



# Validierung des Prognoseverfahrens tieffrequenter Schallimmissionen

Schriftenreihe, Heft 4/2025



# Validierung des Verfahrens der Schallimmissionsprognose bei tieffrequenten Geräuschen

Dr. rer. nat. Wolfgang Böhm, Dr. rer. nat. Heiko Hansen, Dipl.-Ing. (FH) Denise Hennig,  
M. Sc. Niklas Löcherer, Dipl.-Ing. Volker Warnecke  
Müller-BBM Industry Solutions

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Situation und Aufgabenstellung</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Literaturrecherche</b> .....	<b>11</b>
2.1 Geräuschemissionen der Quelle .....	11
2.2 Ausbreitungsweg im Freien .....	13
2.3 Schallausbreitung in den Raum und Raumrückwirkung .....	14
<b>3 Methodik der vorliegenden Untersuchung</b> .....	<b>16</b>
3.1 Untersuchungsschritte .....	16
3.2 Auswahl der Anlagen und der Aufenthaltsräume für die Messungen .....	17
3.3 Ermittlung der Außenpegel durch Schallausbreitungsberechnung .....	18
3.4 Immissionsmessungen .....	20
3.4.1 Generelles .....	20
3.4.2 Innenpegel .....	21
3.4.3 Außenpegel .....	22
3.5 Auswertung .....	22
3.5.1 Prognose der Innenpegel .....	22
3.5.2 Berechnung der Pegeldifferenzen zwischen Außen- und Innenpegel .....	23
3.6 Unsicherheitsbetrachtung .....	24
<b>4 Untersuchte Anlagen und Räume sowie Messwerte</b> .....	<b>26</b>
4.1 Übersicht über die Anlagen und Räume .....	26
4.2 Anlage 1: BHKW und Heizwerk .....	28
4.2.1 Abbildungen.....	28
4.2.2 Gemessene Schalldruckpegel .....	30
4.3 Anlage 2: Umspannwerk.....	32
4.3.1 Abbildungen.....	32
4.3.2 Gemessene Schalldruckpegel .....	34
4.4 Anlage 3: Heizhaus mit drei BHKWs .....	38
4.4.1 Abbildungen.....	38
4.4.2 Gemessene Schalldruckpegel .....	39
4.5 Anlage 4: Zellstoffabrik.....	41
4.5.1 Abbildungen.....	41
4.5.2 Gemessene Schalldruckpegel (Büro Nord).....	44
4.5.3 Gemessene Schalldruckpegel (Büro West) .....	47
4.5.4 Gemessene Schalldruckpegel (Pausenraum).....	49

4.6	Anlage 5: Heizkraftwerk mit acht BHKWs .....	51
4.6.1	Abbildungen.....	51
4.6.2	Gemessene Schalldruckpegel.....	53
4.6.3	Innengeräusch Raum 5.5 (Büro 1.2).....	55
<b>5</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>56</b>
5.1	Prognose der Innenpegel .....	56
5.1.1	Prognostizierte Innenpegel.....	56
5.1.2	Bewertung der prognostizierten Innenpegel .....	63
5.2	Berechnung der Pegeldifferenzen aus Messwerten .....	65
5.3	Vergleich der Ergebnisse mit Literaturwerten.....	70
<b>6</b>	<b>Bewertung.....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>72</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>75</b>
	<b>Anhang 1: Durchführung der Messungen .....</b>	<b>78</b>
	<b>Anhang 2: Terzpegelspektren der in und vor den Räumen gemessenen Schalldruckpegel .....</b>	<b>79</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan mit Anlage 1 und Immissionsorten. ....	28
Abbildung 2: Anlage 1 und Immissionsorte Raum 1.1 und Raum 1.2. ....	28
Abbildung 3: Immissionsort Raum 1.1 (Wohnzimmer).....	29
Abbildung 4: Immissionsort Raum 1.2 (Kinderzimmer). ....	29
Abbildung 5: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Anlage 1. ....	30
Abbildung 6: Räume 1.1 und 1.2: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen.....	31
Abbildung 7: Lageplan mit Anlage 2 und Immissionsorten. ....	32
Abbildung 8: Anlage 2 und Immissionsorte Räume 2.1, 2.2 und 2.3. ....	32
Abbildung 9: Immissionsort Raum 2.1 (Schlafzimmer Süd).....	33
Abbildung 10: Immissionsort Raum 2.2 (Schlafzimmer Mitte).....	33
Abbildung 11: Immissionsort Raum 2.3 (Schlafzimmer Nord). ....	34
Abbildung 12: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Anlage 2.....	35
Abbildung 13: Räume 2.1, 2.2 und 2.3: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen. .	37
Abbildung 14: Lageplan mit Anlage 3 und Immissionsort.....	38
Abbildung 15: Anlage 3 und Immissionsort Raum 3.2. ....	38
Abbildung 16: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Anlage 3.....	39
Abbildung 17: Raum 3.2: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen. ....	40
Abbildung 18: Lageplan der Immissionsorte Räume 4.1 und 4.2 inmitten der Anlage 4. ....	41
Abbildung 19: Immissionsorte Räume 4.1 und 4.2. ....	41
Abbildung 20: Lageplan des Immissionsortes Raum 4.3 und von Teilen der Anlage 4. ....	42
Abbildung 21: Immissionsort Raum 4.3 von außen. ....	42
Abbildung 22: Immissionsort Raum 4.1 (Büro Nord). ....	43
Abbildung 23: Immissionsort Raum 4.2 (Büro West). ....	43
Abbildung 24: Immissionsort Raum 4.3 (Pausenraum). ....	44
Abbildung 25: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Raum 4.1. ....	45
Abbildung 26: Raum 4.1: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen. ....	46
Abbildung 27: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Raum 4.2. ....	47
Abbildung 28: Raum 4.2: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen. ....	48
Abbildung 29: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Raum 4.3. ....	49
Abbildung 30: Raum 4.3: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen. ....	50
Abbildung 31: Lageplan mit Anlage 5 und Immissionsorten Räume 5.1 und 5.2. ....	51
Abbildung 32: Anlage 5.....	51
Abbildung 33: Immissionsorte Räume 5.1 und 5.2 außen. ....	52
Abbildung 34: Immissionsort Raum 5.1 (Büro 1.1). ....	52

Abbildung 35: Immissionsort Raum 5.2 (Büro 1.2). .....	53
Abbildung 36: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Anlage 5.....	54
Abbildung 37: Räume 5.1 und 5.2: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen. ....	55
Abbildung 38: Vergleich der gemessenen Innenpegel mit den nach dem sächsischen Verfahren prognostizierten Innenpegeln. ....	62
Abbildung 39: Differenz der in den „3D-Ecken“ gemessenen Schalldruckpegel zum Messwert nach DIN 45680. Gelb eingetragen ist der 95-%-Vertrauensbereich. ....	63
Abbildung 40: Aus den gemessenen Außen- und Innenpegeln berechnete Pegeldifferenzen für die untersuchten Räume.....	66
Abbildung 41: Mittelwerte der aus den gemessenen Außenpegeln $L_{p,a,m,W}$ bzw. $L_{p,a,m,T}$ und gemessenen Innenpegeln $L_{p,i,3D}$ berechneten Pegeldifferenzen im Vergleich zu den nach dem sächsischen Verfahren anzuwendenden Pegeldifferenzen. ....	67
Abbildung 42: Mittelwerte der aus den gemessenen Außen- und Innenpegeln berechneten Pegeldifferenzen (Bezug auf $L_{p,i,3D}$ ).....	68
Abbildung 43: Mittelwerte der aus den gemessenen Außenpegeln $L_{p,a,m,W}$ bzw. $L_{p,a,m,T}$ und gemessenen Innenpegeln $L_{p,i,DIN}$ berechneten Pegeldifferenzen im Vergleich zu den für das sächsische Verfahren anzuwendenden Pegeldifferenzen.....	69
Abbildung 44: Vergleich der aus der vorliegenden Untersuchung abgeleiteten Pegeldifferenzen (dicke schwarze, blaue, grüne und rote Kurve) mit Werten aus der Literatur (Abbildung aus SCHULZE et al. (2021)).....	70

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: „Schalldurchtritt“ nach verschiedenen Studien.....	15
Tabelle 2: Untersuchte Anlagen .....	17
Tabelle 3: Untersuchte Anlagen, Zuordnung der Räume. ....	26
Tabelle 4: Untersuchte Räume. ....	26
Tabelle 5: Raummoden infolge von Reflexionen zwischen parallelen Raumbegrenzungsflächen im Bereich der Terzbänder 25 Hz bis 100 Hz.....	27
Tabelle 6: Schalldruckpegel außen. ....	30
Tabelle 7: Schalldruckpegel außen. ....	34
Tabelle 8: Schalldruckpegel außen. ....	39
Tabelle 9: Schalldruckpegel außen. ....	44
Tabelle 10: Schalldruckpegel außen. ....	47
Tabelle 11: Schalldruckpegel außen. ....	49
Tabelle 12: Schalldruckpegel außen. ....	53
Tabelle 13: Über- bzw. Unterschätzungen des gemessenen Innenpegels durch das sächsische Prognoseverfahren bei Bezug auf den gemessenen Freifeldpegel $L_{p,a,m,W}$ . ....	64

## Tabellenverzeichnis im Anhang

Tabelle A 1: Messzeiten .....	78
Tabelle A 2: Messgeräte .....	78
Tabelle A 3: Anlage 1 - Terzpegelspektren .....	79
Tabelle A 4: Anlage 2 - Terzpegelspektren .....	80
Tabelle A 5: Anlage 3 - Terzpegelspektren .....	81
Tabelle A 6: Anlage 4 - Terzpegelspektren .....	82
Tabelle A 7: Anlage 5 - Terzpegelspektren .....	83

## **Abkürzungsverzeichnis**

BHKW	Blockheizkraftwerk
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EN	Europäische Norm
ISO	International Organization for Standardization
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm



## Zusammenfassung

Das vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) im Jahre 2021 veröffentlichte Prognoseverfahren für tieffrequente Schallimmissionen in Aufenthaltsräumen (FRITZSCHE, 2021) – im Folgenden „sächsisches Prognoseverfahren“ – sollte mit der vorliegend beschriebenen Untersuchung anhand von Messungen in realen Situationen validiert werden. Hierzu wurden in der Nachbarschaft von Anlagen, welche potentiell tieffrequente Geräusche emittieren, die Schalldruckpegel in Aufenthaltsräumen nach diesem Verfahren berechnet und zum Vergleich gemessen.

Zur Untersuchung standen fünf Anlagen und insgesamt elf Aufenthaltsräume in deren Nachbarschaft zur Verfügung. Die außen vor dem Gebäude anliegenden Schalldruckpegel wurden sowohl anhand einer Schallausbreitungsberechnung ermittelt als auch direkt gemessen. Zur Berechnung der Innenpegel wurden die gemessenen Außenpegel herangezogen, da die Schallausbreitungsberechnung insbesondere im tieffrequenten Bereich mit größeren Unsicherheiten behaftet ist, deren Analyse nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war. Die Anlagengeräusche der untersuchten Situationen waren aufgrund deutlich herausragender Linien im Schmalbandspektrum alle als tonal im Sinne des Prognoseverfahrens anzusehen.

Im Ergebnis ist festzustellen:

- Die mit Bezug auf die Schalldruckpegel in den Raumecken ermittelten Pegeldifferenzen des sächsischen Prognoseverfahrens überschätzen tendenziell die tatsächlich gemessenen Pegel, jedoch nicht wie angestrebt in 90 % der untersuchten Fälle.
- An dem nach DIN 45680 zu berücksichtigenden maßgeblichen Immissionsort (d. h. der Stelle höchster Belastung in den Räumen, an der sich Personen regelmäßig aufhalten) werden mit dem sächsischen Prognoseverfahren, im Vergleich zum Messpegel, fast ausnahmslos zu hohe Pegel ermittelt.

Für eine ausreichende statistische Absicherung der hier vorgelegten Untersuchungsergebnisse müssen weitere reale Situationen messtechnisch untersucht werden.

Bei der Entscheidung über die Genehmigungsfähigkeit einer Anlage sollten bei Anwendung des sächsischen Prognoseverfahrens in Hinsicht auf die konservativen Annahmen stets auch die besonderen Umstände des Einzelfalls berücksichtigt werden.

## 1 Situation und Aufgabenstellung

In der TA Lärm, welche den Schallimmissionsschutz für genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen regelt, werden im Anhang unter Abschnitt A.1.5 Hinweise zur Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche gegeben. Hierbei wird zur Ermittlung und Bewertung tieffrequenter Geräusche auf die DIN 45680 verwiesen, welche ein Verfahren zur Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen beschreibt. Aufgrund der zunehmenden Zahl von Anlagen, von denen tieffrequente Geräuschimmissionen ausgehen (beispielsweise Motorenkraftwerke), werden regelmäßig aber bereits in der Planung sowie der Genehmigungsphase Aussagen zu tieffrequentem Schall erforderlich. Hierfür wurden in der Vergangenheit bereits verschiedene Prognoseansätze entwickelt (siehe hierzu Abschnitt 3).

Vom LfULG in Sachsen wurde im Jahre 2021 ein Prognoseverfahren veröffentlicht (FRITZSCHE, 2021), welches seitdem in Genehmigungsverfahren in Sachsen anzuwenden ist. Die Grundlage dieses Prognoseverfahrens wurde anhand vorausgehender schalltechnischer Untersuchungen erarbeitet (SCHULZE et al., 2021). Kernstück dieser Untersuchungen ist die Ermittlung von frequenzabhängigen Schalldruckpegeldifferenzen, welche den Schalldurchtritt von außen ins Gebäude hinein beschreiben. Diese wurden anhand zahlreicher Messungen an verschiedenen Gebäuden abgeleitet, wobei ein mittels Lautsprecher erzeugtes „künstliches“ Geräusch verwendet wurde. In statistischer Auswertung der Ergebnisse wurde eine Prognosesicherheit von 90 % angestrebt. Aufgrund des damit äußerst konservativen Prognose- und damit Beurteilungsverfahrens haben sich in zurückliegenden Genehmigungsverfahren durchaus schwerwiegende Probleme gezeigt – bestehende Anlagen wären bei Anwendung dieses Verfahrens ggf. nicht genehmigungsfähig, obwohl keinerlei Hinweise auf Belästigungen durch tieffrequente Geräuscheinwirkungen in der Umgebung der Anlagen vorliegen.

Zur Überprüfung bzw. Bestätigung der Eignung des sächsischen Prognoseverfahrens sollen in realen Situationen, d. h. im Einwirkungsbereich von Anlagen mit tieffrequenten Geräuschemissionen, Messwerte innerhalb von Aufenthaltsräumen mit Prognosewerten auf der Basis der Schallemissionen der Anlagen verglichen werden. Die Schalldruckpegel innerhalb der Aufenthaltsräume sind sowohl nach DIN 45680 als auch, analog zu den Untersuchungen von SCHULZE et al. (2021), durch Messungen in vier Raumecken (sogenannte „3D-Ecken“ nach PEDERSEN et al. (2007)) zu ermitteln.

Das Anlagengeräusch vor dem Gebäude ist anhand einer Schallausbreitungsberechnung mit den Schallemissionsdaten der Anlage zu ermitteln. Außerdem wird der Schalldruckpegel vor dem betreffenden Aufenthaltsraum messtechnisch bestimmt.

## 2 Literaturrecherche

Ein prognostischer Ansatz für die tieffrequente Luftschallausbreitung von der Geräuschquelle bis zum Immissionsort (im Raum) lässt sich vereinfacht in die vier Bausteine „Geräuschemissionen der Quelle“, „Schallausbreitungsweg im Freien“, „Schallübertragung in den Raum“ und „Raumrückwirkung“ unterteilen. Für alle genannten Bausteine ergeben sich prinzipielle Herausforderungen. Diese sind in SCHMIDT et al. (2016) ausführlich erläutert. In BÖHM et al. (2023) werden vorhandene Methoden der Ermittlung und Beurteilung im Zusammenspiel mit aktuellen Themen des Immissionsschutzes beleuchtet.

Nachfolgend erfolgt kurzgefasst für die jeweiligen Bausteine eine Erläuterung der prinzipiellen Herausforderungen sowie, soweit den Autoren bekannt, eine Ergänzung um aktuelle Erkenntnisse aus der Literatur.

### 2.1 Geräuschemissionen der Quelle

Eine Schallausbreitungsberechnung hängt wesentlich von den Eingangsdaten und dabei insbesondere von den Schalleistungspegeln der jeweiligen Anlagenteile ab. Für den Frequenzbereich unter 90 Hz sind somit, soweit möglich, genormte Messverfahren zur Schalleistungspegelbestimmung anzuwenden, die gerade in diesem Frequenzbereich eine hohe Güte aufweisen müssen.

In der TA Lärm selbst werden generell die Normenreihen der DIN 45635 ff. und der ISO 3740 ff. sowie die ISO 8297 genannt, nach denen die Schalleistungspegel von Luftschallquellen, gemessen werden sollen. Im praktischen Messalltag werden zudem das Messverfahren nach DIN EN ISO 9614, Teile 1 bis 3 (Bestimmung der Schalleistungspegel aus Schallintensitätsmessungen) sowie das Verfahren zur Ableitung von Luftschallemissionen aus Körperschallmessungen nach DIN 45635, Teil 8 u. a. m. angewandt.

Die Güte der Schalleistungspegelbestimmung bzw. deren Abweichung von einem „wahren“ Schalleistungspegel ist für Frequenzen unterhalb von 90 Hz insbesondere von den Fehlerquellen „Nahfeldfehler“ und „eigentlicher“ Messfehler abhängig (HECKL und MÜLLER, 1994, HÜBNER et al., 2004).

Der „Nahfeldfehler“, resultierend aus dem Winkelfehler und dem Impedanzfehler, ergibt sich beim Hüllflächenverfahren (etwa nach DIN ISO 3740 ff. oder DIN 45635 ff.). Dieser Fehler ist insbesondere sensitiv zur Wellenlänge des Geräusches und gilt mindestens für das akustische Nahfeld, welches etwa den Bereich in einem Abstand von 1 bis 2 Wellenlängen zur Quelle umfasst. Nach HÜBNER et al. (2004) ist davon auszugehen, dass sich die Abweichung vom „wahren“ Schalleistungspegel für niedrige Frequenzen (< 100 Hz) erhöht, je näher an der Quelle (innerhalb des akustischen Nahfelds) die Messung stattfindet.

Der „interessierende Frequenzbereich“ wird in vorgenannten Normen ab 50 Hz bzw. 100 Hz gesehen. Unterhalb davon werden, je nach eingesetzter Norm, die Standardabweichungen für die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse sehr groß, dementsprechend sinkt die Güte der Schalleistungspegelbestimmung.

Verfahren zur Ermittlung von Schalleistungspegeln aus Schwingungsmessungen (DIN 45635 Teil 8, ISO/TS 7849 Teil 1 und 2) definieren den „interessierenden Frequenzbereich“ ab (bzw. oberhalb von) 100 Hz. Unterhalb von 100 Hz werden die Standardabweichungen für die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse hier auch sehr groß. Das Intensitätsmessverfahren der DIN EN ISO 9614-2 gilt zwar bereits ab dem Terzband der Mittenfrequenz von 50 Hz, jedoch ist für die Unsicherheit der Terzbänder unterhalb von 200 Hz in der Genauigkeitsklasse 2 eine Standardabweichung von 3 dB angegeben. Lediglich das Verfahren nach DIN ISO 8297 erlaubt Messungen auch im Oktavband mit einer Mittenfrequenz von 31,5 Hz. Diese Messnorm wird jedoch auf größere Industrieanlagen mit mehreren Geräuschquellen, in einiger Entfernung zum Mikrofonaufbau, angewandt, so dass der ermittelte immissionswirksame Schalleistungspegel der Anlagen auch bei tieferen Frequenzen noch einigermaßen gewährleistet wird.

Der „eigentlicher Messfehler“ erfasst die Schwankungen durch Geräte, Beobachter, meteorologische Bedingungen und einiges mehr. Hier sei beispielhaft auch das Eigenrauschen der Messkette Mikrofon-Vorverstärker-Pegelmesser aufgeführt, das mit abnehmender Frequenz im  $1/f$  – Verhältnis an Bedeutung gewinnt.

Der Gesamtfehler  $\Delta_{\text{tot}} = \Delta_1 \cdot \Delta_2 \cdot \Delta_3 \cdot \Delta_4$  der Schalleistungspegelermittlung setzt sich zusammen aus den bereits erwähnten Anteilen „Nahfeldfehler“  $\Delta_1$  und „eigentlicher Messfehler“  $\Delta_3$ . Zudem sind allgemein der „Endlichkeitsfehler“  $\Delta_2$  und der „Umgebungseinflussfehler“  $\Delta_4$  zu berücksichtigen. Der Endlichkeitsfehler resultiert aus der endlichen Anzahl der abgetasteten Messpunkte auf der kontinuierlichen Hüllfläche. Der „Umgebungseinflussfehler“  $\Delta_4$  umfasst Faktoren, welche durch die Umgebungskorrektur  $K_2$  oder die Fremdgeräuschkorrektur  $K_1$  nicht (vollständig) erfasst werden (näheres hierzu siehe HECKL und MÜLLER (1994)).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass mindestens für den Frequenzbereich unterhalb von 50 Hz ein genormtes Messverfahren für die Bestimmung der (terzbandbezogenen) Schalleistungspegel fehlt.

## 2.2 Ausbreitungsweg im Freien

Die Herausforderungen für die Schallausbreitungsrechnung tieffrequenter Geräusche sind in SCHMIDT et al. (2016) ausführlich erläutert. Grundsätzlich sind auch bei der Schallausbreitung tieffrequenter Geräusche verschiedene Dämpfungsterme auf dem Ausbreitungsweg von Bedeutung:

$A_{\text{div}}$  *Dämpfung aufgrund der geometrischen Ausbreitung,*

$A_{\text{atm}}$  *Dämpfung aufgrund von Luftabsorption,*

$A_{\text{gr}}$  *Dämpfung aufgrund des Bodeneffektes,*

$A_{\text{bar}}$  *Dämpfung aufgrund von Abschirmungen,*

$A_{\text{misc}}$  *Dämpfung aufgrund verschiedener anderer Effekte.*

In SCHMIDT et al. (2016) sind darüber hinaus weitere Aspekte erläutert, etwa die auch hier relevante Differenzierung zwischen akustischem Nahfeld und Fernfeld sowie mögliche Interferenzeffekte, die sich bei der Reflexion der Welle am (schallharten) Boden ergeben können und die zu punktuellen Auslöschungen oder Verstärkungen des Schalldruckes entlang des Ausbreitungsweges führen können.

Verschiedene Studien der näheren Vergangenheit deuten darauf hin, dass das Verfahren zur Schallausbreitungsberechnung nach der DIN ISO 9613-2 nicht ohne weiteres auf den tieffrequenten Bereich erweitert werden kann bzw. etwa im Vergleich zu konzeptionell höher entwickelten Modellen (z. B. Nord2000) weniger gut geeignet ist (MÜHLBACHER et al., 2016), ASCARI et al., 2015)).

Informativ ist darauf hinzuweisen, dass sich auch das nunmehr novellierte Verfahren des internationalen Standards ISO 9613-2 (Ausgabe 2024) auf den Frequenzbereich der Oktavbänder von 63 Hz bis 8 kHz beschränkt.

Grundsätzlich ist auch weiterhin davon auszugehen, dass der Kenntnisstand bei der Modellierung der Schallausbreitung tieffrequenter Geräusche Klärungsbedarf aufweist, wobei an diesen Themen jedoch vereinzelt, etwa im Zusammenhang mit der Schallausbreitung von Windenergieanlagen, gearbeitet wird (HANSEN et al., 2015).

### 2.3 Schallausbreitung in den Raum und Raumerückwirkung

Zur Ermittlung des Innenpegels aus dem prognostizierten Außenpegel wird heuristisch eine terzbandbezogene Pegeldifferenz  $D = \Delta L$  berücksichtigt:

$$L_{\text{Terz,eq,innen}} = L_{\text{Terz,eq,außen}} - D \quad (1)$$

mit

$L_{\text{Terz,eq,innen}}$  *Schalldruckpegel im Gebäude/Raum*

$L_{\text{Terz,eq,außen}}$  *Schalldruckpegel vor dem Gebäude*

$D$  *„Schalldurchtritt“, Schallpegeldifferenz außen minus innen, je Terzband*

In SCHULZE et al. (2021) wurden hierzu umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Grundsätzlich ist für tiefe Frequenzen von einer vergleichsweise geringen Schallpegeldifferenz zwischen „außen“ und „innen“ auszugehen. Den Autoren sind für die nähere Vergangenheit (d. h. aus den letzten 5 bis 10 Jahren) nur wenige neue Studien bekannt, die sich messtechnisch mit dem Schalldurchtritt ins Gebäude für tieffrequente Geräusche beschäftigen.

In einer vom Umweltbundesamt initiierten Studie (EULITZ et al., 2020) wurde, basierend auf dem Bergerschen Massengesetz für einschalige Bauteile, eine Näherungsformel für den frequenzabhängigen Durchtritt angegeben:

$$dL_{\text{Terz}} = 20 \lg(f_{\text{m,Terz}}/\text{Hz}) \text{ dB} + R'(100 \text{ Hz}) - 40 \text{ dB} \quad (2)$$

mit

$dL_{\text{Terz}}$  *Übertragungsmaß vom Außen- zum Innenpegel je Terzband mit den Terzmittenfrequenzen unterhalb von 100 Hz (z. B. ab 8 Hz) in dB*

$f_{\text{m,Terz}}$  *Terzmittenfrequenz in Hz unterhalb von 100 Hz*

$R'(100 \text{ Hz})$  *Schalldämm-Maß des Bauteils in der 100-Hz-Terzmittenfrequenz in dB*

Beispielhaft ist in Tabelle 1 das Übertragungsmaß  $dL_{\text{Terz}}$  je Terz für ein Verglasung mit einem vergleichsweise niedrigen Schalldämm-Maß  $R'(100 \text{ Hz}) = 18 \text{ dB}$  (z. B. für eine Doppel-Isolierverglasung, nach DIN EN 12758, Tabelle 1) dargestellt.

Eine neuere Untersuchung von KERÄNEN et al. (2019) an finnischen Gebäuden zeigt lediglich wenige Unterschiede gegenüber Ansätzen in dänischen Regularien von JAKOBSEN (2012). Die Werte für  $\Delta L_{\sigma}$  (gem.

KERÄNEN et al. (2019), JAKOBSEN (2012)) sind zusammen mit dem Werten des LfULG (FRITZSCHE, 2021) für den Fall „Terz-Spektren der Schalldruckpegeldifferenzen zwischen außen und innen, untere Vertrauensbereichsgrenzen für 90-%ige Überschreitungswahrscheinlichkeit, bei tonaler Anregung“  $D_{t90,T}$  gegenübergestellt. Naturgemäß sind die Werte für den "Schalldurchtritt" der einzelnen Studien lediglich bedingt vergleichbar, da dieser grundsätzlich von der grundsätzlich länderabhängigen Bauweise der untersuchten Gebäude, dem Messaufbau und die Ermittlung des Schalldurchtritts (z. B. Anzahl der Messpunkte und Lage der Messorte im Raum) und der herangezogenen Überschreitungswahrscheinlichkeit abhängig ist.

