

Bielefeld, 25.07.2019
TNUC-SST-BI / Dd

Schalltechnische Untersuchung
zum Betrieb einer erdgasbefeuerten Kesselanlage
an der BHKW-Anlage „Langenbruch“ in Lemgo
Revision-2: Planungsstand 25.07.2019

Auftraggeber: Stadtwerke Lemgo GmbH
 Bruchweg 24
 32657 Lemgo

TÜV-Auftrags-Nr.: 8000 670 239 / 319SST012-01

Umfang des Berichtes: 17 Seiten Textteil,
 3 Anhänge (5 Seiten)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Peter Döding
 Telefon: (05 21) 7 86 – 2 83
 E-Mail: pdoeding@tuev-nord.de

Qualitätssicherung: Dipl.-Ing. Reinhard Nagel
 Telefon: (04 21) 44 98 – 1 83
 E-Mail: rnagel@tuev-nord.de

Dieser Bericht darf nur komplett vervielfältigt werden. Auszugsweise
Kopien bedürfen der ausdrücklichen Genehmigung des Verfassers.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis der Tabellen.....	3
1. Zusammenfassung.....	4
2. Veranlassung und Aufgabenstellung.....	6
3. Vorgehensweise und Untersuchungsmethodik.....	6
4. Berechnungs- und Beurteilungsgrundlagen.....	7
5. Örtliche Verhältnisse	9
6. Anlagen und Betriebsbeschreibung BHKW- und Kesselanlage.....	9
7. Immissionsorte und Immissionsrichtwerte	10
8. Schalltechnische Liefervorgaben für die neue Kesselanlage.....	11
9. Schallemissionen der zukünftigen Gesamtanlage (BHKW und Kesselanlage)	12
10. Berechnung der Geräuschemissionen.....	14
11. Anlagenbedingter Verkehr auf öffentlichen Straßen	15
12. Tieffrequente Geräusche / Erschütterungen.....	15
13. Qualität der Prognose	16
14. Quellenverzeichnis.....	16

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Beurteilungspegel und Immissionsrichtwerte BHKW- und Kesselanlage	5
Tabelle 2:	Immissionsrichtwerte TA Lärm außerhalb von Gebäuden für bestimmungsgemäßen Anlagenbetrieb	8
Tabelle 3:	Immissionsorte und Immissionsrichtwerte IRW	10
Tabelle 4:	Schalldämm-Maße R' der Außenbauteile des Kesselraumes	11
Tabelle 5:	Einfügungs-Dämm-Maße D_e Schalldämpfer Zu- und Abluftöffnungen Kesselraum	12
Tabelle 6:	Schalldruckpegel im Kesselraum	12
Tabelle 7:	Schalleistungspegel Kaminmündung Gaskessel	13
Tabelle 8:	Schalldruckpegel im BHKW-Gebäude	13
Tabelle 9:	Schalleistungspegel Einzelschallquellen Blockheizkraftwerk	13
Tabelle 10:	Beurteilungspegel und Immissionsrichtwerte BHKW- und Kesselanlage	14

Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1	Übersichtsplan Betriebsgelände BHKW-Anlage, Kesselanlage und Nachbarschaft, Lage der maßgeblichen Immissionsorte	1 Seite
Anhang 2	Übersichtsplan Betriebsgelände BHKW-Anlage und Kesselanlage, Lage der relevanten Schallquellen	1 Seite
Anhang 3	Einzelergebnisse zur Berechnung der Beurteilungspegel am Immissionsort IP2 „Langenbruch 23“	3 Seiten

1. Zusammenfassung

Die Stadtwerke Lemgo GmbH betreibt ein Blockheizkraftwerk an der technischen Hochschule OWL (Ehemals FH-Lippe) nördlich der Straße „Langenbruch“ in Lemgo (elektrische Leistung 1.999 kW_{el}).

Die Anlage soll jetzt um eine gasbefeuerte Kesselanlage (Feuerungswärmeleistung 8.800 kW_{FWL}) für die Abdeckung von Spitzenlasten beim Wärmebedarf erweitert werden.

Die Anlage soll direkt an der Ostfassade des vorhandene BHKW-Gebäudes angebaut werden.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für den Bau und Betrieb der Kesselanlage am BHKW-Langenbruch muss unter anderem nachgewiesen werden, dass vom zukünftigen Betrieb der Gesamtanlage (BHKW + Kesselanlage) keine unzulässigen Geräuschimmissionen an den maßgeblichen Immissionsorten in der Nachbarschaft verursacht werden. Wir sind von der Stadtwerke Lemgo GmbH mit entsprechenden schalltechnischen Untersuchungen beauftragt worden.

Im derzeitigen Planungsstadium ist der Hersteller bzw. Lieferant der Kesselanlage noch nicht bekannt, so dass auch noch keine konkreten Schallemissionsdaten für die Anlage vorliegen.

Daher wurde im Vorfeld auf der Basis von schalltechnischen Voruntersuchungen und Erfahrungswerten von vergleichbaren Kesselanlagen festgelegt, dass der mittlere Schalldruckpegel im Kesselgebäude nicht mehr als **L_{pAeq} = 80 dB(A)** betragen darf. Hierzu ist es erforderlich, dass die Hauptgeräuschquellen der gasbefeierten Kesselanlage, insbesondere der Brenner, mit Schallschutzmaßnahmen entsprechend dem aktuellen Stand der Technik ausgerüstet werden.

Diese sowie weitere schalltechnische Anforderungen wie z. B. Schalldämm-Maße für die Außenbauteile und Einfügungs-Dämm-Maße für die Schalldämpfer der Zu- und Abluftöffnungen werden als vom Lieferanten einzuhaltende Spezifikationen in die Ausschreibungsunterlagen übernommen. Diese Liefervorgaben sind im Kapitel 8 spezifiziert.

Die Schallemissionen der vorhandenen BHKW-Anlage haben wir aus den vorangegangenen Untersuchungen /9/, /10/ und /12/ entnommen. Zur Übersicht sind die Ergebnisse im Kapitel 9 nochmal aufgeführt.

Die aus dieser Schallemissionsbilanz im beurteilungsrelevanten Nachtzeitraum resultierenden Schallimmissionspegel sind im Kapitel 10 zusammengestellt und in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammengefasst.

