



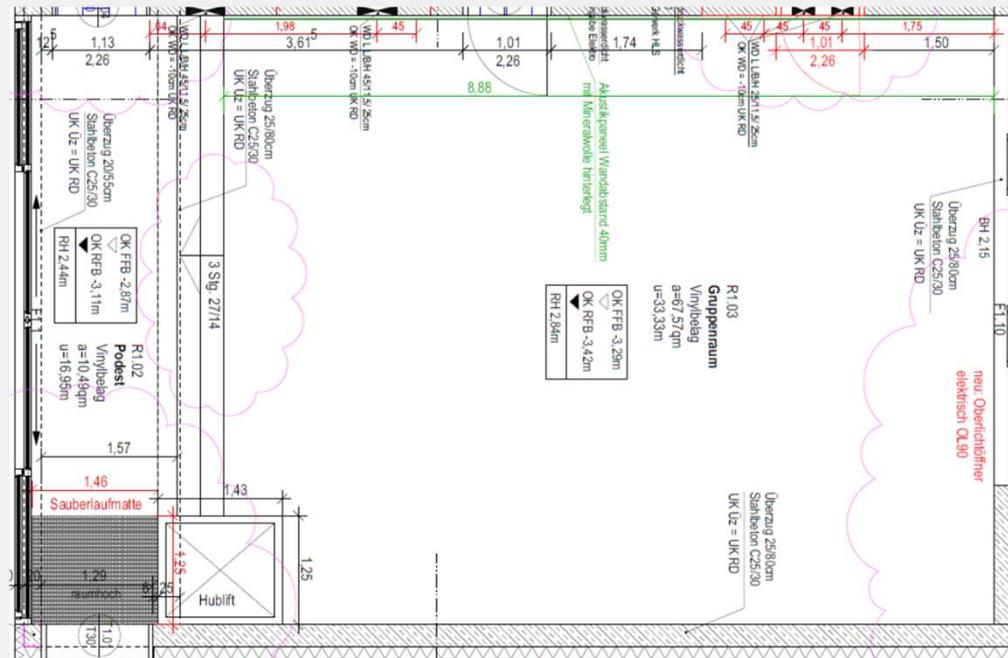
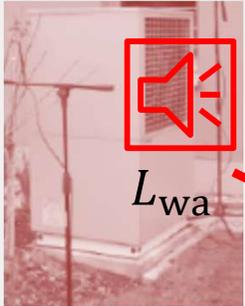
# Untersuchungen zur Schallimmissionsprognose bei tieffrequenten Geräuschen

Jörn Hübelt, Christian Schulze, Lukas Eckert



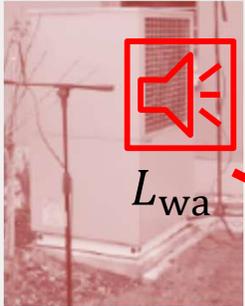
# 1. Motivation und Zielstellung

Schallleistung LWWP und BHKW DIN 45635-1, ISO 3744 oder Kamin nach DIN 45635-47

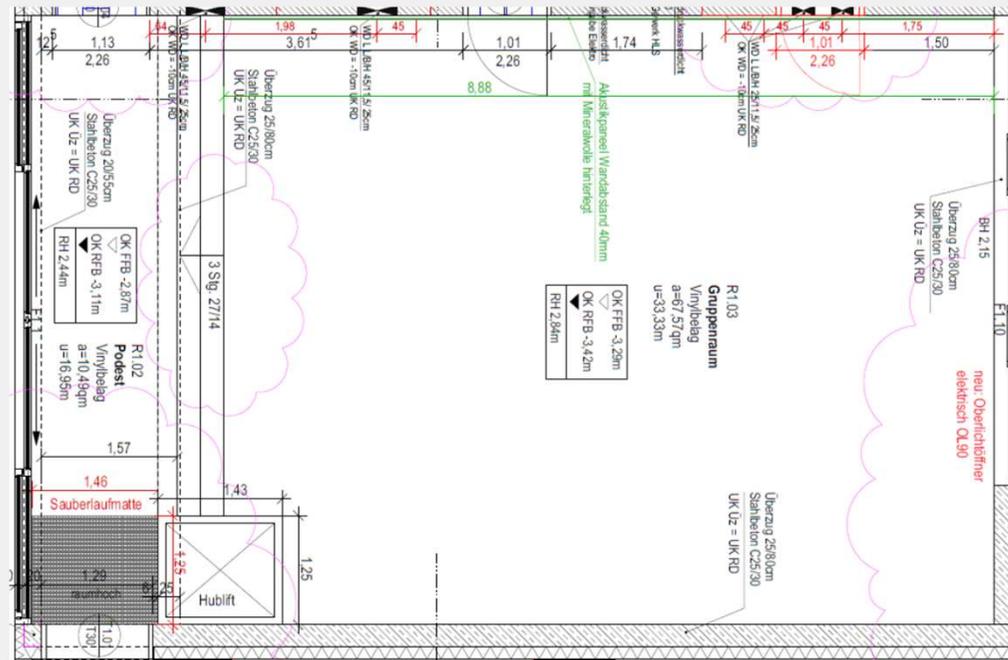


# 1. Motivation und Zielstellung

Schallleistung LWWP und BHKW DIN 45635-1, ISO 3744 oder Kamin nach DIN 45635-47

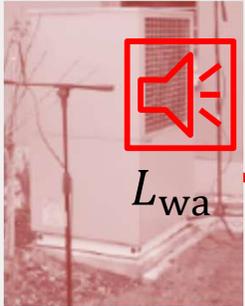


Schallausbreitung nach DIN EN 9613-2



# 1. Motivation und Zielstellung

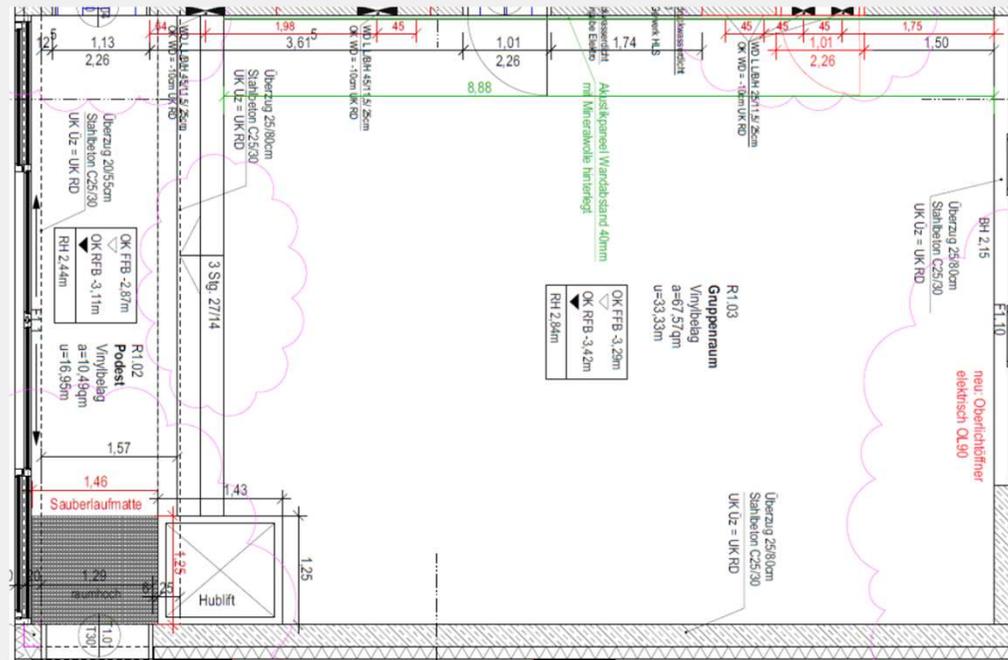
Schallleistung LWWP und BHKW DIN 45635-1, ISO 3744 oder Kamin nach DIN 45635-47