**Tabelle 1: „Schalldurchtritt“ nach verschiedenen Studien**

Terzmittenfrequenz	$dL_{Terz}$ (EULITZ et al., 2020) mit $R'(100 \text{ Hz}) = 18 \text{ dB}$	KERÄNEN et al, $\Delta L_{\sigma}^1$	JAKOBSEN, $\Delta L_{\sigma}^2$	LfULG, $D_{t90,T}$
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
25	6,0	8,3	8,4	6,0
31,5	8,0	9,2	10,8	8,3
40	10,0	10,3	11,4	6,6
50	12,0	11,5	13,0	10,4
63	14,0	13,0	16,6	10,1
80	16,0	14,8	19,7	10,6
100	18,0	18,8	21,2	8,9

Je nach Geometrie und Ausstattung eines Raums besteht die Möglichkeit, dass durch tieffrequenten Geräuscheintrag Raumeigenfrequenzen („Raummoden“) angeregt werden. Die Theorie für die Entstehung von Raummoden ist in SCHMIDT et al. (2016), Kapitel 5.6.7 ausführlich erläutert. In EULITZ et al. (2020), Kapitel 2.4.4 werden Ergebnisse numerischer Simulationen dargelegt. Nach eigenen Erkenntnissen und Messungen von Müller-BBM im Rahmen von Projekten dürfte die Modenbildung durch spärliche Einrichtung der Räumlichkeiten, mit wenigen Streukörpern und schallharten Oberflächen (großen Fensterflächen) begünstigt werden. Soweit ersichtlich wurde jedoch bislang nicht untersucht, mit welcher Wahrscheinlichkeit Raumeigenfrequenzen in der Praxis, im schutzbedürftigen Raum und bei üblicher Raumausstattung, regelmäßig zu einem relevanten Teilpegelanstieg führen.

<sup>1</sup> Nach Nord2000 in 84 % der Fälle überschrittene Pegeldifferenz für finnische Gebäude.

<sup>2</sup> Nach JAKOBSEN (2012) in 67 % der Fälle überschrittene Pegeldifferenz für dänische Gebäude.

### 3 Methodik der vorliegenden Untersuchung

#### 3.1 Untersuchungsschritte

Die Teilschritte des sächsischen Prognoseverfahrens lassen sich folgendermaßen skizzieren:

1. Ermittlung des von der Anlage verursachten Schalldruckpegels außen vor dem schützenswerten Raum
  - durch eine Schallausbreitungsberechnung im Freien nach DIN ISO 9613-2 mit den Schallleistungspegeln der Anlage ohne Berücksichtigung der Dämpfung des Schalls durch Luftabsorption, Abschirmung durch im Verhältnis zur Wellenlänge kleine Hindernisse oder Bewuchs und Bebauung sowie ohne meteorologische Korrektur
  - oder
  - durch Messung des Außenpegels am Immissionsort oder einem Ersatzmessort.
2. Berechnung des Schalldruckpegels im schützenswerten Raum nach den Vorgaben des sächsischen Prognoseverfahrens unter Anwendung der hierfür zutreffenden Schalldruckpegeldifferenz, wobei der Charakter des einwirkenden Geräusches – breitbandig oder tonal – sowie die Art des Außenpegels – Freifeldpegel oder 0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessen – eine Rolle spielt. Es sind für die Prognose der tieffrequenten Geräuschimmissionen nach dem sächsischen Verfahren Schalldruckpegeldifferenzen heranzuziehen, welche in nur 10 % der von SCHULZE et al. (2021) untersuchten Situationen geringer ausfielen.
3. Bewertung des berechneten Innenpegels nach DIN 45680 durch Vergleich mit den Anhaltswerten des Beiblattes 1 der DIN 45680. Es wird unterstellt, dass durch Anregung von Raummoden einzelne Frequenzen im Pegelspektrum deutlich überhöht werden, weshalb in jedem Falle das im Beiblatt 1 unter Abschnitt 2.2 beschriebene Verfahren für Geräusche mit deutlich hervortretenden Einzeltönen anzuwenden ist.



Bei der vorliegenden Arbeit wurden die folgenden Mess- und Auswerteschritte bearbeitet:

- Ermittlung des Schalldruckpegels außen vor dem zu untersuchenden Raum. Dieser wurde einerseits anhand einer Schallausbreitungsberechnung ermittelt als auch direkt außen vor dem zu untersuchenden Raum gemessen.
- Berechnung/Prognose der Schalldruckpegel im zu untersuchenden Raum nach dem sächsischen Prognoseverfahren
- Messung der Schalldruckpegel im zu untersuchenden Raum in den „3D-Ecken“ nach PEDERSEN et al. (2007) sowie nach DIN 45680
- Vergleich der prognostizierten mit den gemessenen Innenpegeln
- Berechnung der Schalldruckpegeldifferenzen zwischen Außen- und Innenpegel
- Vergleich der aus den ermittelten Messwerten berechneten Schalldruckpegeldifferenzen mit den Schalldruckpegeldifferenzen des sächsischen Prognoseverfahrens. Hierbei wird sowohl der arithmetische Mittelwert als auch die untere Vertrauensbereichsgrenze für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 90 % (wie auch im sächsischen Prognoseverfahren angegeben) verglichen.

### 3.2 Auswahl der Anlagen und der Aufenthaltsräume für die Messungen

Aufgrund der Tatsache, dass im Umfeld der zu betrachtenden Anlage begehbare Aufenthaltsräume vorhanden sein mussten, war die Auswahl der Anlagen begrenzt. Insofern wurden insbesondere Anlagen in Betracht gezogen, deren Standort bzw. Umfeld Müller-BBM aus früheren Beratungsleistungen heraus bekannt war, und deren Geräusche ausgeprägte tieffrequente Anteile enthalten. Aufgrund des erforderlichen Zutritts zu zum Teil sensiblen Aufenthaltsräumen waren die Messungen nur während vorgegebener Zeiten möglich (Messungen zur fremdgeräuscharmen Nachtzeit konnten in der Regel nicht durchgeführt werden). In Tabelle 2 sind die untersuchten Anlagen benannt.

**Tabelle 2: Untersuchte Anlagen**

Anlagen- Nr.	Bezeichnung der Anlage
1	BHKW und Heizwerk mit 2 Kesseln
2	Umspannwerk mit 2 Transformatoren
3	Heizhaus mit 3 BHKW
4	Zellstofffabrik
5	Heizkraftwerk mit 8 BHKW

### **3.3 Ermittlung der Außenpegel durch Schallausbreitungsberechnung**

Die Außenpegel wurden mit einer Schallausbreitungsberechnung nach DIN ISO 9613-2 (in Terzbandbreite mit den Terz-Mittenfrequenzen von 25 Hz bis 10 kHz) berechnet, wobei die Schallleistungspegel der maßgeblich ins Freie abstrahlenden Schallquellen der Anlage das Ergebnis der messtechnischen Bestimmung des Schallleistungspegels (beispielsweise nach DIN EN ISO 3746) sind. Das Verfahren entspricht der Vorgehensweise einer Ersatzmessung nach Abschnitt A.3.4.4 der TA Lärm.

Die Schallleistungspegel der Schallquellen der Anlagen wurden aktuell bzw. in jüngerer Vergangenheit messtechnisch erfasst. Die Schallausbreitungsberechnung erfolgte mit den Rechenprogrammen CadnaA® (2023) oder SoundPLAN® (2018).

Die im Prognoseverfahren empfohlenen Vereinfachungen (Wegfall des Einflusses durch Luftabsorption, Abschirmung durch kleinere Hindernisse usw.) wurden nicht angewendet, da ihr Einfluss ohnehin auf die Schallausbreitung tieffrequenter Geräusche gering ist und damit die Genauigkeit des Prognoseergebnisses nicht beeinträchtigt wird. Die meteorologische Korrektur spielte wegen der geringen Abstände zwischen Anlage und Immissionsort keine Rolle.

Bei den mit einer Schallausbreitungsberechnung ermittelten Außenpegeln treten folgende Probleme auf (siehe hierzu auch Abschnitt 2):

- Die Messnormen zur Bestimmung des Schalleistungspegels, z. B. die DIN-Normen der Reihe DIN 45635 ff. (und hier speziell der Teil 47 zur Bestimmung des Schalleistungspegels von Kaminmündungen) sind in der Regel erst ab 100 Hz aufwärts anwendbar. Schalldruckpegelmessungen bei tieferen Frequenzen erfordern je nach Art der betreffenden Schallquelle höhere Messabstände zur sachgerechten Berücksichtigung des akustischen Feldes. Für die vorliegende Fragestellung (< 100 Hz) liegen demnach derzeit keine genormten Messverfahren vor.
- Das Verfahren der Schallausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-2 ist entsprechend dieser Norm erst ab der 63-Hertz-Oktave anzuwenden. Die Gleichungen dieser Norm sind nicht ohne weiteres auf den tieffrequenten Bereich bis zum Terzband 25 Hz herab erweiterbar. Es sei nur auf den Aspekt der kohärenten Überlagerung von Direktschall und reflektiertem Schall verwiesen, welcher im hier interessierenden Frequenzbereich nicht vernachlässigbar ist. Weiterhin ist das Verfahren nach DIN ISO 9613-2 nur für die Berechnung in Oktavbandbreite beschrieben.
- Die eingesetzte Software zur Schallausbreitungsberechnung verwendet bei der Ausbreitungsrechnung in Terzbandbreite u. U. dieselben Dämpfungsterme für die jeweils drei Terzen einer Oktave. Dies ist physikalisch nicht exakt.

Aufgrund der Problematik bei der Anwendung des Berechnungsverfahrens nach DIN ISO 9613-2 im tieffrequenten Bereich wurden zur Validierung des sächsischen Prognoseverfahrens darüber hinaus die tatsächlich vorliegenden Schalldruckpegel vor dem Aufenthaltsraum gemessen.

## 3.4 Immissionsmessungen

### 3.4.1 Generelles

Die Schalldruckpegel wurden in Terzbandbreite aufgezeichnet. Die Auswertung bezieht sich auf die unbewerteten Pegel in den Terzbändern 25 Hz bis 100 Hz.

Zur Minimierung der Einflüsse durch nichtstationäre Fremdgeräusche wurden zur Auswertung die 50%-Überschreitungspegel (Median) pro Frequenzband herangezogen. Diese Pegel liegen im Falle stationärer Anlagengeräusche, wie sie von allen untersuchten Anlagen ausgingen, sehr nahe beim energieäquivalenten Mittelungspegel  $L_{eq}$  (Abweichung ohne Fremdgeräusch  $< 0,1$  dB) und wird durch nichtstationäre Fremdgeräusche weniger beeinflusst als der  $L_{eq}$ .

Stationäre Fremdgeräusche mit Pegeln, die unter dem Anlagengeräusch liegen, sind insbesondere im tieffrequenten Bereich schwer zu orten. Bei den Messungen waren keine Fremdgeräuschquellen erkennbar, sodass davon auszugehen ist, dass hierdurch kein nennenswerter Einfluss gegeben war. Dies kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Details zu den Messungen werden im Anhang A des vorliegenden Berichtes genannt.

### 3.4.2 Innenpegel

Schalldruckpegel wurden an folgenden Messpunkten im Aufenthaltsraum aufgenommen:

- an allen erreichbaren „dreidimensionalen“ Ecken („3D-Ecken“)

Dieses Messverfahren geht auf die Untersuchungen von PEDERSEN et al. (2007) zurück. Das Mikrofon hat hierbei einen Abstand von maximal 0,1 m zu den Raumbegrenzungsflächen. Der Einfluss jeder Raumbegrenzungsfläche (Wände, Boden, Decke) soll dabei durch mindestens einen Messpunkt repräsentiert sein.

- an potentiellen Aufenthaltsorten der Bewohner oder Nutzer (Messort nach DIN 45680)

In DIN 45680 ist unter Kapitel 4.3 zum Messort ausgeführt: „... *Maßgeblicher Immissionsort ist die Stelle höchster Belastung, an der sich Personen regelmäßig aufhalten (...). Bei Meßorten in Wandnähe (Sitzgelegenheiten, Betten) ist in etwa 0,5 m vor der Wand zu messen.*“. Es ist bei üblicher Raumausstattung zu messen. Der maßgebliche Immissionsort nach DIN 45680 ist somit aus räumlichen und zeitlichen Gegebenheiten zu bestimmen, da für den Messort u. a. gefordert wird, dass sich hier Personen regelmäßig aufhalten. Zur Ermittlung des Messortes können denn auch die Hinweise der Betroffenen Berücksichtigung finden.

Der zum Vergleich mit den Anhaltswerten des Beiblattes 1 der DIN 45680 zu bildende Terz-Beurteilungspegel ist im vorliegenden Fall auf die Beurteilungszeiten der TA Lärm bezogen (tags 16 Stunden zwischen 6 und 22 Uhr, nachts die ungünstigste = lauteste Nachtstunde). Insofern sind Stellen im Raum mit möglicherweise höherer Belastung, an denen aber die Verweildauer in Bezug auf die Beurteilungszeit kurz ist, für die Bildung des Beurteilungspegels eher untergeordnet. Bei den vorliegenden Messungen wurde an zwei unterschiedlichen, räumlich möglichst weit entfernten Aufenthaltsorten bzw. potentiellen Aufenthaltsorten im Raum gemessen und für die nachfolgende Auswertung in jedem Terzband der jeweils höhere Pegel verwendet. Zwar sind auch weitere Aufenthaltsorte im Raum denkbar, bspw. wenn die vorgefundene Möblierung (bzw. die Raumausstattung) verändert wird, jedoch wird sich damit stets auch die Geräuschsituation im Raum verändern, sodass die Vermutung einer höheren Belastung, als die hier erfasste, spekulativ bleibt.

### 3.4.3 Außenpegel

Die Schalldruckpegel wurden außen vor dem Aufenthaltsraum an folgenden Messpunkten gemessen (sofern möglich):

- 0,5 m vor dem geöffneten Fenster (Messpunkt nach TA Lärm)

- Freifeld

Gemessen wurde unmittelbar vor der Fassade neben dem Fenster. Bei der Messung wurde das Mikrofon über einen Bereich von ca. 1 m<sup>2</sup> bewegt. Zur Korrektur der kohärenten Überlagerung von Direktschall und reflektiertem Schall wurden in jedem Frequenzband 6 dB abgezogen. Die wirksame Schallreflexionsfläche war durch das, während der Messung geöffnete Fenster und teilweise in der Nähe vorhandene Fassadensprünge oder andere Inhomogenitäten der Fassade begrenzt, sodass insbesondere bei tieferen Frequenzen u. U. keine vollständige Überlagerung von Direktschall und reflektiertem Schall gegeben war. In der Mehrzahl der untersuchten Situationen verläuft aber der frequenzabhängige Verlauf der Differenz zwischen dem direkt vor der Fassade und dem 0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessenen Pegel wie erwartet von nahe 0 dB bei 25 Hz in Richtung 6 dB bei 100 Hz.

- Kontrollmesspunkt

Während der gesamten Messzeit wurde an einem Kontrollmesspunkt vor bzw. neben dem Gebäude des Immissionsortes der Pegel-Zeit-Verlauf aufgezeichnet, um im Nachhinein die Konstanz der Betriebsbedingungen der Anlagen überprüfen zu können.

Zur Ermittlung, ob ein tonales Geräusch im Sinne des sächsischen Verfahrens vorliegt, wurde eine Schmalbandanalyse durchgeführt (Linienabstand 1 Hz, Frequenzbereich bis 200 Hz).

## 3.5 Auswertung

### 3.5.1 Prognose der Innenpegel

Die heranzuziehende Schalldruckpegeldifferenz wurde anhand des vor dem Gebäude aufgezeichneten Schmalbandspektrums ausgewählt. Die Geräusche aller fünf untersuchten Anlagen wiesen tonale Anregungen auf.

Die Innenpegel wurden aus den außen gemessenen Schalldruckpegeln folgendermaßen berechnet:

$$L_{p,i,t90,W} = L_{p,a,m,W} - D_{t90,W} \quad (3)$$

$$L_{p,i,t90,T} = L_{p,a,m,T} - D_{t90,T} \quad (4)$$

mit

$L_{p,i,t90,W}$  *Innenpegel, berechnet aus dem Freifeldpegel*

$L_{p,i,t90,T}$  *Innenpegel, berechnet aus dem 0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessenen Außenpegel*

$L_{p,a,m,W}$  *direkt vor der Fassade gemessener und um 6 dB reduzierter Außenpegel (Freifeldpegel)*

$L_{p,a,m,T}$  *0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessener Außenpegel*

$D_{t90,W}$  *Schalldruckpegeldifferenz zur Berechnung des Innenpegels aus dem Freifeldpegel außen*

$D_{t90,T}$  *Schalldruckpegeldifferenz zur Berechnung des Innenpegels aus dem 0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessenen Außenpegel.*

Zum Vergleich mit den nach dem sächsischen Prognoseverfahren berechneten Innenpegeln wurden wie auch in der Untersuchung von SCHULZE et al. (2021) die in allen (zugänglichen) Raumecken („3D-Ecken“) gemessenen Schalldruckpegel herangezogen. Abweichend von der von PEDERSEN et al. (2007) vorgeschlagenen Messmethode, bei der an nur vier zufällig ausgewählten Raumecken zu messen ist, wurden die Schalldruckpegelspektren aller zugänglichen Raumecken energetisch gemittelt, um eine höhere Genauigkeit zu erzielen. Die Ergebnisunsicherheit wurde anhand einer statistischen Auswertung ermittelt (siehe hierzu Abschnitt 4.6 des vorliegenden Berichtes).

### 3.5.2 Berechnung der Pegeldifferenzen zwischen Außen- und Innenpegel

Anhand der gemessenen Schalldruckpegelspektren außen und innen wurden die tatsächlich vorliegenden Schalldruckpegeldifferenzen berechnet:

$$D_{t,m,W} = L_{p,a,m,W} - L_{p,i,3D} \quad (5)$$

$$D_{t,m,T} = L_{p,a,m,T} - L_{p,i,3D} \quad (6)$$

mit

$D_{t,m,W}$  *Schalldruckpegeldifferenz zwischen dem gemessenen Freifeldpegel  $L_{p,a,m,W}$  und dem in den Raumecken („3D-Ecken“) gemessenen Innenpegel  $L_{p,i,3D}$*

$D_{t,m,T}$  *Schalldruckpegeldifferenz aus dem 0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessenen Außenpegel  $L_{p,a,m,T}$  und dem in den Raumecken („3D-Ecken“) gemessenen Innenpegel  $L_{p,i,3D}$*

$L_{p,i,3D}$  *Mittelwert über die in den „3D-Ecken“ gemessenen Innenpegel*

Zum Vergleich mit den beim sächsischen Prognoseverfahren zu verwendenden Schalldruckpegeldifferenzen wurde die Auswertung entsprechend dem im Untersuchungsbericht (SCHULZE et al., 2021) dargelegten Vorgehen vorgenommen. Dazu wurden die für die einzelnen Räume berechneten Pegeldifferenzen arithmetisch gemittelt, und es wurde eine untere Vertrauensbereichsgrenze für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 90 % berechnet (getrennt für  $D_{t,m,W}$  und  $D_{t,m,T}$ ).

### 3.6 Unsicherheitsbetrachtung

Bei der Unsicherheitsbetrachtung wird davon ausgegangen, dass die betreffenden Größen (Schalldruckpegel, Schalldruckpegeldifferenzen) normalverteilt sind. Damit ist die Standardabweichung ein Maß für die Streuung der betreffenden Werte. Für einen Schalldruckpegel  $L_p$  berechnet sich die Standardabweichung  $\sigma_L$  folgendermaßen:

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_{p,i} - L_{p,E})^2} \quad (7)$$

mit

$n$  Anzahl der Messwerte

$L_{p,i}$  Einzelmesswert des Schalldruckpegels

$L_{p,E}$  arithmetischer Mittelwert des Schalldruckpegels

Gleichermaßen wird auch die Standardabweichung für Schalldruckpegeldifferenzen berechnet.

Für die messtechnisch ermittelten Innen-Schalldruckpegel wurde ein Vertrauensbereich  $\Delta L_{p,95\%}$  ermittelt, womit der wahre Mittelwert der Schalldruckpegel mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % innerhalb des Intervalles  $L_{p,E} \pm \Delta L_{p,95\%}$  liegt:

$$\Delta L_{p,95\%} = \frac{t_{m,q}}{\sqrt{n}} \cdot \sigma_L \quad (8)$$

mit

$n$  Anzahl der Messwerte

$t_{m,q}$  Quantil der  $t$ -Verteilung für  $m = n - 1$  Freiheitsgrade und  $q = 0,95$  (zweiseitig)

$\sigma_L$  Standardabweichung der Schalldruckpegel



Zur Messung der Außen-Schalldruckpegel wurden die Pegel kontinuierlich gemittelt, sodass eine statistische Auswertung in dieser Art nicht möglich war. Anhand der Differenzen der aufgezeichneten Pegel (Mittelungspegel, Minimalpegel, Maximalpegel) und der Beobachtungen während der Messungen wird der Vertrauensbereich zu maximal 1 dB abgeschätzt.

Für die aus den Messwerten abgeleiteten Schalldruckpegeldifferenzen wird wie auch im Untersuchungsbericht (SCHULZE et al., 2021) zum sächsischen Prognoseverfahren die untere Vertrauensbereichsgrenze für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 90 % nach folgender Formel berechnet:

$$D_{x,90,X} = D_{x,E,X} - t_{m,q} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_{x,E,X,i} - D_{x,E,X})^2} \quad (9)$$

mit

$n$  Anzahl der Messwerte

$t_{m,q}$  Quantil der  $t$ -Verteilung für  $m = n - 1$  Freiheitsgrade und  $q = 0,9$  (einseitig)

$D_{x,E,X,i}$  Einzelwert einer Schalldruckpegeldifferenz

$D_{x,E,X}$  arithmetischer Mittelwert der Schalldruckpegeldifferenzen über alle Räume.

Systematische Fehlereinflüsse auf die Messwerte der Schalldruckpegel sind mit der statistischen Unsicherheitsbetrachtung nicht erfasst. Der systematische Fehler der Messgeräte ist vernachlässigbar, da Messgeräte der Klasse 1 nach DIN EN 61672-1 eingesetzt wurden.

Der Einfluss nicht erkennbarer, stationärer Fremdgeräusche bei der Messung der Innenpegel wird als untergeordnet eingeschätzt, kann aber für die tieffrequenten Geräusche nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

## 4 Untersuchte Anlagen und Räume sowie Messwerte

### 4.1 Übersicht über die Anlagen und Räume

Die untersuchten Anlagen und die Aufenthaltsräume inkl. ihrer geometrischen Parameter sind nachfolgend in Tabelle 3 und Tabelle 4 angegeben.

**Tabelle 3: Untersuchte Anlagen, Zuordnung der Räume.**

Anlagen- Nr.	Bezeichnung der Anlage	Raum-Nr.	Bezeichnung des Raumes
1	BHKW und Heizwerk	R. 1.1	Wohnzimmer
		R. 1.2	Kinderzimmer
2	Umspannwerk	R. 2.1	Schlafzimmer Süd
		R. 2.2	Schlafzimmer Mitte
		R. 2.3	Schlafzimmer Nord
3	Heizhaus mit BHKWs	R. 3.2	Schlafzimmer
4	Zellstofffabrik	R. 4.1	Büro Nord
		R. 4.2	Büro West
		R. 4.3	Pausenraum
5	Heizkraftwerk mit BHKWs	R. 5.1	Büro 1.1
		R. 5.2	Büro 1.2

**Tabelle 4: Untersuchte Räume.**

Raum-Nr.	Raum-nutzung	Ausstattung	Grundfläche [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Höhe	Art der Außenfassade	Relative Fensterfläche [%]	Absolute Fensterfläche [m <sup>2</sup> ]
R. 1.1	Wohnen	leer	16,5	42,2	2,6	massiv	54	4,7
R. 1.2	Kind	leer	16,0	40,9	2,6	massiv	34	2,8
R. 2.1	Schlafen	möbliert	15,0	37,4	2,5	Schiefer-Schindeln auf Holzkonstruktion, innen-seitig mit Gipskarton beplankt	7	0,6
R. 2.2	Schlafen	möbliert	15,0	37,4	2,5		7	0,6
R. 2.3	Schlafen	möbliert	15,0	37,4	2,5		7	0,6
R. 3.2	Schlafen	möbliert	29,4	72,3	2,5	massiv	20	5,5
R. 4.1	Büro	möbliert	22,1	73,4	3,3	massiv	25	7,7
R. 4.2	Büro	möbliert	13,7	50,1	3,7	massiv	21	5,6
R. 4.3	Pause	möbliert	34,4	85,1	2,5	massiv	27	5,8
R. 5.1	Büro	möbliert	15,5	41,0	2,7	massiv	12	2,6
R. 5.2	Büro	möbliert	17,9	47,3	2,7	massiv	40	4,5

Mit Ausnahme der Räume Nr. R. 2.1 bis R. 2.3 liegen alle untersuchten Räume hinsichtlich der genannten Parameter innerhalb der Spanne Minimum – Maximum der im Untersuchungsbericht (SCHULZE et al.,

2021) untersuchten 35 Räume (vergleiche Tabelle 10 in SCHULZE et al. (2021)). Die in Bezug auf die Außenfassade relativ kleinen Gauben-Fenster der Räume R. 2.1 bis R. 2.3 haben eine für diese Bauweise der Dachgeschoss-Wohnungen typische Größe (übliche Bauweise in Sachsen).

Für jeden Aufenthaltsraum wurden die im hier interessierenden Frequenzbereich möglichen Raummoden, welche durch Schallreflexionen zwischen jeweils zwei parallelen Raumbegrenzungsflächen auftreten können, in Tabelle 5 angegeben. Damit können möglicherweise Frequenzspitzen des Innengeräuschkennzeichens erklärt werden, wenn diese nicht durch das anregende Außengeräusch hervorgerufen werden.

**Tabelle 5: Raummoden infolge von Reflexionen zwischen parallelen Raumbegrenzungsflächen im Bereich der Terzbänder 25 Hz bis 100 Hz.**

Raum	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz
1.1, 1.2		35 Hz		50 Hz	66 Hz 70 Hz		100 Hz 105 Hz
2.1, 2.2, 2.3			39 Hz	50 Hz	68 Hz	77 Hz	100 Hz
3.2		28 Hz 35 Hz			57 Hz 69 Hz	85 Hz	104 Hz
4.1		35 Hz	37 Hz	51 Hz	70 Hz	75 Hz	102 Hz 105 Hz
4.2				46 Hz 47 Hz			92 Hz 93 Hz
4.3			39 Hz 43 Hz		58 Hz 69 Hz	78 Hz 86 Hz	97 Hz
5.1			40 Hz	47 Hz	64 Hz	79 Hz	94 Hz
5.2			40 Hz		64 Hz	80 Hz 81 Hz	

In den nachfolgenden Abschnitten des Berichtes sind die einzelnen Anlagen und Aufenthaltsräume, in denen die Schalldruckpegel gemessen wurden, beschrieben. Weiterhin sind für das Außen- und das Innengeräusch jeweils die unbewerteten Terzpegelspektren im Bereich 25 Hz bis 100 Hz angegeben. Die einzelnen Terzpegelspektren der in und vor den Räumen gemessenen Schalldruckpegel sind im Anhang B wiedergegeben.

