden kann. Ein Vorteil dieser Betriebsweise ist der geringere Stromverbrauch und eine niedrigere Geräuschemission der sich im Teillastbetrieb befindlichen Rührwerke im Vergleich zum Volllastbetrieb.

Jedoch treten insbesondere beim Einsatz von Frequenzumrichtern oftmals emissionsseitig tonale Komponenten im Anlagengeräusch mit mittel- bzw. hochfrequenten Energieanteilen auf. Bei den untersuchten Paddelrührwerken wurden tonale Komponenten vor allem bei $f_{\text{Terz}} = 1 \text{ kHz}$, $f_{\text{Terz}} = 2 \text{ kHz}$, $f_{\text{Terz}} = 8 \text{ kHz}$ und $f_{\text{Terz}} = 16 \text{ kHz}$ ermittelt.

Bei einer Vielzahl untersuchter Biogasanlagen konnte durch geeignete Anordnung dieser Rührwerke mit außen liegenden Antriebsmotoren (z. B. im Schallschatten der Gärbehälter) die Auffälligkeit dieser (tonalen) Geräuschimmissionen in der Wohnnachbarschaft z. T. erheblich minimiert werden. Dies sollte im Zuge der Anlagenplanung berücksichtigt werden, zumal diese Schallschutzmaßnahme mit keinen zusätzlichen Kosten verbunden ist.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass für außen an den Behältern von Biogasanlagen zum Einsatz kommende Antriebsmotoren ein Schalleistungspegel von $L_{\text{WA}} \leq 80 \text{ dB(A)}$ dem Stand der Lärminderungstechnik entspricht. Dieser Wert kann im Einzelfall als „immissionswirksamer Schalleistungspegel“ auch durch den Einsatz von Schallschutzhauben und/oder durch eine schalltechnisch günstige Anordnung erreicht werden.

(3) Antriebe von hydraulischen Rührwerken

Der Einsatz von hydraulischen Rührwerken bringt bauartbedingt eine Reihe von Geräuschquellen, die nach den vorliegenden Erfahrungen zu zusätzlichen schalltechnischen Problemen führen können.

Die Aufstellung der Kompressoren - sofern dies innerhalb eines schalltechnisch wenig anspruchsvollen Gebäudes oder der Einhausung erfolgt - kann zusätzliche Probleme allein durch die auffälligen Geräusche mit tonalen Komponenten bringen, wenn schutzbedürftige Bebauung sich in freier Schallausbreitung und in geringen Abständen (z. B. $s \leq 200 \text{ m}$) befindet. Die Rohrleitungen, die von dort bis zu den Rührwerken geführt werden (vgl. Foto Nr. 19 in der ANLAGE 2), können einen Körperschalleintrag in die Verkleidung der Behälter der Biogasanlage zur Folge haben, was zu einer großflächigen (zumeist tonalen) Schallabstrahlung in die Nachbarschaft führen kann. Nicht zuletzt gehen auch von den Service-Schächten am oberen Behälterrund (sofern die Schächte nicht zusätzlich schallisoliert und verkleidet sind) Schallemissionen aus, die neben tonalen Komponenten auch deutlich tieffrequente Schallanteile aufweisen.

Derartige Rührwerkstechnik bei bauausgeführten Biogasanlagen ist nicht allzu häufig vorzufinden. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass sie hinsichtlich des Schallschutzes als besonders problematisch erscheinen und somit im Zuge der Planungen einer besonderen Prüfung zu unterziehen sind. Bei freier Schallausbreitung und in geringen Abständen zur nächsten schutzbedürftigen Bebauung wird eine vollständige Kapselung/Einhausung/Isolierung unverzichtbar sein. In besonders sensibler Umgebung sollte nach Möglichkeit auf den Einsatz dieser Technik verzichtet werden.

(4) Zusammenfassende Bewertung

Aus schalltechnischer Sicht ist der Einsatz von Tauchmotorrührwerken in den Behältern von Biogasanlagen zu empfehlen.

Tauchmotorrührwerke bestechen durch ihre sehr geringe Geräuschemission, d. h., sie bieten sich insbesondere für den Einsatz in Biogasanlagen an, deren Behälter in nur geringen Abständen zur nächstgelegenen schutzbedürftigen Bebauung vorgesehen werden.

Die Netto-Kosten von Tauchmotorrührwerken können, inklusive des erforderlichen Rührwerksmastes, an dem das Rührwerk befestigt und in seiner Betriebshöhe variiert werden kann, mit ca. 8.000 € bis 12.500 € pro Rührwerk (6,5 kW bis 17 kW elektrische Leistung) benannt werden.

Bei Paddelrührwerken ist mit Kosten um 17.000 € und für Großflügelrührwerke um 20.000 € zu rechnen. Lediglich für Stabmixrührwerke, mit denen Sink- und Schwimmschichten aufgerührt werden, entstehen mit nur ca. 10.000 € geringere Kosten, die in der gleichen Größenordnung wie für Tauchmotorrührwerke liegen.

Für Rührwerke mit außen an den Behältern der Biogasanlage liegenden Antriebsmotoren wird ein Schalleistungspegel von $L_{WA} \leq 80$ dB(A) als dem Stand der Lärminderungstechnik entsprechend angesehen.

4.3. Anlagenbezogener Fahrverkehr

Zu den Geräuschemissionen des anlagenbezogenen Fahrverkehrs werden hier lediglich kurze Einschätzungen getroffen.

Den anlagenbezogenen Fahrverkehr durch Lkw oder Traktoren beim Betrieb einer Biogas- und BHKW-Anlage stellen die zumeist nur saisonalen Antransporte der zu vergärenden Stoffe (z. B. Mais), die Abtransporte des vergorenen Substrates (außerhalb der Vegetationsperioden, zumeist im Frühjahr und im Herbst) sowie der innerbetriebliche Transport der zu vergärenden Stoffe mit einem Radlader dar. Diese Aktivitäten finden meistens nur im Tageszeitraum statt.

(1) Antransporte der zu vergärenden Stoffe

Die höchsten anteiligen Geräuschemissionen des anlagenbezogenen Fahrverkehrs im Zusammenhang mit dem Betrieb einer Biogas- und BHKW-Anlage stellen die Antransporte der zu vergärenden Stoffe (z. B. Mais) dar, die nur saisonal in der Erntezeit und zudem üblicherweise nur im Tageszeitraum (6 bis 22 Uhr) stattfinden. Die Zwischenlagerung erfolgt in entsprechend dimensionierten Fahrsiloanlagen.

Aufgrund der vorliegenden Erfahrungen ist in aller Regel (auch bei größeren Anlagen) im Maximum mit 100 Anfahrten durch Lkw oder Traktoren pro Tag zu rechnen. Wenn im Durchschnitt mit nur 10 Tonnen angelieferten Stoffen pro Fahrzeug gerechnet wird, beträgt die tägliche Gesamtmenge wenigstens 1.000 Tonnen.

Wenn vom Anlagenbetreiber keine belastbaren projektbezogenen Daten für Schallimmissionsprognosen zur Verfügung gestellt werden können, sollte mit der angegebenen Anzahl von Fahrbewegungen gerechnet werden.

In der Prognose sollten die Fahrgeräusche anhand der Emissionsansätze gem. /28/ berechnet werden. Beim Abkippen der Ladung von den Fahrzeugen werden diese in leicht erhöhter Leerlaufdrehzahl betrieben. Daraus resultieren zeitweise erhöhte Emissionen, die entsprechend zu berücksichtigen sind. Für einen Abkippvorgang kann eine Zeitdauer von 5 min angenommen werden. Qualitativ ist das Geräusch dem „Rangieren“ i. S. von /28/ gleichzusetzen.

Die Hauptgeräuschquelle stellt bei den benannten 100 Antransporten am Tag der ununterbrochene Betrieb eines Radladers (Verteilung der angelieferten Stoffe im Fahrsilo) und eines weiteren Fahrzeuges (Verdichtung der Stoffe im Fahrsilo) über den gesamten Tageszeitraum (6 bis 22 Uhr = 16 Stunden) dar. Für diese zumeist großen und schweren Fahrzeuge sollte ein Schallleistungspegel von jeweils $L_{WA} = 108 \text{ dB(A)}$ ¹ in der Prognose angesetzt werden.

¹ moderne Fahrzeuge erreichen Schallleistungspegel von $L_{WA} = 106 \text{ dB(A)}$

Abbildung 22: Blick auf die Befüllung einer Fahrsiloanlage mit gehäckseltem Mais



(2) Innerbetrieblicher Fahrverkehr

Der tägliche Antransport der zu vergärenden Feststoffe von der Fahrsiloanlage bzw. von weiteren Lagerstätten (z. B. für Getreide, Hühnerkotrocken u. Ä.) zum Feststoffeintrag erfolgt in aller Regel mit einem Radlader. Neben dem genannten Antransport der zu vergärenden Feststoffe wird der Radlader eine bestimmte Zeit in der Nähe des Feststoffeintrages tätig sein, um diesen mit den Feststoffen zu beschicken.

Für den Radlader sollte in Schallimmissionsprognosen nach den Angaben der Fachliteratur ein Schalleistungspegel von

$$L_{WA} = 108 \text{ dB(A)}$$

angesetzt werden.

Nach Erfahrungswerten ist bei kleineren Anlagen mit wenigstens 1 Stunde Radladerbetrieb innerhalb der Tageszeit (6 bis 22 Uhr) zu rechnen, bei größeren Anlagen kann die Betriebszeit des Radladers bis zu 4 Stunden betragen.

(3) Ausbringung des vergorenen Substrates

Die Ausbringung des vergorenen Substrates erfolgt üblicherweise außerhalb der Vegetationsperioden im Frühjahr und im Herbst mit Tankfahrzeugen.

Aufgrund der vorliegenden Erfahrungen ist in aller Regel (auch bei größeren Anlagen) im Maximum mit 40 Abtransporten pro Tag zu rechnen.

Die Fahrgeräusche der Tankfahrzeuge sollten in einer Schallimmissionsprognose anhand der Emissionsansätze gemäß /28/ berechnet werden. Die bei der Befüllung der Tankfahrzeuge durch die Verdränger- oder Kreiselpumpe auftretenden Geräusche sind in angemessener Weise zu berücksichtigen. Erfahrungsgemäß genügt der Ansatz von „Rangiergeräuschen“ i. S. von /28/ für 10 min je Tankvorgang.

(4) Geräusche des An- und Abfahrtverkehrs auf öffentlichen Straßen außerhalb des Anlagengeländes

Nach Nr. 7.4 Abs. 2 der TA Lärm /5/ sind Geräusche des An- und Abfahrtverkehrs auf öffentlichen Straßen in einem Abstand von bis zu 500 m vom Anlagengrundstück nicht gemeinsam mit den Geräuschen der Anlage zu ermitteln und zu bewerten. Diese Geräusche sollen durch Maßnahmen organisatorischer Art soweit wie möglich vermindert werden, wenn

- sie den Beurteilungspegel der Verkehrsgeräusche für den Tag oder die Nacht rechnerisch um mindestens 3 dB(A) erhöhen,
- keine Vermischung mit dem übrigen Verkehr erfolgt ist,
- die Immissionsgrenzwerte der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) /31/ erstmals oder weitergehend überschritten werden.

Die Beurteilungspegel für den Straßenverkehr auf öffentlichen Straßen sind nach den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS-90 /32/ zu berechnen.

Aus Sicht der Nachbarn in den zu einer Biogasanlage nächstgelegenen Ortschaften gehen oftmals - und dies zeigen die Ergebnisse von Erörterungsterminen im Zuge von Genehmigungsverfahren für Biogasanlagen immer wieder - von den Geräuschen des An- und Abfahrtverkehrs durch Lkw oder Traktoren auf den öffentlichen Straßen, die ihren Ort durchqueren, die größten Störwirkungen aus.

Es ist deshalb bei der Erstellung von Schallimmissionsprognosen dringend erforderlich, die Beurteilung der dem Anlagenbetrieb zuzurechnenden Geräusche deutlich von den Beurteilungsverfahren gem. Nr. 7.4 TA Lärm abzugrenzen. Die voraussichtliche Entwicklung des der Anlage zuzurechnenden Verkehrs auf öffentlichen Straßen ist darüber hinaus nachvollziehbar darzustellen. Lediglich pauschale Aussagen, dass keine diesbezüglichen schalltechnischen Probleme auftreten können, sind nicht ausreichend.

5. Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der vorliegenden Studie

a) Auswahl des BHKW-Motors

- Die Größe des BHKW im Hinblick auf die elektrische Leistung wird ausschließlich an der zur Verfügung stehenden Menge an Biogas bemessen, die von der Biogaserzeugungsanlage voraussichtlich bereitgestellt wird.
- Die Auswahl der hierfür verfügbaren Motoren muss nicht vorrangig unter schalltechnischen Gesichtspunkten erfolgen, weil die Spanne der Schalleistungspegel für das Maschinengeräusch im Hinblick auf alle übrigen im Folgenden dargestellten Aspekte eher gering ist. Verfügbare finanzielle Mittel sollten daher eher in deutlich verbesserte bauliche Hüllen oder schalltechnisch optimierte Nebenaggregate investiert werden, womit ein viel größeres Lärminderungspotential erreicht werden kann.
- Die derzeit verfügbaren BHKW-Module mit einer elektrischen Leistung im untersuchten Bereich $190 \text{ kW} \leq P_{el.} \leq 800 \text{ kW}$ weisen Schalleistungspegel von $103 \text{ dB(A)} \leq L_{WA} \leq 117 \text{ dB(A)}$ und damit eine Spannweite von 10 dB auf, die nahezu ausschließlich von der Höhe der elektrischen Leistung abhängig ist.

b) Schallabsorbierende Auskleidung des BHKW-Raumes

- Ob und wie eine Auskleidung des BHKW-Raumes vorgenommen wird, ist von deutlich größerer Bedeutung für die Schallabstrahlung der baulichen Hülle eines BHKW in die Nachbarschaft. Schließlich kann hierdurch der sich bei gleichem Schalleistungspegel des Aggregates im BHKW-Raum einstellende Innenraumpegel - ausgehend von einer schallharten Ausführung - bis zur vollständigen schallabsorbierenden Auskleidung um einen Wert von $\Delta L = 10 \text{ dB}$ vermindern.

Standard-Stahlblech-Container:

Hier gehört eine vollständig schallabsorbierende Auskleidung zum allgemein üblichen Lieferumfang. Schließlich handelt es sich um Typen mit einer besonders hohen Schallabstrahlung, der - außer mit einer schallabsorbierenden Auskleidung - kaum entgegengewirkt werden kann. Eine Ausführung von Standard-Stahlblech-Containern mit schallharten Innenraumoberflächen ist erfahrungsgemäß eher die Ausnahme.

Super-Silent-Stahlblech-Container:

Da Maßnahmen zur Lärmreduzierung an Stahlblech-Containern ohnehin in einem nur begrenzten Umfang möglich sind, gehört eine vollständig schallabsorbierende Auskleidung zwingend zum Gesamt-Umfang der Lärmierungsmaßnahmen (vgl. Anstrich b) im Punkt 4.1.2.).

Beton-Schallhaube:

Aufgrund der wesentlich höher bewerteten Schalldämm-Maße der Außenbauteile gegenüber Stahlblech-Containern sind in der Praxis sowohl BHKW mit als auch ohne schallabsorbierende Auskleidung vorzufinden. Die etwa 8.000 € teure Auskleidung gemäß dem Stand der Technik zur Lärminderung sollte zumindest an Standorten unter 10 m Abstand zu schutzbedürftiger Bebauung zwingend vorgesehen werden.

Massive Gebäude (ein- oder zweischalig):

Aufgrund der weiter erhöhten bewerteten Schalldämm-Maße der Außenbauteile gegenüber Beton-Schallhauben sind BHKW-Räume mit schallabsorbierenden Auskleidungen eher in der Minderzahl vorzufinden. Die Auskleidung sollte an Standorten unterhalb von 25 ... 50 m Abstand zu schutzbedürftiger Bebauung dennoch vorgesehen werden.

c) Auswahl einer geeigneten baulichen Hülle für das BHKW

- Insbesondere hinsichtlich der baulichen Hülle, aber auch in Bezug auf die Außengeräuschquellen der BHKW-Anlage, hat sich nach den Ergebnissen von Standortanalysen gemäß dem vorangegangenen Anstrich b) eine Einteilung von BHKW-Anlagen in 3 Kategorien als zweckmäßig erwiesen.

Stahlblech-Container in Standard- oder Normalausführungen, Kategorie „3“:

- Einsatz bei größeren Abständen zur schutzbedürftigen Bebauung ($s > 200$ m) und bei geringen schalltechnischen Anforderungen

Stahlblech-Container in Super-Silent-Ausführung bzw. Beton-Schallhauben, Kategorie „2“:

- Einsatz bei geringeren Abständen zur schutzbedürftigen Bebauung ($50 \text{ m} < s \leq 200$ m) und bei deutlich erhöhten schalltechnischen Anforderungen

Massive Gebäude (mit ein- oder sogar zweischaligen Außenwänden), Kategorie „1“:

- Einsatz bei sehr geringen Abständen ($10 \text{ m} \leq s \leq 50$ m) zur schutzbedürftigen Bebauung und bei höchsten schalltechnischen Anforderungen
- Als wesentliches Ergebnis der vorliegenden Studie ist zu konstatieren, dass die Kostenunterschiede zwischen den verschiedenen Lösungen - im Gegensatz zu der immer noch allgemein verbreiteten Auffassung - nur gering sind. Mit einem überschaubaren Mehraufwand kann die BHKW-Anlage in einer schalltechnisch deutlich verbesserten Variante aufgestellt werden.

d) Auswahl geeigneter Kulissenschalldämpfer für die Zu- und Abluftstrecken

- Die Auswahl der Kulissenschalldämpfer für die Zu- und Abluftstrecken sollte auf kombinierte Absorber- und Resonanzkulissen gelenkt werden, die um nur 10 % höhere Kosten aufweisen und auch im tieffrequenten Bereich - wenngleich nur geringe - Verbesserungen bringen.
- Eine Mindestlänge der Schalldämpfer von $s = 1$ m sollte bei allen Anlagen vorgesehen werden, was Mehrkosten von ca. 350 € gegenüber den oftmals noch vorzufindenden 0,5 m langen Dämpfern bedeutet.
- Bei anspruchsvollen Anlagen sollten die Dämpfungslängen auf $s = 3 \dots 4$ m Länge erhöht werden, was gegenüber der geforderten Mindestlänge von $s = 1$ m Mehrkosten von 2.000 € bis 3.000 € bedeutet.
- Die Einfügungsdämpfungen D_E für $f = 250$ Hz betragen bei 1 m langen Dämpfern etwa 15 dB und steigen bei 3 ... 4 m langen Dämpfern auf 35 bis 45 dB an.

e) Auswahl geeigneter Abgas-Schalldämpfersysteme für das BHKW

- Zumindest in der Vergangenheit stellte die Abgasmündung des Verbrennungsmotors die immissionsschutzrechtlich problematischste Schallquelle dar. Der zumeist tieffrequente tonale Schall wird durch ein Schalldämpfersystem in Form eines einzelnen Absorptionsschalldämpfers nur unzureichend bedämpft in die Umgebung abgestrahlt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass ein einzelner Schalldämpfer, selbst wenn es sich um einen kombinierten Absorptions-/Resonanzschalldämpfer handelt, nicht ausreicht, den Schutz der Nachbarschaft gerade bei geringen Abständen zwischen BHKW und Wohnbebauung zu gewährleisten. Dies gilt sowohl hinsichtlich der Bedämpfung des A-bewerteten Geräusches als auch des linearen tieffrequenten Schalls, insbesondere für die Terz, in der die Zündfrequenz des Motors liegt.
- Damit auch weiterhin schalltechnische Probleme im Zusammenhang mit dem (tieffrequenten) Abgasschall immer mehr die Ausnahme bleiben, muss an einer ausreichenden Lärmvorsorge hinsichtlich der BHKW-Abgasstrecke zwingend festgehalten werden.
- Die Kosten eines aus 2 Schalldämpfern bestehenden Systems für ein BHKW-Modul mit einer elektrischen Leistung von 400 kW, das dem Stand der Lärminderungstechnik entspricht, sind mit ca. 12.000 € anzusetzen. Die Mehrkosten für ein um nahezu 10 dB verbessertes System, das allerhöchsten Ansprüchen genügt, sind mit ca. 3.000 € eher gering.
- Auch die Lärmsanierung von bestehenden BHKW-Abgasstrecken ist hinsichtlich des tieffrequenten Abgasschalls völlig problemlos möglich. Hier wird allerdings ausnahmslos der Einsatz von Resonanzschalldämpfern in Frage kommen, da diese kaum Druckverluste aufweisen. Die Auswahl bzw. die Dimensionierung des nachträglich einzubauenden Dämpfers muss anhand des im Vorfeld aus Messungen ermittelten Terzfrequenzspektrums des Schalleistungspegels erfolgen.

f) Auswahl geeigneter Not- und/oder Gemischkühler für das BHKW

- Neue Erkenntnisse brachte die Untersuchung der auf dem Markt verfügbaren Rückkühler, deren Schalleistungspegel sehr weit streuen und im Bereich $50 \text{ dB(A)} \leq L_{WA} \leq 100 \text{ dB(A)}$ liegen. Die Kostenunterschiede zwischen Rückkühlern mit „hoher“ und „mittlerer“ Geräuschentwicklung sind allerdings mit ca. 6 % so gering, dass grundsätzlich nur noch Rückkühler mit einem Schalleistungspegel $L_{WA} < 85 \text{ dB(A)}$ zum Einsatz gebracht werden sollten.
- Für höchste schalltechnische Anforderungen stehen Rückkühler zur Verfügung, deren Schalleistungspegel im Bereich $55 \text{ dB(A)} \leq L_{WA} \leq 65 \text{ dB(A)}$ nachts liegen.

g) Aussagen zu den übrigen Schallquellen einer BHKW-Anlage

- Werden BHKW-Anlagen inkl. Abgaswärmeaustauscher, Abgasverrohrung, Schalldämpferkörper und Gasdruckerhöhungsgebläse in einem massiven Gebäude installiert, können die Geräusche dieser Nebeneinrichtungen immissionsseitig vernachlässigt werden.

h) Auswahl geeigneter Feststoff-Dosierer für Biogas-Anlagen

- Von einer Einhaltung des Standes der Technik zur Lärminderung kann dann gesprochen werden, wenn der Schalleistungspegel von Feststoffdosierern $L_{WA} \leq 90 \text{ dB(A)}$ beträgt.

i) Auswahl geeigneter Rührwerkstechnik für Biogas-Anlagen

- Aus schalltechnischer Sicht ist der Einsatz von Tauchmotorrührwerken in den Behältern von Biogasanlagen zu empfehlen, da sie durch sehr geringe Geräuschemissionen bestechen.

6. Allgemeine Hinweise

In diesem Punkt sollen allgemeine Hinweise zur Planung und Auslegung von Biogas- und BHKW-Anlagen für den Bauherrn, die Planer, die zuständigen Behörden und die Hersteller gegeben werden:

Die Planung von Biogas- und BHKW-Anlagen erfolgt zumeist durch spezielle Anlagenplaner, die in Abstimmung mit einer Reihe verschiedener Fachplaner das Projekt entwickeln und bis zur Genehmigungsreife führen.

Für solche Vorhaben werden von den zuständigen Genehmigungsbehörden regelmäßig Schallimmissionsprognosen gefordert, die Aussagen treffen sollen, ob und in welchem Maß von der geplanten Anlage sowie vom anlagenbezogenen Fahrverkehr auf dem Grundstück der Anlage schädliche Umwelteinwirkungen in Form von erheblichen Belästigungen durch Geräusche in der Nachbarschaft zu erwarten sind und welche Schallschutzmaßnahmen sich eignen, eine Belästigung der Nachbarschaft auszuschließen.

Es sollte durch die zuständigen Behörden in einer Antragskonferenz das frühzeitige Einbeziehen eines Schallplaners empfohlen und der Bauherr bzw. der Planer auf die ausreichende Berücksichtigung der Belange des Schallimmissionsschutzes hingewiesen werden.

In diesem Zusammenhang sollte vorsorglich dargestellt werden, dass eine nachträgliche Lärmsanierung aufwendiger und kostenintensiver als eine Lärmvorsorge und zudem vielfach nicht mehr geeignet ist, den Schallimmissionsschutz der Nachbarschaft vollumfänglich sicherzustellen.

6.1. Standortanalyse für eine Biogas- und/oder BHKW-Anlage aus schalltechnischer Sicht

Von ausschlaggebender Bedeutung im Hinblick auf den anzustrebenden Lärmschutz einer Biogas- und BHKW-Anlage ist eine detaillierte Ortsbesichtigung des Schallplaners im Vorfeld seiner Berechnungen und Bewertungen hinsichtlich:

- der Abstände der in allen Richtungen nächstgelegenen schutzbedürftigen Bebauung von der zu planenden Anlage
- der Höhe der Schutzansprüche der Nachbarschaft (z. B. Gebietseinstufung gemäß einem für die Nachbarschaft vorliegenden Bebauungsplan bzw. gemäß der tatsächlichen baulichen Nutzung, sofern kein B-Plan vorliegt)
- der Festlegung der im Sinne von Nr. 2.3 der TA Lärm /5/ maßgeblichen Immissionsorte
- der bestehenden Geräusch-Vorbelastung an den maßgeblichen Immissionsorten
- des zu erwartenden schalltechnischen Konfliktpotentials

Im Ergebnis der Standortanalyse sollte festgelegt werden, wie die Aufstellung des BHKW erfolgen soll, d.h., wie dessen bauliche Hülle vorzusehen ist.

Erst danach sollten die Anforderungen an die höchstzulässigen Schallemissionen der verschiedenen Teil-Schallquellen im Rahmen der zu erarbeitenden Schallimmissionsprognose festgelegt werden.

Im Rahmen eines Gesamt-Paketes „Schallimmissionsschutz“ hat es schließlich wenig Sinn, für einen „lauten“ BHKW-Stahlblech-Container in Standardausführung z. B. anspruchsvolle Kulissenschalldämpfer für die Zu- und Abluftstrecke zu planen, so dass die Schalleistungspegel der beiden Mündungsöffnungen sehr weit unterhalb des von der baulichen Hülle der BHKW-Anlage verursachten Schalleistungspegels liegen.