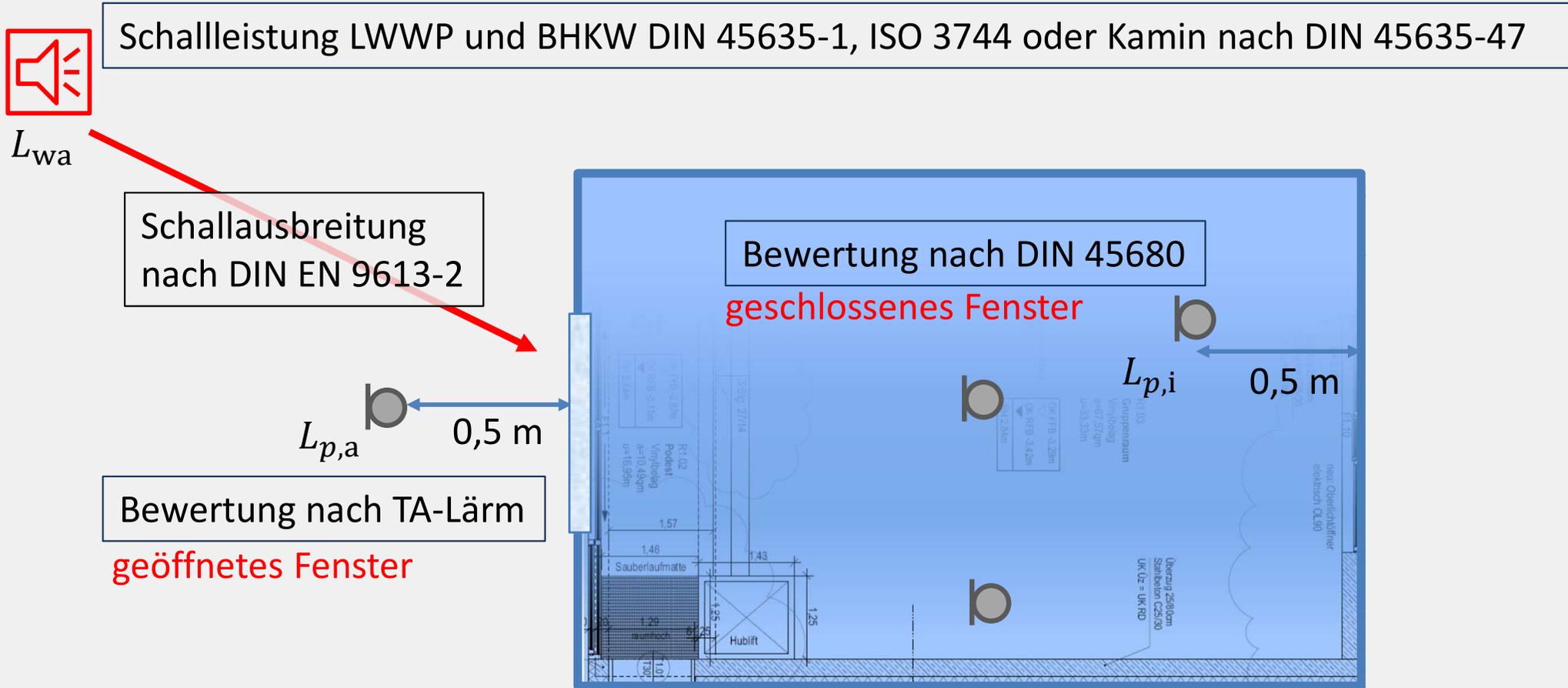
Schallausbreitung nach DIN EN 9613-2



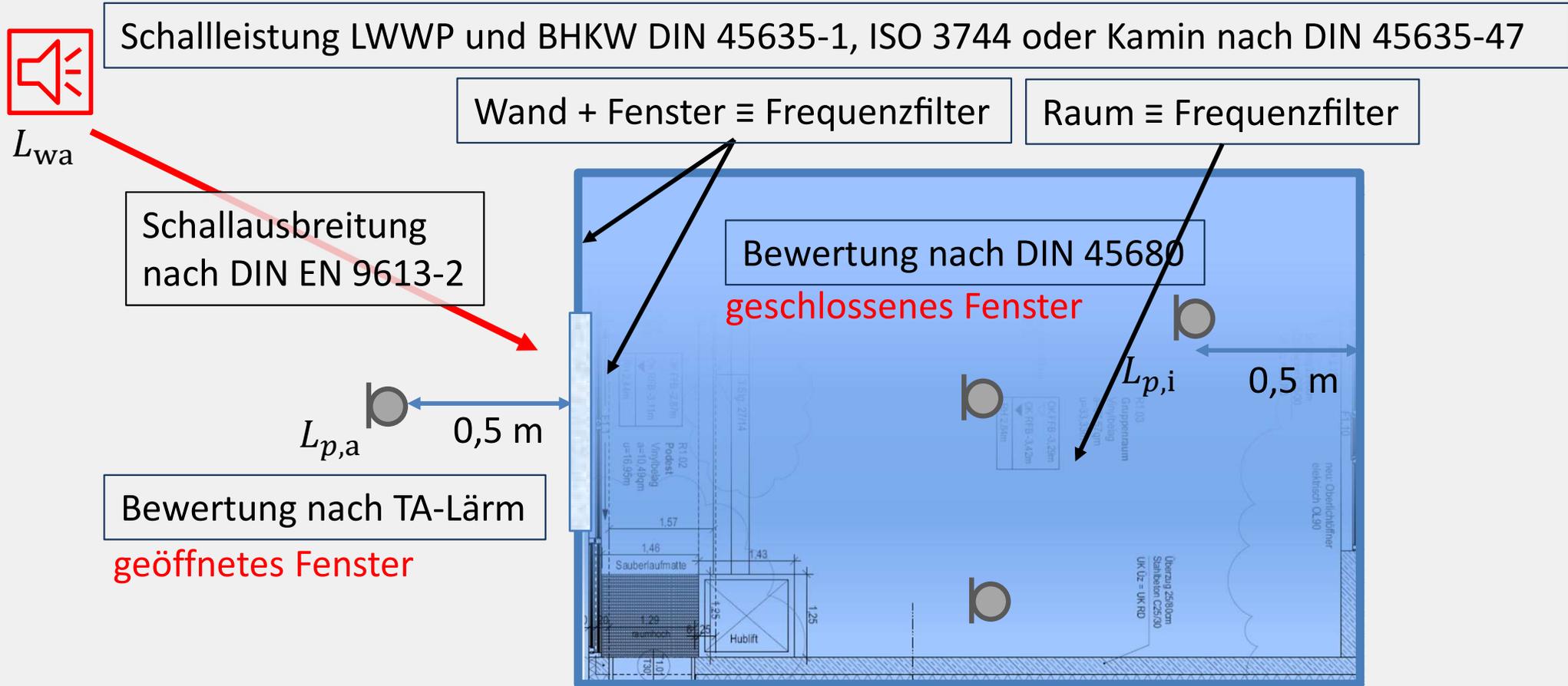
Bewertung nach TA-Lärm  
geöffnetes Fenster