Die dargestellten Schmalbandspektren des Außengeräusches zeigen anhand der deutlich herausragenden Frequenzlinien den Charakter des einwirkenden Geräusches als „tonal“ im Sinne des sächsischen Prognoseverfahrens.

## 4.2 Anlage 1: BHKW und Heizwerk

### 4.2.1 Abbildungen

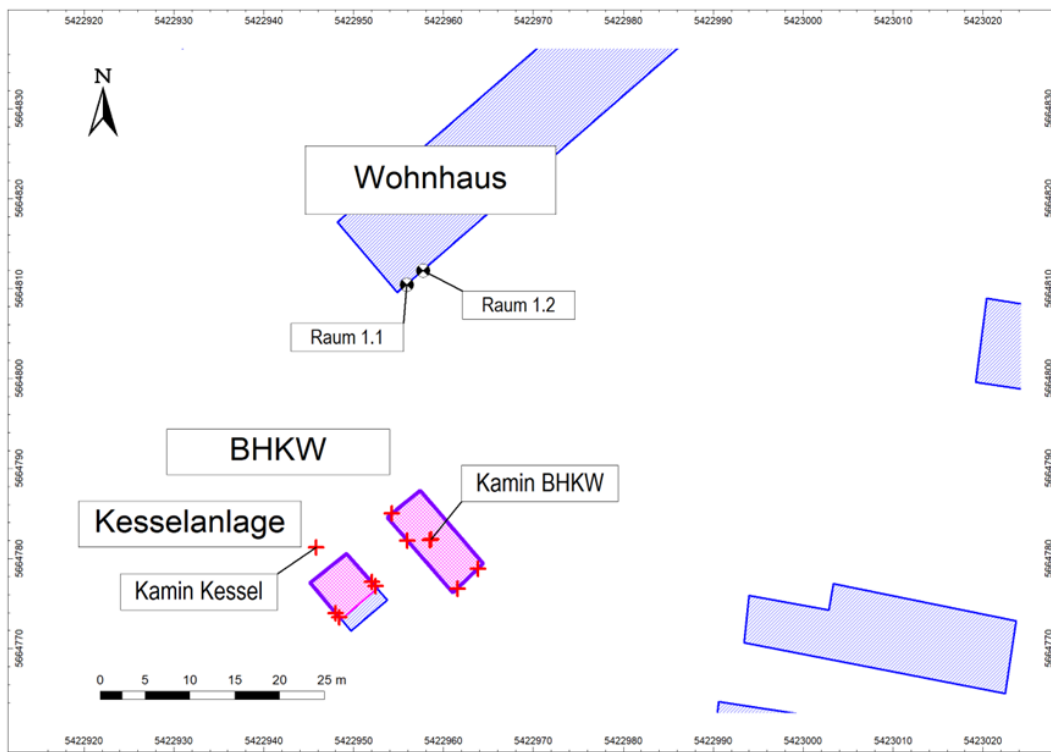


Abbildung 1: Lageplan mit Anlage 1 und Immissionsorten.



Abbildung 2: Anlage 1 und Immissionsorte Raum 1.1 und Raum 1.2.



**Abbildung 3: Immissionsort Raum 1.1 (Wohnzimmer).**



**Abbildung 4: Immissionsort Raum 1.2 (Kinderzimmer).**

## 4.2.2 Gemessene Schalldruckpegel

Tabelle 6: Schalldruckpegel außen.

<b>Messwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz</b>	(44...47) dB(A)						
<b>Rechenwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz</b>	33 dB(A)						
<b>Terzband</b>	<b>25 Hz</b>	<b>31,5 Hz</b>	<b>40 Hz</b>	<b>50 Hz</b>	<b>63 Hz</b>	<b>80 Hz</b>	<b>100 Hz</b>
<b>herausragende Pegelspitzen im Schmalbandspektrum bei den Frequenzen</b>			36 Hz		57 Hz	75 Hz 84 Hz	100 Hz

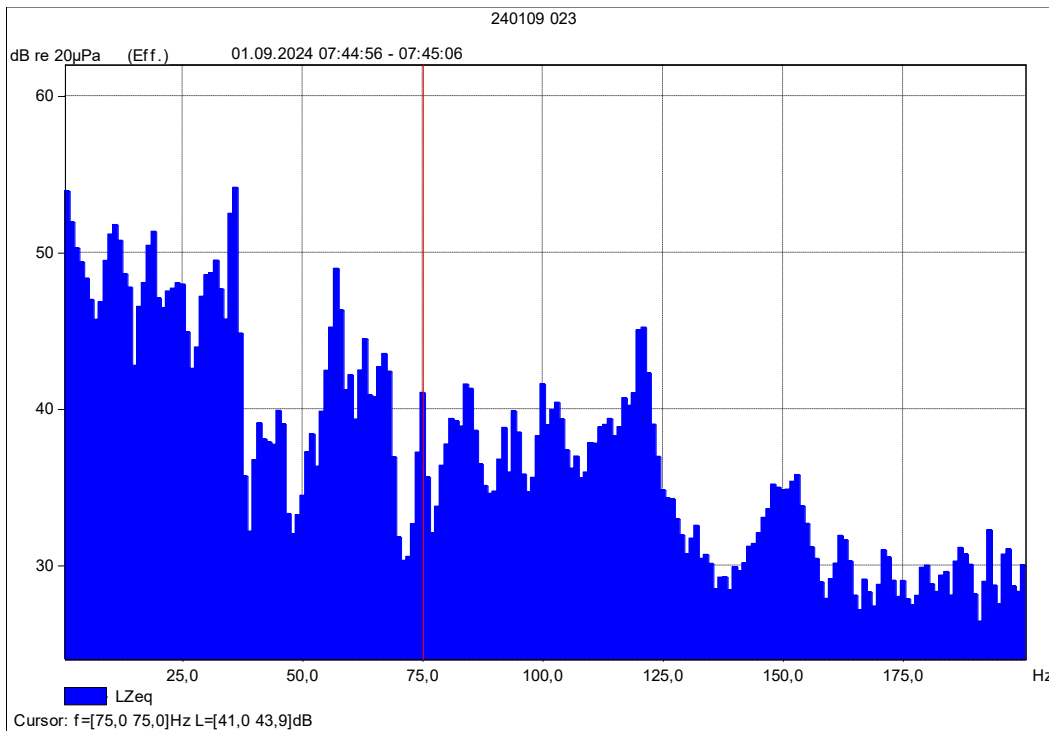
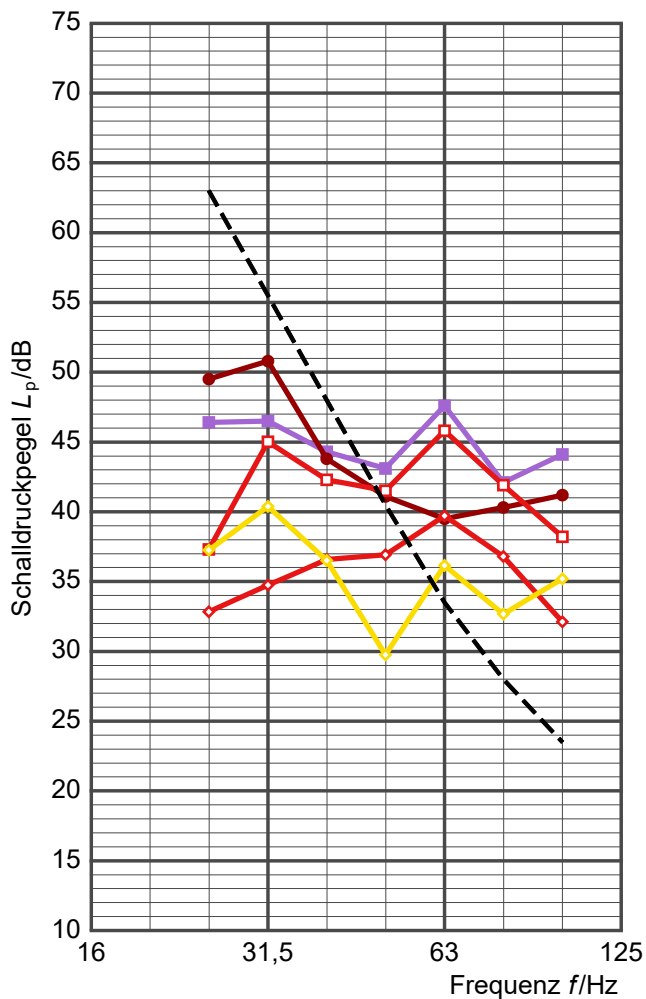


Abbildung 5: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Anlage 1.

Aufgrund der deutlich herausragenden Frequenzlinien im Bereich bis 100 Hz ist das Geräusch als tonal im Sinne des sächsischen Prognoseverfahrens anzusehen.

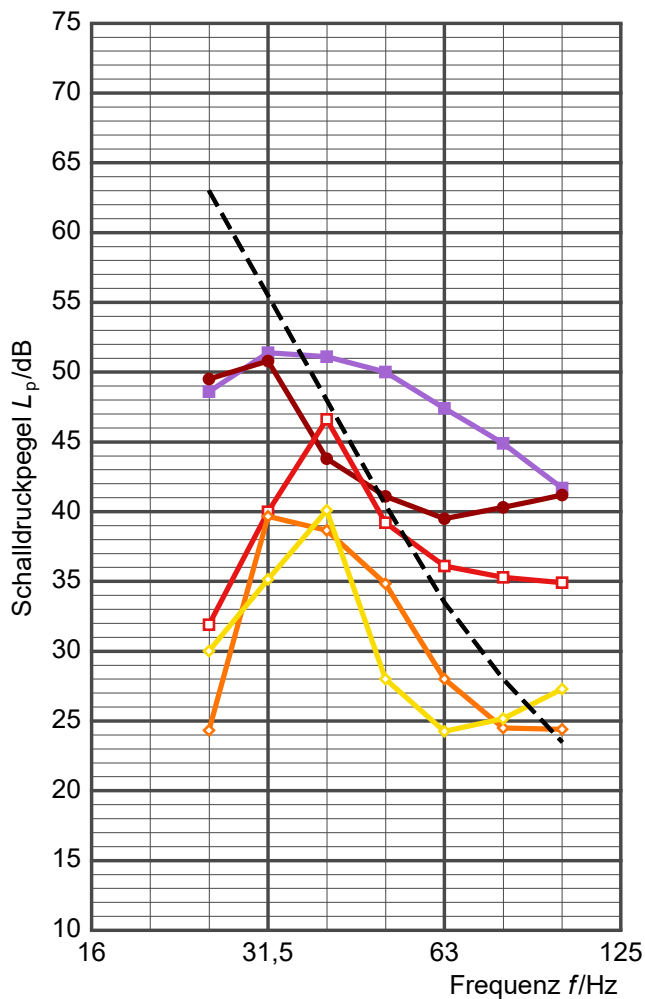
Raum 1.1



- Messwerte  $L_{p,a,m,W}$
- Rechenwerte  $L_{p,a,c,W}$
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,1}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,2}$

--- Hörschwelle nach DIN 45680

Raum 1.2



- Messwerte  $L_{p,a,m,W}$
- Rechenwerte  $L_{p,a,c,W}$
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,1}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,2}$

--- Hörschwelle nach DIN 45680

Legende:  $L_{p,a,m,W}$  gemessener Schalldruckpegel vor der Fassade abzüglich 6 dB  
 $L_{p,a,c,W}$  mit Ausbreitungsrechnung berechneter Schalldruckpegel  
 $L_{p,i,3D}$  in den „3D-Ecken“ gemessener Schalldruckpegel  
 $L_{p,i,DIN,1}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 1  
 $L_{p,i,DIN,2}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 2

**Abbildung 6: Räume 1.1 und 1.2: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen.**

Der Schalldruckpegel 0,5 m vor dem geöffneten Fenster wurde wegen des vorgelagerten Balkons nicht gemessen.

## 4.3 Anlage 2: Umspannwerk

### 4.3.1 Abbildungen

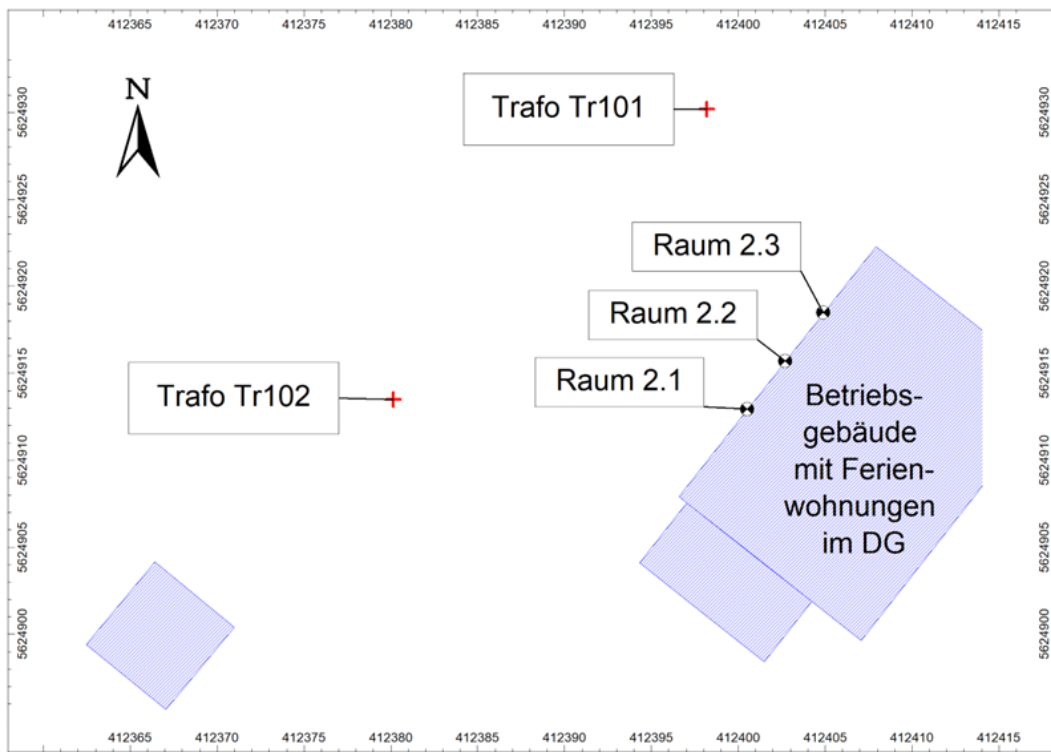


Abbildung 7: Lageplan mit Anlage 2 und Immissionsorten.

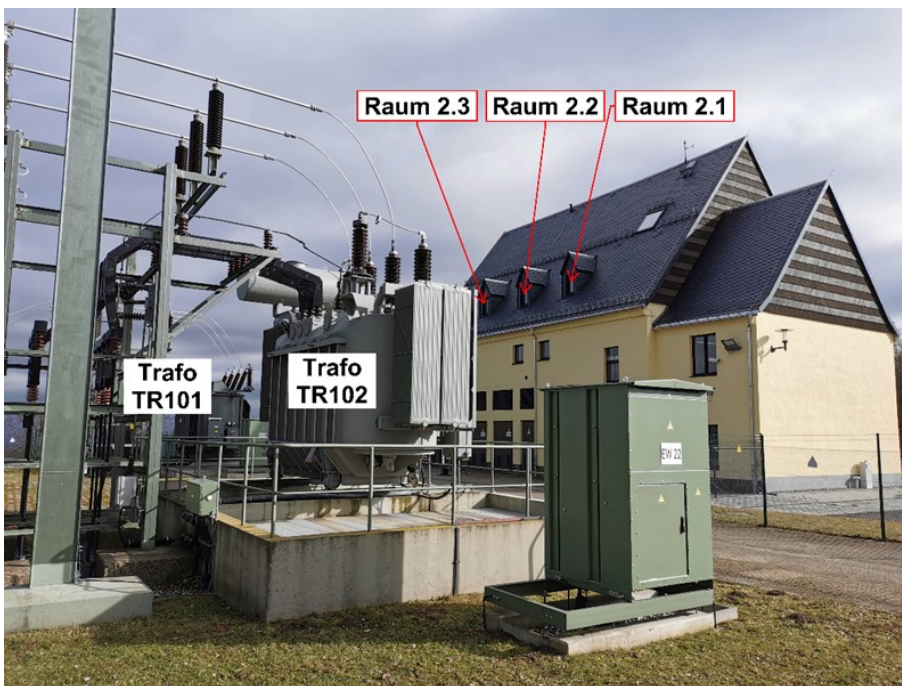


Abbildung 8: Anlage 2 und Immissionsorte Räume 2.1, 2.2 und 2.3.





**Abbildung 9: Immissionsort Raum 2.1 (Schlafzimmer Süd).**



**Abbildung 10: Immissionsort Raum 2.2 (Schlafzimmer Mitte).**

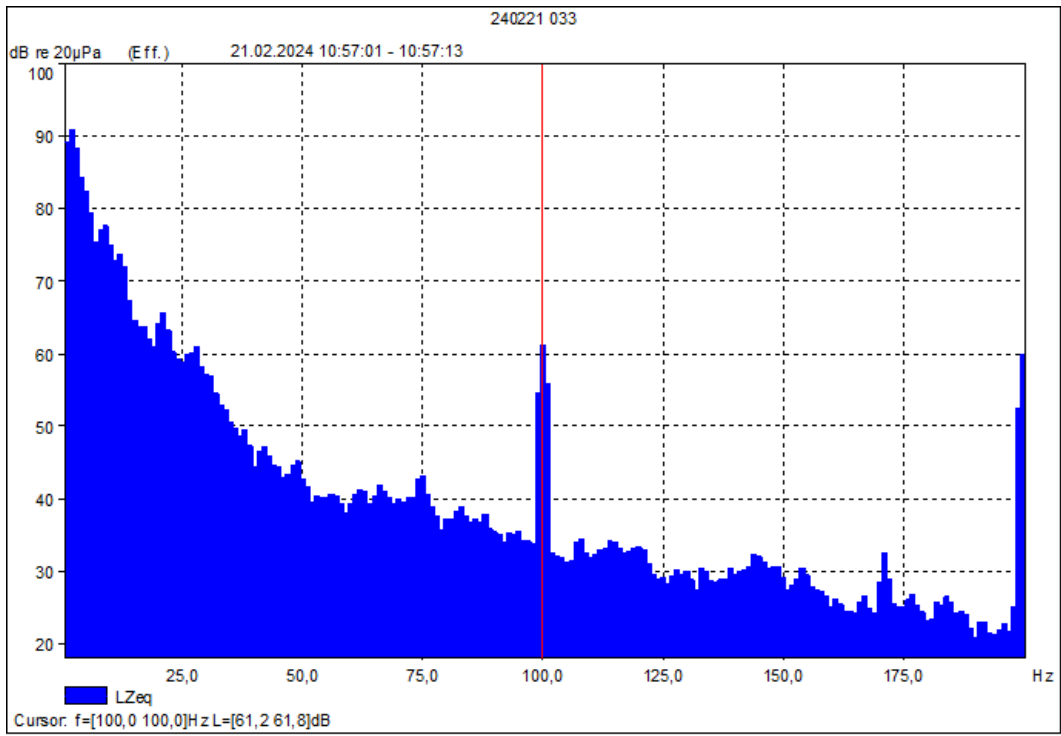


**Abbildung 11: Immissionsort Raum 2.3 (Schlafzimmer Nord).**

#### 4.3.2 Gemessene Schalldruckpegel

**Tabelle 7: Schalldruckpegel außen.**

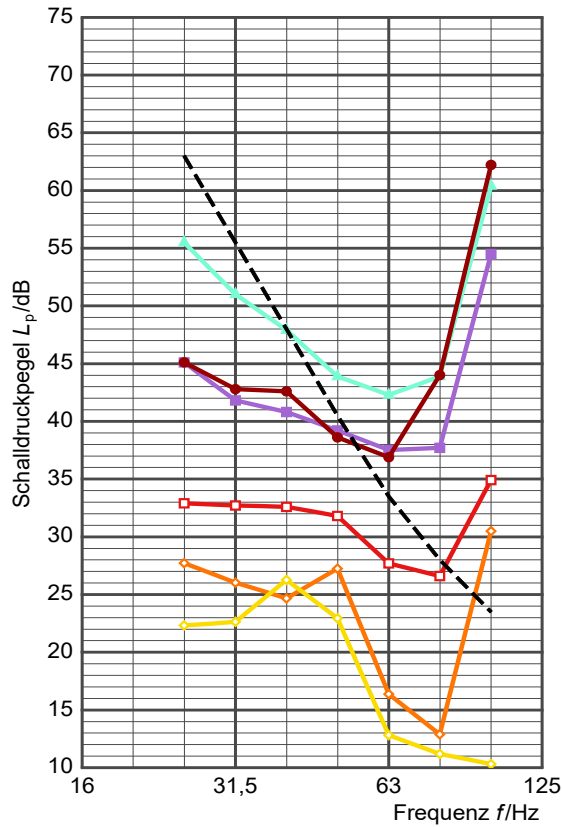
<b>Messwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz</b>	(50...53) dB(A)						
<b>Rechenwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz</b>	(47...49) dB(A)						
<b>Terzband</b>	<b>25 Hz</b>	<b>31,5 Hz</b>	<b>40 Hz</b>	<b>50 Hz</b>	<b>63 Hz</b>	<b>80 Hz</b>	<b>100 Hz</b>
<b>herausragende Pegelspitzen im Schmalbandspektrum bei den Frequenzen</b>							100 Hz



**Abbildung 12: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Anlage 2.**

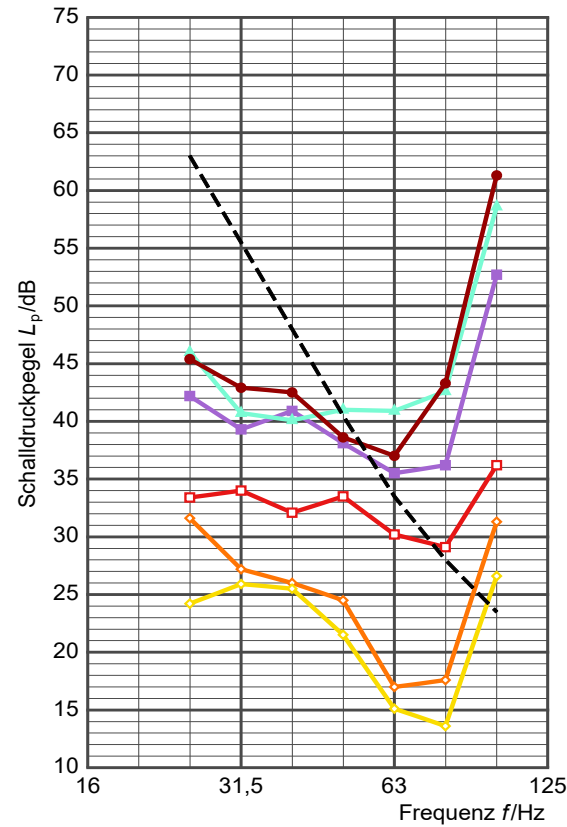
Aufgrund der deutlich herausragenden Frequenzlinie bei 100 Hz ist das Geräusch als tonal im Sinne des sächsischen Prognoseverfahrens anzusehen.

Raum 2.1



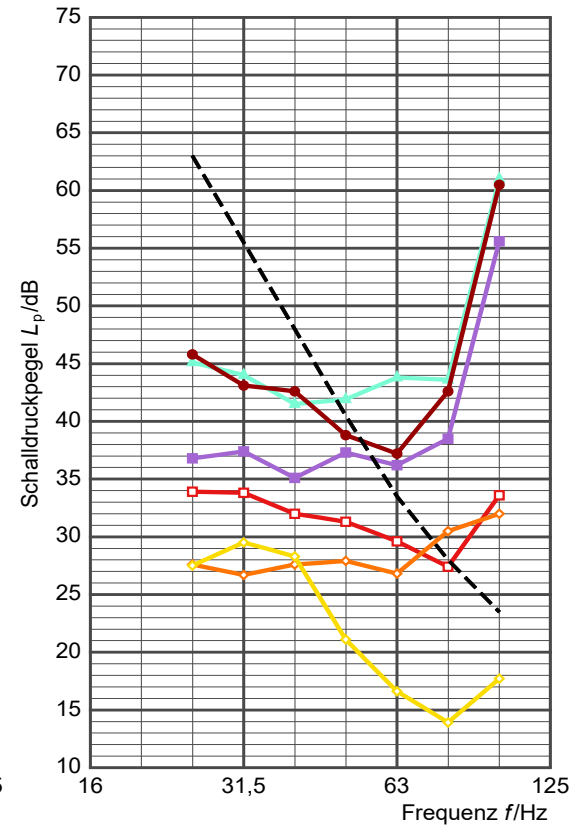
- Messwerte  $L_{p,a,m,W}$
- ▲ Messwerte  $L_{p,a,m,T}$
- Rechenwerte  $L_{p,a,c,W}$
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,1}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,2}$
- Hörschwelle nach DIN 45680

Raum 2.2



- Messwerte  $L_{p,a,m,W}$
- ▲ Messwerte  $L_{p,a,m,T}$
- Rechenwerte  $L_{p,a,c,W}$
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,1}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,2}$
- Hörschwelle nach DIN 45680

Raum 2.3



- Messwerte  $L_{p,a,m,W}$
- ▲ Messwerte  $L_{p,a,m,T}$
- Rechenwerte  $L_{p,a,c,W}$
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,1}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,2}$
- Hörschwelle nach DIN 45680

Legende:  $L_{p,a,m,W}$  gemessener Schalldruckpegel vor der Fassade abzüglich 6 dB  
 $L_{p,a,m,T}$  0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessener Schalldruckpegel

- $L_{p,a,c,W}$  mit Ausbreitungsrechnung berechneter Schalldruckpegel
- $L_{p,i,3D}$  in den „3D-Ecken“ gemessener Schalldruckpegel
- $L_{p,i,DIN_1}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 1
- $L_{p,i,DIN_2}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 2

**Abbildung 13: Räume 2.1, 2.2 und 2.3: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen.**

## 4.4 Anlage 3: Heizhaus mit drei BHKWs

### 4.4.1 Abbildungen

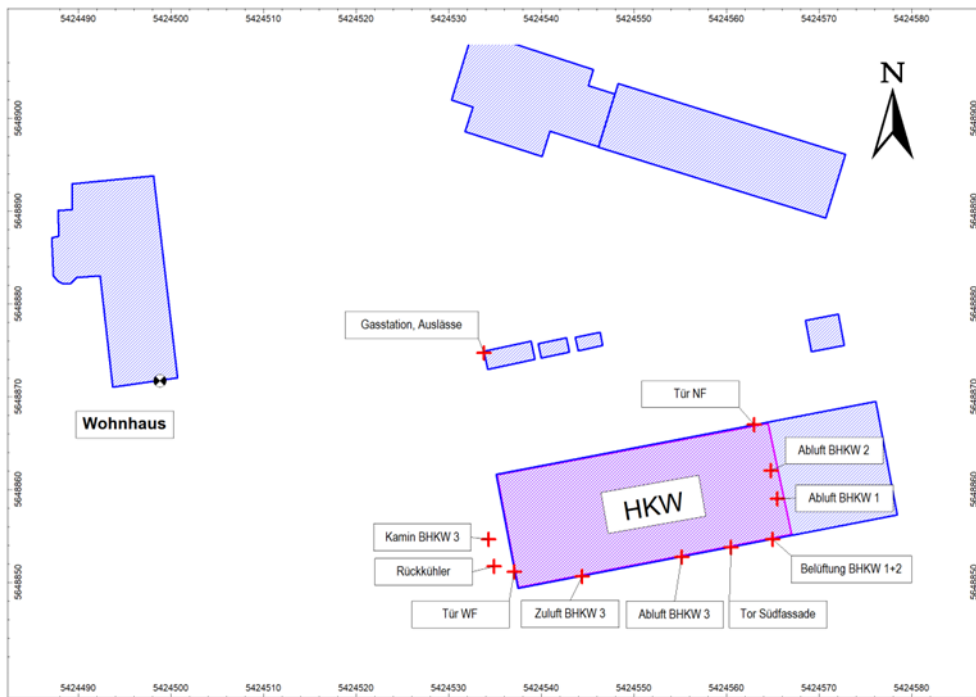


Abbildung 14: Lageplan mit Anlage 3 und Immissionsort.