Zur Übersicht sind jeweils auch die Immissionsrichtwerte sowie die Differenzen zwischen den Immissionsrichtwerten **IRW** und den berechneten Schallimmissionspegeln **L_r** aufgeführt.

Tabelle 1: Beurteilungspegel und Immissionsrichtwerte BHKW- und Kesselanlage

Immissionsorte	IRW Nacht in dB(A)	L_{r,Nacht} in dB(A)	IRW – L_{r,Nacht} in dB(A)
IP1 Langenbruch 2	40	31,5	8,5
IP2 Langenbruch 23	40	36,0	4,0
IP3 Hornscher Weg 37	35	20,7	14,3
IP4 Hornscher Weg 48	40	22,1	17,9
IP5 Langenbruch 17	55 *)	42,9	12,1

*) : nur Büronutzung, daher Richtwert für die Tageszeit auch in der Nachtzeit

Der Tabelle 1 kann entnommen werden, dass die Immissionsrichtwerte an allen fünf Immissionsorten unterschritten werden.

TÜV NORD Umweltschutz
Fachgebiet Schall- und Schwingungstechnik
Der Sachverständige

Peter Döding

2. Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Stadtwerke Lemgo GmbH betreibt ein Blockheizkraftwerk an der technischen Hochschule OWL (Ehemals FH-Lippe) nördlich der Straße „Langenbruch“ in Lemgo (elektrische Leistung 1.999 kW_{el}).

Die Anlage soll jetzt um eine gasbefeuerte Kesselanlage (Feuerungswärmeleistung 8.800 kW_{FWL}) für die Abdeckung von Spitzenlasten beim Wärmebedarf erweitert werden.

Die Anlage soll direkt an der Ostfassade des vorhandene BHKW-Gebäudes angebaut werden.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für den Bau und Betrieb der Kesselanlage am BHKW-Langenbruch muss unter anderem nachgewiesen werden, dass vom zukünftigen Betrieb der Gesamtanlage (BHKW + Kesselanlage) keine unzulässigen Geräuschimmissionen an den maßgeblichen Immissionsorten in der Nachbarschaft verursacht werden. Wir sind von der Stadtwerke Lemgo GmbH mit entsprechenden schalltechnischen Untersuchungen beauftragt worden.

Der Anhang 1 zeigt einen Übersichtsplan mit der Lage der BHKW- und Kesselanlage und der Nachbarschaft.

3. Vorgehensweise und Untersuchungsmethodik

Die vom zukünftigen Betrieb der BHKW- und Kesselanlage hervorgerufenen Schallemissionen und Schallimmissionen werden nach der TA Lärm /2/ ermittelt und beurteilt.

Die Schallemissionen der vorhandenen BHKW-Anlage haben wir aus den vorangegangenen Untersuchungen /9/, /10/ und /12/ entnommen. Zur Übersicht sind die Ergebnisse im Kapitel 9 nochmal aufgeführt.

Im derzeitigen Planungsstadium ist der Hersteller bzw. Lieferant der Kesselanlage noch nicht bekannt, so dass auch noch keine konkreten Schallemissionsdaten für die Anlage vorliegen.

Daher wurde im Vorfeld auf der Basis von schalltechnischen Voruntersuchungen und Erfahrungswerten von vergleichbaren Kesselanlagen festgelegt, dass der mittlere Schalldruckpegel im Kesselgebäude nicht mehr als **L_{pAeq} = 80 dB(A)** betragen darf. Hierzu ist es erforderlich, dass die Hauptgeräuschquellen der gasbefeuereten Kesselanlage, insbesondere der Brenner, mit Schallschutzmaßnahmen entsprechend dem aktuellen Stand der Technik ausgerüstet werden.

Diese sowie weitere schalltechnische Anforderungen wie z. B. Schalldämm-Maße für die Außenbauteile und Einfügungs-Dämm-Maße für die Schalldämpfer der Zu- und Abluftöffnungen werden als vom Lieferanten einzuhaltende Spezifikationen in die Ausschreibungsunterlagen übernommen. Diese Liefervorgaben sind im Kapitel 8 spezifiziert.

Die zugehörigen anteiligen Schallimmissionspegel an den maßgeblichen Immissionsorten werden nach der Norm DIN ISO 9613-2 /3/ mit einem zertifizierten Schallausbreitungsprogramm berechnet.

4. Berechnungs- und Beurteilungsgrundlagen

Beim Betrieb von technischen Anlagen ist dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche gemäß dem Vorsorgegrundsatz Rechnung zu tragen. Die Grundsätze zur Beurteilung der Geräusche für technische Anlagen sind in der TA Lärm /2/ dargelegt.

Der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche ist nach der TA Lärm vorbehaltlich einiger Sonderregelungen sichergestellt, wenn die Gesamtbelastung durch Gewerbelärm am maßgeblichen Immissionsort die Immissionsrichtwerte nicht überschreitet.

Die Gesamtbelastung ist die Belastung, welche durch alle technischen Anlagen hervorgerufen wird. Sie beinhaltet die Vorbelastung durch andere unter die Regelungen der TA-Lärm fallende Anlagen und die Zusatzbelastung durch die zu beurteilende Anlage.

Zum Einwirkungsbereich einer Anlage werden die Flächen gerechnet, in denen die Geräusche einer Anlage Beurteilungspegel verursachen, welche weniger als 10 dB(A) unter den geltenden Immissionsrichtwerten liegen (Pkt. 2.2 der TA Lärm).

Nach Punkt 3.2.1 TA Lärm darf in der Regel auch bei Überschreitung der Immissionsrichtwerte aufgrund der Vorbelastung die Genehmigung einer neuen Anlage nicht versagt werden, wenn die von der zu beurteilenden Anlage ausgehende Zusatzbelastung die Immissionsrichtwerte am maßgeblichen Immissionsort um mindestens 6 dB(A) unterschreitet.

Beurteilungspegel und -zeiten

Die Beurteilung der Geräuschimmissionen erfolgt nach der TA Lärm anhand von Beurteilungspegeln. Der Beurteilungspegel ist der Wert zur Kennzeichnung der mittleren Geräuschbelastung während der Beurteilungszeit. Sie sind auf die Beurteilungszeit für die Tages- und Nachtzeit zu beziehen. Als Bezugszeitraum für die Tageszeit gilt der Zeitraum von 06:00 bis 22:00 Uhr. Maßgebend für die Beurteilung der Nacht ist die volle Nachtstunde mit dem höchsten Beurteilungspegel, zu dem die zu beurteilende Anlage relevant beiträgt.