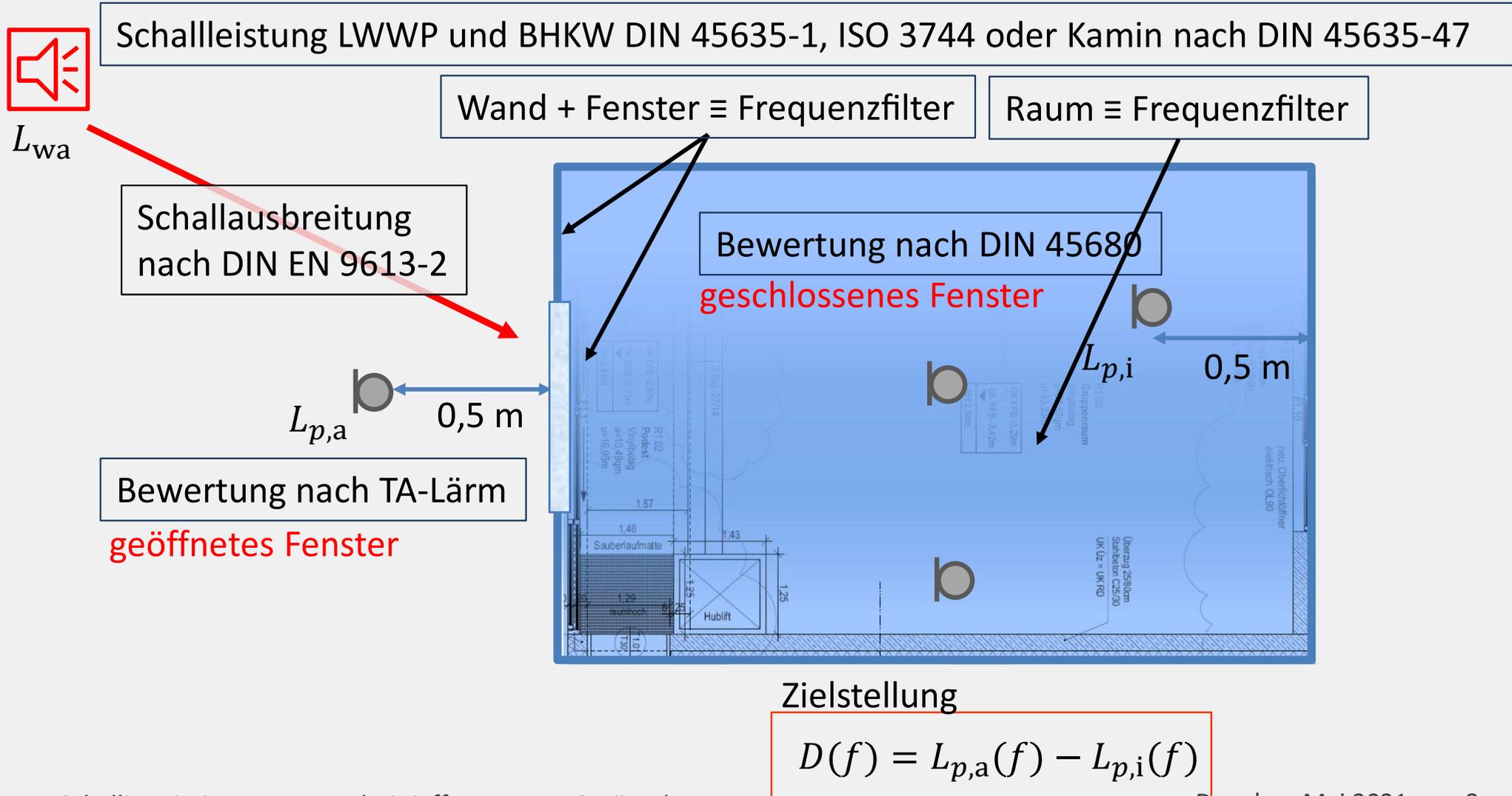
# 1. Motivation und Zielstellung



# 1. Motivation und Zielstellung



# 1. Motivation und Zielstellung



# Agenda

1. Zielstellung
2. Vorbetrachtungen
3. Auswertung
4. Zusammenfassung
5. Ausblick

## 2. Vorbetrachtungen

### 2.1 Umfang der Messungen

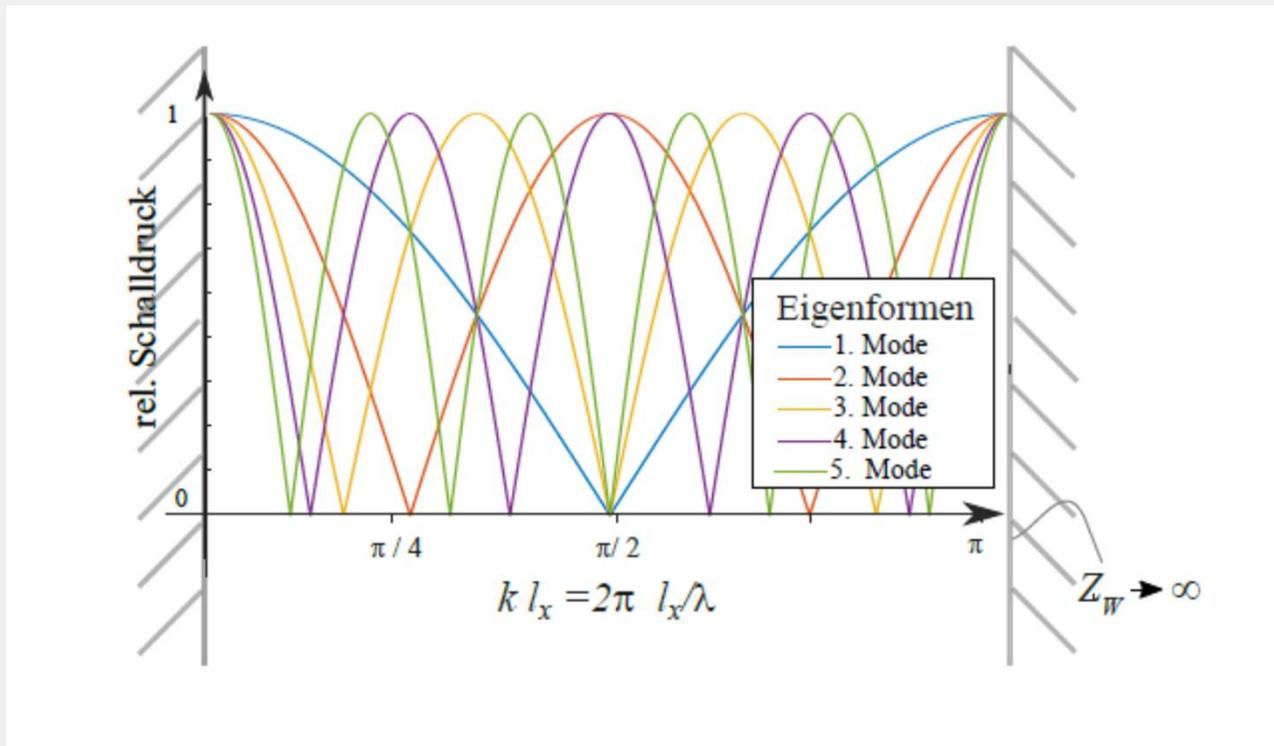
Übersicht der bautechnischen und akustischen Parameter der ausgewählten 35 Räume