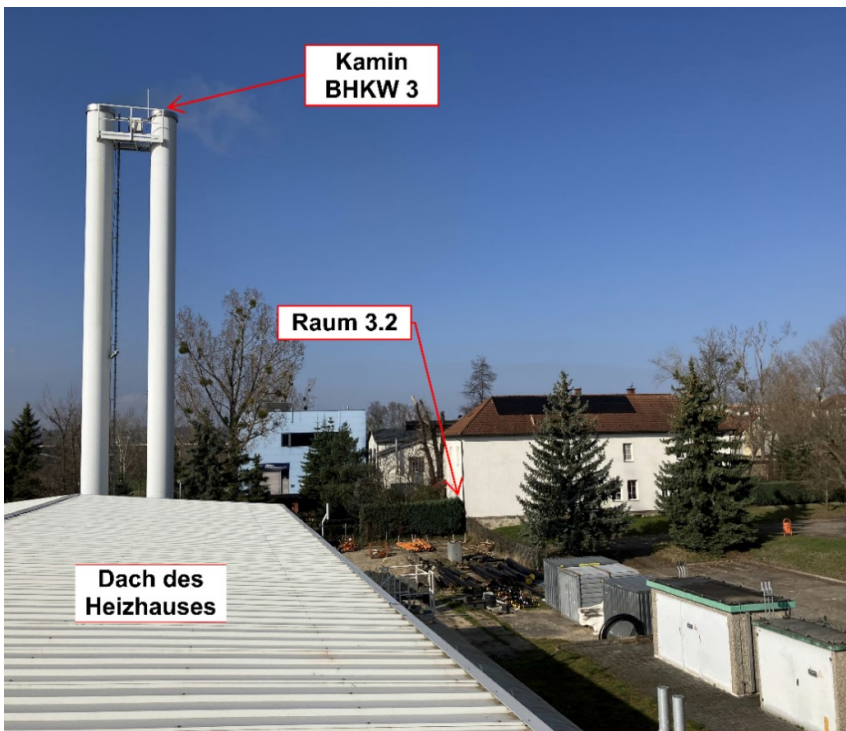


Abbildung 15: Anlage 3 und Immissionsort Raum 3.2.

Von Raum 3.2 ist keine Abbildung vorhanden.

#### 4.4.2 Gemessene Schalldruckpegel

Tabelle 8: Schalldruckpegel außen.

Messwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz	39 dB(A)						
Rechenwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz	34 dB(A)						
Terzband	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz
herausragende Pegelspitzen im Schmalbandspektrum bei den Frequenzen						75 Hz	

Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Anlage 1

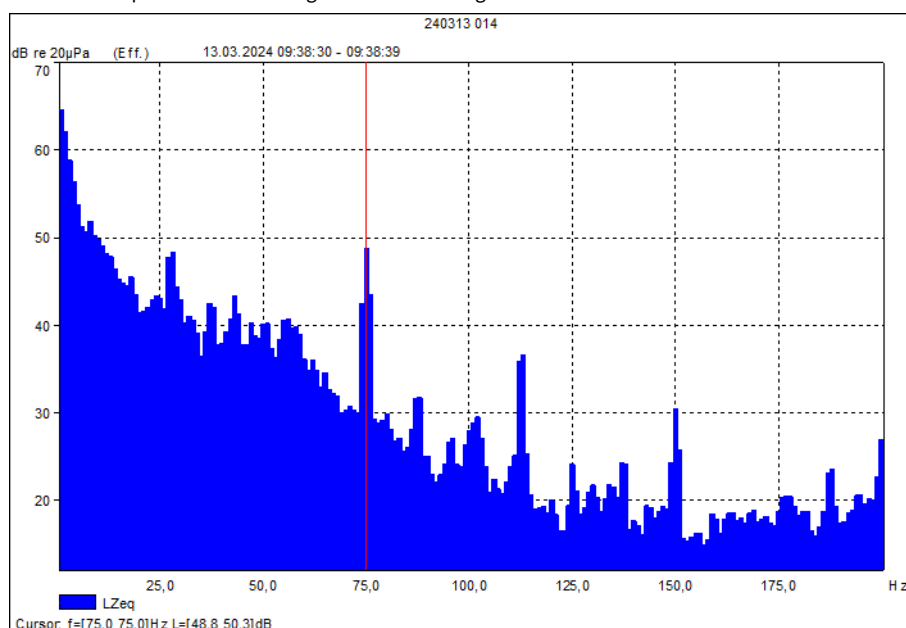
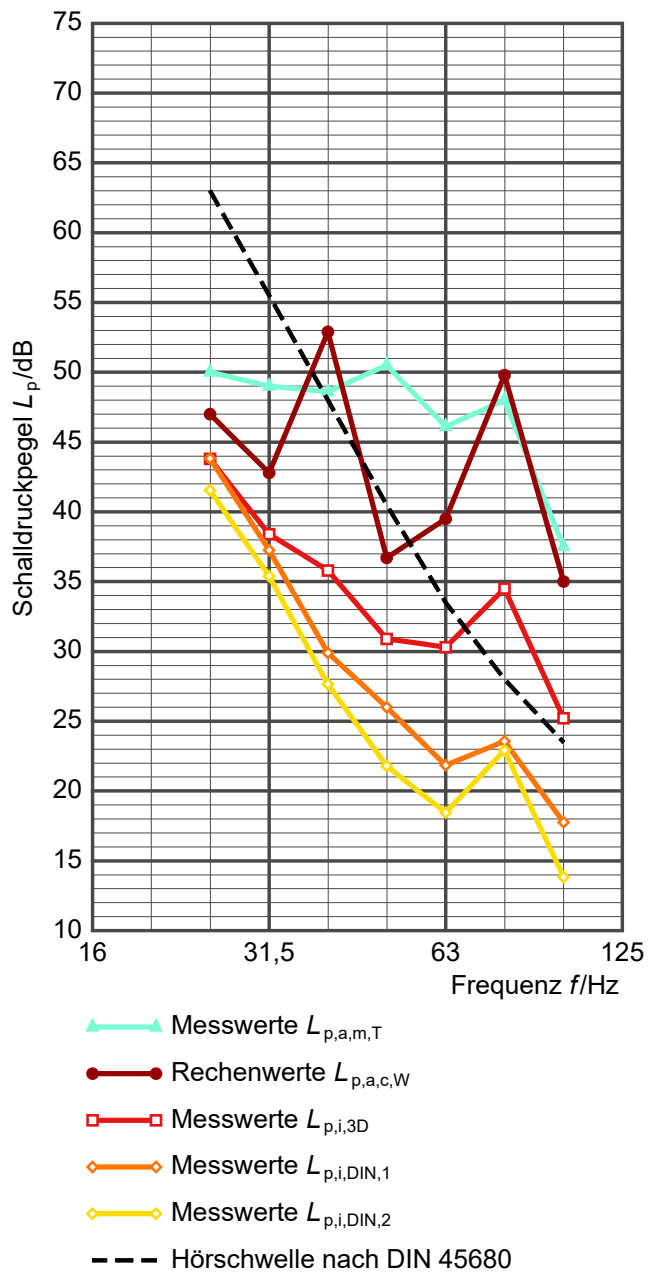


Abbildung 16: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Anlage 3.

Aufgrund der deutlich herausragenden Frequenzlinie bei 75 Hz ist das Geräusch als tonal im Sinne des sächsischen Prognoseverfahrens anzusehen.

### Raum 3.2



- Legende:
- $L_{p,a,m,T}$  0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessener Schalldruckpegel
  - $L_{p,a,c,W}$  mit Ausbreitungsrechnung berechneter Schalldruckpegel
  - $L_{p,i,3D}$  in den „3D-Ecken“ gemessener Schalldruckpegel
  - $L_{p,i,DIN,1}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 1
  - $L_{p,i,DIN,2}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 2

**Abbildung 17: Raum 3.2: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen.**



## 4.5 Anlage 4: Zellstofffabrik

### 4.5.1 Abbildungen

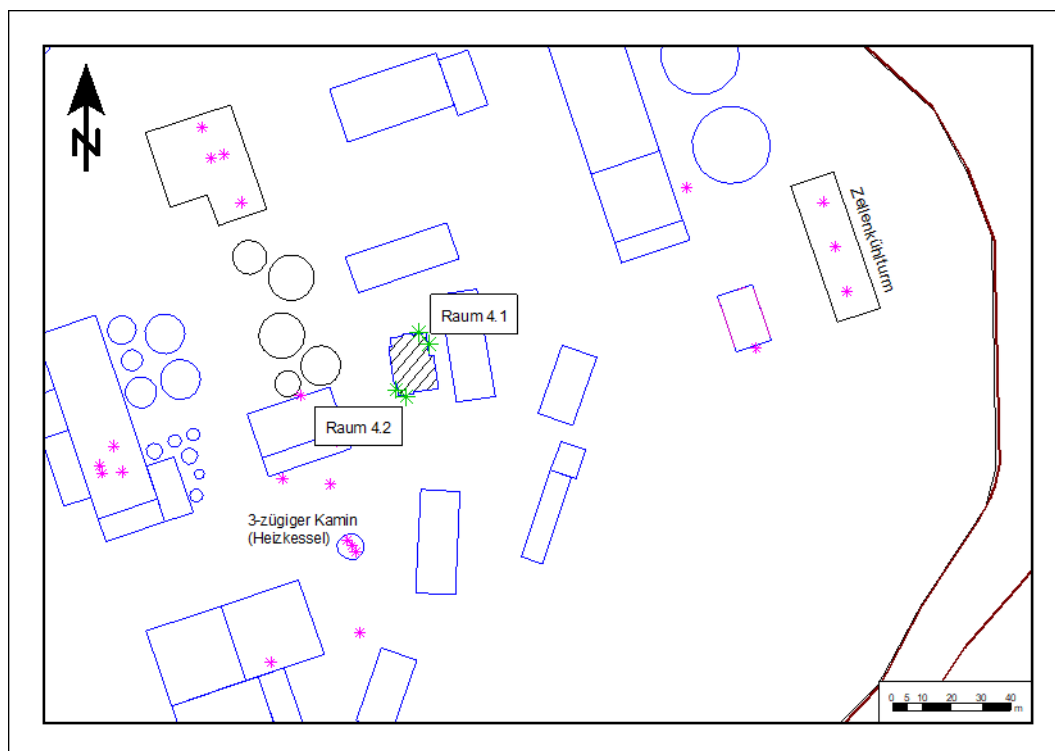
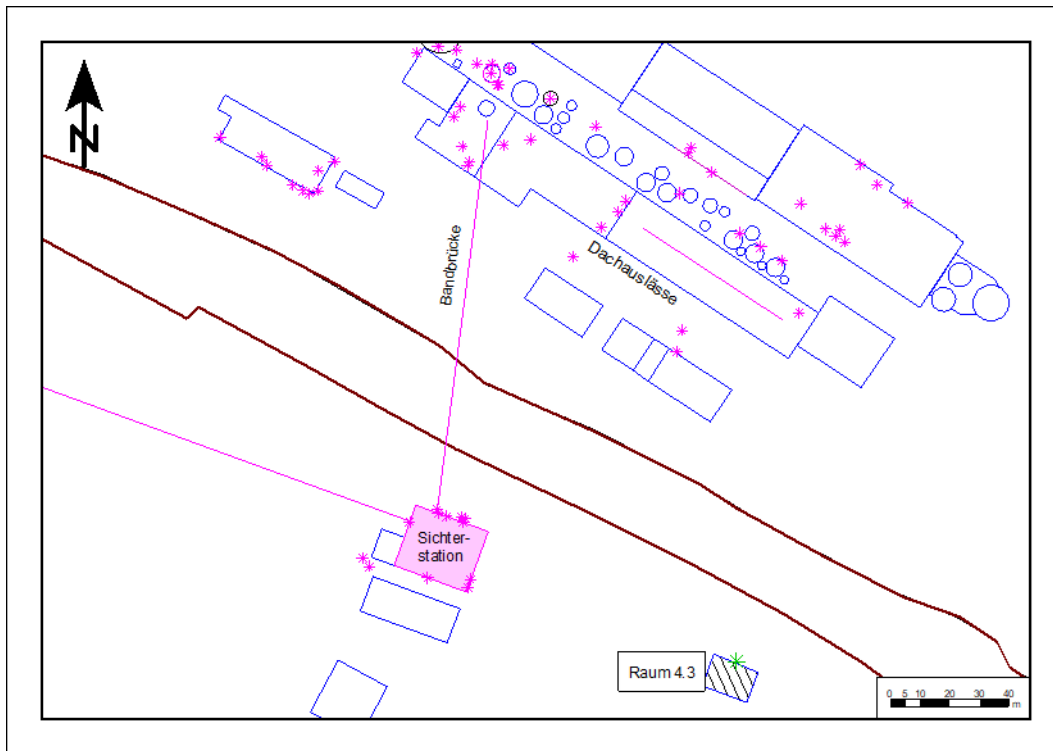


Abbildung 18: Lageplan der Immissionsorte Räume 4.1 und 4.2 inmitten der Anlage 4.



Abbildung 19: Immissionsorte Räume 4.1 und 4.2.



**Abbildung 20: Lageplan des Immissionsortes Raum 4.3 und von Teilen der Anlage 4.**



**Abbildung 21: Immissionsort Raum 4.3 von außen.**



**Abbildung 22: Immissionsort Raum 4.1 (Büro Nord).**



**Abbildung 23: Immissionsort Raum 4.2 (Büro West).**

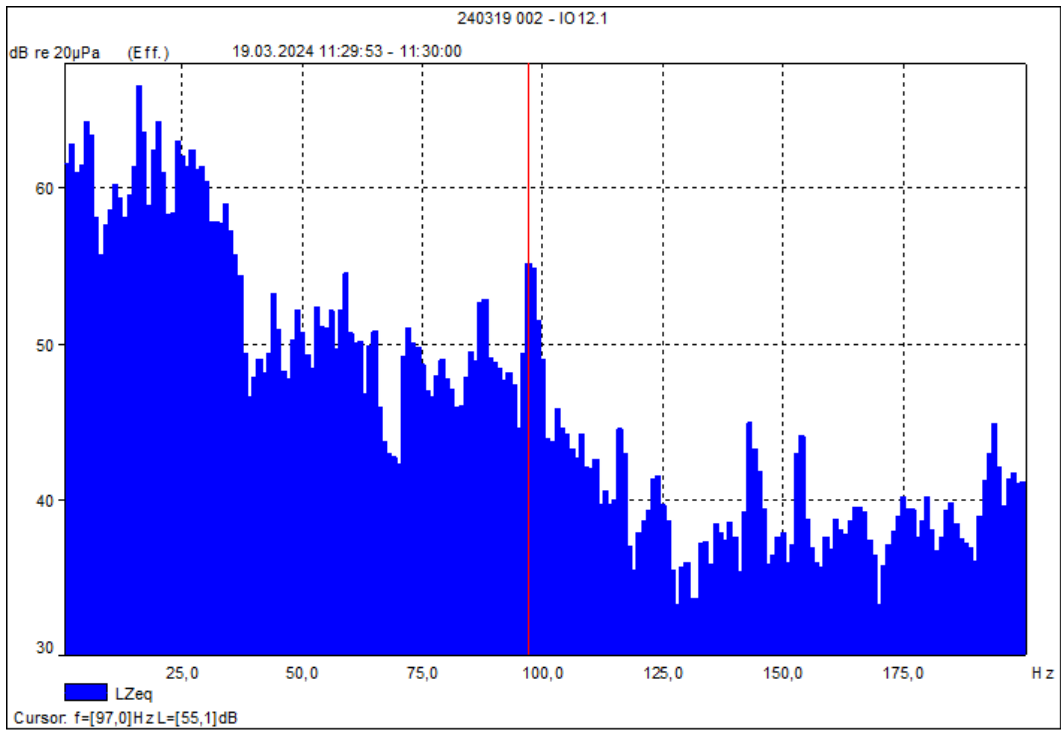


**Abbildung 24: Immissionsort Raum 4.3 (Pausenraum).**

#### 4.5.2 Gemessene Schalldruckpegel (Büro Nord)

**Tabelle 9: Schalldruckpegel außen.**

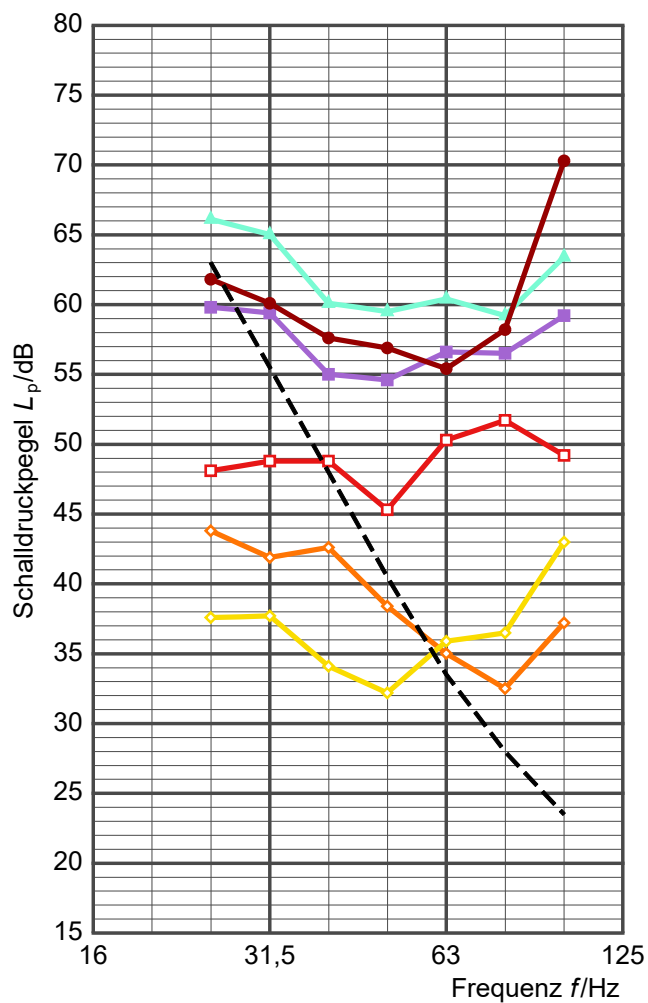
<b>Messwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz</b>	(58...64) dB(A)						
<b>Rechenwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz</b>	58 dB(A)						
<b>Terzband</b>	<b>25 Hz</b>	<b>31,5 Hz</b>	<b>40 Hz</b>	<b>50 Hz</b>	<b>63 Hz</b>	<b>80 Hz</b>	<b>100 Hz</b>
<b>herausragende Pegelspitzen im Schmalbandspektrum bei den Frequenzen</b>					59 Hz	88 Hz	97 Hz



**Abbildung 25: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Raum 4.1.**

Aufgrund der deutlich herausragenden Frequenzlinien im Bereich bis 100 Hz ist das Geräusch als tonal im Sinne des sächsischen Prognoseverfahrens anzusehen.

### Raum 4.1



- Messwerte  $L_{p,a,m,W}$
- ▲ Messwerte  $L_{p,a,m,T}$
- Rechenwerte  $L_{p,a,c,W}$
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,1}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,2}$

--- Hörschwelle nach DIN 45680

- Legende:
- $L_{p,a,m,T}$  0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessener Schalldruckpegel
  - $L_{p,a,c,W}$  mit Ausbreitungsrechnung berechneter Schalldruckpegel
  - $L_{p,i,3D}$  in den „3D-Ecken“ gemessener Schalldruckpegel
  - $L_{p,i,DIN,1}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 1
  - $L_{p,i,DIN,2}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 2

**Abbildung 26: Raum 4.1: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen.**

### 4.5.3 Gemessene Schalldruckpegel (Büro West)

Tabelle 10: Schalldruckpegel außen.

Messwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz	72 dB(A)						
Rechenwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz	65 dB(A)						
Terzband	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz
herausragende Pegelspitzen im Schmalbandspektrum bei den Frequenzen							98 Hz

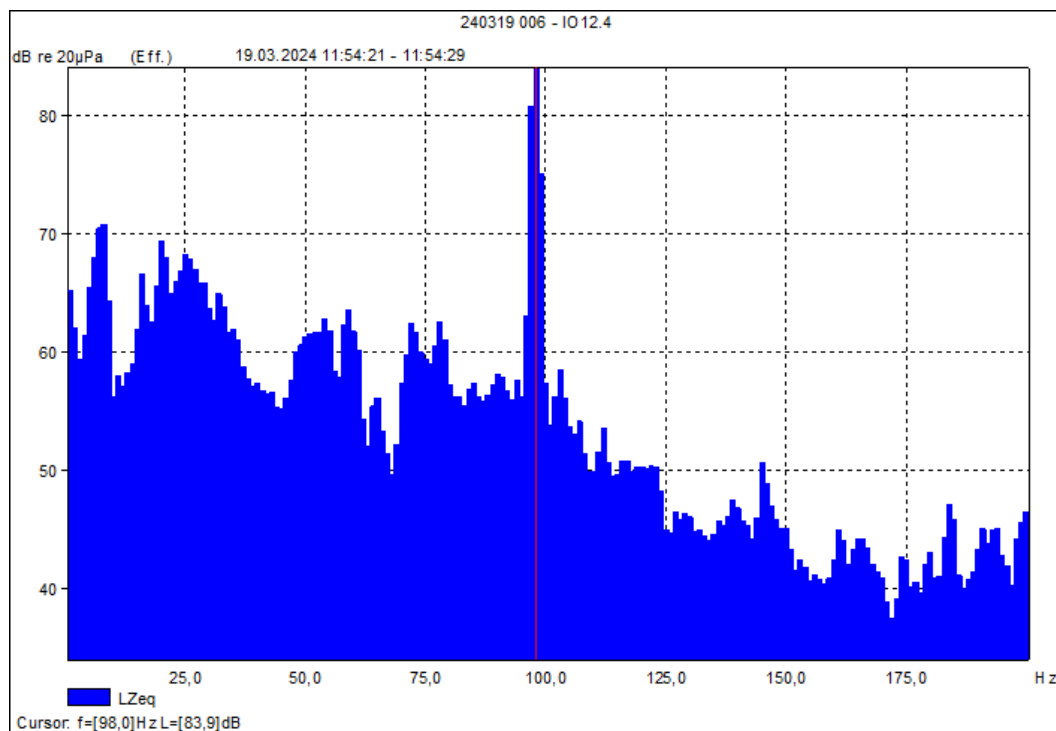
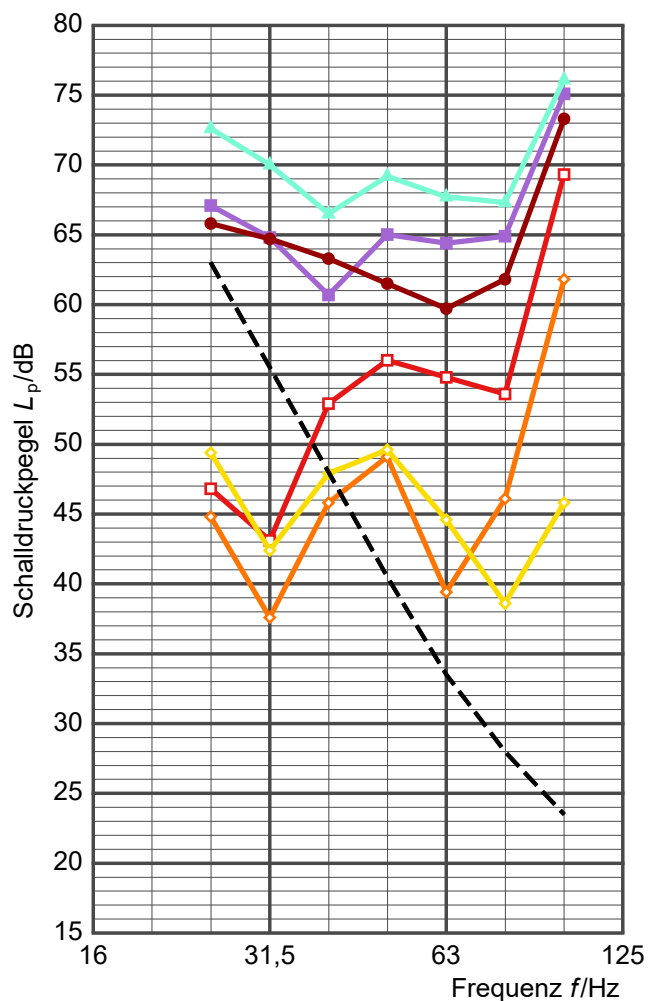


Abbildung 27: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Raum 4.2.

Aufgrund der deutlich herausragenden Frequenzlinie bei 98 Hz ist das Geräusch als tonal im Sinne des sächsischen Prognoseverfahrens anzusehen.

## Raum 4.2



- Messwerte  $L_{p,a,m,W}$
- ▲ Messwerte  $L_{p,a,m,T}$
- Rechenwerte  $L_{p,a,c,W}$
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,1}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,2}$
- - - Hörschwelle nach DIN 45680

Legende:  $L_{p,a,m,T}$  0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessener Schalldruckpegel  
 $L_{p,a,c,W}$  mit Ausbreitungsrechnung berechneter Schalldruckpegel  
 $L_{p,i,3D}$  in den „3D-Ecken“ gemessener Schalldruckpegel  
 $L_{p,i,DIN,1}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 1  
 $L_{p,i,DIN,2}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 2

**Abbildung 28: Raum 4.2: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen.**



#### 4.5.4 Gemessene Schalldruckpegel (Pausenraum)

Tabelle 11: Schalldruckpegel außen.

Messwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz	60 dB(A)						
Rechenwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz	57 dB(A)						
Terzband	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz
herausragende Pegelspitzen im Schmalbandspektrum bei den Frequenzen							99 Hz

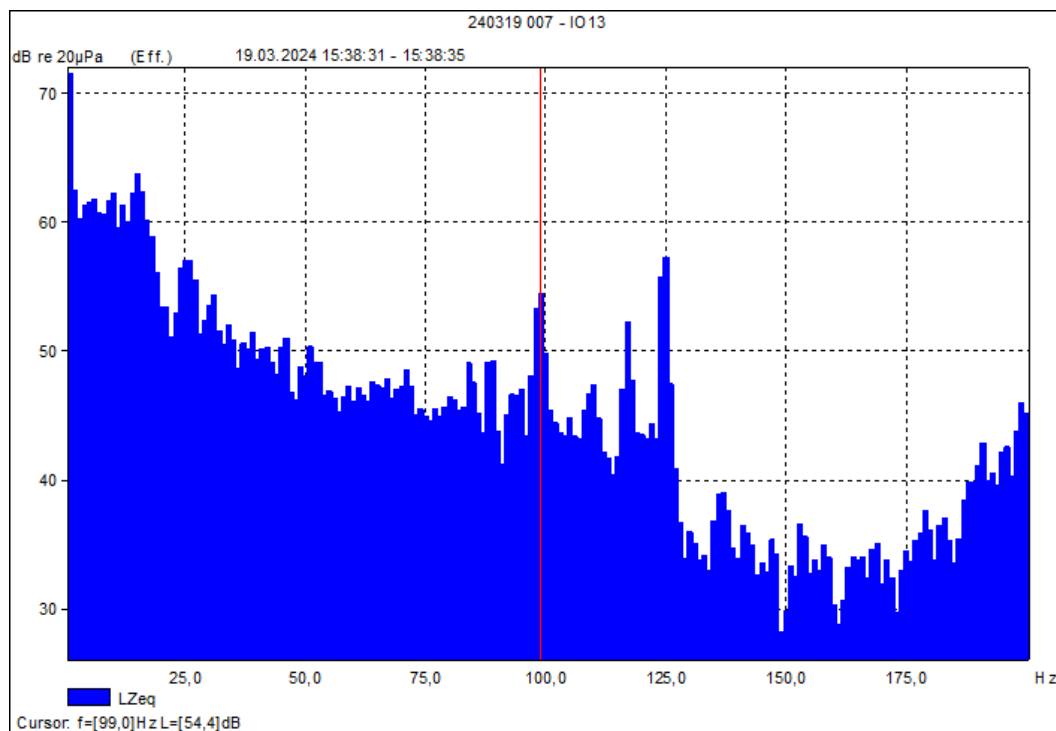
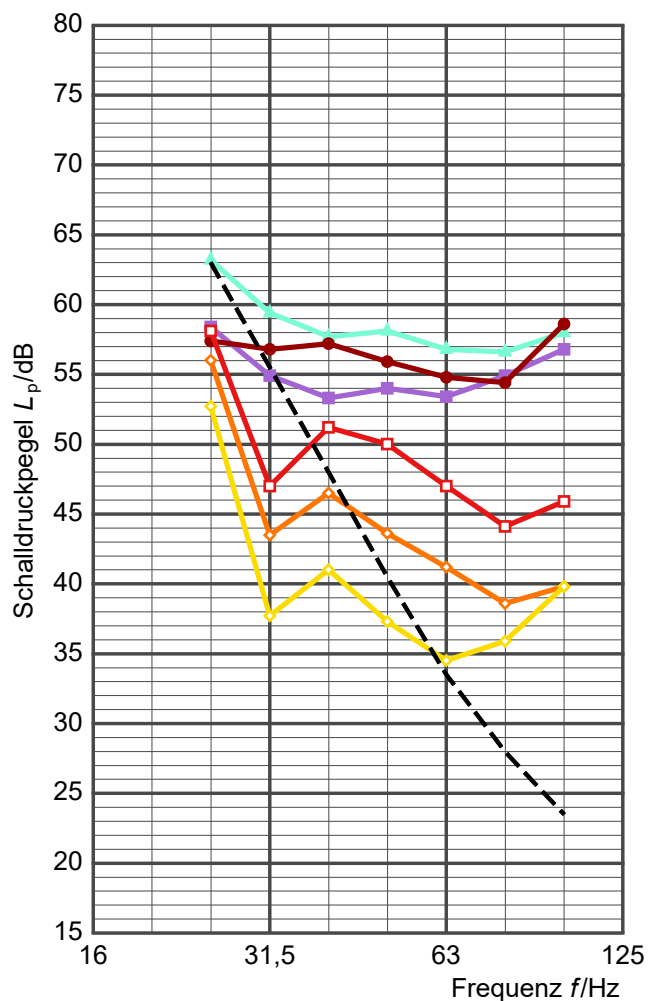


Abbildung 29: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Raum 4.3.

Aufgrund der deutlich herausragenden Frequenzlinie bei 99 Hz ist das Geräusch als tonal im Sinne des sächsischen Prognoseverfahrens anzusehen.

### Raum 4.3



- Messwerte  $L_{p,a,m,W}$
- ▲ Messwerte  $L_{p,a,m,T}$
- Rechenwerte  $L_{p,a,c,W}$
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,1}$
- ◇ Messwerte  $L_{p,i,DIN,2}$
- - - Hörschwelle nach DIN 45680

Legende:  $L_{p,a,m,T}$  0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessener Schalldruckpegel  
 $L_{p,a,c,W}$  mit Ausbreitungsrechnung berechneter Schalldruckpegel  
 $L_{p,i,3D}$  in den „3D-Ecken“ gemessener Schalldruckpegel  
 $L_{p,i,DIN,1}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 1  
 $L_{p,i,DIN,2}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel am Messort 2

**Abbildung 30: Raum 4.3: Terzspektren der Schalldruckpegel außen und innen.**

## 4.6 Anlage 5: Heizkraftwerk mit acht BHKWs

### 4.6.1 Abbildungen

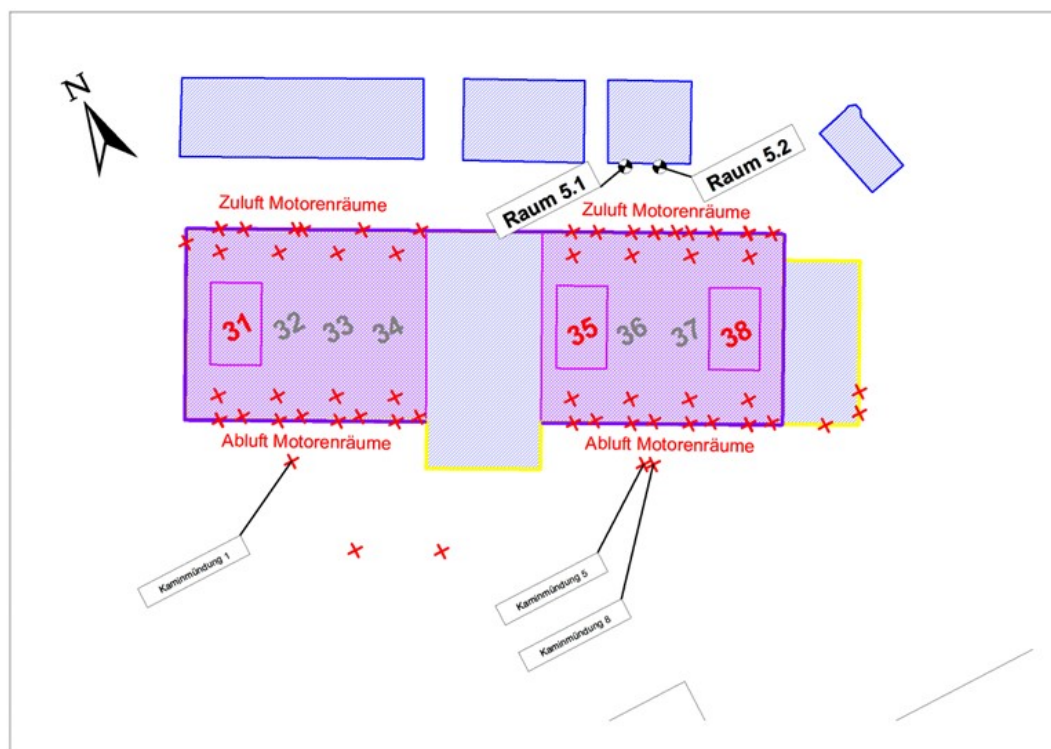
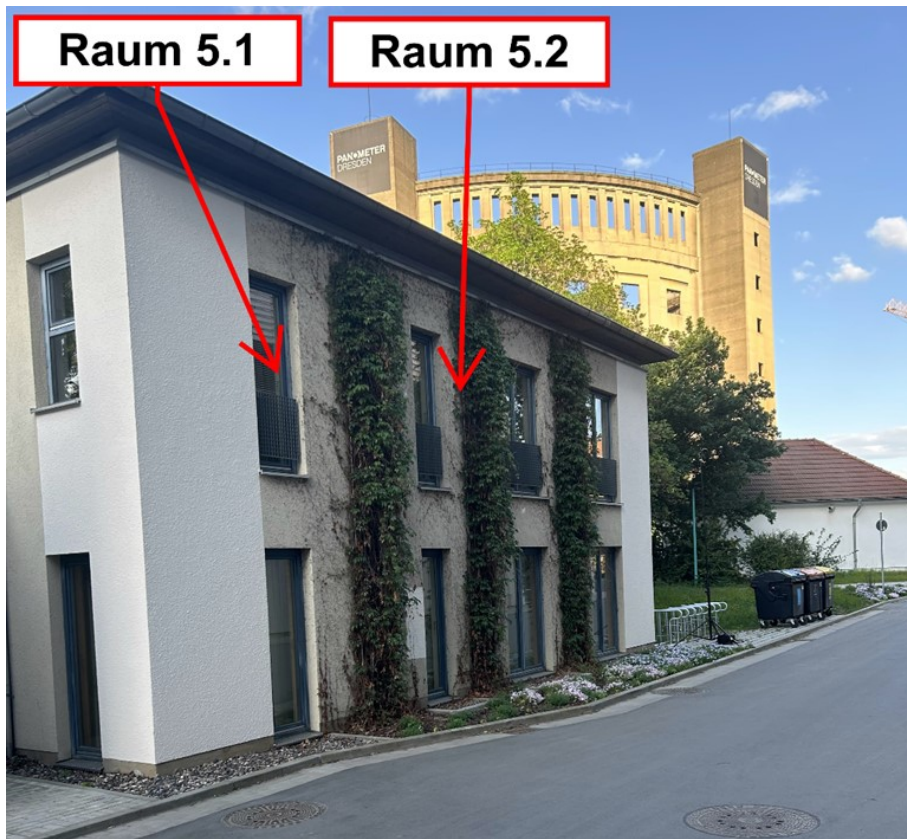


Abbildung 31: Lageplan mit Anlage 5 und Immissionsorten Räume 5.1 und 5.2.



Abbildung 32: Anlage 5.



**Abbildung 33: Immissionsorte Räume 5.1 und 5.2 außen.**



**Abbildung 34: Immissionsort Raum 5.1 (Büro 1.1).**

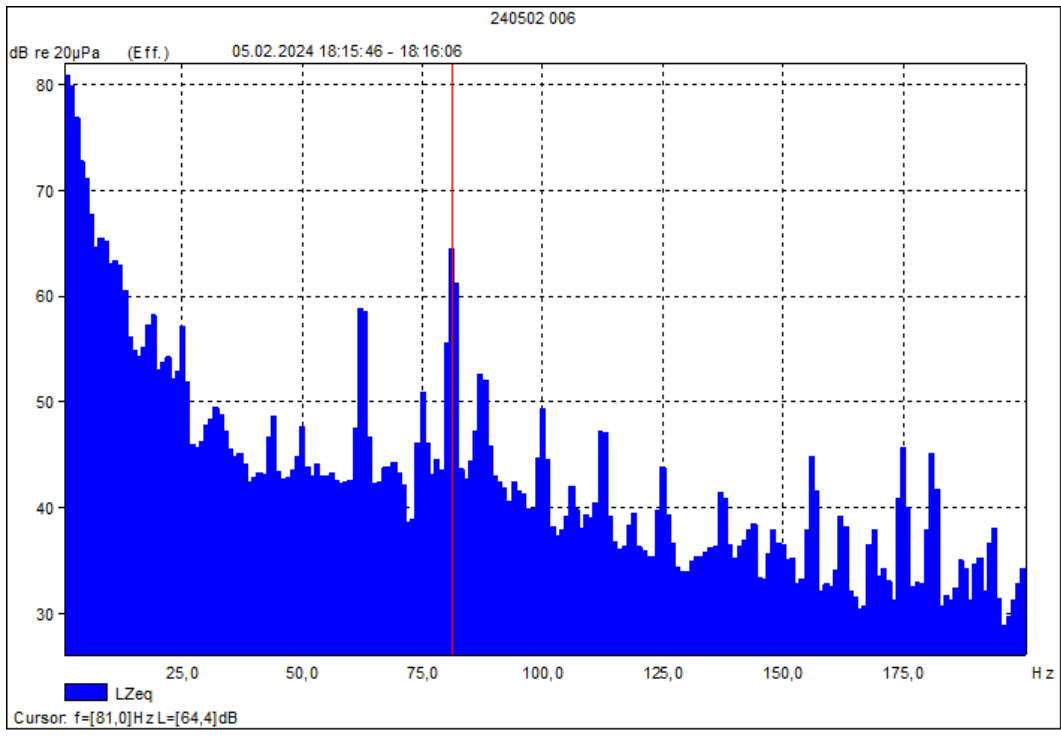


**Abbildung 35: Immissionsort Raum 5.2 (Büro 1.2).**

#### 4.6.2 Gemessene Schalldruckpegel

**Tabelle 12: Schalldruckpegel außen.**

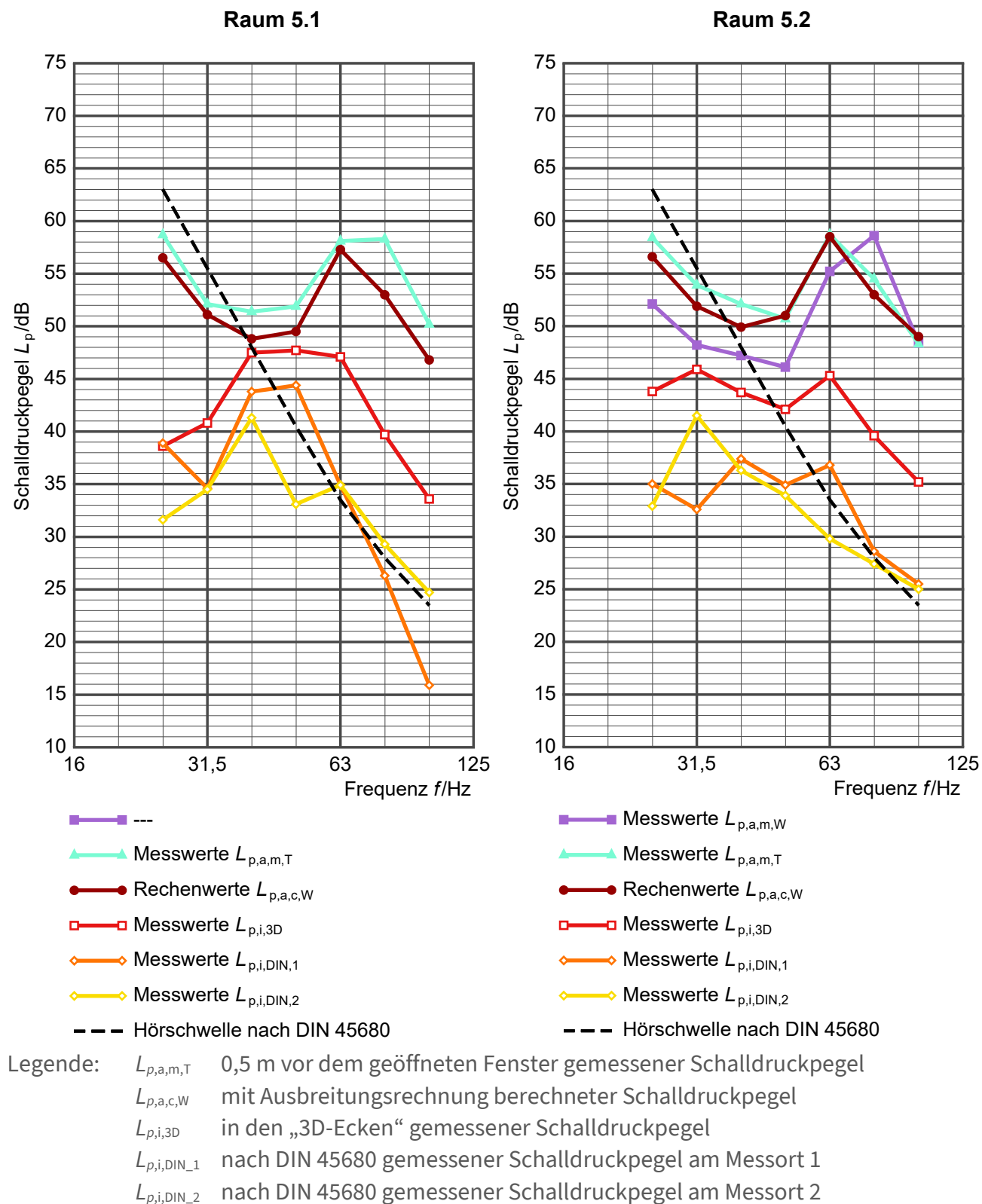
<b>Messwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz</b>	(46...50) dB(A)						
<b>Rechenwert Summenpegel 25 Hz bis 10 kHz</b>	(42...48) dB(A)						
<b>Terzband</b>	<b>25 Hz</b>	<b>31,5 Hz</b>	<b>40 Hz</b>	<b>50 Hz</b>	<b>63 Hz</b>	<b>80 Hz</b>	<b>100 Hz</b>
<b>herausragende Pegelspitzen im Schmalbandspektrum bei den Frequenzen</b>					62 Hz	81 Hz	



**Abbildung 36: Schmalbandspektrum des Außengeräusches zu Anlage 5.**

Aufgrund der deutlich herausragenden Frequenzlinien im Bereich bis 100 Hz ist das Geräusch als tonal im Sinne des sächsischen Prognoseverfahrens anzusehen.

### 4.6.3 Innengeräusch Raum 5.5 (Büro 1.2)



**Abbildung 37: Räume 5.1 und 5.2: Terzspektrn der Schalldruckpegel außen und innen.**

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Prognose der Innenpegel

#### 5.1.1 Prognostizierte Innenpegel

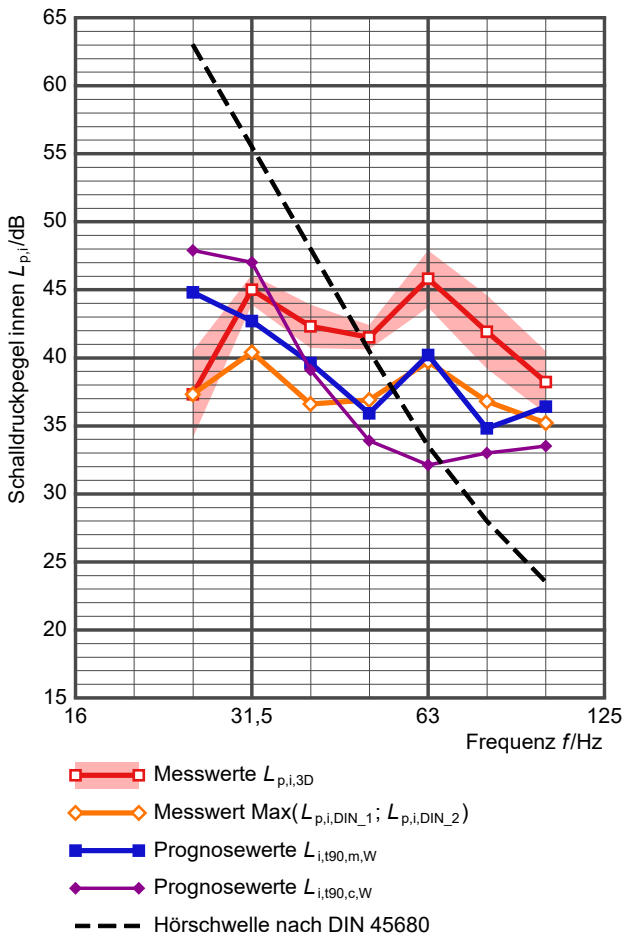
In den nachfolgend gezeigten Diagrammen sind

- die energetischen Mittelwerte der in den „3D-Ecken“ gemessenen Schalldruckpegel  $L_{p,i,3D}$ ,
- die an potentiellen Aufenthaltsorten der Bewohner oder Nutzer (Messort nach DIN 45680) gemessenen Schalldruckpegel  $L_{p,i,DIN}$  (siehe Abschnitt 3.4.2),
- die nach dem sächsischen Prognoseverfahren berechneten Schalldruckpegel  $L_{i,t90,m,W}$ , welche aus dem vor dem Aufenthaltsraum gemessenen Freifeldpegel  $L_{p,a,m,W}$  berechnet wurden,
- die nach dem sächsischen Prognoseverfahren berechneten Schalldruckpegel  $L_{i,t90,m,T}$ , welche aus dem 0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessenen Schalldruckpegel  $L_{p,a,m,T}$  berechnet wurden sowie
- die nach dem sächsischen Prognoseverfahren berechneten Schalldruckpegel  $L_{i,t90,c,W}$ , welche aus den durch eine Schallausbreitungsberechnung ermittelten Freifeldpegeln  $L_{p,a,c,W}$  berechnet wurden

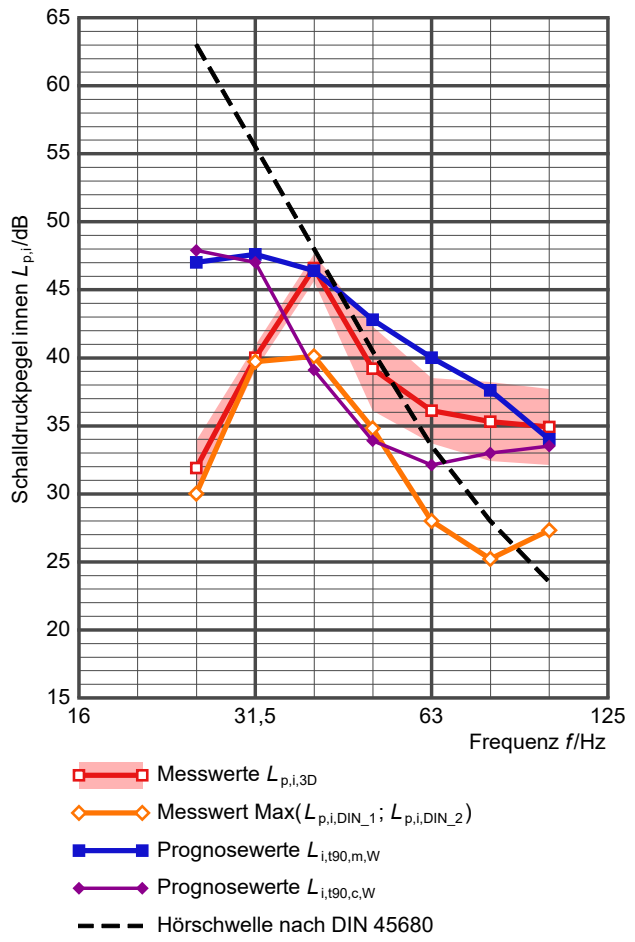
für die untersuchten Aufenthaltsräume frequenzabhängig im Bereich zwischen 25 Hz und 100 Hz wiedergegeben. Bei nicht aufgeführten Kurven konnte der Außenpegel  $L_{p,a,m,W}$  bzw.  $L_{p,a,m,T}$  nicht gemessen werden.