Zuschlag für Ton- und Informationshaltigkeit

Für die Teilzeiten, in denen in den zu beurteilenden Geräuschimmissionen ein oder mehrere Töne hervortreten oder in denen das Geräusch informationshaltig ist, ist je nach Auffälligkeit ein Zuschlag von 3 oder 6 dB anzusetzen. Falls Erfahrungswerte von vergleichbaren Anlagen vorliegen, ist von diesen auszugehen. Die Tonhaltigkeit eines Geräusches kann auch messtechnisch bestimmt werden (DIN 45 681).

Zuschlag für Impulshaltigkeit

Bei Prognosen ist für die Teilzeiten, in denen das zu beurteilende Geräusch Impulse enthält, je nach Störwirkung ein Zuschlag von 3 oder 6 dB anzusetzen. Falls Erfahrungswerte von vergleichbaren Anlagen vorliegen, ist von diesen auszugehen.

Bei Geräuschimmissionsmessungen ergibt sich der Impulzzuschlag K_I für die jeweilige Teilzeit aus der Differenz der nach dem Takt-Maximalpegelverfahren gemessenen Mittelungspegel und den äquivalenten Dauerschallpegeln:

$$K_I = L_{AFTeq} - L_{Aeq} \quad [\text{dB}].$$

Zuschlag für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit (Ruhezeitzuschlag)

Für folgende Zeiten ist in Wohngebieten, Kleinsiedlungsgebieten sowie in Gebieten mit höherer Schutzbedürftigkeit bei der Ermittlung des Beurteilungspegels die erhöhte Störwirkung von Geräuschen durch einen Zuschlag von 6 dB zu berücksichtigen:

- an Werktagen: 06 - 07 Uhr, 20 - 22 Uhr
- an Sonn- und Feiertagen: 06 – 09 Uhr, 13 - 15 Uhr, 20 - 22 Uhr.

Meteorologiekorrektur C_{met}

Die verschiedenen Witterungsbedingungen sind gemäß DIN ISO 9613-2, Gleichung 6 durch die Meteorologiekorrektur C_{met} zu berücksichtigen. Es wird ein Langzeit-Beurteilungspegel gebildet, welcher die Windrichtungsverteilung berücksichtigt. Das C_{met} wird vom berechneten Mittelungspegel (ermittelt für schallausbreitungsgünstige Witterungsverhältnisse) abgezogen. Bei Abständen bis zu 100 m ist die Meteorologiekorrektur in der Regel gleich Null. Korrekturwerte von 3 dB werden nur selten überschritten.

Die Korrektur (Verminderung des Beurteilungspegels) ist um so größer, je geringer der Zeitanteil während eines Jahres ist, in dem das Anlagengeräusch am Immissionsort ohne wesentliche Abschwächung durch Witterungseinflüsse einwirkt.

Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden und kurzzeitige Geräuschspitzen

Nach der TA Lärm ist von einem bestimmungsgemäßen Betrieb an einem mittleren Spitzentag auszugehen, der an mindestens 11 Tagen im Jahr erreicht wird. Die Immissionsrichtwerte (IRW) für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen die Immissionswerte nur begrenzt überschreiten.

Die maximal zulässigen Schalldruckpegel sind ebenfalls in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Immissionsrichtwerte TA Lärm außerhalb von Gebäuden für bestimmungsgemäßen Anlagenbetrieb

bauliche Nutzung	Immissionsrichtwerte		kurzzeitige Geräuschspitzen	
	[dB(A)]		[dB(A)]	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Industriegebiete	70	70	100	90
Gewerbegebiete	65	50	95	70
Urbane Gebiete	63	45	93	65
Kern-, Dorf- und Mischgebiete	60	45	90	65
allgemeine Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebiete	55	40	85	60
reine Wohngebiete	50	35	80	55
Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	35	75	55

Seltene Ereignisse

Die TA Lärm definiert seltene Ereignisse als besondere Vorkommnisse, die an nicht mehr als zehn Tagen oder Nächten eines Kalenderjahres und nicht an mehr als an jeweils zwei aufeinander folgenden Wochenenden stattfinden. Hierfür sind höhere Immissionsrichtwerte festgelegt. Sie betragen außerhalb von Industriegebieten außen tags 70 dB(A) und nachts 55 dB(A).

Kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen die Immissionsrichtwerte in Gewerbegebieten tags/nachts um maximal 25 / 15 dB(A) und in allen anderen Gebieten tags/nachts um maximal 20 / 10 dB(A) überschreiten.

Gemengelagen

Beim Aneinandergrenzen von gewerblich genutzten und dem Wohnen dienenden Gebieten aus der historischen Entwicklung heraus können gemäß TA Lärm, Punkt 6.7 die geltenden Immissionsrichtwerte für die zum Wohnen dienenden Gebiete auf einen geeigneten Zwischenwert bis zur maximalen Höhe des Immissionsrichtwertes für Kern-, Dorf- und Mischgebiete erhöht werden, soweit dies nach der gegenseitigen Pflicht zur Rücksichtnahme erforderlich ist. Es ist vorauszusetzen, dass der Stand der Lärminderungstechnik eingehalten wird.

„Für die Höhe des Zwischenwertes ... ist die konkrete Schutzwürdigkeit des betroffenen Gebietes maßgeblich. Wesentliche Kriterien sind die Prägung des Einwirkungsgebietes durch den Umfang der Wohnbebauung einerseits und durch Gewerbe- und Industriebetriebe andererseits, die Ortsüblichkeit eines Geräusches und die Frage, welche der unverträglichen Nutzungen zuerst verwirklicht wurde.“ /2/

5. Örtliche Verhältnisse

Die örtlichen Verhältnisse und der Standort der BHKW- und Kesselanlage können den Lageplänen in Anhang 1 und Anhang 2 entnommen werden.

Die vorhandene BHKW-Anlage befindet sich nördlich der Straße „Langenbruch“ in der Nachbarschaft der Technischen Hochschule OWL (ehemals FH-Lippe).

Das Gelände in der Umgebung der betrachteten Anlage und der Nachbarschaft kann aus schalltechnischer Sicht als eben angesehen werden (keine relevanten Schallabschirmungen durch Geländekanten).