Ebenso ist es wenig sinnvoll, das BHKW in einem massiven zweischaligen Gebäude zu errichten, von dem eine vernachlässigbar geringe Schallabstrahlung erfolgt, gleichzeitig aber für die Zu- und Abluftöffnungen solche Schalleistungspegel zuzulassen, die sehr weit oberhalb der Gebäudeabstrahlung liegen (siehe hierzu Vorschläge zu den Schalleistungspegeln der verschiedenen Geräuschquellen in der Tabelle 5 im Punkt 7.).

6.2. Spezielle Aufgabenstellung einer detaillierten Schallimmissionsprognose

- a) Es müssen die für den geplanten Betrieb der konkreten Biogas- und BHKW-Anlage maßgeblichen Geräuschquellen ermittelt werden. Für diese Quellen sind die Geräuschemissionen aus Datenblättern, aus Messungen an vergleichbaren Anlagen oder aus Angaben der Fachliteratur zu bestimmen.

Es sollte deshalb vorzugsweise eine solche Anlagentechnik zum Einsatz vorgesehen werden, für die detaillierte Schalldaten verfügbar sind. Nur dann kann sichergestellt werden, dass eine Auswahl geeigneter Anlagentechnik anhand der in der vorliegenden Studie benannten Grenzen der Schallemissionen erfolgen kann, die den „Stand der Technik zur Lärminderung“ bei Biogas- und BHKW-Anlagen darstellen.

- b) Durch eine detaillierte Prognose im Sinne des Punktes A.2 der TA Lärm /5/ sind über eine Schall-Ausbreitungsrechnung mit Hilfe eines digitalen akustischen Berechnungsmodells die Geräuschimmissionen an den maßgeblichen Immissionsorten in der Nachbarschaft der geplanten Anlage zu ermitteln.
- c) Die ermittelten Ergebnisse sind unter Anwendung der gültigen Gesetze, Verwaltungsvorschriften und Richtlinien des Immissionsschutzes einer Lärmbeurteilung zu unterziehen.
- d) Für Emissionssituationen, bei denen mit erheblichen Belästigungen durch die Geräusche von der geplanten Biogas- und/oder BHKW-Anlage in der Nachbarschaft zu rechnen ist, muss das Gutachten Vorschläge für geeignete Maßnahmen zum Schallimmissionsschutz unterbreiten.
- e) Dabei ist die Beachtung der tieffrequenten Schallanteile (vgl. auch Punkte 1.3. und 4.1.5.) von wesentlicher Bedeutung. Im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern existieren dazu die „Hinweise zur Genehmigung und Überwachung von Biogasanlagen“ /26/ vom 31.08.2012, die eine Handlungsanleitung geben, wie der tieffrequente Schallimmissionsschutz - allerdings nur für die Abgasmündungen von BHKW-Anlagen - sichergestellt werden kann.

Bei Genehmigungsbehörden eingereichte Schallimmissionsprognosen, in denen eine derartige Prüfung nicht vorgenommen wurde mit der Begründung, dass in Deutschland bislang „... kein verbindliches Prognoseverfahren für tieffrequente Geräuschimmissionen existiere ...“, sollten zurückgewiesen werden.

Ogleich diese Aussage formal zutreffend ist, darf nicht übersehen werden, dass seit nunmehr etwa 13 Jahren die Problematik „tieffrequenter Schall“ bei BHKW-Anlagen aufgrund der Ergebnisse von Abnahmemessungen und einer Vielzahl diesbezüglicher Lärmbeschwerden aus der Nachbarschaft errichteter Biogas- und BHKW-Anlagen hinreichend bekannt ist. Insofern ist es die gutachterliche Pflicht, den Bauherrn auch zu diesem Problemkreis bereits im Vorfeld der Errichtung einer Biogas- und BHKW-Anlage zu beraten und im Rahmen der schalltechnischen Planungen hierzu geeignete Vorsorgemaßnahmen zu treffen.

Zudem sind gerade bei BHKW-Anlagen aufgrund einer Vielzahl diesbezüglich durchgeführter Lärmsanierungsmaßnahmen nach Inbetriebnahme von BHKW-Anlagen die technischen Möglichkeiten zur Vermeidung tieffrequenter Schallprobleme hinreichend bekannt, so dass diese bereits im Planungsstadium vorgesehen und bei der Bauausführung umgesetzt werden können. Damit werden auch die Kosten für den Bauherrn minimiert, weil die Realisierung nachträglicher Schallschutzmaßnahmen höhere Aufwendungen verursacht als deren Realisierung bereits im Zuge der Errichtung der Anlage.

Mit einer Verletzung der zusätzlichen Anforderungen der DIN 45680 hinsichtlich der tieffrequenten Schallimmissionen bei BHKW-Anlagen ist vor allem dann zu rechnen, wenn unzureichend dimensionierte Abgasschalldämpfer zum Einsatz kommen bzw. auch dann, wenn in geringen Abständen zur Wohnnachbarschaft schalltechnisch wenig anspruchsvolle bauliche Hüllen - Stahlblech-Container - errichtet werden (siehe Punkt 4.1.2.).

Wenn kleinere BHKW innerhalb von Gebäuden mit schutzbedürftigen Nutzungen untergebracht werden, ist oftmals einzig und allein die tieffrequente Körperschallübertragung von Bedeutung, so dass die erforderlichen Schallschutzmaßnahmen an der BHKW-Anlage und die im Genehmigungsbescheid festzusetzenden immissionsschutzrechtlichen Nebenbestimmungen in vielen solcher Fälle ausnahmslos auf den tieffrequenten Schallschutz (und insbesondere die erforderliche Körperschallentkopplung) abgestellt werden müssen.

Der tieffrequente Schallschutz wird deshalb zukünftig - insbesondere bei BHKW-Anlagen in unmittelbarer Nähe zu schutzbedürftiger Bebauung - nicht nur allein auf den Abgasschall, sondern auf die Gesamtanlage abgestellt werden müssen. Der Schallschutz der Abgasstrecke kann weiterhin durch quantitative Festsetzungen erfolgen, der Schallschutz für die genannten übrigen Anlagenteile, die ebenfalls anteilig oder dominierend tieffrequenten Schall emittieren, kann nur über qualitative Vorgaben sichergestellt werden, die insbesondere der Art der baulichen Hülle der BHKW-Anlage und die Maßnahmen zur Körperschallentkopplung betreffen (siehe hierzu Tabelle 5, Spalte 5 im Punkt 7).

7. Empfehlungen zur Auslegung von Biogas- und BHKW-Anlagen

Im Folgenden werden grundsätzliche Aussagen zur Auslegung von Biogas- und insbesondere von BHKW-Anlagen getroffen und Vorschläge zu den schalltechnischen Rahmenbedingungen für die verschiedenen Teil-Schallquellen unterbreitet. Darüber hinaus werden eine Reihe weiterer qualitativer Maßnahmen genannt, die bei der Planung, bei der Bauausführung und beim Betrieb solcher Anlagen Beachtung finden sollten, um immissionsschutzrechtliche Probleme im Nachhinein soweit wie möglich zu vermeiden. Es wird auf Folgendes hingewiesen:

- Die folgenden Aussagen sind allgemeiner Art und kennzeichnen nur den Rahmen der Anforderungen an die Anlage gemäß dem gewählten Anlagenstandort. Sie ersetzen nicht die Erarbeitung einer detaillierten Schallimmissionsprognose für die konkret zu planende Anlage an dem konkret ins Auge gefassten Standort.

Es sind Abweichungen nach oben oder unten sowohl für die jeweiligen Teil-Schallquellen als auch für die gesamte Biogas- und/oder BHKW-Anlage im konkreten Einzelfall denkbar.

- Die Probleme mit tieffrequentem Schall von Abgasmündungen haben sich durch den Einsatz geeigneter Schalldämpfer zahlenmäßig zwar immer weiter reduziert, aber mit dem Heranrücken von BHKW-Anlagen (z. B. als Satelliten-BHKW) an schutzbedürftige Bebauung haben sich auch andere Geräuschquellen (insbesondere die bauliche Hülle des BHKW - vor allem bei BHKW-Stahlblechcontainern) herausgestellt, die maßgebliche tieffrequente Schallanteile in der Wohnnachbarschaft verursachen können.

Eine Festsetzung konkreter quantitativer (Zahlen-) Werte im Genehmigungsbescheid - wie bei der BHKW-Abgasmündung - wird allerdings kaum möglich sein. Es sollten lediglich Aussagen qualitativer Art zu den im Einzelfall zu ergreifenden Maßnahmen zum Luft- und/oder Körperschallschutz an den übrigen Anlagenteilen von BHKW-Anlagen getroffen werden.

In der folgenden Tabelle 5 werden Empfehlungen für an BHKW-Anlagen zu stellende schalltechnische Anforderungen in Abhängigkeit von der Sensibilität des Aufstellungsortes unterbreitet.

Tabelle 5: Empfehlungen für an **BHKW-Anlagen** zu stellende schalltechnische Anforderungen in Abhängigkeit von der Sensibilität des geplanten Aufstellungsortes

Sensibilität des Umfeldes Abstände zur schutzbedürftigen Nutzung in der Nachbarschaft (WA)	Mindestanforderung an die bauliche Hülle des BHKW (siehe Punkt 6.1.2)	Gesamt-Schalleistungspegel der BHKW-Anlage in dB(A) höchstens	empfohlene höchstzulässige Schalleistungspegel L_{WA} in dB(A)	Weitere Maßnahmen
wenig sensibel BHKW-Anlage der „Klasse 3“ (mehr als 200 m Abstand zur nächsten Wohnbebauung WA)	Standard-Container $R'_W = 20 \dots 24$ dB	85 ... 95	82 ... 92 für die Containerwände 74 ... 84 für die Zuluft 74 ... 84 für die Abluft 80 für die Abgasmündung ¹⁾ 73 für den Notkühler 73 für den Gemischkühler	<ul style="list-style-type: none"> - körperschallentkoppelte Aufstellung des BHKW (Einsatz von Gummimetalldämpfern oder Sylomerstreifen, besser Stahlfedern) - innenseitige schallabsorbierende Auskleidung des BHKW-Raums - große Biegeradien der Stromkabel
sensibel BHKW-Anlage der „Klasse 2“ (50 m bis 200 m Abstand zur nächsten Wohnbebauung WA)	Betonschallhaube $R'_W = 47 \dots 58$ dB	78 ... 82	76 für die Beton/Containerwand 68 für die Zuluft 70 für die Abluft 70 für die Abgasmündung ¹⁾ 73 für den Notkühler ²⁾ 73 für den Gemischkühler ²⁾	<ul style="list-style-type: none"> - körperschallentkoppelte Aufstellung des BHKW (mindestens Einsatz von Stahlfedern, besser Luftfedern) - innenseitige schallabsorbierende Auskleidung des BHKW-Raums - große Biegeradien der Stromkabel - körperschallentkoppelte Befestigung aller Rohrleitungen - körperschallentkoppelte Aufstellung/Befestigung der Schalldämpferkörper (ggf. zusätzliche Isolierung der Schalldämpferkörper) - Kapselung der zusätzlichen Geräuschquellen (z. B. Abgaswärmetauscher)
	Super-Silent-Stahlblech-Container $R'_W \approx 28$ dB			
äußerst sensibel BHKW-Anlage der „Klasse 1“ (10 m bis 50 m Abstand zur nächsten Wohnbebauung WA)	Schalldämm-Maß der Außenwände von $R'_W \geq 55$ dB (einschalig) $R'_W \geq 60$ dB (zweischalig)	≤ 75 ³⁾	65 für das Gebäude 65 für die Zuluft 65 für die Abluft 61 für die Abgasmündung ¹⁾ 65 für den Notkühler ²⁾ 65 für den Gemischkühler ²⁾	<ul style="list-style-type: none"> - BHKW auf eigenen (Zwischen-) Fundament, entkoppelt vom übrigen Fußboden - zusätzliche Entkopplung des Fußbodens zu den Wänden - körperschallentkoppelte Aufstellung des BHKW vom Fundament (mindestens Einsatz von Stahlfedern, besser Luftfedern) - körperschallentkoppelte Befestigung der Schalldämpferkörper im Gebäude - körperschallentkoppelte Befestigung aller Rohrleitungen - große Biegegraden der Verkabelung (insbesondere Stromkabel zum Generator) - Aufstellung von zusätzlichen Geräuschquellen innerhalb des Gebäudes (z. B. Abgaswärmetauscher, Abgasverrohrung, Schalldämpferkörper und Gasdruckerhöhungsgebläse) - innerseitige schallabsorbierende Auskleidung des BHKW-Raums
	Schalldämm-Maß der Decke $R'_W = 54$ dB (d = 20 cm) $R'_W = 57$ dB (d = 25 cm)			

¹⁾ Die Berechnung der Anforderungen an den tieffrequenten Schallschutz der Abgasmündung sollte gemäß Punkt 5. e) durchgeführt werden.

²⁾ Die genannten Werte beziehen sich auf die lauteste Nachtstunde (27 °C Außentemperatur im Zeitraum von 22 bis 23 Uhr, vgl. dazu Angaben im Punkt 4.1.6.).