	Minimum	Durchschnitt	Median	Maximum
Grundfläche in m <sup>2</sup>	10,3	26,6	22,3	61,2
Raumvolumen in m <sup>3</sup>	32,7	78,8	59,9	213,8
Raumhöhe in m	2,2	3,0	2,7	5,8
Wanddicke in m	0,3	0,5	0,6	0,7
rel. Fensterfläche in %	10,0	37,0	29,3	90,0
abs. Fensterfläche in m <sup>2</sup>	1,1	6,1	4,4	27,3
$f_{0,1}$ in Hz	11,8	22,6	23,1	29,0

## 2. Vorbetrachtungen

### 2.2 Einfluss der Messposition im Raum

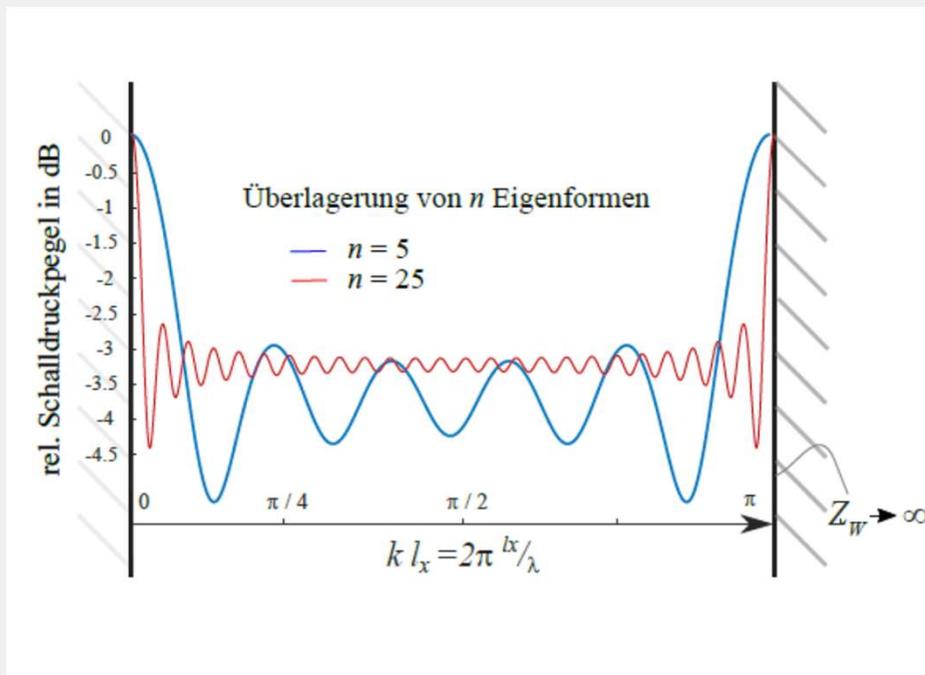
Eigenmoden des Rechteckraumes (hier nur 2D)



## 2. Vorbetrachtungen

### 2.2 Einfluss der Messposition im Raum

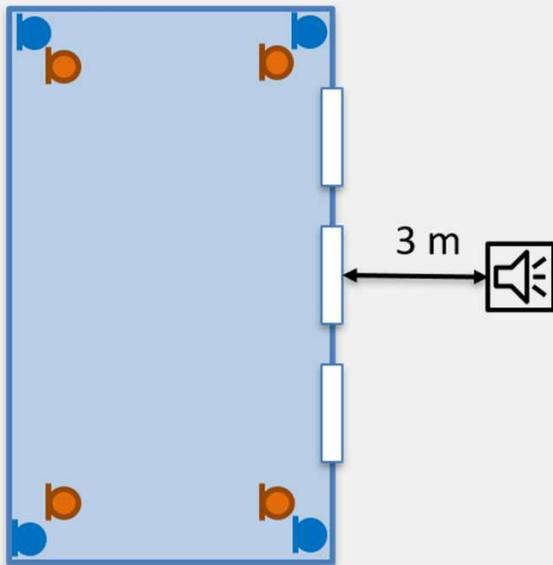
Überlagerung der Eigenformen eines Raumes - hier: energetische Addition der Schalldruckeffektivwerte



An der Stelle  $k \cdot l_x \geq \pi/4$  ist die Bedingung hinsichtlich einer ausreichenden Modendichte für das diffuses Schallfeld unter der Berücksichtigung von 5 Moden in etwa erfüllt (Betrachtung hier nur eindimensional, bei der Messung wird räumlich gemittelt). Der Abstand  $l_0$  von der Wand muss daher derart gewählt werden, dass  $l_0 \geq \lambda/8$  gilt. Für eine Frequenz von  $f = 100\text{Hz}$  wäre somit eine Messung im Abstand von  $l_0 = 3,4/8\text{m} \approx 0,4\text{m}$  möglich.

## 2. Vorbetrachtungen

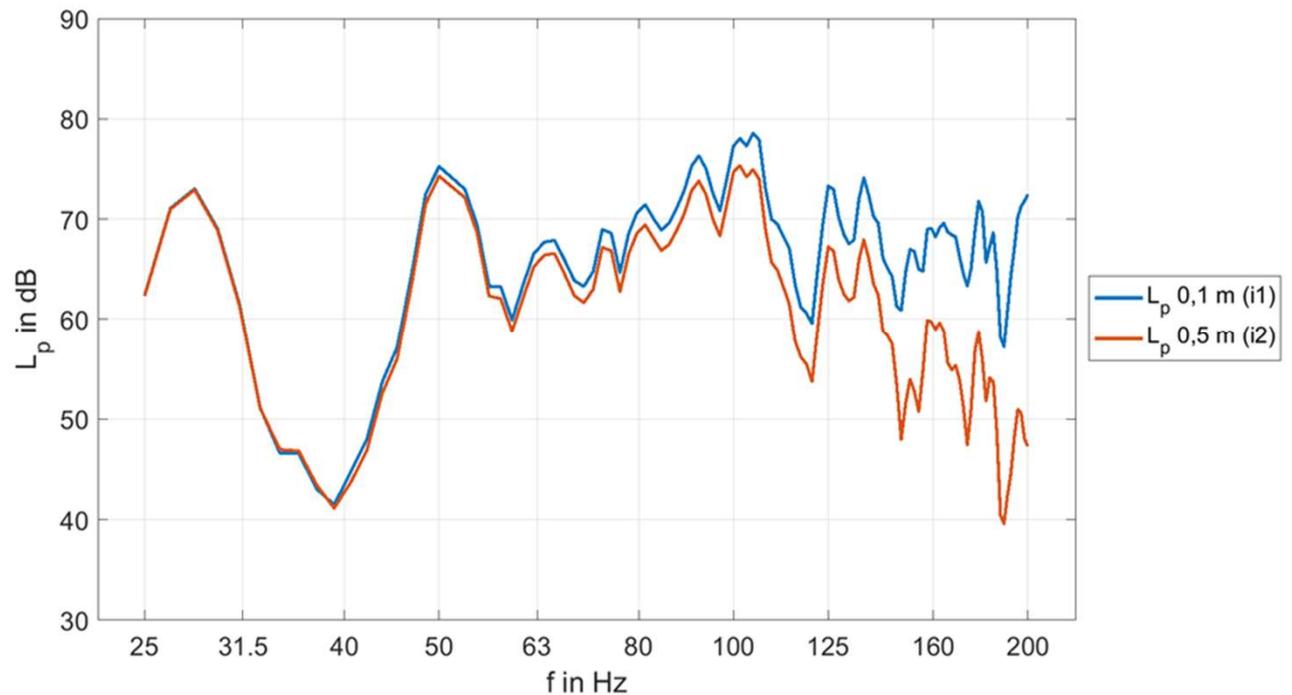
### 2.2 Einfluss der Messposition im Raum