6. Anlagen und Betriebsbeschreibung BHKW- und Kesselanlage

Das Blockheizkraftwerk wurde innerhalb einer Schallschutzkapsel in einem ca. 8 m hohen Gebäude aufgestellt.

Sowohl das BHKW als auch die Kesselanlage werden nur mit dem Brennstoff Erdgas betrieben.

Die Außenwände des Gebäudes wurden aus geschlossenen Stahlkassettenwänden hergestellt. Das Dach wurde aus Stahltrapezblech mit Mineralfaserdämmung und Dichtungsbahnen aufgebaut.

Die Kesselanlage soll direkt östlich an das vorhandene BHKW-Gebäude angebaut werden. Es ist die gleiche Bauausführung wie beim Blockheizkraftwerk vorgesehen, Gebäudehöhe ebenfalls ca. 8 m. Nach der derzeitigen Planung soll eine gasbefeuerte Kesselanlage mit einer Feuerungswärmeleistung von 8.800 kW_{FWL} errichtet werden. Die Anlage soll für die Abdeckung von Spitzenlasten beim Wärmebedarf dienen. Die vorhandene BHKW-Anlage und die Kesselanlage werden bei Bedarf sowohl tagsüber als auch nachts betrieben werden. Wir gehen nachfolgend von einem kontinuierlichen Betrieb aller Anlagen innerhalb der Beurteilungszeiträume aus. Für die schalltechnische Beurteilung ist dann die „Nachtstunde mit dem höchsten Beurteilungspegel“ maßgeblich („lauteste Nachtstunde“).

7. Immissionsorte und Immissionsrichtwerte

Im Genehmigungsbescheid /11/ für die bestehende BHKW-Anlage sind die drei in unseren vorangegangenen Untersuchungen berücksichtigten Immissionspunkte **IP1** bis **IP3** (siehe nachfolgende Tabelle 3) als maßgebliche Immissionsorte mit den zugehörigen Immissionsrichtwerten aufgeführt.

Da die vorhandene BHKW- und zukünftige Kesselanlage inzwischen durch ein neues Gebäude der Technischen Hochschule OWL (Gebäude „Hornscher Weg 44“) zum **IP3** „Hornscher Weg 37“ abgeschirmt werden, wird in dieser Untersuchung zusätzlich noch der Immissionsort **IP4** „Hornscher Weg 48“ als maßgeblicher Immissionsort berücksichtigt. Dieses Wohngebäude befindet sich gemäß den Festlegungen im Bebauungsplan Nr. 26 01.22/23 „Lüttfeld-Hornscher Weg“ der Stadt Lemgo in einem allgemeinen Wohngebiet (**WA**).

Weiterhin wurde nach der Errichtung der BHKW-Anlage direkt westlich angrenzend noch das Gebäude „Langenbruch 17“ (Smart Factory OWL) errichtet. Nach Rücksprache mit dem Kreis-Lippe wird auch an diesem Gebäude ein Immissionspunkt (**IP5**) berücksichtigt, da sich dort auch Büroräume befinden. Wir gehen davon aus, dass dort die gleichen Immissionsrichtwerte zugrunde gelegt werden müssen wie beim östlich gelegenen Verwaltungsgebäude „Langenbruch 23“, wobei für die Büronutzung nach gängiger Praxis der Tagesrichtwert auch für die Nachtzeit angesetzt wird.

In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die fünf maßgeblichen Immissionsorte mit den zugehörigen Immissionsrichtwerten zusammengestellt.

Tabelle 3: Immissionsorte und Immissionsrichtwerte IRW

Immissionsorte	IRW Tag in dB(A)	IRW Nacht in dB(A) –
IP1 Langenbruch 2	55	40
IP2 Langenbruch 23	55	40
IP3 Hornscher Weg 37	50	35
IP4 Hornscher Weg 48	55	40
IP4 Langenbruch 17	55	55 *)

*) : nur Büronutzung, daher Richtwert für die Tageszeit auch in der Nachtzeit

Die örtliche Lage der maßgeblichen Immissionsorte kann dem als Anhang 1 beigefügten Übersichtsplan entnommen werden. Da die BHKW- und Kesselanlage bei Bedarf kontinuierlich tagsüber und nachts betrieben werden kann, wird nachfolgend nur der bezüglich der Geräuschimmissionen maßgebliche Nachtzeitraum betrachtet.

Nach unseren Feststellungen im Rahmen einer Ortsbesichtigung am 11.07.2019 ist an den fünf Immissionsorten weiterhin – wie auch schon in /9/ ausgeführt – keine relevante Schallvorbelastung durch andere unter die Regelungen der TA Lärm fallende Anlagen vorhanden.

8. Schalltechnische Liefervorgaben für die neue Kesselanlage

Im derzeitigen Planungsstadium ist der Hersteller bzw. Lieferant der Kesselanlage noch nicht bekannt, so dass auch noch keine konkreten Schallemissionsdaten für die Anlage vorliegen.

Daher wurde im Vorfeld auf der Basis von schalltechnischen Voruntersuchungen und Erfahrungswerten von vergleichbaren Kesselanlagen festgelegt, dass der mittlere Schalldruckpegel im Kesselgebäude nicht mehr als $L_{pAeq} = 80 \text{ dB(A)}$ betragen darf. Hierzu ist es erforderlich, dass die Hauptgeräuschquellen der gasbefeuerten Kesselanlage, insbesondere der Brenner, mit Schallschutzmaßnahmen entsprechend dem aktuellen Stand der Technik ausgerüstet werden.

Der über die Kaminmündung der Kesselanlage abgestrahlte Schalleistungspegel darf einen Wert von $L_{WA} = 68 \text{ dB(A)}$ nicht überschreiten.

Die Außenbauteile des Kesselraumes müssen im betriebsfertig eingebauten Zustand mindestens die in der nachfolgenden Tabelle 4 aufgeführten Schalldämm-Maße erreichen:

Tabelle 4: Schalldämm-Maße R' der Außenbauteile des Kesselraumes

Quelle	Schalldämm-Maße R' in dB bei									R'_w in dB
	32 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	
Wände (z. B. Kassettenwände mit Mineralfaserdämmung)	7	16	28	34	42	48	52	56	58	45
Dach (z. B. Trapezblech mit Mineralfaserdämmung)	7	16	27	30	38	44	46	48	48	42
Tore / Türen	6	12	18	22	25	28	26	25	23	27

Die Einhaltung der vorgenannten Werte ist durch Prüfzeugnisse für die ausgewählten Konstruktionen nachzuweisen. Bei den Türen bzw. Toren ist bei der Auswahl ein Vorhaltemaß von 5 dB zu berücksichtigen.