³⁾ Eine erhöhte Schallabstrahlung durch den Baukörper muss durch die genannten zusätzlichen Maßnahmen zum Körperschallschutz ausgeschlossen werden

LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ „Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge“ (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002, BGBl. I S. 3830, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2013, BGBl. I S. 734
- /2/ 4. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997; BGBl I, S. 504, zuletzt geändert am 2. Mai 2013, BGBl. I S. 973
- /3/ Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22. Juli 2011 (BGBl. I S. 1509)
- /4/ Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (BauNVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.01.1990 (BGBl. I S. 132), zuletzt geändert durch das Gesetz zur Erleichterung von Investitionen und der Ausweisung und Bereitstellung von Wohnbauland (Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz) vom 22. April 1993 (BGBl. I S. 466)
- /5/ Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA LÄRM) vom 26.08.1998 GMBI. 1998, S. 503
- /6/ „Zusammenstellung von Fragen zur TA Lärm 98, Stand 08.03.2000“
erarbeitet vom Unterausschuss „Lärmbekämpfung“ in Abstimmung mit dem Unterausschuss „Recht“ des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI), vom LAI in seiner 99. Sitzung vom 10. bis 12. Mai 2000 zur Kenntnis genommen und zur Anwendung in den Ländern empfohlen
- /7/ DIN 1333, „Zahlenangaben“, Ausgabe Februar 1992
- /8/ DIN EN ISO 3744, Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene, Ausgabe Februar 2011
- /9/ DIN 45635, Teil 47 „Geräuschmessung an Maschinen; Luftschallemission, Hüllflächen-Verfahren; Schornsteine“, Ausgabe Juni 1985
- /10/ DIN 45680, „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft“, Ausgabe März 1997
- /11/ DIN 45680 Beiblatt 1, „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft, Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen“, Ausgabe März 1997

- /12/ DIN 45680, „Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen“, Entwurf 2013 und Beiblatt 1 zu DIN 45680
- /13/ DIN 45681, „Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen“, Ausgabe März 2005
- /14/ DIN ISO 9613-2, Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien“ Entwurf September 1997
- /15/ VDI 2571, „Schallabstrahlung von Industriebauten“, Ausgabe August 1976
- /16/ DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise“ Ausgabe November 1989
- /17/ Blockheizkraftwerke: Stand der Lärminderungstechnik und Probleme durch tieffrequente Geräusche, Fa. Müller BBM GmbH, 2-seitige Zusammenfassung des Vortrags für die DAGA 2010 in Berlin, Verfasser: Böhm, Wolfgang; Danner, Josef
- /18/ „Messtechnische Ermittlung der Geräuschemissionen von Feststoffeinträgen und Rührwerken der Fa. MT-Energie GmbH & Co. KG für Biogasanlagen“ Gutachten Nr. 18510 vom 07.07.2010, Ing.-Büro für Lärmschutz Förster & Wolgast Chemnitz, im Auftrag der Fa. MT-Energie GmbH & Co. KG aus 27404 Zeven
- /19/ Untersuchung der Eigenschaften von tieffrequenten Geräuschemissionen bei Blockheizkraftwerken (BHKWs) zur Formulierung spezifischer Nebenbestimmungen des tieffrequenten Lärmschutzes im baurechtlichen und immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren. - 2009. - 83 S., Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Mathematik, Physik, Informatik, Diplomarbeit, 2009, Verfasser: Träger, Thomas
- /20/ Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen, Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg, Stand Februar 2011
- /21/ Schalldämpfer in Raumluftechnischen Anlagen, Effektiver Schallschutz durch Einsatz von Resonanzschalldämpfern, Dipl. Ing. D. Niehoff, BerlinerLuft. Unternehmensgruppe
<http://www.rlt-eraete.de/joomla/images/pdf/blks%20resonanzschalldaempfer%20in%20rltgeraete.pdf>
- /22/ Aufbau von Energieanlagen mit Gas- und Dieselmotor-Antrieb (Planungs- und Montagehinweise), 266 S., Fa. MWM GmbH, Carl-Benz-Straße 1, 68167 Mannheim, Stand Juni 2011
- /23/ Dr. Bauer, C.O.: Notwendiges Wissen vom Recht für Prüfeningenieure, DACH Zeitung Fachbeiträge Juni 1999
- /24/ Hansmann, Klaus: TA Lärm Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm Kommentar, Verlag C.H.Beck München 2000

- /25/ Wolfram Müller-Wiesenhaken, Leipzig; Dr. Rainer Kubicek, Chemnitz: Tieffrequenter Schall als zu bewältigender Konflikt u.a. bei der Genehmigung von Biogasanlagen und Blockheizkraftwerken in der Nachbarschaft zu Wohnbebauung, Zeitschrift für deutsches und internationales Bau- und Vergaberecht Heft 03/22/11
- /26/ „Hinweise zur Genehmigung und Überwachung von Biogasanlagen in Mecklenburg-Vorpommern - Anforderungen zur Vermeidung und Verminderung von Gerüchen, Lärm und sonstigen Emissionen, Vorsorge vor sonstigen Gefahren, Zuständigkeiten“ mit der Anlage 4: „Überschlägige Prognose und Beurteilung der tieffrequenten Schallimmissionen des BHKW-Abgaskamins im Freien - Hinweise für die Genehmigung und Überwachung“, Erlass des Ministeriums für Wirtschaft, Bau und Tourismus des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern vom 30.09.2009, geändert am 31.08.2012
- /27/ Kubicek, Rainer: Vorkommen, Messung Wirkung und Bewertung von extrem tieffrequentem Schall einschließlich Infraschall in der kommunalen Wohnumwelt, Zwickau, Technische Hochschule, Dissertation A, 1989
- /28/ „Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemissionen durch Lastkraftwagen auf Betriebsgeländen von Frachtzentren, Auslieferungslagern, Speditionen und Verbrauchermärkten sowie weiterer typischer Geräusche insbesondere von Verbrauchermärkten“
Untersuchungsbericht der RWTÜV Systems GmbH (Unternehmensgruppe TÜV Nord), Essen, aus dem Jahre 2005, im Auftrage der Hessischen Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden, veröffentlicht im Heft 3 der Hessischen Landesanstalt für Umwelt und Geologie „Lärmschutz in Hessen“
- /29/ Plietz, Ines: Gegenüberstellung theoretisch erwartbarer und messtechnisch erhobener Eigenschaften tieffrequenter Schallausbreitung im Freifeld – untersucht an Beispielen emittierter 75-Hz-Schallwellen aus Blockheizkraftwerken (BHKW) von Biogasanlagen, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich MPI, Diplomarbeit, 2007
- /30/ Empfehlung für die Auswahl von Rührwerken für Gärbehälter, Biogas Forum Bayern, Nr. IV
<http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Empfehlungen.fuer.die.Auswahl.von.Ruehrwerken.fuer.Gaerbehaelter.pdf>, Stand 2/22/10
- /31/ 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV), Ausgabe 1990
- /32/ Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90), Ausgabe 1990
berichtigter Nachdruck 1992
- /33/ Absorberkulissen und kombinierte Absorber- und Resonanzkulissen
Bildquelle: <http://klimapartner-berlin.de/>
- /34/ DIN 45691, „Geräuschkontingentierung“, Ausgabe Dezember 2006

ANLAGEN

ANLAGE 1: Datenblätter von BHKW-Motoren
12 Blätter

ANLAGE 2: Fotodokumentation
10 Blätter

ANLAGE 3: A- und C-Bewertung K_{Ai} und K_{Ci} für das Terzspektrum $f_{Terz} = 8 \text{ Hz} \dots 20 \text{ kHz}$
1 Blatt



J 208 GS Schallspektrum

Die Spektren sind gültig für Aggregate bis $p_{me}=16,5$ bar
mit oder ohne Abgaswärmetauscher
mit gekühlter oder ungekühlter Abgassammelleitung.
Maschinentoleranz ± 3 dB

Bei Betrieb mit 1800 1/min sind für die einzelnen Oktavepegel und für die Summenpegel um 3 dB höhere Werten anzu

AGGREGAT:

Aggregatgeräusche umgerechnet auf Freifeldbedingungen bei einer Drehzahl von 1500 U/min
Die Schalldruckpegelwerte sind aufzufassen als Messflächenpegel nach DIN 45635 bzw.
ISO 3746, Meßabstand 1m, Genauigkeitsklasse 3. Generator, Verbrennungsluftansaugung und
andere Nebenaggregate sind im Geräusch enthalten.

ABGAS:

Abgasgeräusche im Freifeld bei einer Drehzahl von 1500 U/min
Die Schalldruckpegelwerte sind aufzufassen als Messflächenpegel nach DIN 45635 bzw.
ISO 3744, Meßabstand 1m, Genauigkeitsklasse 2.

ERLÄUTERUNGEN:

LpA . . . Schalldruckpegel re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, A - bewertet, Summe über alle Frequenzen
LWA . . . Schalleistungspegel re $1 \cdot 10^{-12}$ W , A - bewertet, Summe über alle Frequenzen
31,5 Hz bis 8000 Hz . . . Oktaveschalldruckpegel, unbewertet (LIN)

	Frequenz [Hz]										LWA	
	LpA	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
	[dBA]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dBA]
Abgas	108	99	103	111	104	105	103	99	88	67	116	
Motor	92	80	84	89	90	88	87	83	81	86	111	

Bearbeiter:
VERKAUF

Zeichen:
jp

ausgedruckt am: 18.03.13



**J 312 GS - D
Schallspektrum**

Die Spektren sind gültig für Aggregate bis pme=17,7 bar
mit oder ohne Abgaswärmetauscher
mit gekühlter oder ungekühlter Abgassammelleitung.
Maschinentoleranz ± 3dB

Bei Betrieb mit 1800 1/min sind für die einzelnen Oktavepegel und für die Summenpegel um 3 dB höhere Werten anzu

AGGREGAT:
Aggregatgeräusche umgerechnet auf Freifeldbedingungen bei einer Drehzahl von 1500 U/min
Die Schalldruckpegelwerte sind aufzufassen als Messflächenpegel nach DIN 45635 bzw.
ISO 3746, Meßabstand 1m, Genauigkeitsklasse 3. Generator, Verbrennungsluftansaugung und
andere Nebenaggregate sind im Geräusch enthalten.

ABGAS:
Abgasgeräusche im Freifeld bei einer Drehzahl von 1500 U/min
Die Schalldruckpegelwerte sind aufzufassen als Messflächenpegel nach DIN 45635 bzw.
ISO 3744, Meßabstand 1m, Genauigkeitsklasse 2.

ERLÄUTERUNGEN:
LpA . . . Schalldruckpegel re 2*10E-5 Pa, A - bewertet, Summe über alle Frequenzen
LWA . . . Schallleistungspegel re 1*10E-12 W , A - bewertet, Summe über alle Frequenzen
31,5 Hz bis 8000 Hz . . . Oktaveschalldruckpegel, unbewertet (LIN)

	Frequenz [Hz]										LWA
	LpA	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	[dBA]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dBA]
Abgas	115	108	119	113	117	112	111	103	101	98	123
Motor	95	80	87	91	91	90	89	86	86	89	115

Bearbeiter:
VERKAUF

Zeichen:
jp

ausgedruckt am: 18.03.13



J 412 GS Schallspektrum

Die Spektren sind gültig für Aggregate bis $p_{me} = 19$ bar
(für höhere Drücke ist je 1 bar ein Sicherheitszuschlag von 1 dB auf alle Werte anzuwenden)
Abgasgeräusche auf sicherer Seite geschätzt.
mit oder ohne Abgaswärmetauscher
mit gekühlter oder ungekühlter Abgassammelleitung.
Maschinentoleranz ± 3 dB

AGGREGAT:

Aggregatgeräusche umgerechnet auf Freifeldbedingungen bei einer Drehzahl von 1500 U/min
Die Schalldruckpegelwerte sind aufzufassen als Messflächenpegel nach DIN 45635 bzw.
ISO 3746, Meßabstand 1m, Genauigkeitsklasse 3. Generator, Verbrennungsluftansaugung und
andere Nebenaggregate sind im Geräusch enthalten.

ABGAS:

Abgasgeräusche im Freifeld bei einer Drehzahl von 1500 U/min
Die Schalldruckpegelwerte sind aufzufassen als Messflächenpegel nach DIN 45635 bzw.
ISO 3744, Meßabstand 1m, Genauigkeitsklasse 2.