Messmikrofone in den Raumecken im Abstand von

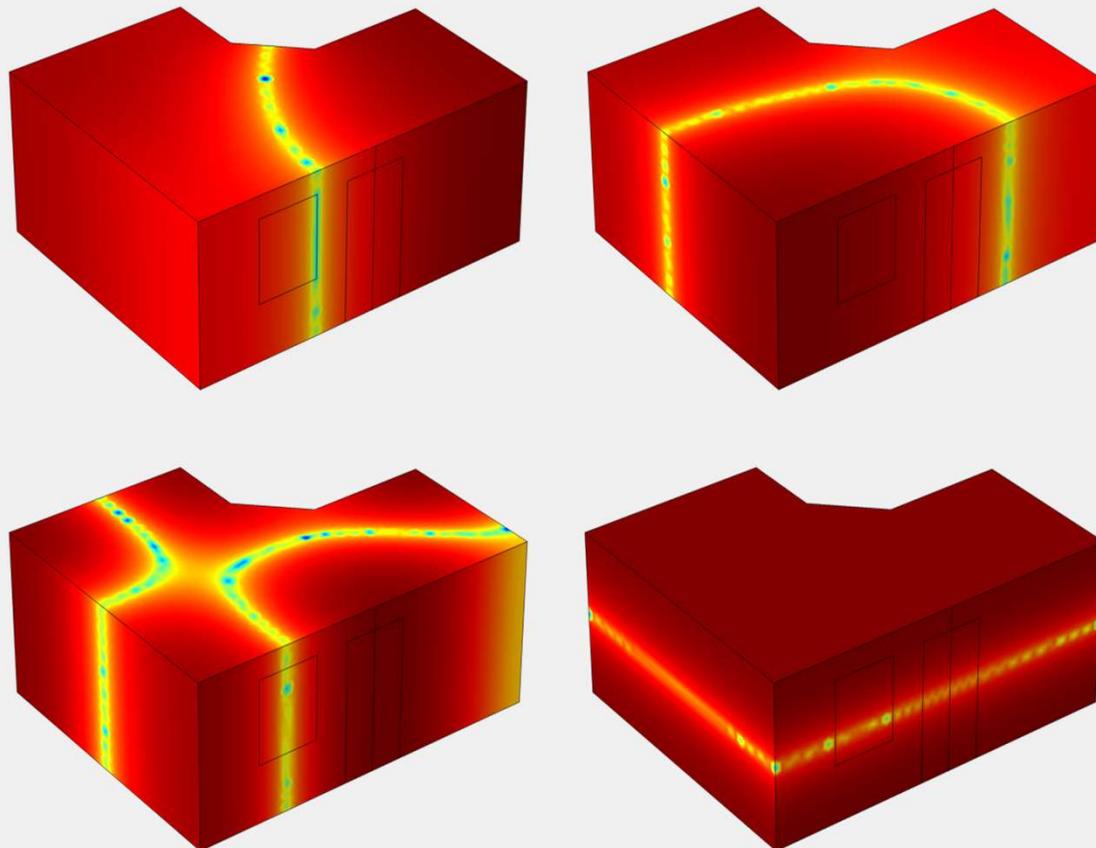
- 0,1 m (blau) und
- 0,5 m (orange)

zu den Raumbegrenzungen



## 2. Vorbetrachtungen

### 2.2 Einfluss der Messposition im Raum

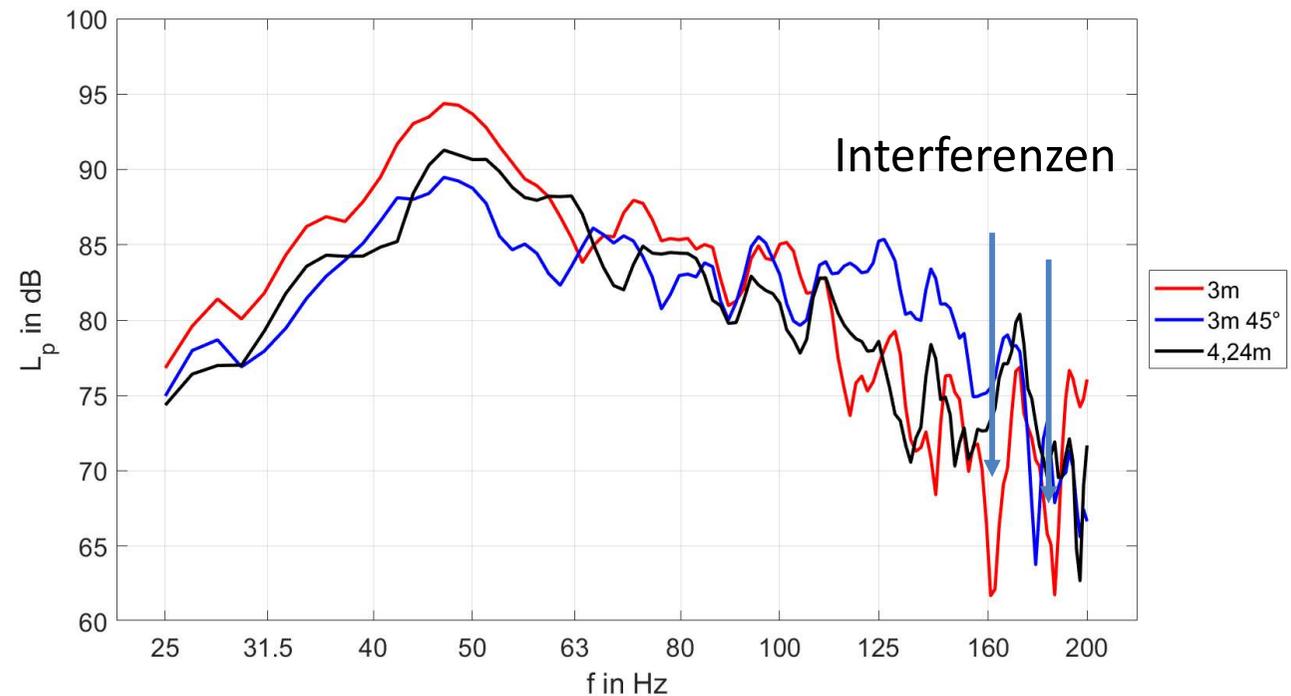
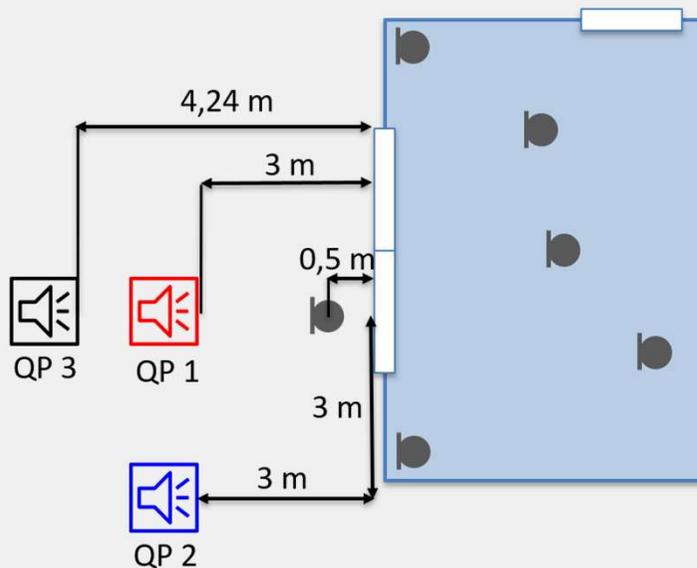