Die Zu- und Abluftöffnungen des Kesselraumes müssen mit Schalldämpfern versehen werden, die mindestens folgende Einfügungs-Dämm-Maße D_e erreichen:

Tabelle 5: Einfügungs-Dämm-Maße D_e Schalldämpfer Zu- und Abluftöffnungen Kesselraum

Quelle	Einfügungs-Dämm-Maße D_e in dB bei								
	32 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz
Tore / Türen	2	4	10	14	19	29	28	19	13

Die geräuschrelevanten Anlagen der neuen Kesselanlage dürfen keine belästigenden einzeltonhaltigen Schallemissionen hervorrufen (das gilt insbesondere für die Kaminmündung der Kesselanlage). Dies ist insbesondere dann erfüllt, wenn in allen Terzfrequenzbändern von 25 Hz – 10 kHz der Abstand der Terzschalleistungspegel gegenüber den Terzschalleistungspegeln der angrenzenden niederfrequenten und höherfrequenten Terzbänder höchstens 5 dB beträgt.

9. Schallemissionen der zukünftigen Gesamtanlage (BHKW und Kesselanlage)

Für die relevanten Schallquellen der geplanten Kesselanlage werden die aus den im vorangegangenen Kapitel 8 beschriebenen schalltechnischen Spezifikationen resultierenden Schallemissionen berücksichtigt.

Die über die Außenbauteile der Betriebsgebäude (Wand- und Dachflächen etc.) abgestrahlten Schallemissionen werden gemäß /6/ wie folgt ermittelt:

- $L_w = L_i - R' - C + 10 \log S$ [dB];
- mit: L_w Schalleistungspegel pro Oktave [dB],
- L_i Innenpegel [dB],
- R' Schalldämm-Maß [dB],
- C Korrekturfaktor gemäß DIN EN 12354-4 /6/ [dB],
- S abstrahlende Fläche des Außenbauteils [m^2].

Für den Raumpegel im Kesselraum wird folgendes Oktavspektrum zugrunde gelegt:

Tabelle 6: Schalldruckpegel im Kesselraum

Oktav-Schalldruckpegel in dB bei									Summe in dB(A)
32 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	
85	93	78	71	73	77	73	68	60	80

Für die Außenbauteile werden die im Kapitel 8 in der Tabelle 4 auf der Seite 11 aufgeführten Schalldämm-Maße zugrunde gelegt.

Für die Kaminmündung der Kesselanlage wird folgendes Oktavspektrum in Ansatz gebracht:

Tabelle 7: Schalleistungspegel Kaminmündung Gaskessel

Oktav-Schalleistungspegel in dB bei									Summe
32 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	in dB(A)
96	92	71	60	57	58	55	54	47	68

Für das Blockheizkraftwerk werden die Schallemissionen entsprechend der Ergebnisse der schalltechnischen Abnahmemessungen /10/ und /12/ berücksichtigt. Nachfolgend sind die Daten zur Übersicht nochmal aufgeführt.

Im BHKW-Gebäude wurden folgende Schalldruckpegel gemessen:

Tabelle 8: Schalldruckpegel im BHKW-Gebäude

Oktav-Schalldruckpegel in dB bei									Summe
32 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	in dB(A)
77	77	83	80	72	73	72	67	69	79

Für die Einzelschallquellen des Blockheizkraftwerkes wurden bei den schalltechnischen Abnahmemessungen folgende Schalleistungspegel ermittelt:

Tabelle 9: Schalleistungspegel Einzelschallquellen Blockheizkraftwerk

Bezeichnung	Schalleistungspegel L_{WA} in dB(A)
Kaminmündung ¹⁾	69
Zuluft BHKW-Kapsel Nordfassade	70
Abluft BHKW-Kapsel Südfassade	69
Raumbelüftung BHKW-Raum Südfassade	56
Kühler BHKW-Anlage (auf dem Dach)	73

¹⁾: Einzelton in der Terzmittenfrequenz 63 Hz, daher zusätzlich Tonzuschlag $K_T = 6$ dB;

10. Berechnung der Geräuschimmissionen

Entsprechend den Vorgaben der TA Lärm wurden die vom zukünftigen Betrieb der BHKW- und Kesselanlage verursachten und auf die maßgeblichen Immissionsorte in der Nachbarschaft einwirkenden Geräuschimmissionen mit einer detaillierten Berechnung im Oktav-Spektrum nach den Vorgaben der Norm DIN ISO 9613-2 mit dem Programmsystem „IMMI“ der Firma Wölfel, Version 2018 berechnet.

Die Beurteilungspegel wurden nach Gleichung (G2) der TA Lärm aus den Mittelungspegeln L_{Aeq} der immissionsrelevanten Quellen bestimmt. Zur Bestimmung der meteorologischen Korrektur C_{met} wurde für C_0 ein pauschaler Wert von 1,9 dB nachts zugrunde gelegt. Die Bodendämpfung wurde nach Ziffer 7.3.2 der Norm DIN ISO 9613-2 berechnet. Die Einzelpunktberechnungen beziehen sich jeweils auf das oberste (lauteste) Geschoss der Nachbargebäude.

Die Beurteilungspegel für den beurteilungsrelevanten Nachtzeitraum sind in der nachfolgenden Tabelle 10 dargestellt. Zur Übersicht sind jeweils auch die Immissionsrichtwerte sowie die Differenzen zwischen den Immissionsrichtwerten **IRW** und den berechneten Schallimmissionspegeln L_r aufgeführt.

Tabelle 10: Beurteilungspegel und Immissionsrichtwerte BHKW- und Kesselanlage

Immissionsorte	IRW Nacht in dB(A)	$L_{r,Nacht}$ in dB(A)	IRW – $L_{r,Nacht}$ in dB(A)
IP1 Langenbruch 2	40	31,5	8,5
IP2 Langenbruch 23	40	36,0	4,0
IP3 Hornscher Weg 37	35	20,7	14,3
IP4 Hornscher Weg 48	40	22,1	17,9
IP5 Langenbruch 17	55 *)	42,9	12,1

*) : nur Büronutzung, daher Richtwert für die Tageszeit auch in der Nachtzeit

Der Tabelle 10 kann entnommen werden, dass die Immissionsrichtwerte im beurteilungsrelevanten Nachtzeitraum an allen fünf Immissionsorten unterschritten werden.