ERLÄUTERUNGEN:

LpA ... Schalldruckpegel re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, A - bewertet, Summe über alle Frequenzen
LWA ... Schalleistungspegel re $1 \cdot 10^{-12}$ W, A - bewertet, Summe über alle Frequenzen
31,5 Hz bis 8000 Hz ... Oktaveschalldruckpegel, unbewertet (LIN)

	Frequenz [Hz]										LWA
	LpA	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	[dBA]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dBA]
Abgas	117	105	120	115	113	113	111	108	109	107	125
Aggregat	95	87	88	95	95	94	90	86	84	86	115

Bearbeiter:
VERKAUF

Zeichen:
jp

ausgedruckt am: 18.03.13



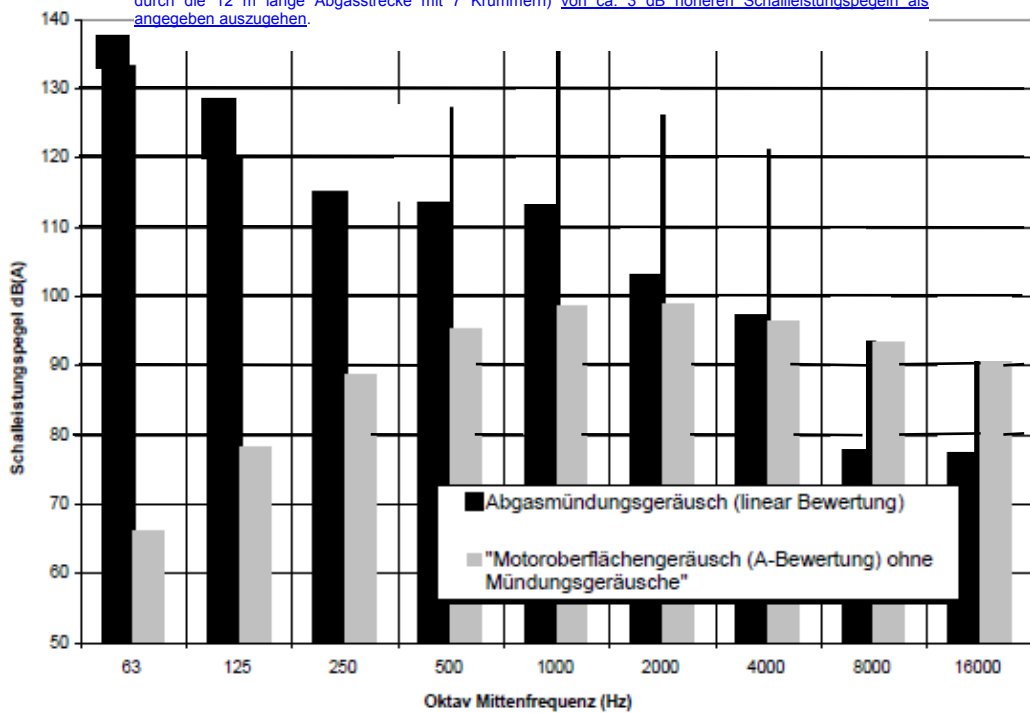
Schalleistungspegel dB(A)
 E 2876 LE 302
 210 kW / 1500 min⁻¹
 Gemischtemperatur 50 °C


Nach den Vorgaben der Fa. MAN von den Verfassern der Studie hinsichtlich Abgas-schall korrigiert.

Betriebspunkt	Oktav Mittenfrequenzen (Hz)	Schalleistungspegel dB(A)
Motoroberflächen- geräusch ohne Mündungsgeräusch	63	66,2
	125	78,2
	250	88,7
	500	95,2
	1000	98,5
	2000	99
	4000	96,4
	8000	93,4
16000	90,7	
Gesamtschalleistung		104,3

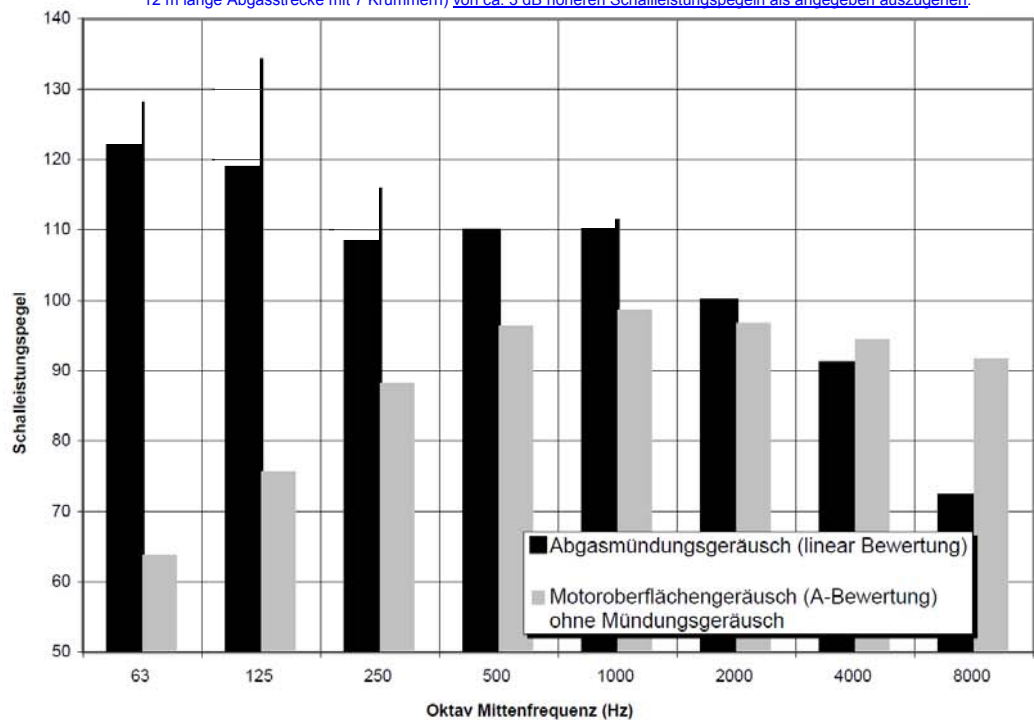
Abgasmündungs- geräusch*	63	137	
	125	127,6	
	250	115,5	
	nach DIN 45635-11	500	114,5
	1000	114,1	
	2000	104,6	
	4000	97,2	
	8000	77,7	
16000	77,1		
Gesamtschalleistung		137,5	

* Nach den Angaben der Fa. MAN ist aufgrund der konkreten Messbedingungen am Prüfstand (Dämpfung durch die 12 m lange Abgasstrecke mit 7 Krümmern) von ca. 3 dB höheren Schalleistungspegeln als angegeben auszugehen.



	Schalleistungspegel E 2848 LE 322 265 kW / 1500 min ⁻¹ / Gemischtemperatur 50 °C		Nach den Vorgaben der Fa. MAN von den Verfassern der Studie hinsichtlich Abgasschall korrigiert.																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Betriebspunkt</th> <th>Oktav Mittenfrequenzen (Hz)</th> <th>Schalleistungspegel dB(A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">Motoroberflächen- geräusch ohne Mündungsgeräusch</td> <td>63</td> <td>63,9</td> </tr> <tr> <td>125</td> <td>75,6</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>88,2</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>96,4</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>98,6</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>96,8</td> </tr> <tr> <td>4000</td> <td>94,5</td> </tr> <tr> <td>8000</td> <td>91,7</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtschalleistung</td> <td>103,3</td> </tr> </tbody> </table>			Betriebspunkt	Oktav Mittenfrequenzen (Hz)	Schalleistungspegel dB(A)	Motoroberflächen- geräusch ohne Mündungsgeräusch	63	63,9	125	75,6	250	88,2	500	96,4	1000	98,6	2000	96,8	4000	94,5	8000	91,7	Gesamtschalleistung		103,3		
Betriebspunkt	Oktav Mittenfrequenzen (Hz)	Schalleistungspegel dB(A)																									
Motoroberflächen- geräusch ohne Mündungsgeräusch	63	63,9																									
	125	75,6																									
	250	88,2																									
	500	96,4																									
	1000	98,6																									
	2000	96,8																									
	4000	94,5																									
8000	91,7																										
Gesamtschalleistung		103,3																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Betriebspunkt</th> <th>Oktav Mittenfrequenzen (Hz)</th> <th>Schalleistungspegel dB(lin)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">Abgasmündungs- geräusch*</td> <td>63</td> <td>123,7</td> </tr> <tr> <td>125</td> <td>119,9</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>109,3</td> </tr> <tr> <td>nach DIN 45635-11</td> <td>500</td> <td>110,7</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>110,6</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>100,1</td> </tr> <tr> <td>4000</td> <td>91,2</td> </tr> <tr> <td>8000</td> <td>72,7</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Gesamtschalleistung</td> <td>123,9</td> </tr> </tbody> </table>			Betriebspunkt	Oktav Mittenfrequenzen (Hz)	Schalleistungspegel dB(lin)	Abgasmündungs- geräusch*	63	123,7	125	119,9	250	109,3	nach DIN 45635-11	500	110,7	1000	110,6	2000	100,1	4000	91,2	8000	72,7	Gesamtschalleistung		123,9	
Betriebspunkt	Oktav Mittenfrequenzen (Hz)	Schalleistungspegel dB(lin)																									
Abgasmündungs- geräusch*	63	123,7																									
	125	119,9																									
	250	109,3																									
	nach DIN 45635-11	500	110,7																								
	1000	110,6																									
	2000	100,1																									
	4000	91,2																									
8000	72,7																										
Gesamtschalleistung		123,9																									

* Nach den Angaben der Fa. MAN ist aufgrund der konkreten Messbedingungen am Prüfstand (Dämpfung durch die 12 m lange Abgastrecke mit 7 Krümmern) von ca. 3 dB höheren Schalleistungspegeln als angegeben auszugehen.





Schalleistungspegel
E 2842 LE 322

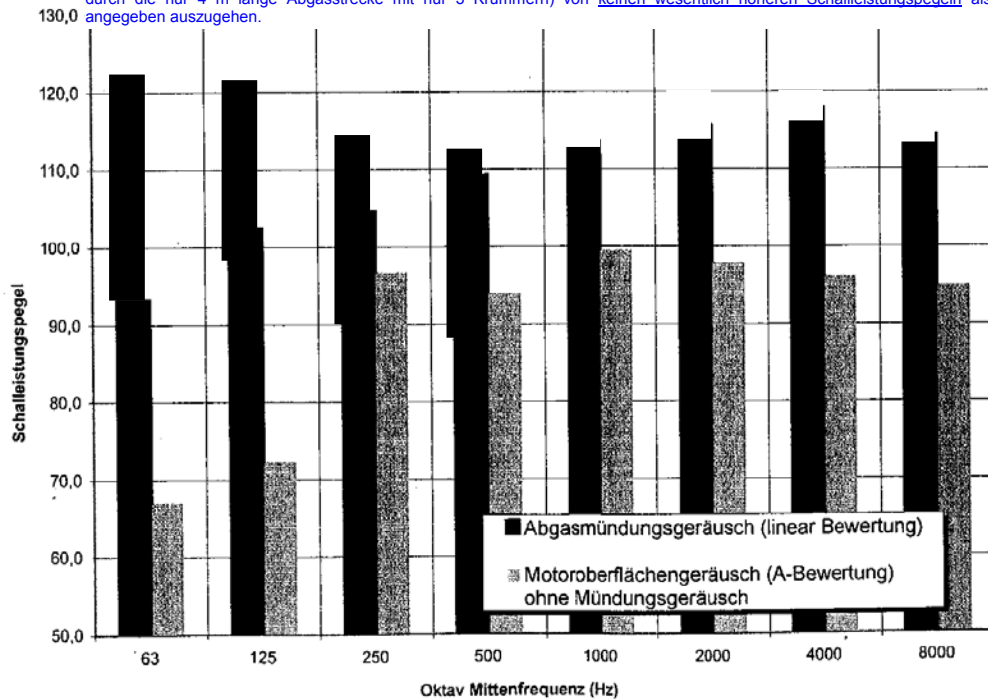
420 kW / 1500 min⁻¹ / Gemischtemperatur 50 °C


Nach den
Vorgaben
der Fa. MAN von
den Verfassern
der Studie
hinsichtlich Abgas-
schall korrigiert.

Betriebspunkt	Oktav Mittenfrequenzen (Hz)	Schalleistungspegel dB(A)
Motoroberflächen- geräusch ohne Mündungsgeräusch	63	67,1
	125	72,3
	250	96,7
	500	94,0
	1000	99,5
	2000	97,9
	4000	96,1
8000	94,9	
Gesamtschalleistung		105,6


Betriebspunkt	Oktav Mittenfrequenzen (Hz)	Schalleistungspegel dB(lin)
Abgasmündungs- geräusch*	63	123,1
	125	120,9
	250	114,1
nach DIN 45635-11	500	112,2
	1000	113,7
	2000	114,8
	4000	116,9
	8000	113,7
Gesamtschalleistung		126,9


* Nach den Angaben der Fa. MAN ist für diesen Motor aufgrund der konkreten Messbedingungen am Prüfstand (Dämpfung durch die nur 4 m lange Abgasstrecke mit nur 3 Krümmern) von keinen wesentlich höheren Schalleistungspegeln als angegeben auszugehen.