Numerische Simulation: Oben links: erste Eigenmode bei 27,6 Hz; Oben rechts: zweite Eigenmode bei 41,1 Hz; Unten links: Eigenmode bei 67,8 Hz mit lokalem Minimum in Raumecke; Unten rechts: erste Eigenmode in vertikaler Raumrichtung bei 69,8 Hz

## 2. Vorbetrachtungen

### 2.3 Einfluss der Messpositionen außen

FFT-Spektrum des gemessenen Schalldruckpegels außen im Abstand von 0,5 m vor geöffnetem Fenster für drei verschiedene Quellpositionen



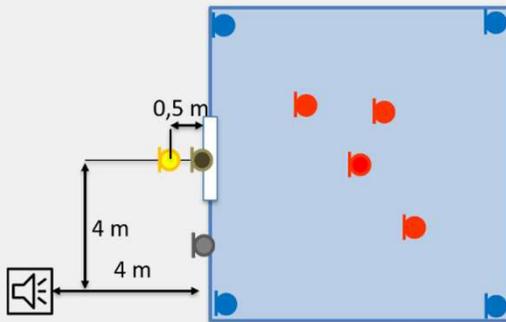
### 3. Auswertung

#### 3.1 Einfluss der Messpositionen

Differenz der mittleren gemessenen Schalldruckpegel, außen auf der Wand und TA-Lärmpegel

$$L_{p,a,W} - L_{p,a,T}$$

**Theorie:** Vergleich Wand („schallhart“) - Freifeld („schallangepasst“) = + 6 dB



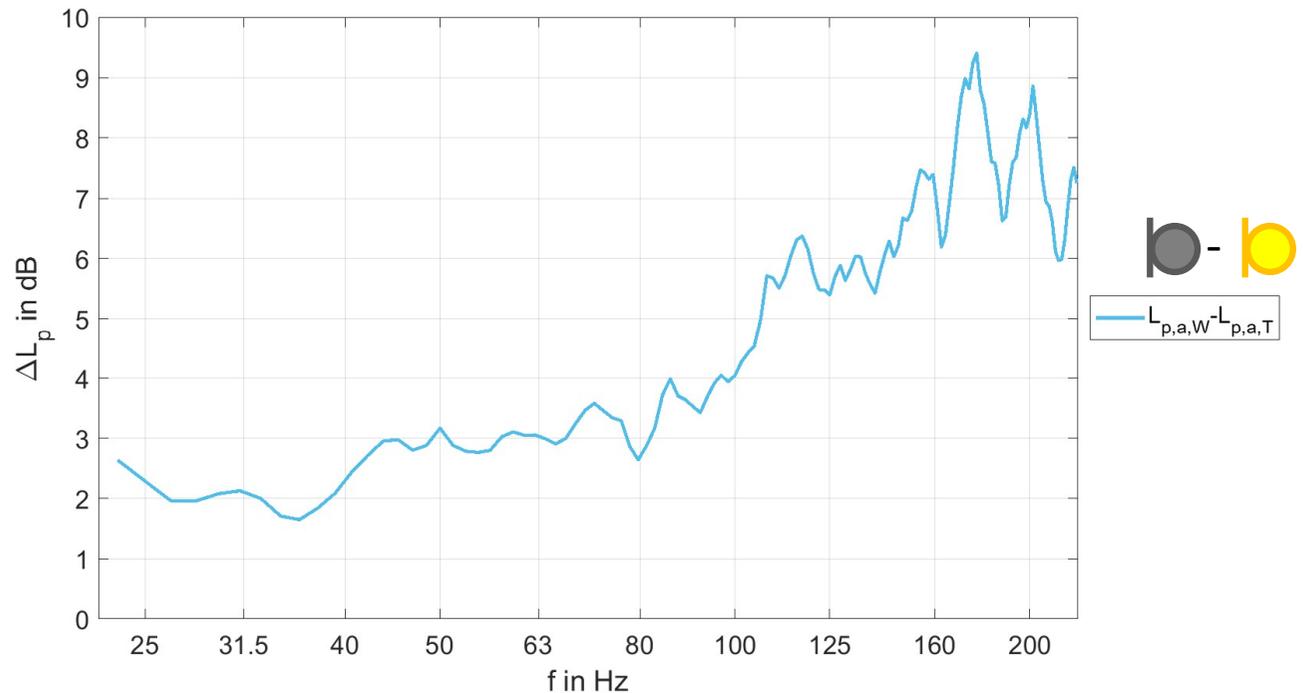
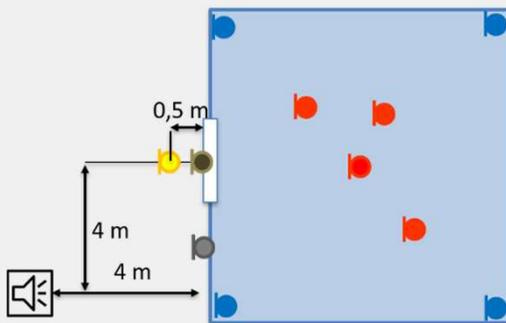
### 3. Auswertung