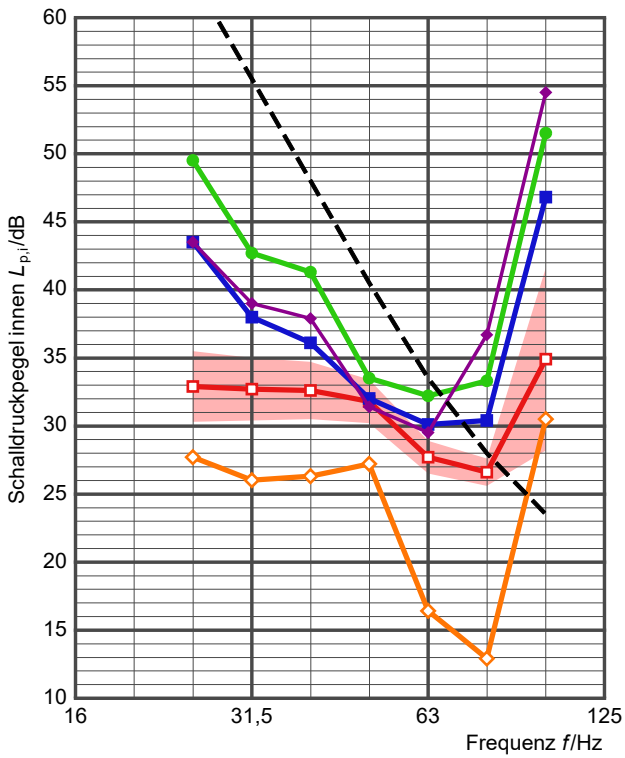
Raum 1.1



Raum 1.2

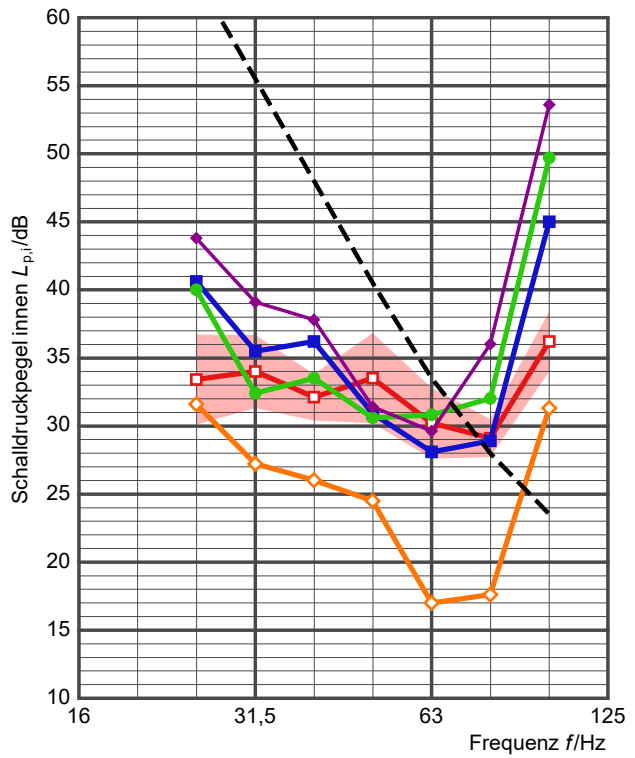


Raum 2.1



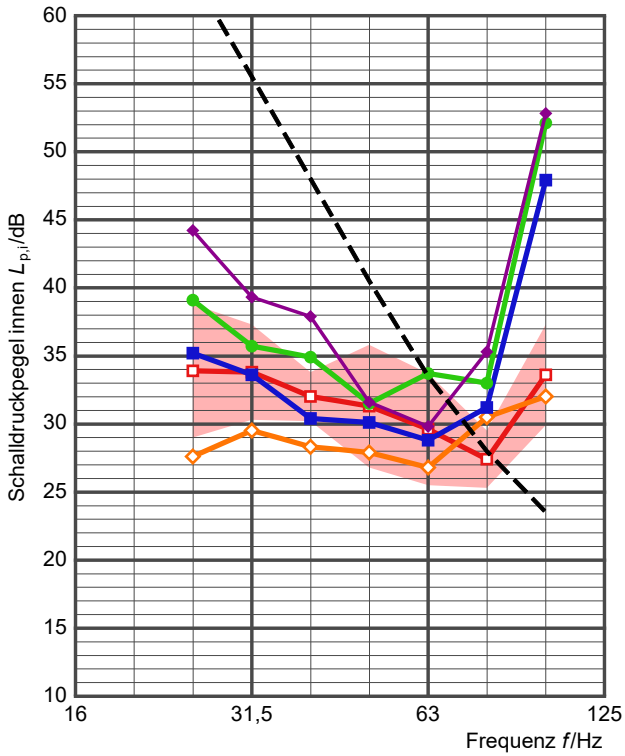
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwert  $\text{Max}(L_{p,i,DIN_1}; L_{p,i,DIN_2})$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,W}$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,T}$
- ◆ Prognosewerte  $L_{i,t90,c,W}$
- - - Hörschwelle nach DIN 45680

Raum 2.2



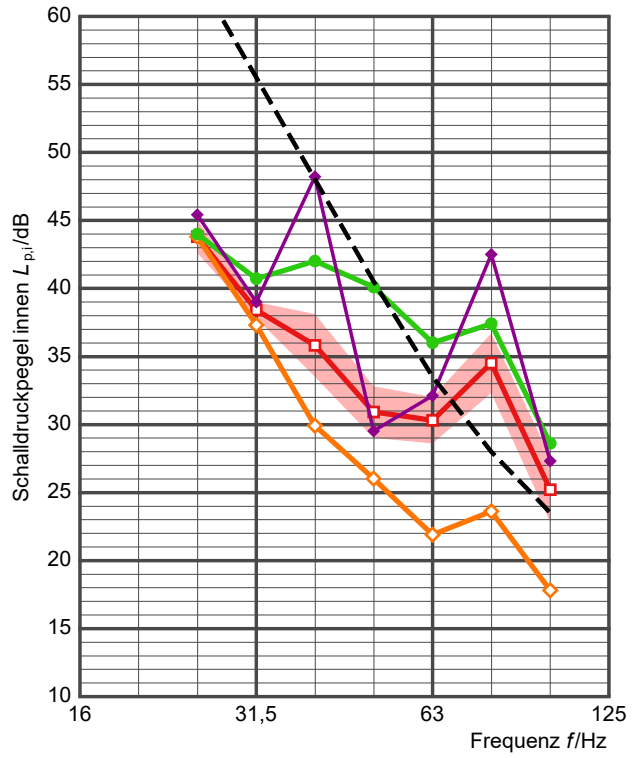
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwert  $\text{Max}(L_{p,i,DIN_1}; L_{p,i,DIN_2})$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,W}$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,T}$
- ◆ Prognosewerte  $L_{i,t90,c,W}$
- - - Hörschwelle nach DIN 45680

Raum 2.3



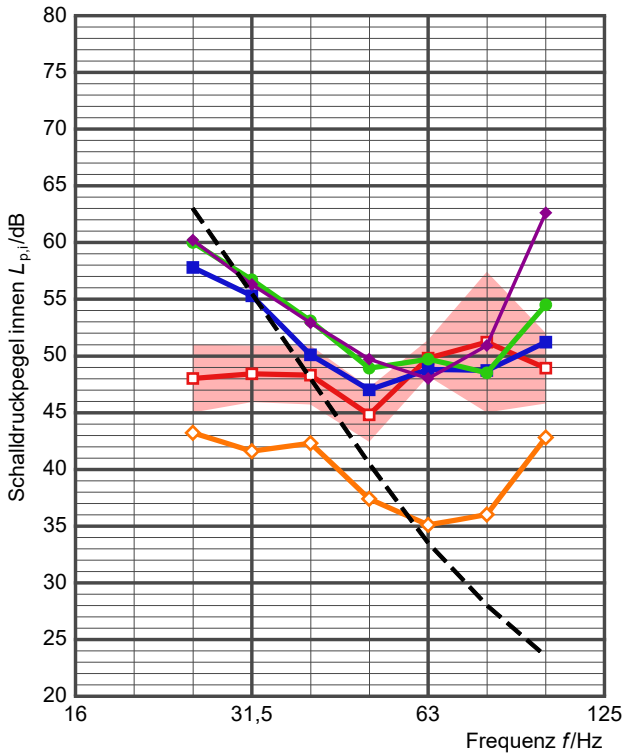
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwert  $\text{Max}(L_{p,i,DIN_1}; L_{p,i,DIN_2})$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,W}$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,T}$
- ◆ Prognosewerte  $L_{i,t90,c,W}$
- Hörschwelle nach DIN 45680

Raum 3.2



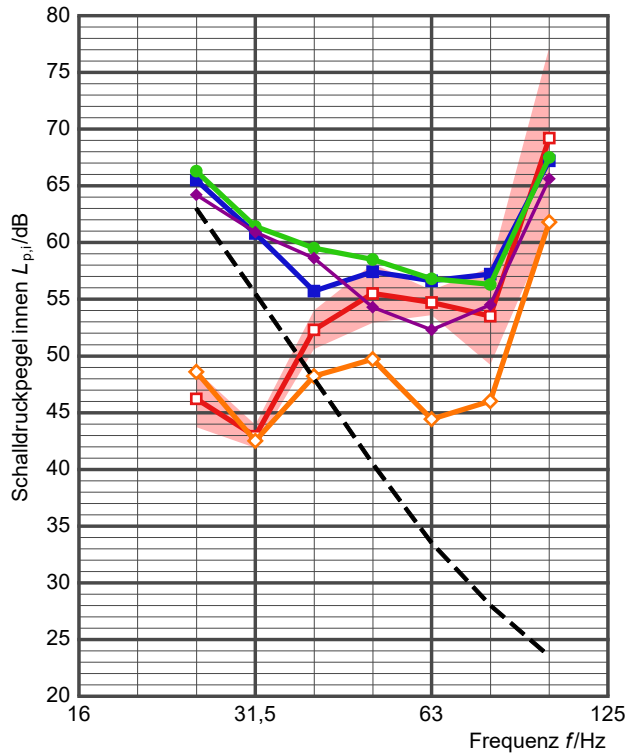
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwert  $\text{Max}(L_{p,i,DIN_1}; L_{p,i,DIN_2})$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,T}$
- ◆ Prognosewerte  $L_{i,t90,c,W}$
- Hörschwelle nach DIN 45680

Raum 4.1



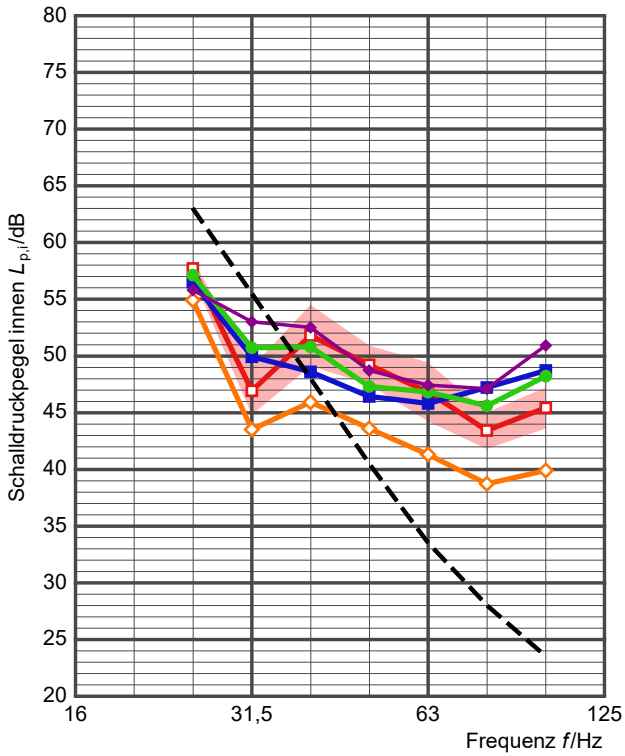
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwert  $\text{Max}(L_{p,i,DIN_1}; L_{p,i,DIN_2})$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,W}$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,T}$
- ◆ Prognosewerte  $L_{i,t90,c,W}$
- - - Hörschwelle nach DIN 45680

Raum 4.2



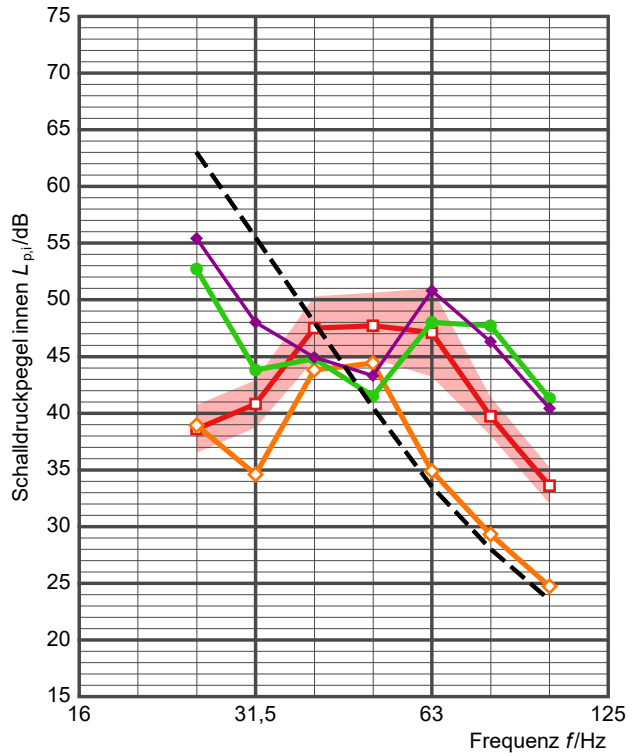
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwert  $\text{Max}(L_{p,i,DIN_1}; L_{p,i,DIN_2})$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,W}$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,T}$
- ◆ Prognosewerte  $L_{i,t90,c,W}$
- - - Hörschwelle nach DIN 45680

Raum 4.3



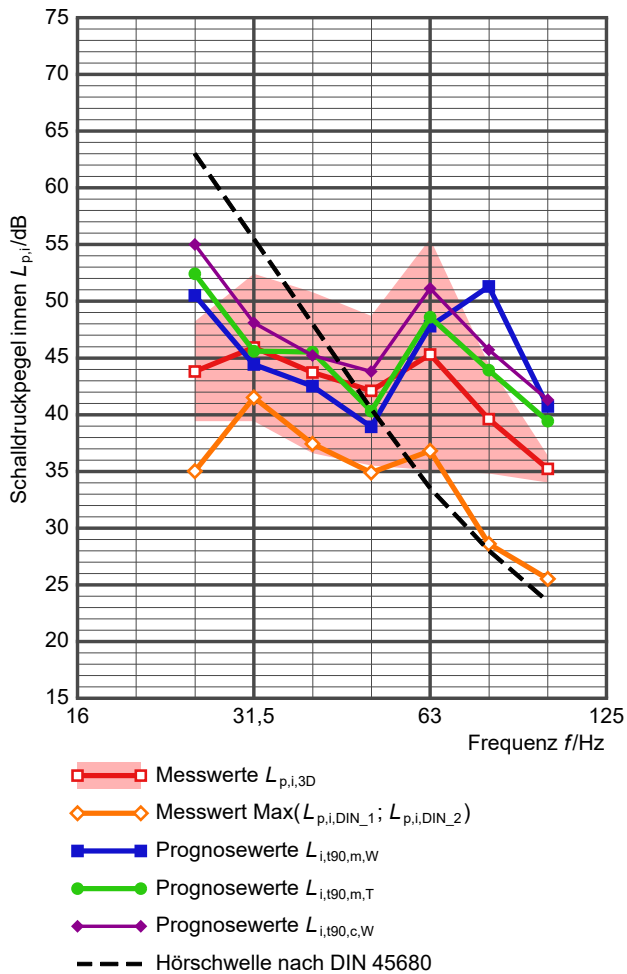
- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwert  $\text{Max}(L_{p,i,DIN_1}; L_{p,i,DIN_2})$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,W}$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,T}$
- ◆ Prognosewerte  $L_{i,t90,c,W}$
- - - Hörschwelle nach DIN 45680

Raum 5.1



- Messwerte  $L_{p,i,3D}$
- ◇ Messwert  $\text{Max}(L_{p,i,DIN_1}; L_{p,i,DIN_2})$
- Prognosewerte  $L_{i,t90,m,T}$
- ◆ Prognosewerte  $L_{i,t90,c,W}$
- - - Hörschwelle nach DIN 45680

## Raum 5.2

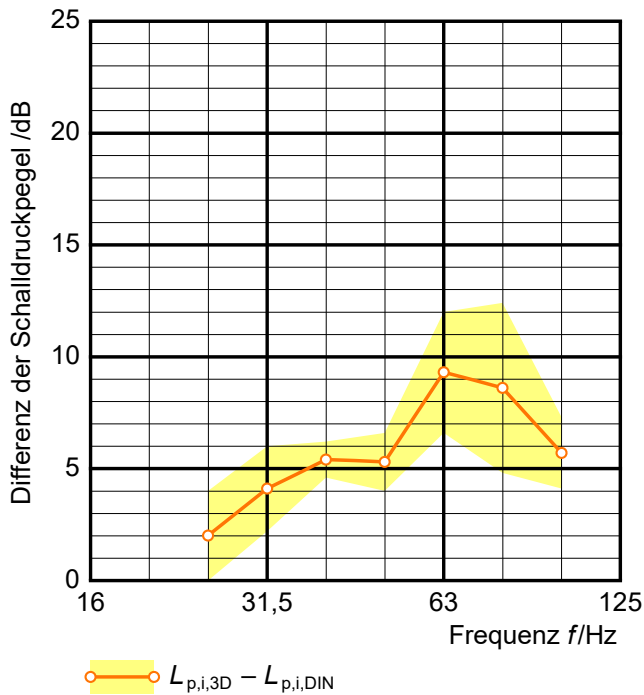


- Legende:  $L_{p,i,3D}$  in den „3D-Ecken“ gemessener Schalldruckpegel (hellrot eingetragen ist der 95%-Vertrauensbereich)
- $L_{p,i,DIN}$  nach DIN 45680 gemessener Schalldruckpegel (Maximum von Messort 1 und Messort 2)
- $L_{i,t90,m,W}$  aus dem vor dem Aufenthaltsraum gemessenen Freifeldpegel prognostizierter Innenpegel
- $L_{i,t90,m,T}$  aus dem 0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessenen Schalldruckpegel prognostizierter Innenpegel
- $L_{i,t90,c,W}$  aus dem durch eine Schallausbreitungsberechnung ermittelten Freifeldpegel prognostizierter Innenpegel

### Abbildung 38: Vergleich der gemessenen Innenpegel mit den nach dem sächsischen Verfahren prognostizierten Innenpegeln.

*Anmerkung:* Die Messwerte des Raumes 5.2 wurden bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt, da hierfür zur Ermittlung des Innenpegels nur drei Raumecken zur Verfügung standen und damit nicht alle Raumbegrenzungsflächen repräsentiert sind (siehe Abschnitt 3.4.2).

Die an den potentiellen Aufenthaltsorten nach DIN 45680 gemessenen Innenpegel  $L_{p,i,DIN}$  liegen bis auf wenige unterhalb der prognostizierten Innenpegel  $L_{i,90,W}$  bzw.  $L_{i,90,T}$ . Die Abbildung 47 zeigt die mittlere Differenz der in den „3D-Ecken“ gemessenen Schalldruckpegel zum Messwert nach DIN 45680.



**Abbildung 39: Differenz der in den „3D-Ecken“ gemessenen Schalldruckpegel zum Messwert nach DIN 45680. Gelb eingetragen ist der 95%-Vertrauensbereich.**

### 5.1.2 Bewertung der prognostizierten Innenpegel

Die Innenpegel wurden nach dem sächsischen Verfahren unter Anwendung der unteren Vertrauensbereichsgrenze  $D_{t90,W}$  bzw.  $D_{t90,T}$  prognostiziert. Die Zahl der Über- bzw. Unterschätzungen des gemessenen Innenpegels durch das sächsische Prognoseverfahren wurden bezüglich verschiedener Konstellationen ausgewertet. Dabei wurden die prognostizierten Innenpegel

- aus dem vor dem Aufenthaltsraum gemessenen Freifeldpegel  $L_{p,a,m,W}$ ,
- aus dem 0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessenen Schalldruckpegel  $L_{p,a,m,T}$  und
- aus den durch eine Schallausbreitungsberechnung ermittelten Freifeldpegeln  $L_{p,a,c,W}$

jeweils verglichen mit den gemessenen Innenpegeln

- in den „3D-Ecken“  $L_{p,i,3D}$  (energetischer Mittelwert) und
- an potentiellen Aufenthaltsorten der Bewohner oder Nutzer (Messort nach DIN 45680) gemessenen Schalldruckpegel  $L_{p,i,DIN}$  (jeweils höherer Pegel in jedem Terzband, siehe Abschnitt 3.4.2).

Die Absolutzahlen der Über- und Unterschätzungen der gemessenen ("tatsächlichen") Schalldruckpegel im Raum durch das sächsische Verfahren und die prozentualen Anteile sind in Tabelle 13 angegeben.

**Tabelle 13: Über- bzw. Unterschätzungen des gemessenen Innenpegels durch das sächsische Prognoseverfahren bei Bezug auf den gemessenen Freifeldpegel  $L_{p,a,m,W}$ .**

Außenpegel	bzgl.	Außenpegelart			25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	arithm. Mittelwert
Messwert	3D-Ecken	Freifeld	Überschätzung	Anzahl	7	6	4	4	3	5	5	
				Prozent	88%	75%	50%	50%	38%	63%	63%	<b>61%</b>
		Freifeld	Unterschätzung	Anzahl	1	2	4	4	5	3	3	
				Prozent	13%	25%	50%	50%	63%	38%	38%	<b>39%</b>
		TALärm	Überschätzung	Anzahl	7	7	6	5	6	7	7	
				Prozent	88%	88%	75%	63%	75%	88%	88%	<b>80%</b>
	TALärm	Unterschätzung	Anzahl	1	1	2	3	2	1	1		
			Prozent	13%	13%	25%	38%	25%	13%	13%	<b>20%</b>	
	Messort DIN	Freifeld	Überschätzung	Anzahl	8	8	8	7	8	7	8	
				Prozent	100%	100%	100%	88%	100%	88%	100%	<b>96%</b>
		Freifeld	Unterschätzung	Anzahl	0	0	0	1	0	1	0	
				Prozent	0%	0%	0%	13%	0%	13%	0%	<b>4%</b>
		TALärm	Überschätzung	Anzahl	8	8	8	7	8	8	8	
				Prozent	100%	100%	100%	88%	100%	100%	100%	<b>98%</b>
TALärm	Unterschätzung	Anzahl	0	0	0	1	0	0	0			
		Prozent	0%	0%	0%	13%	0%	0%	0%	<b>2%</b>		
Rechenwert	3D-Ecken	Freifeld	Überschätzung	Anzahl	9	10	7	2	5	7	7	
				Prozent	90%	100%	70%	20%	50%	70%	70%	<b>67%</b>
		Freifeld	Unterschätzung	Anzahl	1	0	3	8	5	3	3	
	Prozent			10%	0%	30%	80%	50%	30%	30%	<b>33%</b>	
	DIN	Freifeld	Überschätzung	Anzahl	10	10	9	7	9	9	9	
				Prozent	100%	100%	90%	70%	90%	90%	90%	<b>90%</b>
Freifeld		Unterschätzung	Anzahl	0	0	1	3	1	1	1		
	Prozent		0%	0%	10%	30%	10%	10%	10%	<b>10%</b>		

Anmerkung: Die prognostizierten Innenpegel, welche mit Bezug auf die Rechenwerte der Außenpegel ermittelt wurden (untere Zeilen in Tabelle 13), enthalten die Unsicherheiten sowohl des Berechnungsverfahrens nach DIN ISO 9613-2 im tieffrequenten Bereich als auch der schalltechnischen Modellierung (vgl. Abschnitt 3.3), womit deren Aussagekraft geringer einzuschätzen ist als die aus den gemessenen Außenpegeln berechneten Prognosewerte.

Daraus lässt sich ableiten:

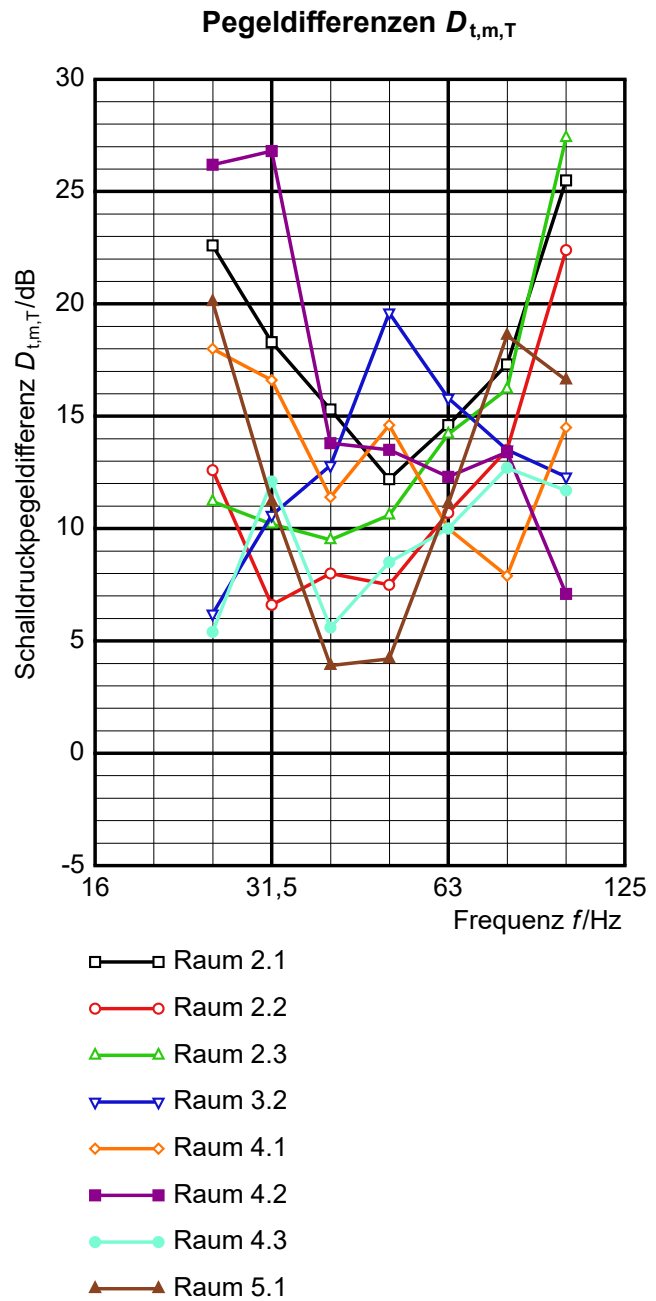
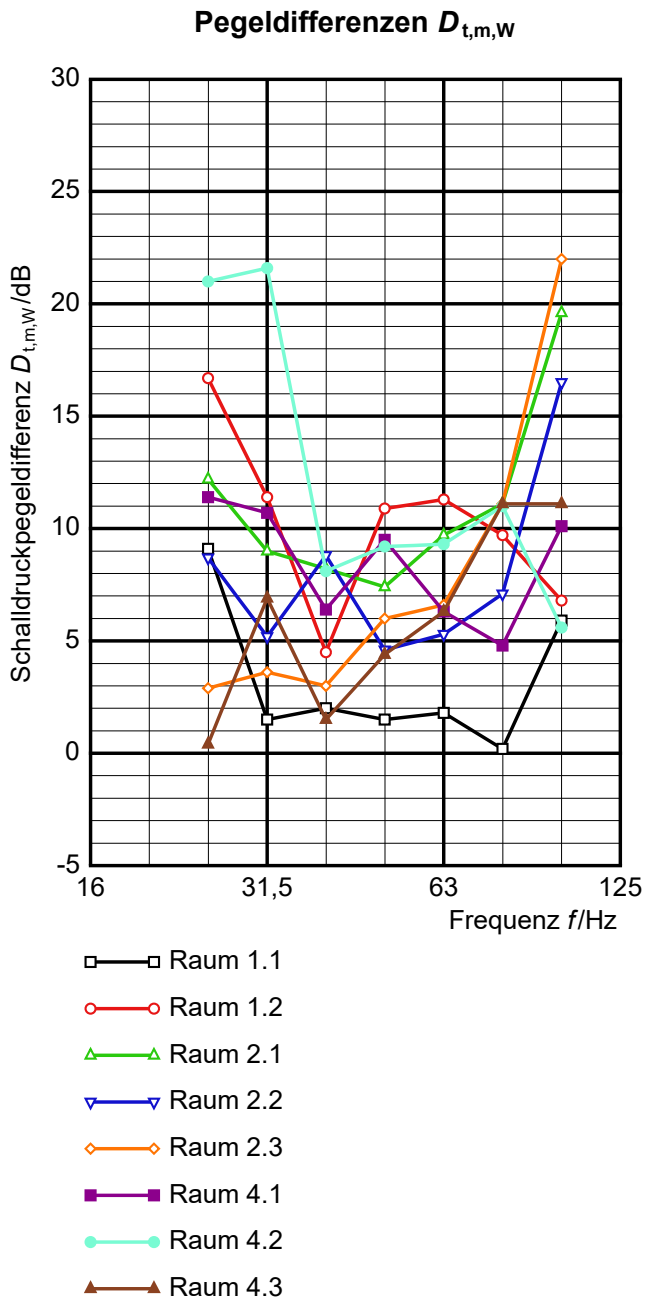


- Die nach dem sächsischen Verfahren unter Anwendung der unteren Vertrauensbereichsgrenze  $D_{t90,W}$  bzw.  $D_{t90,T}$  berechneten Innenpegel liegen im Vergleich zu den in den Raumecken gemessenen Pegeln  $L_{p,i,3D}$  mehrheitlich über den Messwerten, jedoch nicht in 90 % der untersuchten Räume, wie es im statistischen Mittel zu erwarten sein müsste.
- Im Vergleich zu den an potentiellen Aufenthaltsorten gemessenen Pegeln liegen die nach dem sächsischen Verfahren berechneten Innenpegel um 90 % oder mehr der untersuchten Fälle darüber.

Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die Zahl der Stichproben in der vorliegenden Untersuchung mit jeweils acht Räumen deutlich geringer ist als bei den Untersuchungen von SCHULZE et al. (2021) mit 35 Räumen zur Erarbeitung des sächsischen Prognoseverfahrens. Zudem umfasst etwa die Hälfte der untersuchten Räume Büroräume mit eher spärlicher Möblierung.

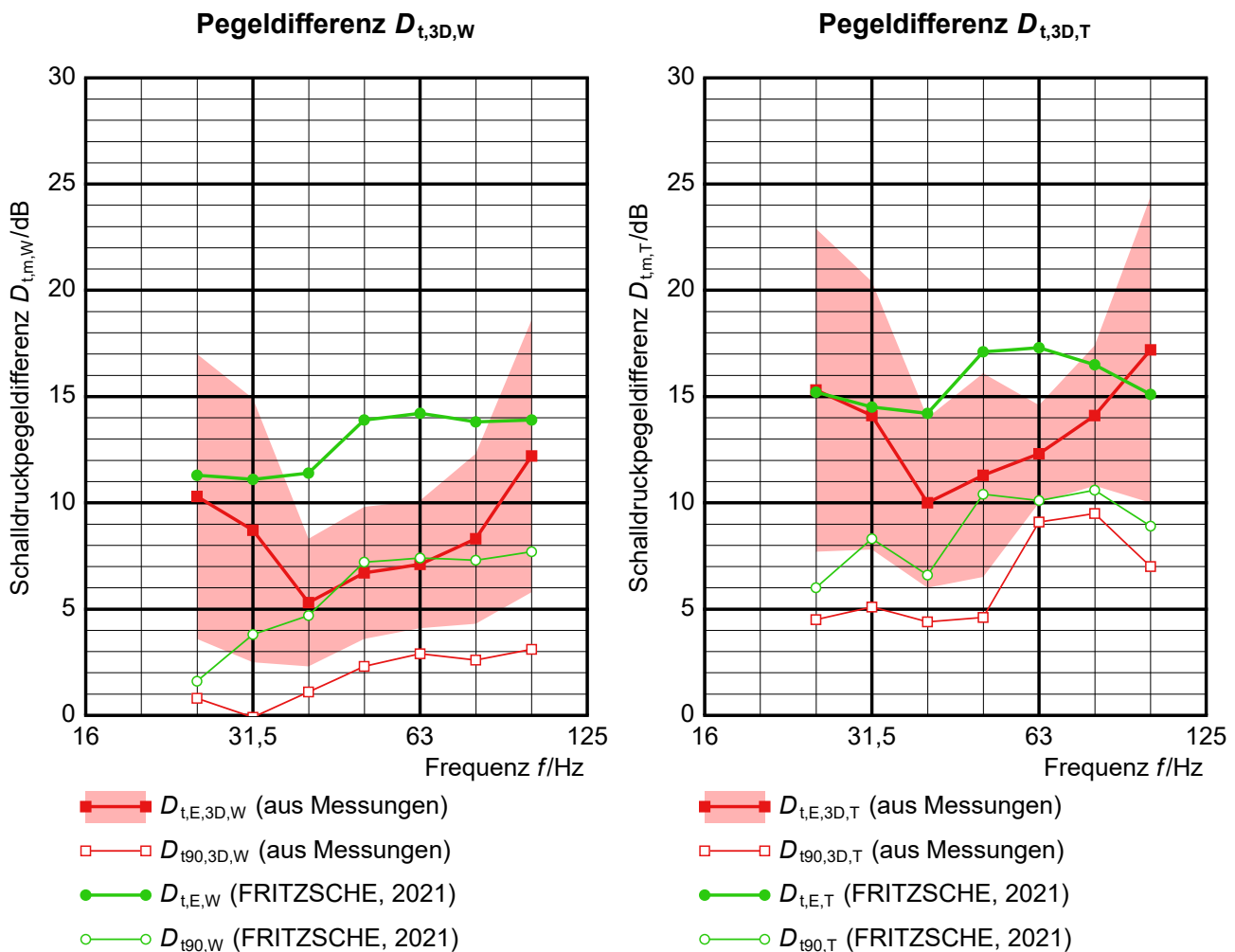
## 5.2 Berechnung der Pegeldifferenzen aus Messwerten

Aus den in den gemessenen Freifeldpegeln  $L_{p,a,m,W}$  bzw. 0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessenen Schalldruckpegeln  $L_{p,a,m,T}$  wurden für alle Situationen die Pegeldifferenzen bezüglich der Schalldruckpegel in den Raumecken  $L_{p,i,3D}$ , welche auch die Basis des sächsischen Prognoseverfahrens darstellen, berechnet. Diese sind in Abbildung 48 dargestellt.



**Abbildung 40: Aus den gemessenen Außen- und Innenpegeln berechnete Pegeldifferenzen für die untersuchten Räume.**

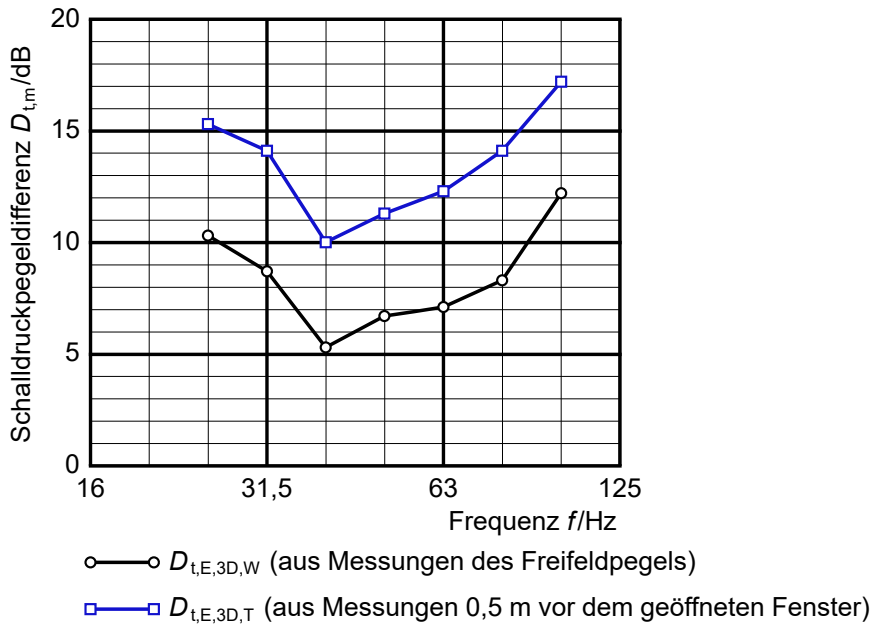
Über die jeweils acht Situationen sind nachfolgend in Abbildung 49 der arithmetische Mittelwert mit Standardabweichung zur Kennzeichnung der Streuung der Einzelwerte sowie die untere Vertrauensbereichsgrenze für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 90 % dargestellt. Damit ist ein Vergleich mit den beim sächsischen Prognoseverfahren anzuwendenden Pegeldifferenzen möglich.



**Abbildung 41: Mittelwerte der aus den gemessenen Außenpegeln  $L_{p,a,m,W}$  bzw.  $L_{p,a,m,T}$  und gemessenen Innenpegeln  $L_{p,i,3D}$  berechneten Pegeldifferenzen im Vergleich zu den nach dem sächsischen Verfahren anzuwendenden Pegeldifferenzen (arithmetische Mittelwerte: Index E, untere Vertrauensbereichsgrenze für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 90 %: Index 90). Hellrot eingetragen ist der Bereich plus/minus der Standardabweichung zur Kennzeichnung der Streuung der Einzelwerte.**

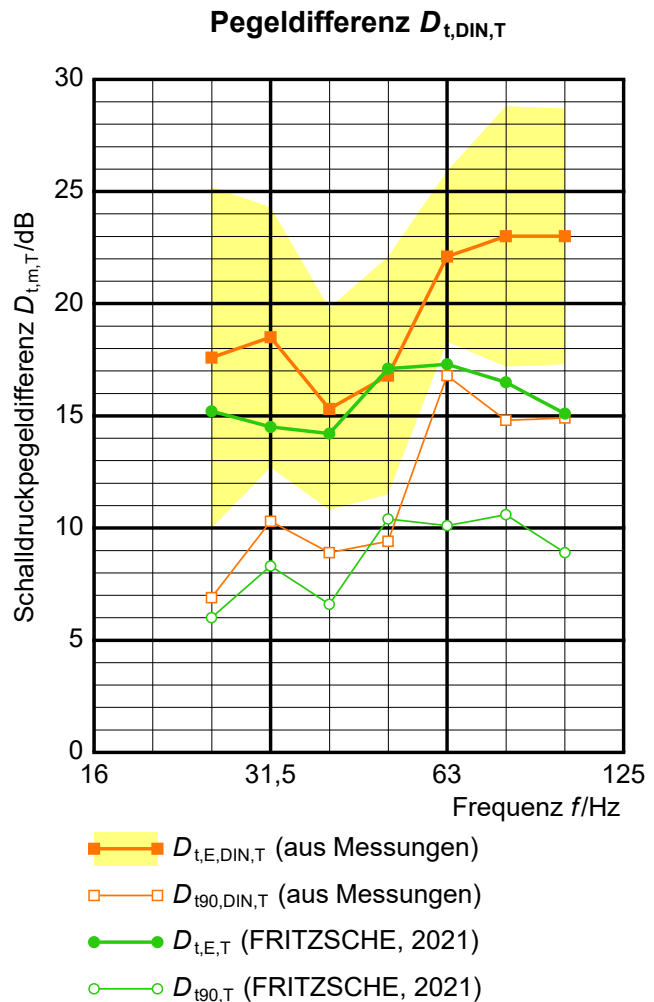
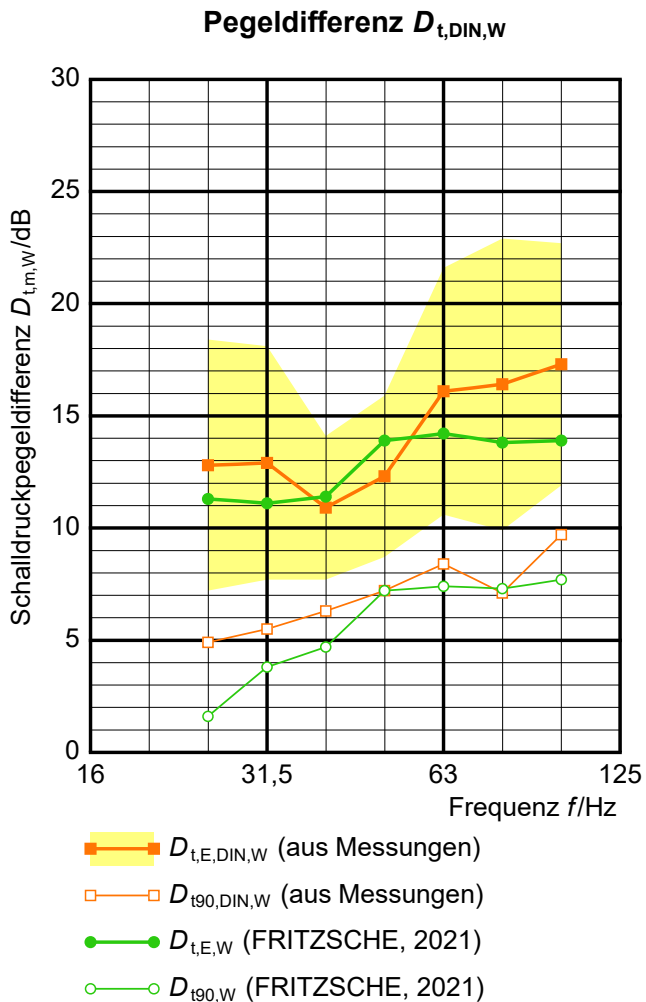
Es ist festzustellen, dass die Pegeldifferenzen der im Rahmen dieser Untersuchung vermessenen Räume im Mittel fast ausschließlich unter den im Untersuchungsbericht (SCHULZE et al., 2021) ermittelten arithmetischen Mittelwerten  $D_{t,E,W}$  bzw.  $D_{t,E,T}$  liegen. Desgleichen verhält es sich auch mit den unteren Vertrauensbereichsgrenzen für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 90 %  $D_{t90,W}$  bzw.  $D_{t90,T}$ .

Die Pegeldifferenzen  $D_{t,E,W}$ , welche aus den Freifeldpegeln außen vor dem Aufenthaltsraum  $L_{p,a,m,W}$  ermittelt wurden, liegen ca. 5 bis 6 dB über den Pegeldifferenzen  $D_{t,E,T}$ , welche aus den 0,5 m vor dem geöffneten Fenster gemessenen Schalldruckpegel  $L_{p,a,m,T}$  berechnet wurden (siehe Abbildung 50). Dies ist in der teilweisen Schallreflexion an der Fassade neben dem geöffneten Fenster bei der Messung der Pegel  $L_{p,a,m,T}$  begründet und deckt sich mit den Ergebnissen des Untersuchungsberichtes (SCHULZE et al., 2021).



**Abbildung 42: Mittelwerte der aus den gemessenen Außen- und Innenpegeln berechneten Pegeldifferenzen (Bezug auf  $L_{p,i,3D}$ ).**

Da die in den Raumecken gemessenen Innenpegel  $L_{p,i,3D}$  fast ausnahmslos über den an den tatsächlichen Aufenthaltsorten nach DIN 45680 gemessenen Pegeln  $L_{p,i,DIN}$  liegen, wurden auch die Pegeldifferenzen zwischen Außen- und Innenpegel mit Bezug auf  $L_{p,i,DIN}$  berechnet. Diese sind in Abbildung 51 wiedergegeben.

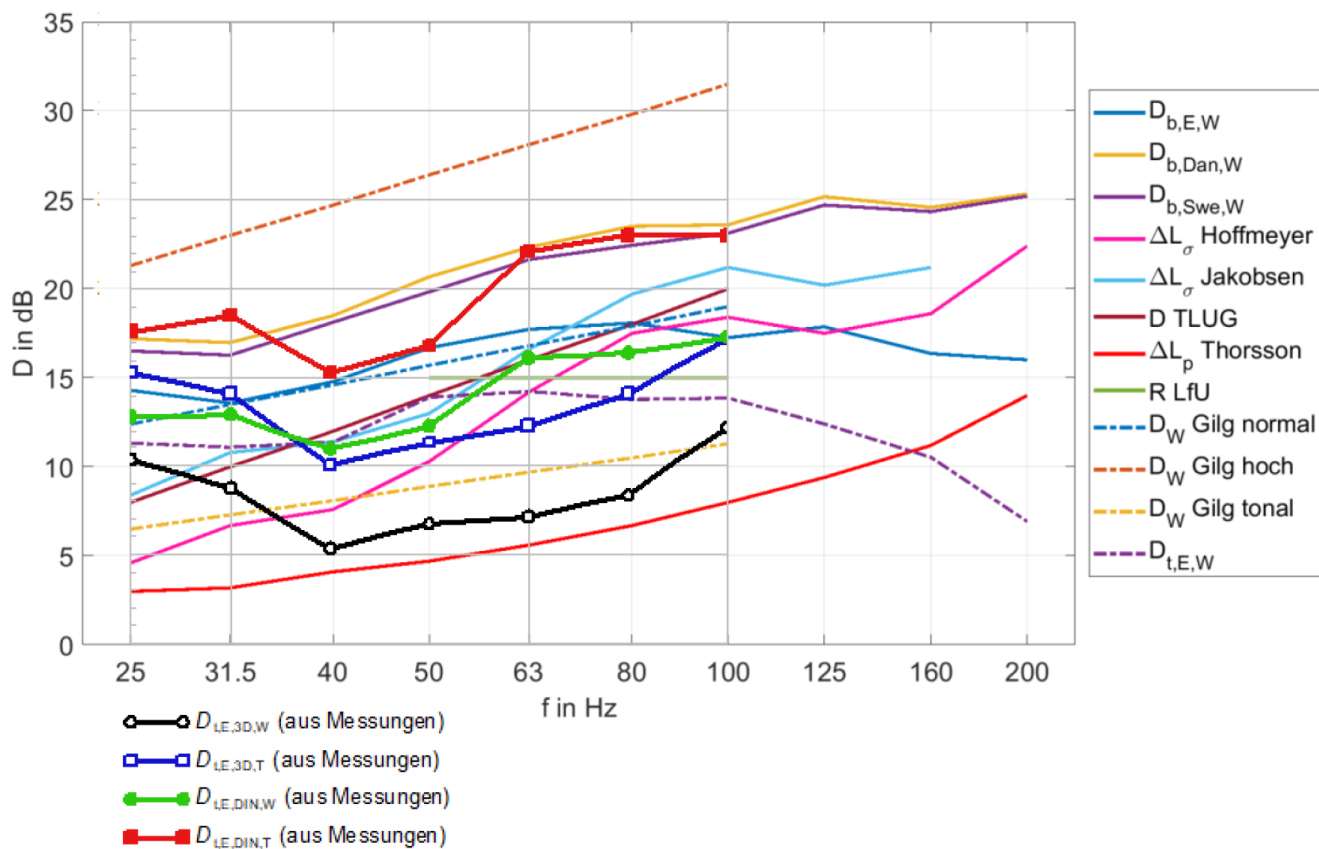


**Abbildung 43: Mittelwerte der aus den gemessenen Außenpegeln  $L_{p,a,m,W}$  bzw.  $L_{p,a,m,T}$  und gemessenen Innenpegeln  $L_{p,i,DIN}$  berechneten Pegeldifferenzen im Vergleich zu den für das sächsische Verfahren anzuwendenden Pegeldifferenzen (arithmetische Mittelwerte: Index E, untere Vertrauensbereichsgrenze für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 90 %: Index 90). Gelb eingetragen ist der Bereich plus/minus der Standardabweichung zur Kennzeichnung der Streuung der Einzelwerte.**

Es ist sichtbar, dass die an den jeweils neun Räumen ermittelten Differenzen zwischen Außenpegel und Innenpegel (gemessen am Aufenthaltsort nach DIN 45680) im Frequenzbereich bis 50 Hz nahe bei den Pegeldifferenzen des sächsischen Prognoseverfahrens liegen, in den Frequenzbändern 63 Hz bis 100 Hz jedoch deutlich darüber.

### 5.3 Vergleich der Ergebnisse mit Literaturwerten

Die aus den Messungen ermittelten und über jeweils alle Messungen gemittelten Pegeldifferenzen wurden in Abbildung 52 zum Vergleich grafisch über das Diagramm Abbildung 41 des Untersuchungsberichtes von SCHULZE et al. (2021) gelegt.



**Abbildung 44: Vergleich der aus der vorliegenden Untersuchung abgeleiteten Pegeldifferenzen (dicke schwarze, blaue, grüne und rote Kurve) mit Werten aus der Literatur (Abbildung aus SCHULZE et al. (2021)).**

Die vorliegend untersuchten Räume zeigen Schalldruckpegeldifferenzen zwischen Außen- und Innenpegel, welche im unteren Streubereich der verschiedenen Werte aus der Literatur liegen.

## 6 Bewertung

Es ist festzustellen, dass vorliegend alle Anlagengeräusche im Schmalbandspektrum deutlich hervortretende Linien im Frequenzbereich bis 100 Hz aufwiesen (häufig nahe oder genau bei 100 Hz), sodass das sächsische Prognoseverfahren nur bei Anwendung auf tonale Geräusche überprüft werden konnte. Nach den Erfahrungen der Autoren ist im Beschwerdefall, sofern eine (ggf. erhebliche) Belästigung nach DIN 45680 (Bpl.) vorliegt, meistens ein tonales Geräusch ursächlich für die Belästigung.

Mit der Prognose der Innenpegel nach dem sächsischen Verfahren sollten bei Anwendung der unteren Vertrauensbereichsgrenze der entsprechenden Schalldruckpegeldifferenz  $D_{t90,W}$  bzw.  $D_{t90,T}$  im statistischen Mittel in 90 % der untersuchten Fälle höhere Pegel ermittelt werden als tatsächlich vorliegend.

Die in den Raumecken gemessenen Pegel wurden durchschnittlich in weniger als 90 % der untersuchten Fälle überschätzt (61 %, 80 %, 67 %, siehe Tabelle 13).

Dem gegenüber und sicherlich schwerwiegender ist jedoch die Feststellung, dass die nach DIN 45680 an den Aufenthaltsorten in den Räumen vorliegenden Schalldruckpegel (siehe Abschnitt 3.4.2), bis auf wenige Ausnahmen unterhalb der prognostizierten Innenpegel liegen. Hier überschätzt das sächsische Verfahren die gemessenen Pegel in mindestens 90 % der untersuchten Fälle (96 %, 98 %, 90 %, siehe Tabelle 13). Insofern beinhaltet das sächsische Prognoseverfahren eine Sicherheit, welche praktisch nicht beansprucht wird.

Während man über die Notwendigkeit der Anwendung einer 90-prozentigen Sicherheit bei der Prognose der tieffrequenten Geräuschimmissionen streiten kann, zeigen die Ergebnisse, dass die tatsächlichen Immissionspegel, welche eine Betroffenheit darstellen können (gemessen nach DIN 45680), mit dem sächsischen Prognoseverfahren weitestgehend überschätzt werden.

Es sei jedoch nochmals auf die knappe Datenlage hingewiesen, die letztlich kein abschließendes Urteil erlaubt. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen sind mit einer größeren statistischen Unsicherheit behaftet als die Ergebnisse des Untersuchungsberichtes von SCHULZE et al. (2021), welcher dem sächsischen Prognoseverfahren zugrunde liegt. Während im Untersuchungsbericht von SCHULZE et al. (2021) Messungen an 35 Räumen ausgewertet wurden, konnten vorliegend an elf Räumen Messungen durchgeführt werden, und es standen jeweils acht Räume für die Auswertung der Freifeld- bzw. der vor dem geöffneten Fenster gemessenen Außenpegel zur Verfügung. Zudem umfasst etwa die Hälfte der untersuchten Räume nicht Wohn- oder Schlafräume, sondern Büroräume, und ein Teil der Räume ist eher spärlich möbliert bzw. umfasst tendenziell schallharte Oberflächen.

## 7 Fazit und Ausblick

Wie bereits im Einleitungstext zur Beschreibung des sächsischen Prognoseverfahrens vermerkt, führen die im Verfahren festgelegten konservativen Annahmen in der Summe tendenziell zur Überschätzung der Belästigung im betroffenen Raum. Dabei ist einerseits der Bezug der anzuwendenden Schalldruckpegeldifferenzen auf die in den Raumecken („3D-Ecken“) gemessenen Pegel, welche an der oberen Grenze der im Raum vorliegenden Schalldruckpegel liegen, zu nennen. Andererseits ist mit der Anwendung der unteren Vertrauensbereichsgrenze für die heranzuziehenden Schalldruckpegeldifferenzen für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 90 % ein sehr hohes Maß an Sicherheit für alle ungünstigen Umstände gegeben.

Zur Klärung der nicht abschließend beantworteten Frage – Unterschätzung der in den Raumecken vorliegenden Schalldruckpegel und Überschätzung der an den realen Aufenthaltsorten gemessenen Schalldruckpegel – sollten weitere Messungen durchgeführt werden. Hierbei muss untersucht werden, ob die Schalldruckpegel in den Raumecken („3D-Ecken“ nach PEDERSEN et al. (2007)) tatsächlich für eine sachgerechte Bewertung der Raumschalldruckpegel und damit letztendlich einer möglichen Belästigung durch tieffrequente Geräusche geeignet sind. Die Messorte (für Innenräume) nach den Normen DIN 45645-1 (Ausgabe Juli 1996, Kapitel 6.1) und DIN 45680 (Ausgabe März 1997, Kapitel 4.3 im Hinblick auf Kapitel 5.2.1) erscheinen den Autoren deutlich schlüssiger.

Da die Zahl der für eine statistisch sichere Aussage notwendigen Situationen mit jeweils acht untersuchten Räumen für Freifeldpegel und für TA-Lärm-Pegel in der vorliegenden Untersuchung recht gering ausfällt, sollten Untersuchungen an weiteren Räumen durchgeführt werden.

Bei der Planung der weiteren Untersuchungen sind die Erfahrungen, welche bei der Arbeit an der vorgelegten Untersuchung gesammelt wurden, einzubeziehen. Das beginnt bei der Auswahl geeigneter Anlagen mit schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen, welche für die notwendigen Messungen zur Verfügung gestellt werden. Beispielsweise kann im Falle von Beschwerdesituationen mit einer höheren Bereitschaft der Betroffenen gerechnet werden, Zugang zu ihren Räumen zu ermöglichen. Außerdem ist zur Minimierung der Fremdgeräusche auf die Nachtzeit zu orientieren. Da dieses Vorgehen zeitlich schwer planbar ist, muss für diese Studie ein längerer Zeitraum eingeplant werden. Gewahrt werden muss dabei, dass die untersuchten Räumlichkeiten repräsentativ für die Bauausführung sächsischer Wohngebäude sind.

Ergänzend ist anzumerken, dass vorliegend nur Situationen mit Anlagengeräuschen, welche als tonal im Sinne des sächsischen Prognoseverfahrens anzusehen sind, untersucht werden konnten, wobei die Frequenz der tonalen Komponente häufig nahe oder genau bei 100 Hz lag. Die Validierung des Prognoseverfahrens für breitbandige Anlagengeräusche steht noch aus.



Die Autoren dieser Untersuchung sind seit vielen Jahren auf dem Gebiet des Schallimmissionsschutzes in Sachsen tätig. Diesbezügliche Schallimmissionsprognosen enthielten auch vor Einführung des sächsischen Verfahrens Aussagen und Beurteilungen zu tieffrequenten Schallimmissionen (z. B. nach GILG (2001)). Nach unserer Kenntnis gab es dabei keine begründeten Beschwerdefälle, wenn die empfohlenen Schallschutzmaßnahmen fachgerecht umgesetzt wurden. Aus unserer Sicht ist damit eine Verschärfung der Genehmigungsanforderungen, welche mit der Anwendung des sächsischen Prognoseverfahrens zu erwarten ist, nicht zielführend im Sinne eines ausgewogenen Schallschutzniveaus (Aufwand und Nutzen).

Ehe nicht weitere gesicherte Messungen eine deutlich abweichende Tendenz zeigen, ist es sicher nicht unbegründet, das sächsische Verfahren mit den hierbei heranzuziehenden Schallpegeldifferenzen weiterhin anzuwenden. Es muss jedoch klar festgestellt werden, dass sich mit einer dann prognostizierten Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 45680 das Eintreten unzulässig hoher Schallimmissionen nicht mit Sicherheit vorhersagen lässt. Zur Bewertung der prognostischen Situation sind deshalb die geringe Eintrittswahrscheinlichkeit der prognostizierten Pegel, die berechnete Höhe der Überschreitung und weitere Faktoren, beispielsweise die Art der betroffenen Gebäude, mit einzubeziehen.