Technisches Datenblatt		GC192B5			
9380020081_V02_D	mit Motor	B3066L4			
Ölkühlung, extern					
Ölkühlmitteltemperatur (Eintritt / Austritt)	°C	/			
Kühlmittelvolumenstrom ⁹⁾	m³ i.N./h		@		bar delta p
KV-Wert ¹⁰⁾					
Max. Betriebsdruck	bar				
Gemischkühlung 2. Stufe, extern					
Gemischkühlmitteltemperatur (Eintritt / Austritt)	°C	50 / 51,5			
Kühlmittelvolumenstrom ⁹⁾	m³ i.N./h	14	@	0.4	bar delta p
KV-Wert ¹⁰⁾		22.1			
Max. Betriebsdruck (Gemischkühler Austritt)	bar	6			
Plattenwärmetauscher					
Motor Kühlmittel (Eintritt / Austritt)	°C	94 / 82			
Heizwasser (Eintritt / Austritt)	°C	70 / 90			
Heizwasservolumenstrom ⁹⁾	m³ i.N./h	9.5	@	0.15	bar delta p
KV-Wert Heizwasser ¹⁰⁾		2.5			
Max. Betriebsdruck Heizwasser	bar	16			
Raumbelüftung					
Abstrahlwärme des Aggregats ¹¹⁾	kW	26			
Zulufttemperatur: min./Auslegung/max.	°C	10 / 25 / 30			
Min. Maschinenraumtemperatur ¹²⁾	°C	5			
Max. Temperaturdifferenz (Zuluft/Abluft)	K	20			
Mindestzuluftvolumenstrom (Verbrennung+Raumkühlung) ¹³⁾	m³ i.N./h	5000			
Getriebe					
Übersetzungsverhältnis					
Wärmeleistung (wassergekühlt)	kW				
Wirkungsgrad					
Füllmengen					
Schmieröl in Motor	dm³	18			
Motor Kühlmittel	dm³	235			
Gemischkühlmittel	dm³	5			
Heizwasser	dm³	15			
Maschinengeräusch ¹⁴⁾ (1 Meter Abstand, Freifeld bezogen)					
Frequenz	Hz	63	125	250	500
Schalldruckpegel	dB	80.0	82.9	86.9	86.6
Frequenz	Hz	1000	2000	4000	8000
Schalldruckpegel	dB	88.0	86.4	85.1	104.5
Summen-Schalldruckpegel	Lin dB	104.9			
	dB (A)	103.9			
Schalleistungspegel	dB (A)	122.6			
Ungedämpftes Abgasgeräusch (1 Meter Abstand zum Austritt 90°, Freifeld bezogen)					
Frequenz	Hz	63	125	250	500
Schalldruckpegel	dB	96.7	82.8	73.5	69.7
Frequenz	Hz	1000	2000	4000	8000
Schalldruckpegel	dB	68.9	63.6	59.4	59.2
Summen-Schalldruckpegel	Lin dB	97.3			
	dB (A)	77.1			
Schalleistungspegel	dB (A)	88.9			
Abmessungen					
Länge	mm	3520			
Breite	mm	1800			
Höhe	mm	2060			
Gewicht mit / ohne Betriebsstoffe	kg	4500 / 4200			
Leistungsreduktion					
Ortshöhe		1.2 % 100 m > 100 m NN			
Ansauglufttemperatur		0.6 % / 1 °C > 30 °C			
Gemischtemperatur Eintritt		0.6 % / 1 °C > 65 °C			
Methanzahl		0.8% / MZ < 120			
Randbedingungen und Betriebsstoffe					
DK-BS-0001					
1) Normalkilometer bei p = 1013,25 mbar und T = 273,15 K 2) Generatorleistung bei Nennspannung, cos phi = 1 und Nennfrequenz 3) Bei Normbezugsbedingungen (ISO 3045-1): Luftdruck 1000 mbar, Lufttemperatur 25 °C; rel. Luftfeuchte e 30 % 4) Wärmeleistungen bei Auslegungstemperaturen; Toleranz +/- 8 % 5) Gemäß ISO 3046 (+ 5 % Toleranz) mit Referenzbrennstoff bei Nennspannung, cos phi = 1 und Nennfrequenz 6) Abweichungen vom Auslegungsbereich bzw. Referenzbrennstoff können Wirkungsgrad und Abgasemission beeinflussen 7) Emissionswerte netzparallel ggf. mit Oxydationskatalysator 8) Richtwert bei Nennlast (ohne Ölwechselmenge) 9) Werte für 100 % Wasser, bei abweichender Kühlmittelzusammensetzung Korrektur erforderlich 10) Der KV-Wert gibt den Durchfluss in m³/h bei 1 bar Druckverlust an und gilt zwischen den Anschlussflanschen 11) Nur Generator - und Oberflächenverluste 12) Frostfreiheit sicherstellen 13) Lüftungsmengen ggf. dem Gassicherheitskonzept anpassen 14) Alle Schallpegelwerte bei Nennlast COP 15) Leistungsaufnahme aller am Modul / Aggregat angebauten Verbraucher 16) Max. zulässiger cos phi bei Nennleistung (aus Erzeugersicht)					

LD 238
28.11.2012
OAGT / OAGS

Technisches Datenblatt		GC400B5			
93800020005_V03_D		mit Motor		B3042Z7	
Ölkühlung, extern					
Ölkühlmitteltemperatur (Eintritt / Austritt)	°C	/			
Kühlmittelvolumenstrom ⁹⁾	m³ i.N./h		@		bar delta p
KV-Wert ¹⁰⁾					
Max. Betriebsdruck	bar				
Gemischkühlung 2. Stufe, extern					
Gemischkühlmitteltemperatur (Eintritt / Austritt)	°C	40 / 42,5			
Kühlmittelvolumenstrom ⁹⁾	m³ i.N./h	9	@	0,1	bar delta p
KV-Wert ¹⁰⁾		28,5			
Max. Betriebsdruck (Gemischkühler Austritt)	bar	16			
Plattenwärmetauscher					
Motor Kühlmittel (Eintritt / Austritt)	°C	94 / 82			
Heizwasser (Eintritt / Austritt)	°C	70 / 90			
Heizwasservolumenstrom ⁹⁾	m³ i.N./h	21,3	@	0,3	bar delta p
KV-Wert Heizwasser ¹⁰⁾		38,9			
Max. Betriebsdruck Heizwasser	bar	16			
Raumbelüftung					
Abstrahlwärme des Aggregats ¹¹⁾	kW	33			
Zulufttemperatur: min./Auslegung/max.	°C	10 / 25 / 45			
Min. Maschinenraumtemperatur ¹²⁾	°C	5			
Max. Temperaturdifferenz (Zuluft/Abluft)	K	20			
Mindestzuluftvolumenstrom (Verbrennung+Raumkühlung) ¹³⁾	m³ i.N./h	6000			
Getriebe					
Übersetzungsverhältnis		--			
Wärmeleistung (wassergekühlt)	kW	--			
Wirkungsgrad		--	--	--	--
Füllmengen					
Schmieröl in Motor	dm³	34			
Motor Kühlmittel	dm³	240			
Gemischkühlmittel	dm³	5			
Heizwasser	dm³	11			
Maschinengeräusch¹⁴⁾ (1 Meter Abstand, Freifeld bezogen)					
Frequenz	Hz	63	125	250	500
Schalldruckpegel	dB	94,6	86,2	94,5	88,1
Frequenz	Hz	1000	2000	4000	8000
Schalldruckpegel	dB	89,1	86,3	83,2	80,1
Summen-Schalldruckpegel	Lin dB	99,2			
	dB (A)	94,0			
Schalleistungspegel	dB (A)	112,7			
Ungedämpftes Abgasgeräusch (1 Meter Abstand zum Austritt 90°, Freifeld bezogen)					
Frequenz	Hz	63	125	250	500
Schalldruckpegel	dB	96,7	77,5	78,0	68,9
Frequenz	Hz	1000	2000	4000	8000
Schalldruckpegel	dB	65,2	61,4	56,9	56,1
Summen-Schalldruckpegel	Lin dB	97,1			
	dB (A)	76,5			
Schalleistungspegel	dB (A)	88,3			
Abmessungen					
Länge	mm	3900			
Breite	mm	1900			
Höhe	mm	2260			
Gewicht mit / ohne Betriebsstoffe	kg	5600 / 5300			
Leistungsreduktion					
Ortshöhe		1,2 % 100 m > 100 m NN			
Ansauglufttemperatur		1 % / 1,0 °C > 25 °C			
Gemischtemperatur Eintritt		0,6 % / °C > 50 °C			
Methanzahl		0,8 % / MZ < 120			
Randbedingungen und Betriebsstoffe					
DK-BS-0001					
1) Normkubikmeter bei p = 1013,25 mbar und T = 273,15 K 2) Generatorleistung bei Nennspannung, cos phi = 1 und Nennfrequenz 3) Bei Normbezugsbedingungen (ISO 3046-1); Luftdruck: 1000 mbar, Lufttemperatur 25 °C; rel. Luftfeuchte e 30 % 4) Wärmeleistungen bei Auslegungstemperaturen; Toleranz +/- 8 % 5) Gemäß ISO 3046 (+ 5 % Toleranz) mit Referenzbrennstoff bei Nennspannung, cos phi = 1 und Nennfrequenz 6) Abweichungen vom Auslegungsbereich bzw. Referenzbrennstoff können Wirkungsgrad und Abgasemission beeinflussen 7) Emissionswerte netzparallel ggf. mit Oxydationskatalysator 8) Richtwert bei Nennlast (ohne Ölwechselmenge) 9) Werte für 100 % Wasser, bei abweichender Kühlmittelzusammensetzung Korrektur erforderlich 10) Der KV-Wert gibt den Durchfluss in m³/h bei 1 bar Druckverlust an und gilt zwischen den Anschlussflanschen 11) Nur Generator - und Oberflächenverluste 12) Frostfreiheit sicherstellen 13) Lüftungsmengen ggf. dem Gassicherheitskonzept anpassen 14) Alle Schallpegelwerte bei Nennlast COP 15) Leistungsaufnahme aller am Modul / Aggregat angebaute Verbraucher 16) Max. zulässiger cos phi bei Nennleistung (aus Erzeugersicht)					

Technisches Datenblatt		GB800B5			
93800050268_V01_D	mit Motor	8V4000L62			
Ölkühlung, extern					
Ölkühlmitteltemperatur (Eintritt / Austritt)					
Kühlmittelvolumenstrom ⁹⁾			@		bar delta p
KV-Wert ¹⁰⁾					
Max. Betriebsdruck					
Gemischkühlung 2. Stufe, extern					
Gemischkühlmitteltemperatur (Eintritt / Austritt)	°C	40 / 42			
Kühlmittelvolumenstrom ⁹⁾	m³/h	27	@	0,3	bar delta p
KV-Wert ¹⁰⁾					49,3
Max. Betriebsdruck (Gemischkühler Austritt)	bar				6
Plattenwärmetauscher					
Motor Kühlmittel (Eintritt / Austritt)	°C	/			
Heizwasser (Eintritt / Austritt)	°C	/			
Heizwasservolumenstrom ⁹⁾	m³/h		@		bar delta p
KV-Wert Heizwasser ¹⁰⁾					
Max. Betriebsdruck Heizwasser	bar				
Raumbelüftung					
Abstrahlwärme des Aggregats ¹¹⁾	kW	55			
Zulufttemperatur: min./Auslegung/max.	°C			20 / 25 / 30	
Min. Maschinenraumtemperatur ¹²⁾	°C			15	
Max. Temperaturdifferenz (Zuluft/Abluft)	K			20	
Mindestzuluftvolumenstrom (Verbrennung+Raumkühlung) ¹³⁾	m³ i.N./h			11000	
Getriebe					
Übersetzungsverhältnis					
Wärmeleistung (wassergekühlt)	kW				
Wirkungsgrad					
Füllmengen					
Schmieröl in Motor	dm³			160	
Motor Kühlmittel	dm³			135	
Gemischkühlmittel	dm³			15	
Heizwasser	dm³				
Maschinen Geräusch ¹⁴⁾ (1 Meter Abstand, Freifeld bezogen)					
Frequenz	Hz	63	125	250	500
Schalldruckpegel	dB	75,9	85,8	87,5	90,8
Frequenz	Hz	1000	2000	4000	8000
Schalldruckpegel	dB	86,5	86,2	91,6	95,9
Summen-Schalldruckpegel	Lin dB	99,2			
	dB A	98,1			
Schalleistungspegel	dB A	117,2			
Ungedämpftes Abgasgeräusch (1 Meter Abstand zum Austritt 90°, Freifeld bezogen)					
Frequenz	Hz	63	125	250	500
Schalldruckpegel	dB	101,1	117,9	109,3	103,9
Frequenz	Hz	1000	2000	4000	8000
Schalldruckpegel	dB	96,0	94,2	88,7	85,1
Summen-Schalldruckpegel	Lin dB	118,7			
	dB A	106,0			
Schalleistungspegel	dB A	118,2			
Abmessungen (Aggregat)					
Länge	mm			4000	
Breite	mm			1850	
Höhe	mm			2400	
Gewicht mit Betriebsstoffe (ohne Betriebsstoffe)	kg			9900 (9500)	
Leistungsreduktion					
Ortshöhe					
Ansauglufttemperatur					
Gemischtemperatur Eintritt					
Methanzahl					
Randbedingungen und Betriebsstoffe					
1) Normkubikmeter bei p = 1013,25 mbar und T = 273,15 K 2) Generatorkennleistung bei Nennspannung, cos phi = 1 und Nennfrequenz 3) Bei Nombezugsbedingungen (ISO 3046-1); Luftdruck 1000 mbar; Lufttemperatur 25 °C; rel. Luftfeuchte = 30 % 4) Wärmeleistungen bei Auslegungstemperaturen; Toleranz +/- 8 % 5) Gemäß ISO 3046 (+/- 5 % Toleranz) mit Referenzbrennstoff bei Nennspannung, cos phi = 1 und Nennfrequenz 6) Abweichungen vom Auslegungsbereich bzw. Referenzkraftstoff können Wirkungsgrad und Abgasemission beeinflussen 7) Emissionswerte netzparallel ggf. mit Oxydationskatalysator 8) Richtwert bei Nennlast (ohne Ölwechsellmenge) 9) Werte für 100 % Wasser, bei abweichender Kühlmittelzusammensetzung Korrektur erforderlich 10) Der KV-Wert gibt den Durchfluss in m³/h bei 1 bar Druckverlust an und gilt zwischen den Anschlussflanschen 11) Nur Generator - und Oberflächenverluste 12) Frostfreiheit sicherstellen 13) Lüftungsmengen ggf. dem Gassicherheitskonzept anpassen 14) Alle Schallpegelwerte bei Nennlast COP 15) Leistungsaufnahme aller am Modul / Aggregat angebaute Verbraucher 16) Max. zulässiger cos phi bei Nennleistung (aus Erzeugnisricht)					