#### 3.1 Einfluss der Messpositionen

Differenz der mittleren gemessenen Schalldruckpegel, außen auf der Wand und TA-Lärmpegel

$$L_{p,a,W} - L_{p,a,T}$$

**Theorie:** Vergleich Wand („schallhart“) - Freifeld („schallangepasst“) = + 6 dB



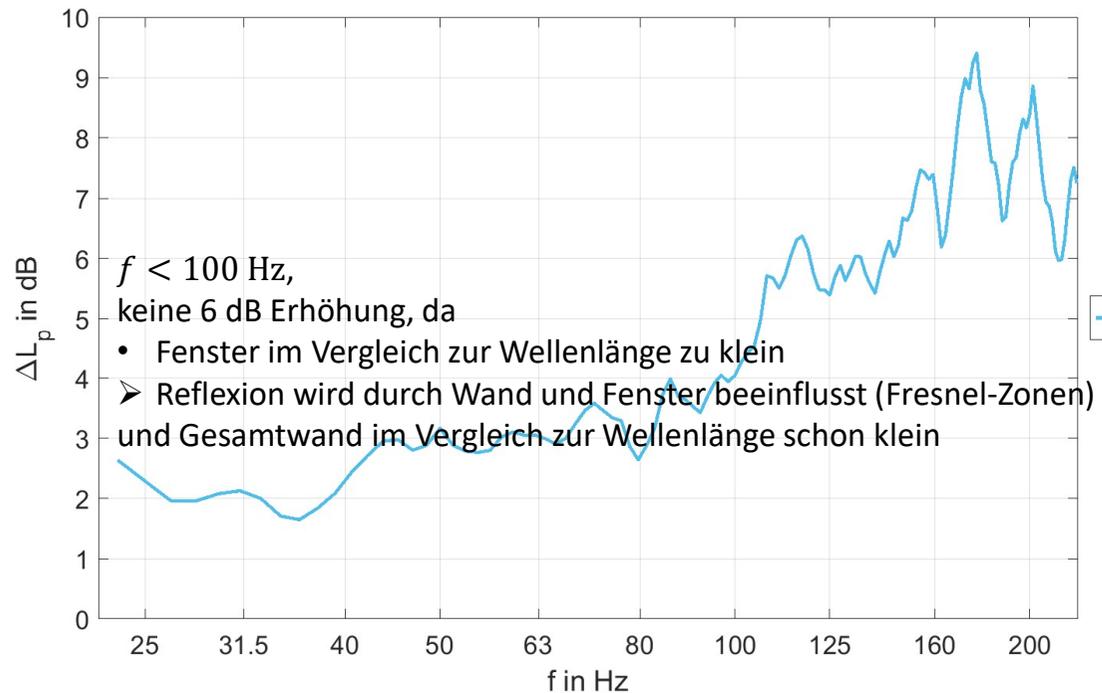
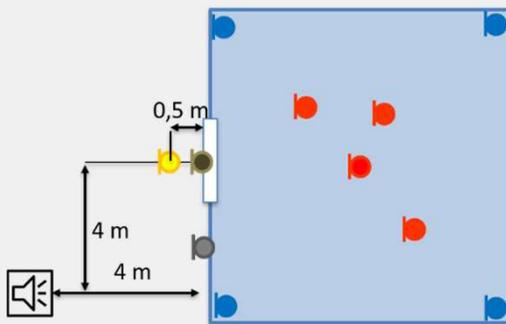
### 3. Auswertung

#### 3.1 Einfluss der Messpositionen

Differenz der **mittleren** gemessenen Schalldruckpegel, außen auf der Wand und TA-Lärmpegel

$$L_{p,a,W} - L_{p,a,T}$$

**Theorie:** Vergleich Wand („schallhart“) - Freifeld („schallangepasst“) = + 6 dB



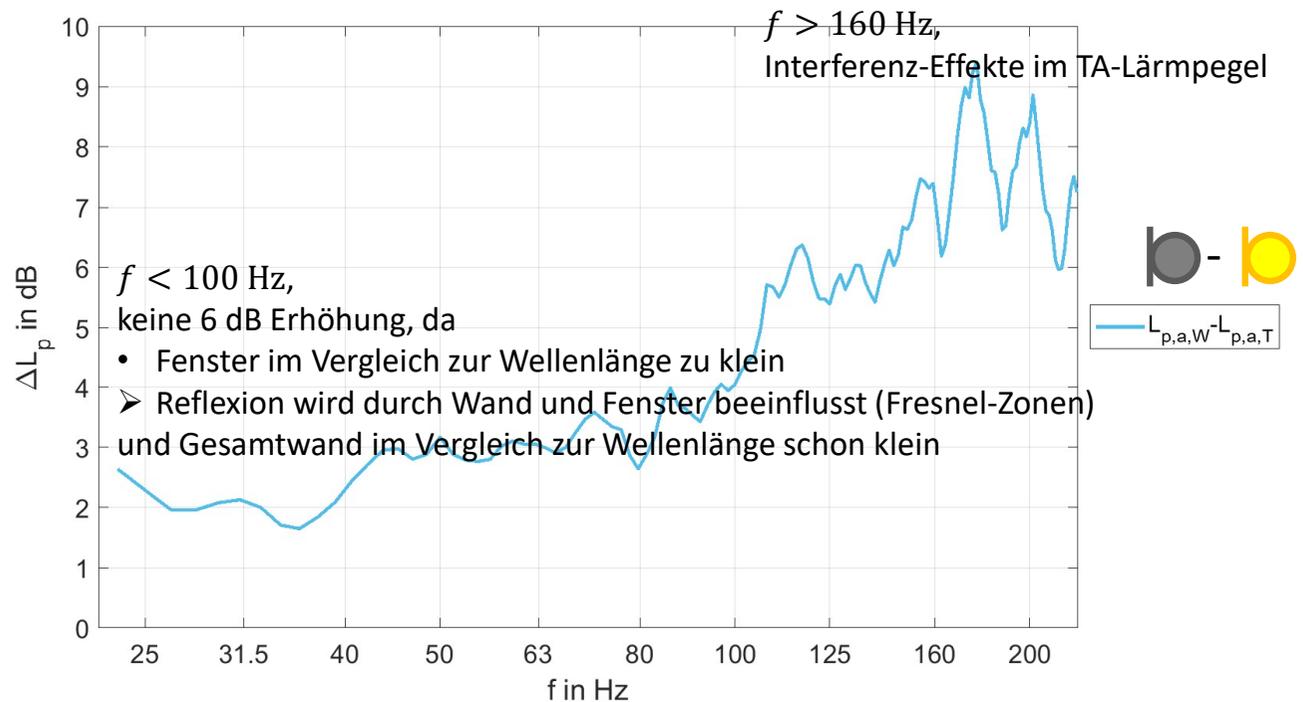
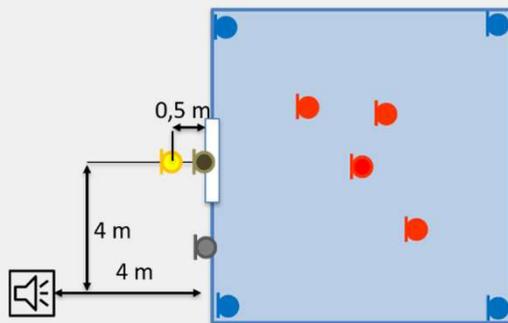
### 3. Auswertung