Der Anhang 3 zeigt beispielhaft die Einzelergebnisse zur Berechnung der Beurteilungspegel am Immissionsort **IP2** „Langenbruch 23“ (Immissionsanteile der einzelnen Schallquellen und beispielhaft die Detailergebnisse für die Punktschallquellen „Kaminmündungen“).

Von der BHKW- und Kesselanlage werden beim bestimmungsgemäßen Betrieb keine beurteilungsrelevanten kurzzeitigen Geräuschspitzen verursacht.

11. Anlagenbedingter Verkehr auf öffentlichen Straßen

Nach Ziffer 7.4 der TA Lärm sollen auch die Geräusche des anlagenbedingten Verkehrs auf den öffentlichen Verkehrsflächen im Umkreis von bis zu 500 m vom Rand des Betriebsgeländes **außerhalb von Gewerbe- und Industriegebieten** betrachtet werden.

Im vorliegenden Fall ist mit dem Betrieb der BHKW- und Kesselanlage kein regelmäßiger Fahrzeugverkehr verbunden.

Daher sind im vorliegenden Fall keine weiteren Untersuchungen zum anlagenbedingten Fahrzeugverkehr auf öffentlichen Straßen erforderlich.

12. Tieffrequente Geräusche / Erschütterungen

Tieffrequente Geräusche sind nach Ziffer 7.3 der TA Lärm bzw. nach DIN 45680 Geräusche, deren vorherrschende Energieanteile im Frequenzbereich unter 90 Hz liegen. Im Wohnbereich können tieffrequente Geräusche insbesondere zu Zeiten, wenn andere Geräuschbelastungen niedrig sind, schon dann zu erheblichen Belästigungen führen, wenn sie gerade wahrgenommen werden. Nach Ziffer 7.3 der TA Lärm können schädliche Umwelteinwirkungen insbesondere auftreten, wenn in schutzbedürftigen Räumen bei geschlossenen Fenstern die Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ den Wert 20 dB überschreitet.

Zur Beurteilung tieffrequenter Geräusche verweist die TA Lärm auf die DIN 45680. Das in dieser Norm beschriebene Verfahren setzt eine Messung der Geräusche in den betroffenen Wohnräumen voraus.

Für die bestehende BHKW-Anlage wurden nach unseren Informationen von der Nachbarschaft bisher keine Beschwerden über Belästigungen durch tieffrequente Geräusche geäußert.

Für die Kesselanlage wurden dem aktuellen Stand der Technik entsprechende Schallschutzmaßnahmen festgelegt und in die Ausschreibungsunterlagen übernommen (siehe Kapitel 8), so dass davon ausgegangen werden kann, dass auch von dieser Anlage keine relevanten tieffrequenten Schallimmissionen verursacht werden.

Im Hinblick auf mögliche Erschütterungseinwirkungen im Bereich der Immissionsorte ist festzustellen, dass zur Sicherung eines störungsfreien Betriebes und zur Erreichung einer langen Lebensdauer die einzelnen Anlagenteile bereits so konstruiert werden, dass sie möglichst erschütterungsarm laufen. Soweit erforderlich erfolgt zusätzlich eine schwingungsisierte Aufstellung bzw. eine akustische Entkopplung einzelner Aggregate durch geeignete Federelemente und Kompensatoren.

13. Qualität der Prognose

Die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse wird bestimmt durch die verwendeten Ausbreitungs-Algorithmen und die Messunsicherheit bei der Bestimmung der angesetzten Schalleistungspegel.

Die Schallpegelmessungen an der BHKW-Anlage wurden mit einem geeichten Klasse 1 Schallpegelmessgerät durchgeführt. Der vom Messgerät herrührende Beitrag zur Messunsicherheit beträgt maximal $\pm 0,7$ dB(A). Für die Schallausbreitungsrechnung wird in Tabelle 5 der Norm DIN ISO 9613-2 /3/ eine geschätzte Genauigkeit von maximal ± 3 dB angegeben.

Bei n gleichen Quellenanteilen mit jeweils gleicher Unsicherheit reduziert sich die Unsicherheit nach dem Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz um den Faktor $1/\sqrt{n}$. Damit nimmt die Genauigkeit der Berechnungen mit wachsender Zahl der Quellen zu.