Referenzdatenblatt



Technische Daten

400 kWel; 400 V, 50 Hz; Nach Gasanalyse

Auslegungsbedingungen

Ansaugtemperatur / Luftfeuchte:	[°C] / [%]	25 / 60
Aufstellhöhe:	[m]	100
Abgasrückkühltemperatur:	[°C]	150
NO _x Emission (Toleranz -8%):	[mg/Nm ³ @5%O ₂]	500

Brenngas-Daten ²⁾

Methanzahl:	[-]	149
unterer Heizwert:	[kWh/Nm ³]	4,98
Gasdichte:	[kg/Nm ³]	1,35
Nach Gasanalyse		
Analyse: CO ₂	[Vol%]	50,00
N ₂	[Vol%]	0,00
O ₂	[Vol%]	0,00
H ₂	[Vol%]	0,00
CO	[Vol%]	0,00
CH ₄	[Vol%]	50,00
C ₂ H ₄	[Vol%]	0,00
C ₂ H ₆	[Vol%]	0,00
C ₃ H ₆	[Vol%]	0,00
C ₃ H ₈	[Vol%]	0,00
C ₄ H ₈	[Vol%]	0,00
C ₄ H ₁₀	[Vol%]	0,00
C ₅ H ₁₂	[Vol%]	0,00
C _x H _y	[Vol%]	0,00
H ₂ S	[Vol%]	0,00

Aggregat:

Motor:	TCG 2016 V08 C	
Drehzahl:	[1/min]	1500
Anordnung / Zylinderzahl:	[-] / [-]	V / 08
Bohrung / Hub / Hubraum:	[mm]/[mm]/[dm ³]	132 / 160 / 17,5
Verdichtungsverhältnis:	[-]	15,0
Mittlere Kolbengeschwindigkeit:	[m/s]	8
Mittlerer Schmierölverbrauch bei Vollast:	[g/kWh]	0,2
Motor-Management-System:	[-]	TEM EVO
Generator:	Marelli MJB 355 MB4	
Spannung / Spannungsbereich / cos Phi:	[V] / [%] / [-]	400 / ±10 / 1
Drehzahl / Frequenz:	[1/min] / [Hz]	1500 / 50

Energiebilanz

Last:	[%]	100	75	50
Elektrische Klemmenleistung COP nach ISO 8528-1:	[kW]	400	300	200
Kühlwasserwärme:	[kW ±8%]	208	156	118
NT-Gemischkühlerwärme:	[kW ±8%]	31	20	14
Ölwärme:	[kW ±8%]			
Abgaswärme bei Rückkühltemperatur:	[kW ±8%]	211	185	138
Abgastemperatur:	[°C]	470	516	541
Abgasmasse feucht:	[kg/h]	2129	1626	1130
Verbrennungsluftmasse:	[kg/h]	1869	1424	986
Strahlung Motor / Generator:	[kW ±8%]	18 / 14	15 / 11	11 / 9
Brennstoff-Einsatz:	[kW±5%]	959	746	531
Elektrischer / thermischer Wirkungsgrad:	[%]	41,7 / 43,7	40,2 / 45,8	37,7 / 48,3
Gesamt-Wirkungsgrad:	[%]	85,4	86,0	86,0

Anlagebedingungen ¹⁾

Zuluftmasse (incl. Verbrennungsluft) bei ΔT = 15K:	[kg/h]	11900
Ansaugtemperatur Minimum / Auslegung:	[°C]	20 / 25
Abgasgegenstand von / bis:	[mbar]	30 / 50
Maximaler Ansaugdruckverlust vor Luftfilter:	[mbar]	5
Nulldruckregelstrecke wählbar von / bis: ²⁾	[mbar]	20 / 200
Vordruckregelstrecke wählbar von / bis: ²⁾	[bar]	0,5 / 10
Starterbatterie 24 V, erforderliche Kapazität:	[Ah]	143
Anlasser:	[kWel.] / [VDC]	5,4 / 24
Schmierölinhalt Motor / Grundrahmen:	[dm ³]	70 / -
Leergewicht Motor / Aggregat:	[kg]	2080 / 4940

Kühlsystem

Glycolanteil Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[% Vol.]	0 / 35
Wasserinhalt Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[dm ³]	28 / 5
Kvs / Cv -Wert Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[m ³ /h]	37 / 10
Motorkühlkreis Wassereintritt / Wasseraustritt:	[°C]	78 / 88
Gemischkühler Wassereintritt / Wasseraustritt:	[°C]	40 / 44
Motorkühlwasservolumenstrom min / max:	[m ³ /h]	14 / 25
Wasservolumenstrom Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[m ³ /h]	18 / 8
Wasserdruckverlust Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[bar]	0,2 / 0,6

1) "Aufbau von Energieanlagen" beachten

2) Techn. Rundschreiben 0199-99-3017 beachten

355219/BA
2016/08-B-50-00400-MN_g_150CH4_50CO2

Frequenzband f [Hz]	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	12.5k	16k	L _{WA} [dB(A)]	S [m ²]
Luftschall ⁴⁾ L _{WA,Tot} [dB(lin)]	83	84	88	101	96	102	101	103	104	109	107	102	106	101	100	101	100	100	101	100	101	98	95	97	102	98	94	91	91	112	75
Abgasschall ⁵⁾ L _{WA,20m} [dB(lin)]				120			137			135			128			126			124			119			115				132	14,8	

4) DIN EN ISO 3746

5) DIN 45635-11 Anhang A (±3 dB)

L_{WA} Schalleistungspegel

S: Messfächeneinhalt (S₀=1m²)

Referenzdatenblatt



Technische Daten 600 kWel; 400 V, 50 Hz; Nach Gasanalyse

Auslegungsbedingungen

Ansaugtemperatur / Luftfeuchte:	[°C] / [%]	25 / 60
Aufstellhöhe:	[m]	100
Abgasrückkühltemperatur:	[°C]	150
NO _x Emission (Toleranz -8%):	[mg/Nm ³ @5%O ₂]	500

Brenngas-Daten ²⁾

Methanzahl:	[-]	149
unterer Heizwert:	[kWh/Nm ³]	4,98
Gasdichte:	[kg/Nm ³]	1,35
Nach Gasanalyse		
Analyse: CO ₂	[Vol%]	50,00
N ₂	[Vol%]	0,00
O ₂	[Vol%]	0,00
H ₂	[Vol%]	0,00
CO	[Vol%]	0,00
CH ₄	[Vol%]	50,00
C ₂ H ₄	[Vol%]	0,00
C ₂ H ₆	[Vol%]	0,00
C ₃ H ₆	[Vol%]	0,00
C ₃ H ₈	[Vol%]	0,00
C ₄ H ₈	[Vol%]	0,00
C ₄ H ₁₀	[Vol%]	0,00
C ₂ H ₁₂	[Vol%]	0,00
C _x H _y	[Vol%]	0,00
H ₂ S	[Vol%]	0,00

Aggregat:

Motor:	TCG 2016 V12 C	
Drehzahl:	[1/min]	1500
Anordnung / Zylinderzahl:	[-]	V / 12
Bohrung / Hub / Hubraum:	[mm]/[mm]/[dm ³]	132 / 160 / 28
Verdichtungsverhältnis:	[-]	15,0
Mittlere Kolbenschwwindigkeit:	[m/s]	8
Mittlerer Schmierölverbrauch bei Vollast:	[g/kWh]	0,2
Motor-Management-System:	[-]	TEM EVO

Generator:	Marelli MJB 400 LC4	
Spannung / Spannungsbereich / cos Phi:	[V] / [%] / [-]	400 / ±10 / 1
Drehzahl / Frequenz:	[1/min] / [Hz]	1500 / 50

Energiebilanz

Last:	[%]	100	75	50
Elektrische Klemmenleistung COP nach ISO 8528-1:	[kW]	600	450	300
Kühlwasserwärme:	[kW ±8%]	314	250	192
NT-Gemischkühlerwärme:	[kW ±8%]	51	32	15
Ölwärme:	[kW ±8%]			
Abgaswärme bei Rückkühltemperatur:	[kW ±8%]	319	261	196
Abgastemperatur:	[°C]	472	495	522
Abgasmasse feucht:	[kg/h]	3197	2429	1684
Verbrennungsluftmasse:	[kg/h]	2808	2128	1470
Strahlung Motor / Generator:	[kW ±8%]	22 / 20	17 / 17	13 / 14
Brennstoff-Einsatz:	[kW+5%]	1441	1114	790
Elektrischer / thermischer Wirkungsgrad:	[%]	41,6 / 43,9	40,4 / 45,8	38,0 / 49,1
Gesamt-Wirkungsgrad:	[%]	85,5	86,3	87,1

Anlagebedingungen ¹⁾

Zuluftmasse (incl. Verbrennungsluft) bei ΔT = 15K	[kg/h]	16200
Ansaugtemperatur Minimum / Auslegung:	[°C]	20 / 25
Abgasgegendruck von / bis:	[mbar]	30 / 50
Maximaler Ansaugdruckverlust vor Luftfilter:	[mbar]	5
Nulldruckregelstrecke wählbar von / bis: ²⁾	[mbar]	20 / 200
Vordruckregelstrecke wählbar von / bis: ²⁾	[bar]	0,5 / 10
Starterbatterie 24 V, erforderliche Kapazität:	[Ah]	143
Anlasser:	[kWel.] / [VDC]	5,4 / 24
Schmierölinhalt Motor / Grundrahmen:	[dm ³]	100 / -
Leergewicht Motor / Aggregat:	[kg]	2650 / 6730

Kühlsystem

Glycolanteil Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[% Vol.]	0 / 35
Wasserinhalt Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[dm ³]	43 / 5
Kvs / Cv -Wert Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[m ³ /h]	37 / 10
Motorkühlkreis Wassereintritt / Wasseraustritt:	[°C]	78 / 88
Gemischkühler Wassereintritt / Wasseraustritt:	[°C]	40 / 45
Motorkühlwasservolumenstrom min / max:	[m ³ /h]	22 / 37
Wasservolumenstrom Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[m ³ /h]	28 / 10
Wasserdruckverlust Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[bar]	0,5 / 1,0

1) "Aufbau von Energieanlagen" beachten 2) Techn. Randschreiben 0199-99-3017 beachten 3) DIN EN ISO 3745 4) DIN EN ISO 3746 5) DIN 45635-11 Anhang A (±3 dB) 6) Schalleistungspegel 7) Messflächeneinhalt (S_{ref} = 1m²)

Frequenzband f [Hz]	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	L _{WA} [dB(A)]	S [m ²]
Luftschall ⁴⁾ L _{W,1m2} [dB(dB)]	86	86	91	91	95	109	107	111	104	108	103	109	101	103	103	100	102	102	101	102	101	107	103	102	108	102	102	96	95	115	81
Abgasschall ⁵⁾ L _{W,0,025m} [dB(lin)]					118			129			134			129			128			128			123			117				134	15,2

Referenzdatenblatt



Technische Daten 800 kWel; 400 V, 50 Hz; Nach Gasanalyse

Auslegungsbedingungen		
Ansaugtemperatur / Luftfeuchte:	[°C] / [%]	25 / 60
Aufstellhöhe:	[m]	100
Abgasrückkühltemperatur:	[°C]	150
NO _x Emission (Toleranz -8%):	[mg/Nm ³ @5%O ₂]	500
Aggregat:		
Motor:	TCG 2016 V16 C	
Drehzahl:	[1/min]	1500
Anordnung / Zylinderzahl:	[-]	V / 16
Bohrung / Hub / Hubraum:	[mm]/[mm]/[dm ³]	132 / 160 / 35
Verdichtungsverhältnis:	[-]	15,0
Mittlere Kolbengeschwindigkeit:	[m/s]	8
Mittlerer Schmierölverbrauch bei Vollast:	[g/kWh]	0,2
Motor-Management-System:	[-]	TEM EVO
Generator:		
Spannung / Spannungsbereich / cos Phi:	[V] / [%] / [-]	400 / ±10 / 1
Drehzahl / Frequenz:	[1/min] / [Hz]	1500 / 50

Brenngas-Daten ²⁾		
Methanzahl:	[-]	149
unterer Heizwert:	[kWh/Nm ³]	4,98
Gasdichte:	[kg/Nm ³]	1,35
Nach Gasanalyse		
Analyse: CO ₂	[Vol%]	50,00
N ₂	[Vol%]	0,00
O ₂	[Vol%]	0,00
H ₂	[Vol%]	0,00
CO	[Vol%]	0,00
CH ₄	[Vol%]	50,00
C ₂ H ₄	[Vol%]	0,00
C ₂ H ₆	[Vol%]	0,00
C ₃ H ₆	[Vol%]	0,00
C ₃ H ₈	[Vol%]	0,00
C ₄ H ₈	[Vol%]	0,00
C ₄ H ₁₀	[Vol%]	0,00
C ₆ H ₁₂	[Vol%]	0,00
C _x H _y	[Vol%]	0,00
H ₂ S	[Vol%]	0,00