## **Danksagung**

Wir danken allen, die uns bei der Durchführung der Messungen und Erarbeitung des Ergebnisberichtes unterstützt haben. Hierzu gehören die Betreiber, die uns die Messungen in ihren Anlagen ermöglicht und dazu Personal zur Seite gestellt haben sowie die Eigentümer bzw. Mieter in der Nachbarschaft, die uns Zutritt zu ihren Räumen gewährt haben. Und nicht zuletzt danken wir Herrn Christoph Fritzsche vom LfULG für die anregenden Diskussionen und kritischen Hinweise bei der Bewertung der Ergebnisse.

Dr. Wolfgang Böhm im Namen von Müller-BBM

## Literaturverzeichnis

ASCARI et al. (2015): Low frequency noise impact from road traffic according to different noise prediction methods, In: Science of the Total Environment, Vol. 505 p. 658-669

BÖHM W., EBERSOLD M., HANSEN H., HINKELMANN D. (2023): Praxiserfahrungen bei der Ermittlung und Bewertung von tieffrequenten Geräuschmissionen in Wohngebäuden in der Prognosephase. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung Heft 18 (2023) Nr. 1, S. 8-15

CadnaA® (2023), Software zur Lärmberechnung – Version 2023 MR 2 (64 Bit), Datakustik GmbH

DIN 45680:1997-03, Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft. Dazu Beiblatt 1: Hinweise zur Beurteilung gewerblicher Anlagen

DIN EN 12758:2023:07, Glas im Bauwesen – Glas und Luftschalldämmung – Produktbeschreibungen, Bestimmung der Eigenschaften und Erweiterungsregeln

DIN EN ISO 9614-1:2009-11, Akustik – Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen – Teil 1: Messung an diskreten Punkten (ISO 9414-1:1993); Deutsche Fassung EN ISO 9614-1:2009

DIN EN ISO 9614-2:1996-12, Akustik – Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen – Teil 1: Messung mit kontinuierlicher Abtastung (ISO 9414-2:1996); Deutsche Fassung EN ISO 9614-2:1996

DIN EN ISO 9614-3:1999-11, Akustik – Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen – Teil 3: Scanning-Verfahren der Genauigkeitsklasse 1 (ISO 9414-3:2002); Deutsche Fassung EN ISO 9614-3:2009

DIN ISO 9613-2:1999-10, Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2:1996)

DIN 45635-1:1984-04, Geräuschmessung an Maschinen – Luftschallemission; Hüllflächenverfahren – Rahmenverfahren für drei Genauigkeitsklassen

DIN 45635-8:1985-06, Geräuschmessung an Maschinen – Luftschallemission, Körperschallmessung – Rahmenverfahren

DIN 45635-47:1985-06, Geräuschmessung an Maschinen – Luftschallemission – Hüllflächen-Verfahren – Schornsteine

DIN EN IEC 60942:2018-07, Elektroakustik – Schallkalibratoren

DIN EN 61672-1:2014-07, Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen

DIN EN ISO 3740:2019-08, Akustik – Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen – Leitlinie zur Anwendung der Grundnormen (ISO3740:2019); Deutsche Fassung EN ISO 3740:2019

DIN EN ISO 3746:2011-03, Akustik – Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 3 über einer reflektierenden Ebene

EULITZ, C. et al. (2020): Ermittlung und Bewertung tieffrequenter Geräusche in der Umgebung von Wohnbebauung, In: Reihe Texte Heft 134/2020

FRITZSCHE, C. (2021): Verfahren der Schallimmissionsprognose bei tieffrequenten Geräuschen. Schriftenreihe des LfULG, Heft 10/2021

GILG J. (2001): Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche gemäß TA Lärm in Genehmigungs-, Planfeststellungs- und Baugenehmigungsverfahren, Mustergutachten und Handlungsanleitung. Erstellt im Auftrag des Staatlichen Umweltamts Kiel. Müller-BBM GmbH, Bericht Nr. 44 932/6 vom 14.01.2001

HANSEN et al. (2015): Prediction of infrasound and low frequency noise propagation for modern wind turbines – a proposed supplement to ISO 9613-2, Conference: Wind Turbine Noise

HECKL, M., MÜLLER G. (1994): Taschenbuch der Technischen Akustik – Gebundene Ausgabe

HÜBNER et al. (2004): Bestimmung der Schallleistung von Maschinen - systematische Fehler, In: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsbericht, Fb 1015

ISO 9613-2:2024-01:2024-01, Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung – Teil 2: Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren) für die Vorhersage der Schalldruckpegel im Freien

ISO 8297:2023:10, Akustik – Bestimmung der Schallleistungspegel von Mehr-Quellen-Industrieanlagen für die Ermittlung von Schalldruckpegeln in der Umgebung – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (ISO 8297:1994 + Amd.1:2021)

ISO/TS 7849-1/2:2009-03, Acoustics – Determination of airborne sound power levels emitted by machinery using vibration measurement

– Part 1: Survey method using a fixed radiation factor

– Part 2: Engineering method including determination of the adequate radiation factor

JAKOBSEN, J. (2012): Danish Regulation of Low Frequency from Wind Turbines. In: Journal of Low Frequency Noise, Vibration und Active Control, Vol. 31.4, p. 239-246

KERÄNEN et al., The sound insulation of façades at frequencies 5 – 5000 Hz, Building and Environment, Vol. 156, June 2019, p. 12-20

MÜHLBACHER et al. (2016): Konzepte für die Prognose tieffrequenter Schalle, Tagungsband DAGA 2016, S. 1264-1266

Nord2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation, Report (Delta 2000)

PEDERSEN, S., MØLLER, H. & WAYE, K. P. (2007). Indoor Measurements of Noise at Low Frequencies – Problems and Solutions. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 26(4), 249-270. <https://doi.org/10.1260/026309207783571389>

SCHMIDT M., HANSEN H., BÖHLER C., SCHARFF M. (2016): Forschungsvorhaben Messung und Prognose der Einwirkung tieffrequenter Schalle an Immissionsorten für DIN 45680. Abschlussbericht Nr. M111460/05 im Auftrag des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., VDI Verein Deutscher Ingenieure, NALS im DIN und VDI. 31.03.2016

SCHULZE, C., ECKERT, L. & HÜBELT, J. (2021): Untersuchungen zur Schallimmissionsprognose bei tieffrequenten Geräuschen, Schriftenreihe des LfULG, Heft 9/2021

SoundPLAN® (2018), Software zur Lärmberechnung – Version 7.4, SoundPLAN GmbH 2018

TA Lärm. Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503), geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5)

## Anhang 1: Durchführung der Messungen

**Tabelle A 1: Messzeiten**

Anlage Nr.	Messzeit	Messingenieure
1	09.01.2024, 7:30 bis 7:45 Uhr	Dipl.-Ing. (FH) Denise Hennig, Dipl.-Ing. Volker Warnecke, Dr. Wolfgang Böhm
2	21.02.2024, 10:30 bis 11:30 Uhr	Dr. Wolfgang Böhm
3	13.03.2024, 9:00 bis 9:45 Uhr	Dipl.-Ing. Volker Warnecke, Dr. Wolfgang Böhm
4	19.03.2024, 11:15 bis 15:45 Uhr	Dipl.-Ing. Volker Warnecke, Dr. Wolfgang Böhm
5	02.05.2024, 17:45 bis 18:45 Uhr	Dipl.-Ing. (FH) Denise Hennig, Dipl.-Ing. Volker Warnecke

**Tabelle A 2: Messgeräte**

Bezeichnung	Hersteller	Typ	Seriennummer
Integrierender Präzisionsschallpegelmesser	Norsonic	NOR145	14529285
Kondensatormikrofon ½“ mit Windschirm	Norsonic	1227	402325
Akustischer Kalibrator	Norsonic	1256	125626448
Integrierender Präzisionsschallpegelmesser	Brüel & Kjær	2250	2473203
Kondensatormikrofon ½“ mit Windschirm	Brüel & Kjær	4189	3087406
Akustischer Kalibrator	Brüel & Kjær	4231	1882551
Integrierender Präzisionsschallpegelmesser	Brüel & Kjær	2270	2706832
Kondensatormikrofon ½“ mit Windschirm	Brüel & Kjær	4189	2469473
Akustischer Kalibrator	Brüel & Kjær	4231	2725273

Die Schallpegelanalysatoren erfüllen die Anforderungen der Klasse 1 nach DIN EN 61672-1. Die Kalibratoren erfüllen die Anforderung der Klasse 1 nach DIN EN IEC 60942.

Zum Zeitpunkt der Messungen war der Schallpegelanalysator Norsonic NOR145 mit der Serien-Nr. 14529285 amtlich geeicht.

Im Rahmen des bei Müller-BBM hauseigenen Qualitätssicherungssystems werden die Geräte in regelmäßigen Abständen überwacht und kontrolliert. Sie sind rückführbar kalibriert.

Die Messgerätekette wurde vor den Messungen kalibriert. Die Kalibrierung wurde nach Abschluss der Messungen überprüft. Abweichungen wurden nicht festgestellt.

Die in dem vorliegenden Bericht angegebenen Schalldruckpegel  $L_p$  beziehen sich auf einen Referenzschalldruck von  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa.

Die angegebenen Schallleistungspegel  $L_w$  beziehen sich auf eine Referenzschallleistung von  $p_0 = 10^{-12}$  W.

## Anhang 2: Terzpegelspektren der in und vor den Räumen gemessenen Schalldruckpegel

Tabelle A 3: Anlage 1 – Terzpegelspektren

Nr.	Bezeichnung	25	31,5	40	50	63	80	100	$L_{pA,i}$
unbewertete Schalldruckpegel $L_{p,j}$ [dB(Z)]									[dB(A)]
<b>Wohnzimmer</b>									
<b>innen</b>									
A1.001	vorn rechts oben	34,0	44,4	45,0	40,8	42,0	37,0	35,6	31,1
A1.002	vorn links oben	35,1	44,8	41,1	42,3	47,6	41,6	36,2	31,6
A1.003	hinten links oben	37,7	44,7	40,8	41,1	44,7	42,0	37,6	32,2
A1.005	vorn links unten	32,3	43,9	41,4	41,6	46,1	45,0	36,8	31,9
A1.006	hinten links unten	39,4	44,6	42,1	40,6	47,1	41,1	37,7	33,2
A1.007	hinten rechts unten	40,0	47,0	42,0	42,6	45,5	41,5	41,8	33,2
A1.008	DIN 45681 (1)	32,8	34,8	36,6	36,9	39,7	36,8	32,1	28,1
A1.009	DIN 45681 (2)	37,3	40,4	36,5	29,8	36,1	32,7	35,2	26,1
<b>außen</b>									
A1.010	vor Balkonbrüstung (1)	53,1	53,4	49,6	49,3	53,9	49,3	49,9	46,2
A1.011	vor Balkonbrüstung (2)	51,5	51,3	50,9	48,9	53,4	46,5	50,3	47,2
<b>Kinderzimmer</b>									
<b>Innen</b>									
A1.012	vorn rechts oben	29,7	39,1	45,5	38,0	32,1	33,7	31,8	28,0
A1.013	vorn links oben	31,0	38,7	47,2	44,0	40,5	38,0	34,2	30,1
A1.014	hinten links oben	32,6	39,6	46,2	37,6	34,7	36,0	34,0	30,4
A1.015	hinten rechts oben	32,4	40,4	47,0	33,8	35,8	29,8	31,0	27,8
A1.016	vorn rechts unten	27,7	41,0	44,8	40,0	35,2	31,5	31,0	28,4
A1.017	hinten links unten	34,0	41,2	47,2	36,8	34,7	38,0	39,5	28,6
A1.018	hinten rechts unten	32,9	39,8	47,7	35,6	34,3	33,7	35,6	28,9
A1.019	DIN 45680 (1)	24,3	39,7	38,7	34,8	28,0	24,5	24,4	25,7
A1.020	DIN 45680 (2)	30,0	35,1	40,1	28,0	24,3	25,2	27,3	24,3
<b>außen</b>									
A1.021	vor Fassade (1)	55,5	56,5	53,6	55,7	54,0	51,3	48,3	46,0
A1.022	vor Fassade (2)	53,4	58,2	59,0	56,3	52,6	50,5	47,0	44,0

**Tabelle A 4: Anlage 2 – Terzpegelspektren**

Nr.	Bezeichnung	25	31,5	40	50	63	80	100	$L_{pA,i}$
<b>unbewertete Schalldruckpegel <math>L_{p,i}</math> [dB(Z)]</b>									<b>[dB(A)]</b>
<b>Schlafzimmer Süd</b>									
<b>innen</b>									
A2.001	Fensterseite unten rechts	31,4	32,1	34,9	28,7	28,2	27,0	33,6	21,5
A2.002	Türseite unten links	27,2	26,9	29,9	30,7	27,9	26,8	35,5	23,1
A2.003	Türseite unten rechts	30,9	32,1	30,1	32,9	28,8	28,5	32,8	22,6
A2.004	Fensterseite oben rechts	36,2	32,6	30,3	29,9	25,7	26,3	20,0	24,5
A2.005	Fensterseite oben links	34,5	34,1	31,2	32,3	29,0	25,3	33,5	30,2
A2.006	Türseite oben links	32,7	33,8	34,6	33,4	27,6	25,5	40,6	28,1
A2.007	Türseite oben rechts	32,1	34,2	33,6	32,6	25,9	26,0	23,1	21,5
A2.008	DIN-Messpunkt Bett	27,7	26,0	24,7	27,2	16,4	12,9	30,5	18,9
A2.009	DIN-Messpunkt Tisch	22,3	22,6	26,3	22,9	12,8	11,2	10,3	19,5
<b>außen</b>									
A2.010	TA-Lärm-Messpunkt	55,5	51,0	47,9	43,9	42,3	43,9	60,4	50,5
A2.011	außen vor Dachfläche	51,1	47,8	46,8	45,2	43,5	43,7	60,5	53,1
<b>Schlafzimmer Mitte</b>									
<b>Innen</b>									
A2.012	Fensterseite unten rechts	27,2	31,5	33,3	26,7	26,6	28,0	39,7	26,0
A2.013	Türseite unten links	35,7	36,9	30,9	38,7	31,8	27,4	35,0	23,3
A2.014	Türseite unten rechts	27,9	29,9	30,5	31,2	27,0	29,8	37,8	29,0
A2.015	Fensterseite oben rechts	33,1	31,4	30,3	30,9	33,1	31,6	34,5	26,6
A2.016	Fensterseite oben links	31,9	30,7	31,1	33,6	28,2	28,0	33,8	27,7
A2.017	Türseite oben links	36,7	36,9	35,2	31,2	32,2	27,9	35,0	24,9
A2.018	Türseite oben rechts	33,7	34,7	31,2	32,5	27,0	29,3	33,0	21,5
A2.019	DIN-Messpunkt Bett	31,6	27,2	26,0	24,5	17,0	17,6	31,3	20,9
A2.020	DIN-Messpunkt Tisch	24,2	25,9	25,5	21,5	15,1	13,6	26,6	18,8
<b>außen</b>									
A2.021	TA-Lärm-Messpunkt	46,0	40,7	40,1	41,0	40,9	42,6	58,6	52,6
A2.022	außen vor Dachfläche	48,2	45,3	46,9	44,1	41,5	42,2	58,7	55,4
<b>Schlafzimmer Nord</b>									
<b>Innen</b>									
A2.023	Fensterseite unten rechts	29,3	30,2	32,0	27,3	26,6	23,8	35,9	29,5
A2.024	Türseite unten links	25,4	30,3	30,4	25,0	23,7	25,5	27,4	27,3
A2.025	Türseite unten rechts	32,3	33,6	31,9	35,4	33,3	28,4	34,2	23,4
A2.026	Fensterseite oben rechts	30,7	29,4	30,1	25,5	24,4	28,3	34,5	30,0
A2.027	Türseite oben links	39,3	38,3	34,9	33,6	31,9	27,7	29,1	25,2
A2.028	Türseite oben rechts	33,2	33,6	31,1	30,5	28,8	28,8	34,7	31,2
A2.029	DIN-Messpunkt Bett	27,6	26,7	27,6	27,9	26,8	30,5	32,0	20,6
A2.030	DIN-Messpunkt Tisch	27,5	29,5	28,3	21,1	16,6	13,9	17,7	18,5
<b>außen</b>									
A2.031	TA-Lärm-Messpunkt	45,1	44,0	41,5	41,9	43,8	43,6	61,0	50,3
A2.032	außen vor Dachfläche	42,8	43,4	41,1	43,3	42,2	44,5	61,6	54,4



**Tabelle A 5: Anlage 3 – Terzpegelspektren**

<b>Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>25</b>	<b>31,5</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b><math>L_{pA,i}</math></b>
<b>unbewertete Schalldruckpegel <math>L_{p,i}</math> [dB(Z)]</b>									<b>[dB(A)]</b>
<b>Schlafzimmer</b>									
<b>innen</b>									
A3.001	SW-Ecke, oben	45,2	38,9	37,7	30,5	31,8	31,5	24,7	23,7
A3.002	SW-Ecke, unten	43,0	38,2	37,7	29,6	28,7	35,8	24,9	24,6
A3.003	SO-Ecke, oben	43,5	38,4	31,1	27,6	30,5	31,5	23,6	27,0
A3.004	NO-Ecke, oben	42,9	38,6	35,6	34,0	31,6	36,5	29,0	38,0
A3.005	NO-Ecke, oben	41,8	37,2	33,8	31,9	30,0	36,8	20,9	24,3
A3.006	NW-Ecke, oben	44,7	37,7	37,1	29,6	26,6	33,3	22,4	24,1
A3.007	SO-Ecke, unten	44,8	39,2	33,4	29,7	30,9	31,9	25,8	22,6
A3.008	DIN-Messpunkt, näher zur Anlage	43,8	37,3	29,9	26,0	21,9	23,6	17,8	19,4
A3.009	DIN-Messpunkt, ferner von Anlage	41,5	35,4	27,6	21,8	18,5	22,9	13,9	18,9
<b>außen</b>									
A3.010	TA-Lärm-Messpunkt	50,0	50,7	49,1	50,9	46,1	48,0	38,2	42,4
A3.011	TA-Lärm-Messpunkt	52,0	49,0	48,8	50,5	47,3	50,8	37,5	40,9
A3.012	TA-Lärm-Messpunkt	54,0	50,0	48,6	54,6	49,7	49,1	42,4	42,0
A3.013	TA-Lärm-Messpunkt	58,7	52,3	53,9	52,7	50,4	50,2	44,6	43,3

**Tabelle A 6: Anlage 4 – Terzpegelspektren**

Nr.	Bezeichnung	25	31,5	40	50	63	80	100	$L_{pA,i}$ [dB(A)]
<b>unbewertete Schalldruckpegel <math>L_{p,i}</math> [dB(Z)]</b>									
<b>Büro Nord</b>									
<b>innen</b>									
A4.020	SO-Ecke, oben	46,9	49,9	50,8	41,8	50,4	44,9	49,6	37,2
A4.021	SO-Ecke, unten	45,5	51,3	48,1	44,2	50,5	52,4	52,1	38,2
A4.022	NO-Ecke, oben	49,9	45,8	43,8	42,0	48,1	57,1	47,0	39,1
A4.023	NO-Ecke, unten	50,8	47,6	48,8	45,4	51,8	45,5	49,5	36,8
A4.024	NW-Ecke, oben	47,7	47,5	46,3	43,9	48,5	44,2	47,0	36,7
A4.025	SW-Ecke, oben	43,2	44,9	49,0	48,1	48,4	41,4	43,7	36,0
A4.026	DIN-Messpunkt N	43,2	41,6	42,3	37,4	34,9	32,2	36,8	30,3
A4.027	DIN-Messpunkt S	37,0	37,3	34,1	31,6	35,1	36,0	42,8	29,7
<b>außen</b>									
A4.028	TA-Lärm-Messpunkt N	67,7	66,1	59,9	60,1	60,1	60,0	62,6	64,0
A4.029	außen vor Fassade N	66,4	65,9	61,6	60,8	62,5	62,1	64,2	66,5
A4.030	TA-Lärm-Messpunkt O	63,3	63,5	59,4	58,5	59,6	58,1	64,1	57,9
A4.031	außen vor Fassade O	64,3	64,2	59,6	59,6	61,8	62,0	65,6	59,5
<b>Büro West</b>									
<b>innen</b>									
A4.032	NW-Ecke, oben	45,4	43,6	53,4	53,6	54,4	49,3	59,3	46,3
A4.033	NW-Ecke, unten	44,5	43,8	51,8	53,9	54,5	49,7	59,7	45,3
A4.034	SW-Ecke, oben	46,5	42,0	50,2	53,1	53,2	57,5	74,6	56,1
A4.035	SW-Ecke, unten	43,6	42,2	51,7	57,6	55,4	54,1	68,6	50,5
A4.037	NO-Ecke, oben	48,8	42,8	53,5	57,0	55,6	51,3	66,4	49,8
A4.038	DIN-Messpunkt SW	44,3	37,3	45,9	48,7	39,4	46,0	61,8	45,1
A4.039	DIN-Messpunkt NO	48,6	42,5	48,2	49,7	44,4	38,7	45,6	39,6
A4.040	TA-Lärm-Messpunkt S	69,8	68,6	65,3	67,8	66,3	65,6	72,8	71,8
A4.041	außen vor Fassade S	71,0	68,9	64,2	68,0	67,5	67,3	73,1	72,6
A4.042	TA-Lärm-Messpunkt W	73,9	70,6	66,8	69,8	67,5	67,9	78,3	72,1
A4.043	außen vor Fassade W	74,5	71,8	67,8	72,3	71,5	72,4	83,5	72,7
<b>Pausenraum</b>									
<b>innen</b>									
A4.071	NO-Ecke, oben	56,5	46,6	53,0	50,7	47,2	43,3	44,4	37,5
A4.072	NO-Ecke, unten	59,2	50,6	53,1	51,4	51,8	46,6	47,5	38,8
A4.073	NW-Ecke, oben	57,4	46,8	47,7	45,7	45,7	40,8	42,3	36,1
A4.074	NW-Ecke, unten	58,5	48,5	56,4	47,6	43,8	42,5	45,8	41,0
A4.075	SW-Ecke, oben	58,2	44,4	47,8	47,1	45,2	42,9	42,2	38,1
A4.076	SW-Ecke, unten	57,7	45,6	49,9	49,8	40,9	40,8	44,5	37,4
A4.077	SO-Ecke, oben	56,9	43,6	49,3	47,8	45,8	43,5	44,7	39,7
A4.078	SO-Ecke, unten	56,5	43,6	47,6	50,2	45,8	44,2	47,8	38,7
A4.079	DIN-Messpunkt NO	54,9	43,5	45,9	43,6	41,3	38,7	39,1	33,0
A4.080	DIN-Messpunkt W	51,7	37,4	40,1	37,0	34,0	35,2	39,9	30,1
<b>außen</b>									
A4.081	TA-Lärm-Messpunkt N	63,1	59,0	57,4	57,7	56,9	56,2	57,1	59,5
A4.082	außen vor Fassade N	64,1	59,7	59,3	59,6	59,2	60,5	62,4	60,9

**Tabelle A 7: Anlage 5 - Terzpegelspektren**

Nr.	Bezeichnung	25	31,5	40	50	63	80	100	$L_{pA,i}$
<b>unbewertete Schalldruckpegel <math>L_{p,i}</math> [dB(Z)]</b>									<b>[dB(A)]</b>
<b>Büro 1.1</b>									
<b>innen</b>									
A5.023	Raum 1.1, Ecke 1, oben	40,4	38,2	46,5	47,0	45,3	37,3	32,4	27,8
A5.024	Raum 1.1, Ecke 1, unten	36,3	38,0	45,4	49,1	49,3	36,4	32,6	29,4
A5.025	Raum 1.1, Ecke 2, oben	37,0	38,7	41,5	49,4	45,8	41,3	32,9	29,2
A5.026	Raum 1.1, Ecke 2, unten	34,4	39,5	46,0	44,6	38,7	39,2	30,8	27,9
A5.027	Raum 1.1, Ecke 3, oben	39,6	41,8	47,3	50,7	43,9	40,6	32,8	29,9
A5.028	Raum 1.1, Ecke 3, unten	40,2	43,3	50,1	45,6	42,8	40,7	35,2	30,1
A5.029	Raum 1.1, Ecke 4, oben	39,3	42,9	50,2	41,7	51,7	40,0	36,0	32,5
A5.030	Raum 1.1, DIN-Messpunkt Schreibtisch	38,9	34,6	43,8	44,4	34,9	26,3	15,9	22,4
A5.031	Raum 1.1, DIN-Messpunkt Mitte	31,6	34,5	41,3	33,1	34,9	29,3	24,7	21,7
<b>außen</b>									
A5.032	Raum 1.1, TA-Lärm-Mess- punkt Süd	55,2	53,6	53,1	52,6	60,4	59,5	51,8	49,7
A5.034	Raum 1.1, TA-Lärm-Mess- punkt West	60,6	49,8	48,5	51,1	53,4	56,7	47,5	45,6
<b>Büro 1.2</b>									
<b>innen</b>									
A5.036	Raum 1.2, Ecke 7, unten	45,5	47,4	45,0	39,5	41,4	40,1	34,9	29,2
A5.038	Raum 1.2, Ecke 8, unten	42,2	42,5	44,5	44,6	41,5	40,7	35,7	30,3
A5.040	Raum 1.2, Ecke 9, unten	42,8	46,4	39,9	40,6	48,6	37,1	34,9	29,4
A5.041	Raum 1.2, DIN-Messpunkt Schreibtisch	35,0	32,6	37,4	34,9	36,8	28,6	25,5	21,5
A5.042	Raum 1.2, DIN-Messpunkt Mitte	32,9	41,5	36,3	33,9	29,8	27,4	25,0	21,5
<b>außen</b>									
A5.043	Raum 1.2, TA-Lärm-Mess- punkt Süd	58,4	53,9	52,1	50,7	58,7	54,5	48,3	46,8
A5.044	Raum 1.2, außen vor Fas- sade Süd	58,1	54,2	53,2	52,1	61,2	64,6	54,4	50,5

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: + 49 351 2612-0; Telefax: + 49 351 2612-1099

E-Mail: Poststelle.LfULG@smekul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

**Autoren:**

Wolfgang Böhm, Heiko Hansen, Denise Hennig, Niklas Löcherer,

Volker Warnecke

Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Helmut-A.-Müller-Straße 1-5, 82152 Planegg/München

Telefon: +49 (89) 85602-0; Telefax: +49 (89) 85602-111

E-Mail: info@mbbm-ind.com

**Redaktion:**

Christoph Fritzsche

Abteilung 5 / Referat 52 Immissionsschutz, Lärm

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: + 49 351 2612-5209; Telefax: + 49 351 2612-5099

E-Mail: christoph.fritzsche@smekul.sachsen.de

**Bildnachweis:**

Titelbild: SAMKAR @ Adobe Stock #62339742 lizenziert durch Müller-BBM Industry Solutions GmbH

weitere Fotos: Müller-BBM Industry Solutions GmbH

**Redaktionsschluss:**

04.11.2024

**ISSN:**

1867-2868

**Bestellservice:**

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei heruntergeladen werden aus der Publikationsdatenbank des Freistaates Sachsen (<https://publikationen.sachsen.de>)

**Hinweis:**

Diese Publikation wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom LfULG (Geschäftsbereich des SMUL) kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

*Täglich für  
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de