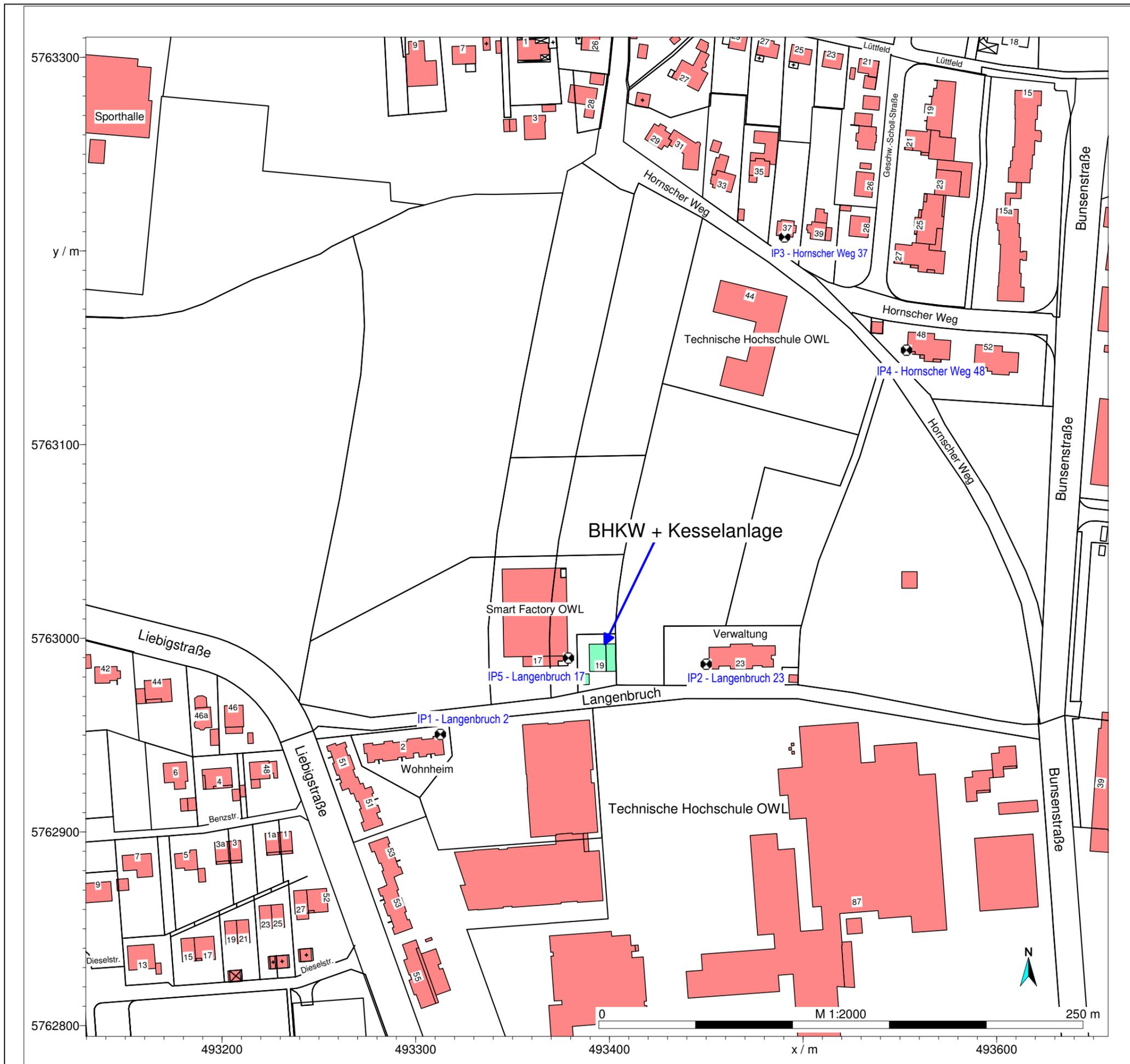
Bei den schalltechnischen Berechnungen wurde ein konservativer Ansatz gewählt (kontinuierlicher Betrieb aller Anlagen mit maximaler Leistung).

Aufgrund der getroffenen Annahmen und der Berechnungsparameter kann daher im vorliegenden Fall davon ausgegangen werden, dass die ermittelten Beurteilungspegel die mittlere Obergrenze der zu erwartenden Schallimmissionen darstellen.

14. Quellenverzeichnis

- /1/ BImSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz), in der aktuellen Fassung
- /2/ TA Lärm: 6. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung des BImSchG - Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) - Gemeinsames Ministerialblatt, herausgegeben vom Bundesministerium des Inneren, 49. Jahrgang, Nr. 26 am 28.08.1998
- /3/ DIN ISO 9613-2: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, 1999-10
- /4/ DIN ISO 3744: Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckpegelmessungen; Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene, 2011-02
- /5/ DIN EN ISO 9614-2: Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen, Messung mit kontinuierlicher Abtastung, 1996-12
- /6/ DIN EN 12354-4: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie, Ausgabe 2017-11
- /7/ DIN 45681: Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen, Ausgabe 2005-03; und DIN 45681, Berichtigung 2, Ausgabe 2006-08
- /8/ DIN 45635 Teil 47: Geräuschmessung an Maschinen, Luftschallemission, Hüllflächen-Verfahren Schornsteine, Ausgabe 1985-06

- /9/ Schalltechnisches Gutachten zum geplanten Bau und Betrieb einer BHKW-Anlage auf dem Grundstück „Langenbruch 19“ in der Nähe der Fachhochschule-Lippe in Lemgo; Revision 2 mit geänderter Bauausführung; TÜV NORD Umweltschutz GmbH & Co. KG, Az. 8000 615 276 03 / 306SST044 vom 12.04.2007
- /10/ Bericht über die Ermittlung der Geräuschemissionen und Geräuschemissionen der BHKW-Anlage auf dem Grundstück „Langenbruch 19“ in der Nähe der FH-Lippe in Lemgo; TÜV NORD Umweltschutz GmbH & Co. KG, Az. ; 8000 620 898 02 / 308SST024 vom 19.06.2008
- /11/ Genehmigungsbescheid für die Änderung und den Betrieb einer Verbrennungsmotoren-anlage zur Erzeugung von Strom und Warmwasser für den Einsatz von Erdgas mit einer Feuerungswärmeleistung von 4,76 MW einer vorhandenen Energieerzeugungsanlage; Kreis Lippe, Az. 766.0045/14/1.2.3.2 vom 16.10.2014
- /12/ Blockheizkraftwerk „FH-Lippe“ der Stadtwerke Lemgo: Schallmessungen nach dem Einbau eines neuen BHKW-Modules; TÜV NORD Umweltschutz GmbH & Co. KG, Az. 8000 706 268 02 / 314UBS045 vom 05.12.2014



Legende

- Nachbargebäude
- Immissionsorte
- BHKW- und Kesselanlagegebäude

© Land NRW (2019)
Amt für Geoinformation und Kataster

Auftraggeber: Stadtwerke Lemgo GmbH
Bruchweg 24
32657 Lemgo

Projekt: Errichtung und Betrieb einer Kesselanlage am Blockheizkraftwerk "Langenbruch" an der Technischen Hochschule OWL in Lemgo

Planinhalt: Übersichtsplan Betriebsgelände und Nachbarschaft mit der Lage der BHKW- und Kesselanlage und der maßgeblichen Immissionsorte in der Nachbarschaft

Bearbeiter: TNUC-SST-BI / Döding

Datum: 25.07.2019



Legende

-  Nachbargebäude
-  Immissionsorte
-  BHKW- und Kesselanlagengebäude
-  Punktschallquellen Kaminmündung
-  Linienschallquelle Kühler
-  Flächenschallquellen

© Land NRW (2019)
Amt für Geoinformation und Kataster

Auftraggeber: Stadtwerke Lemgo GmbH
Bruchweg 24
32657 Lemgo

Projekt: Errichtung und Betrieb einer
Kesselanlage am Blockheiz-
kraftwerk "Langenbruch"
an der Technischen Hochschule
OWL in Lemgo