Energiebilanz				
Last:	[%]	100	75	50
Elektrische Klemmenleistung COP nach ISO 8528-1:	[kW]	800	600	400
Kühlwasserwärme:	[kW ±8%]	421	335	258
NT-Gemischkühlerwärme:	[kW ±8%]	70	43	21
Ölwärme:	[kW ±8%]			
Abgaswärme bei Rückkühltemperatur:	[kW ±8%]	419	343	257
Abgastemperatur:	[°C]	468	492	519
Abgasmasse feucht:	[kg/h]	4251	3224	2229
Verbrennungsluftmasse:	[kg/h]	3733	2824	1946
Strahlung Motor / Generator:	[kW ±8%]	30 / 24	22 / 19	16 / 16
Brennstoff-Einsatz:	[kW+5%]	1916	1479	1047
Elektrischer / thermischer Wirkungsgrad:	[%]	41,8 / 43,8	40,6 / 45,9	38,2 / 49,1
Gesamt-Wirkungsgrad:	[%]	85,6	86,5	87,4

Anlagebedingungen ¹⁾		
Zuluftmasse (incl. Verbrennungsluft) bei ΔT = 15K	[kg/h]	20900
Ansaugtemperatur Minimum / Auslegung:	[°C]	20 / 25
Abgasgedruck von / bis:	[mbar]	30 / 50
Maximaler Ansaugdruckverlust vor Luftfilter:	[mbar]	5
Nulldruckregelstrecke wählbar von / bis: ²⁾	[mbar]	20 / 200
Vordruckregelstrecke wählbar von / bis: ²⁾	[bar]	0,5 / 10
Starterbatterie 24 V, erforderliche Kapazität:	[Ah]	286
Anlasser:	[kWel.] / [VDC]	9 / 24
Schmierölinhalt Motor / Grundrahmen:	[dm ³]	135 / -
Leergewicht Motor / Aggregat:	[kg]	3090 / 7430

Kühlsystem		
Glycolanteil Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[% Vol.]	0 / 35
Wasserinhalt Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[dm ³]	56 / 5
Kvs / Cv -Wert Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[m ³ /h]	43 / 10
Motorkühlkreis Wassereintritt / Wasseraustritt:	[°C]	78 / 88
Gemischkühler Wassereintritt / Wasseraustritt:	[°C]	40 / 47
Motorkühlwasservolumenstrom min / max:	[m ³ /h]	29 / 50
Wasservolumenstrom Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[m ³ /h]	37 / 10
Wasserdruckverlust Motorkühlkreis / Gemischkühlkreis:	[bar]	0,7 / 1,0

1) *Aufbau von Energieanlagen* beachten																	2) Techn. Rundschreiben 0199-99-3017 beachten																	3) 3552/36/35A																																	
4) DIN EN ISO 3746																	5) DIN 45635-11 Anhang A (±3 dB)																	L _w Schalleistungspegel																	S: Messflächeneinhalt (S _e =1m ²)																
Frequenzband f [Hz]	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k	12,5k	16k	L _{WA} [dB(A)]	S [m ²]																																				
Luftschall ⁴⁾ L _{WA,Top} [dB(A)]	84	85	90	93	106	101	114	102	103	112	108	111	106	105	103	102	103	103	102	103	103	102	105	106	109	105	103	97	94	117	83																																				
Abgasschall ⁴⁾ L _{WA,Close} [dB(A)]					119		129			135			130			128			129			123			116					134	15,2																																				



Foto 1: Blick auf einen 6-Zylinder-Reihen-Motor mit einer elektrischen Leistung von 190 kW.



Foto 2: Blick auf einen 6-Zylinder-Reihen-Motor mit einer elektrischen Leistung von 265 kW.

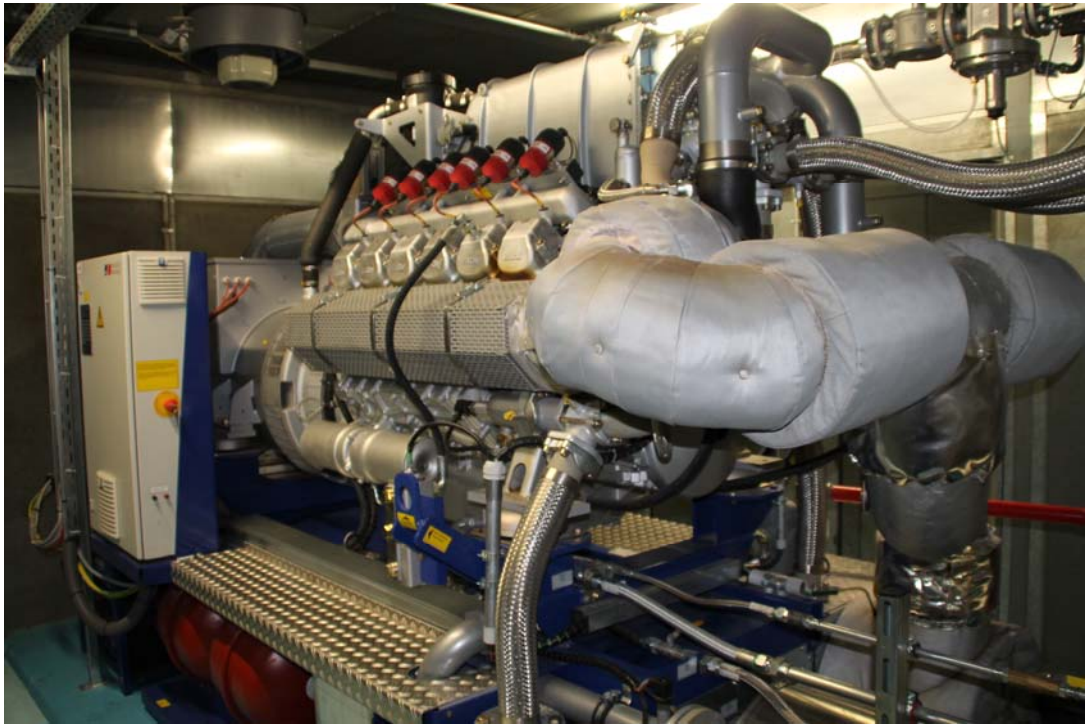


Foto 3: Blick auf einen 12-Zylinder-V-Motor mit einer elektrischen Leistung von 400 kW.



Foto 4: Blick auf einen 12-Zylinder-V-Motor mit einer elektrischen Leistung von 527 kW.



Foto 5: Blick auf einen 12-Zylinder-V-Motor mit einer elektrischen Leistung von 600 kW.



Foto 6: Blick auf einen 16-Zylinder-V-Motor mit einer elektrischen Leistung von 800 kW.



Foto 7: Blick auf einen 2,5 m langen Abluft-Kulissenschalldämpfer, der innerhalb eines BHKW-Raumes in der Abluftstrecke installiert wurde.



Foto 8: Blick auf die Decke eines BHKW-Raumes. Auf dieser sind die verbauten Schalldämpfersysteme zu erkennen, die somit noch innerhalb des Gebäudes angeordnet sind.

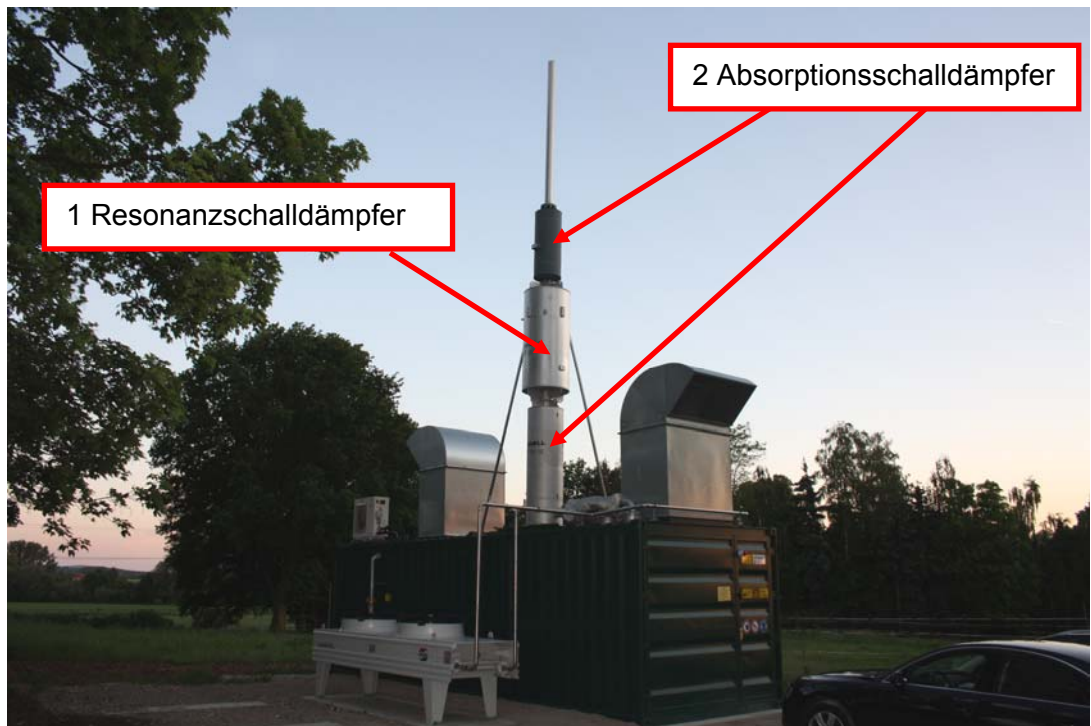


Foto 9: Blick auf ein wirksames Schalldämpfersystem über das gesamte Frequenzband, bestehend aus insgesamt 3 Schalldämpfern.



Foto 10: Blick auf ein wirksames Schalldämpfersystem über das gesamte Frequenzband, bestehend aus insgesamt 2 Schalldämpfern.



Foto 11: Blick auf eine sehr leise Ausführung eines Notkühlers für einen BHKW-Motor mit einer elektrischen Leistung von 195 kW.



Foto 12: Blick auf eine extrem leise Ausführung eines Notkühlers für einen BHKW-Motor mit einer elektrischen Leistung von 527 kW.



Foto 13: Blick auf einen klassischen Feststoffdosierer und die sich anschließenden Fördereinrichtungen.



Foto 14: Blick auf einen Feststoffdosierer mit Schubbodensystem und einen Teil der sich anschließenden Fördereinrichtungen.



Foto 15: Blick auf einen Feststoffeintrag mit Schubbodensystem, der innerhalb eines massiven Gebäudes errichtet wurde.



Foto 16: Blick auf einen Behälter, der ausschließlich mit (von außen verstellbaren, siehe Pfeile) Tauchmotorrührwerken ausgestattet ist.



Foto 17: Blick auf ein Paddelrührwerk mit außen anliegendem Antriebsmotor.



Foto 18: Blick auf ein Stabmixrührwerk mit außen anliegendem Antriebsmotor.



Foto 19: Blick auf einen Behälter, der mit hydraulischen Rührwerken ausgestattet ist. An der Behälter-Außenwand verlaufen die Druckleitungen bis zu den etwa 50 m entfernt in einer leichten Einhausung befindlichen Hydraulik-Aggregaten. Von diesen Druckleitungen (rechter Pfeil) erfolgt ein Körperschalleintrag in die Blechverkleidung, die Luftschall abstrahlen. Ebenfalls erfolgt eine Luftabstrahlung von den Service-Schächten (linker Pfeil) der Rührwerke.

ANLAGE 3: A- und C-Bewertung K_{Ai} und K_{Ci} für das Terzspektrum $f_{Terz} = 8 \text{ Hz} \dots 20 \text{ kHz}$

Frequenz in Hz	A-Bewertung	C-Bewertung
8	- 77,6	- 17,6
10	- 70,4	- 14,3
12,5	- 63,6	- 11,3
16	- 56,4	- 8,4
20	- 50,4	- 6,2
25	- 44,8	- 4,4
31,5	- 39,5	- 3,0
40	- 34,5	- 2,0
50	- 30,3	- 1,3
63	- 26,2	- 0,8
80	- 22,4	- 0,5
100	- 19,1	- 0,3
125	- 16,2	- 0,2
160	- 13,2	- 0,1
200	- 10,8	0,0
250	- 8,7	0,0
315	- 6,6	0,0
400	- 4,8	0,0
500	- 3,2	0,0
630	- 1,9	0,0
800	- 0,8	0,0
1.000	0,0	0,0
1.250	0,6	0,0
1.600	1,0	- 0,1
2.000	1,2	- 0,2
2.500	1,3	- 0,3
3.150	1,2	- 0,5
4.000	1,0	- 0,8
5.000	0,6	- 1,3
6.300	- 0,1	- 2,0
8.000	- 1,1	- 3,0
10.000	- 2,5	- 4,4
12.500	- 4,2	- 6,2
16.000	- 6,7	- 8,6
20.000	- 9,3	- 11,3