Planinhalt: Übersichtsplan Betriebsgelände
BHKW- und Kesselanlage und
Lage der relevanten Schallquellen

Bearbeiter: TNUC-SST-BI / Döding

Datum: 25.07.2019

Immissionsort: **IP2** „Langenbruch 23“

Bezeichnung der Quelle:	Nacht (22:00 Uhr – 06:00 Uhr)	
	Lr,i in dB(A)	Lr in dB(A)
Kaminmündung BHKW	31,6	31,6
Kaminmündung Kessel	24,7	32,5
Kuehler	25,3	33,2
BHKW_Wand_Nord	7,5	33,2
Tür_BHKW_Nordseite	7,9	33,2
Tor_BHKW_Nordseite	8,9	33,3
Zuluft_BHKW_Nord	19,1	33,4
BHKW_Wand_West	4,6	33,4
BHKW_Wand_Sued	8,4	33,4
Tor_BHKW_Sued	17,1	33,5
Abluft_BHKW_Sued	20,3	33,7
Raumlueftung_Sued	10,6	33,8
Kessel_Wand_Sued	18,1	33,9
Tür_Kessel_Sued	13,2	33,9
Zuluft_Kessel_Sued	24,2	34,4
DruckentlastKessSued	26,7	35,0
Kessel_Wand_Ost	27,0	35,7
Kessel_Wand_Nord	17,2	35,7
Tür_Kessel_Nordseite	8,6	35,7
Abluft_Kessel_Nord	20,6	35,9
BHKW_Dach	11,6	35,9
Kessel_Dach	16,9	36,0
Gesamtbeurteilungspegel nachts:		36,0

Lr,i = Immissionsanteil der einzelnen Geräuschquellen am betrachteten Immissionsort,

Lr = Summenpegel am Immissionsort, von oben nach unten aufsummiert;

Legende zur nachfolgenden detaillierten Ergebnisliste:

ISO 9613: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien	
$L_{r,i} = L_w + D_c - A_{div} - A_{atm} - A_{gr} - A_{fol} - A_{hous} - A_{bar} - C_{met}$	
Bezeichnung:	Name der Schallquelle
Abstand:	Abstand des Immissionspunktes zur (virtuellen) Schallquelle
Frq:	Frequenz der Emission (Oktav- oder Terzpegel)
Lw,i:	Oktav- oder Terz-Schalleistungspegel der Schallquelle (linear, unbewertet)
DC:	Raumwinkelmaß + Richtwirkungsmaß + Bodenreflexion (frq.-unabh. Berechnung) $D_c = D_0 + D_I + D_{\Omega}$
DI:	Richtwirkungsmaß
Adiv:	Abstandsmaß
Aatm:	Luftabsorptionsmaß
Agr:	Bodendämpfungsmaß
Afol:	Bewuchsdämpfungsmaß
Ahous:	Bebauungsdämpfungsmaß
Ddg:	Summe von Bewuchs- und Bebauungsdämpfungsmaß
Abar:	Einfügungsdämpfungsmaß eines Schallschirms
Cmet:	Meteorologische Korrektur
Lr,i:	beurteilter Immissionswert für die Teilquelle (linear, unbewertet)

Achtung: Die nachfolgenden Einzelergebnisse für die Punktschallquellen enthalten noch nicht die Korrekturen für die zeitliche Einwirkdauer, die Anzahl der Ereignisse sowie evtl. Ton-, Impuls- oder Ruhezeitenzuschläge!

Bezeichnung	Reflektor	Abstand /m	Frq /Hz	Lw,i /dB	DC /dB	DI /dB	Adiv /dB	Aatm /dB	Agr /dB	Afol /dB	Ahous /dB	Ddg /dB	Abar /dB	Cmet /dB	Lr,i /dB
Kaminmündung BHKW		57,3	16		2,7	0,0	46,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Kaminmündung BHKW		57,3	32	97,0	2,7	0,0	46,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	53,5
Kaminmündung BHKW		57,3	63	95,0	2,7	0,0	46,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,5
Kaminmündung BHKW		57,3	125	82,0	2,7	0,0	46,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,5
Kaminmündung BHKW		57,3	250	76,0	2,7	0,0	46,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,4
Kaminmündung BHKW		57,3	500	69,0	2,7	0,0	46,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,4
Kaminmündung BHKW		57,3	1000	69,0	2,7	0,0	46,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,3
Kaminmündung BHKW		57,3	2000	65,0	2,7	0,0	46,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,9
Kaminmündung BHKW		57,3	4000	57,0	2,7	0,0	46,2	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4
Kaminmündung BHKW		57,3	8000	49,0	2,7	0,0	46,2	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,9
Kaminmündung Kessel		54,8	16		2,6	0,0	45,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Kaminmündung Kessel		54,8	32	96,0	2,6	0,0	45,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,9
Kaminmündung Kessel		54,8	63	92,0	2,6	0,0	45,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,9
Kaminmündung Kessel		54,8	125	71,0	2,6	0,0	45,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,8
Kaminmündung Kessel		54,8	250	60,0	2,6	0,0	45,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8
Kaminmündung Kessel		54,8	500	57,0	2,6	0,0	45,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7
Kaminmündung Kessel		54,8	1000	58,0	2,6	0,0	45,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,6
Kaminmündung Kessel		54,8	2000	55,0	2,6	0,0	45,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3
Kaminmündung Kessel		54,8	4000	54,0	2,6	0,0	45,8	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9
Kaminmündung Kessel		54,8	8000	47,0	2,6	0,0	45,8	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,2

Zusammenfassung der frequenzabhängigen Beurteilungspegel

[frequenzabhängige Pegel $L_{r,i}$ unbewertet in dB, Gesamtpegel $L_{r,A}$ in dB(A)]

Bezeichnung	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$L_{r,A}$ / dB
	$L_{r,i}$ / dB									
Kaminmündung BHKW	53,5	51,5	38,5	32,4	25,4	25,3	20,9	11,4	-1,9	31,6
Kaminmündung Kessel	52,9	48,9	27,8	16,8	13,7	14,6	11,3	8,9	-3,2	24,7
Summenspektrum linear	56,2	53,4	38,8	32,6	25,7	25,6	21,3	13,4	0,5	58,1
Summenspektrum A-bew.	16,8	27,2	22,7	24,0	22,5	25,6	22,5	14,4	-0,6	32,5