#### 3.1 Einfluss der Messpositionen

Differenz der mittleren gemessenen Schalldruckpegel, außen auf der Wand und TA-Lärmpegel

$$L_{p,a,W} - L_{p,a,T}$$

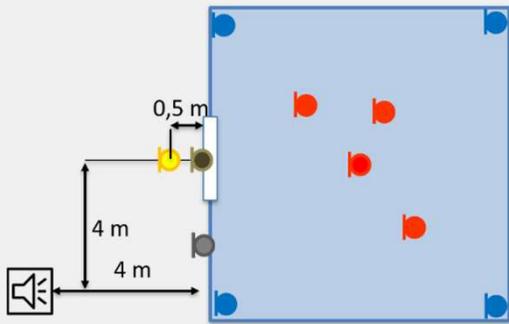
**Theorie:** Vergleich Wand („schallhart“) - Freifeld („schallangepasst“) = + 6 dB



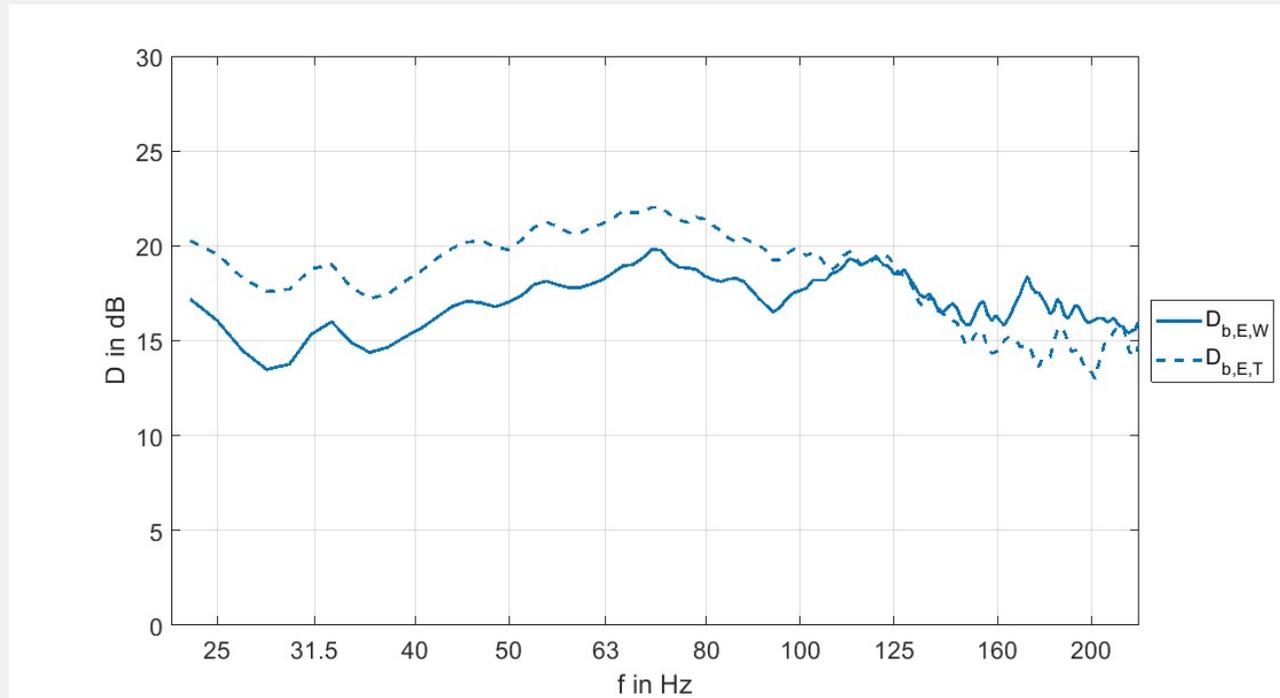
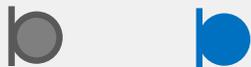
# 3. Auswertung

## 3.1 Einfluss der Messpositionen

Mittelwert aller gemessenen Schalldruckpegeldifferenzen  $D$  (FFT)



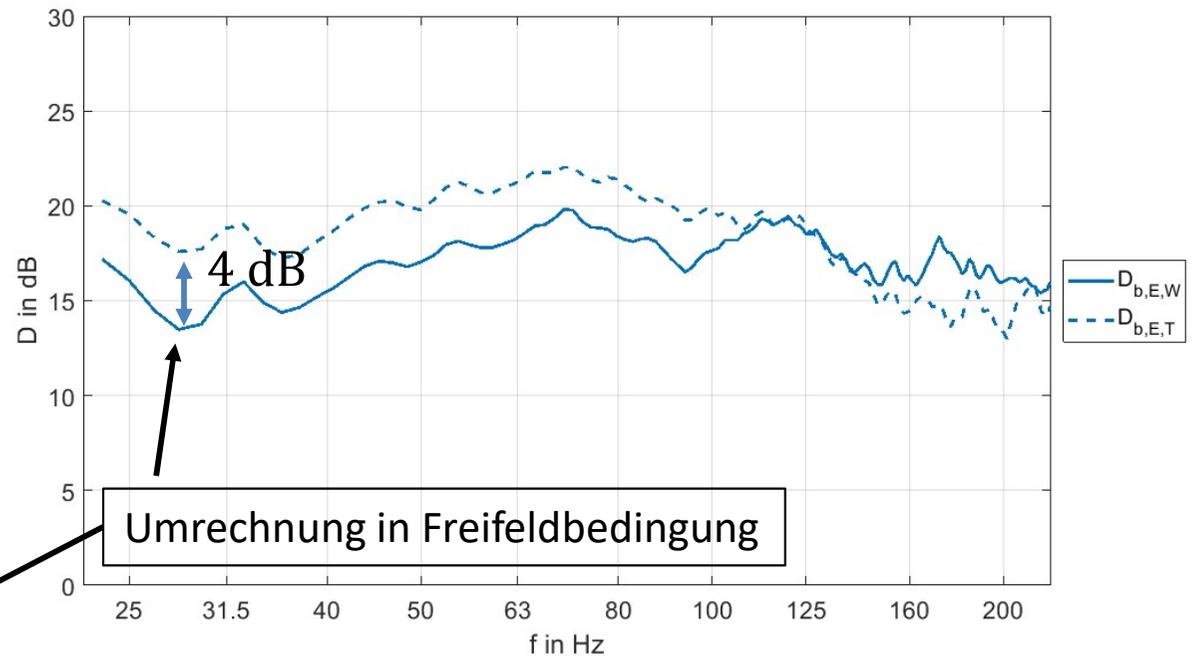
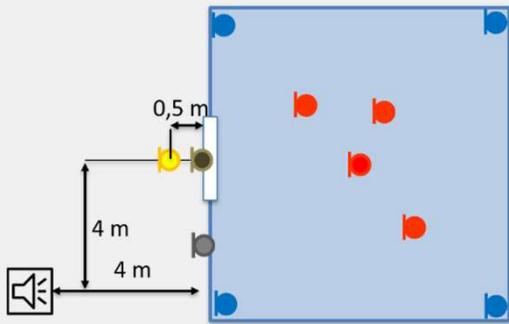
$$D_{b,E,W} = L_{p,a,W} - L_{p,i,E} - 6 \text{ dB}$$



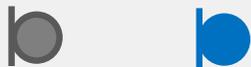
# 3. Auswertung

## 3.1 Einfluss der Messpositionen

Mittelwert aller gemessenen Schalldruckpegeldifferenzen  $D$  (FFT)



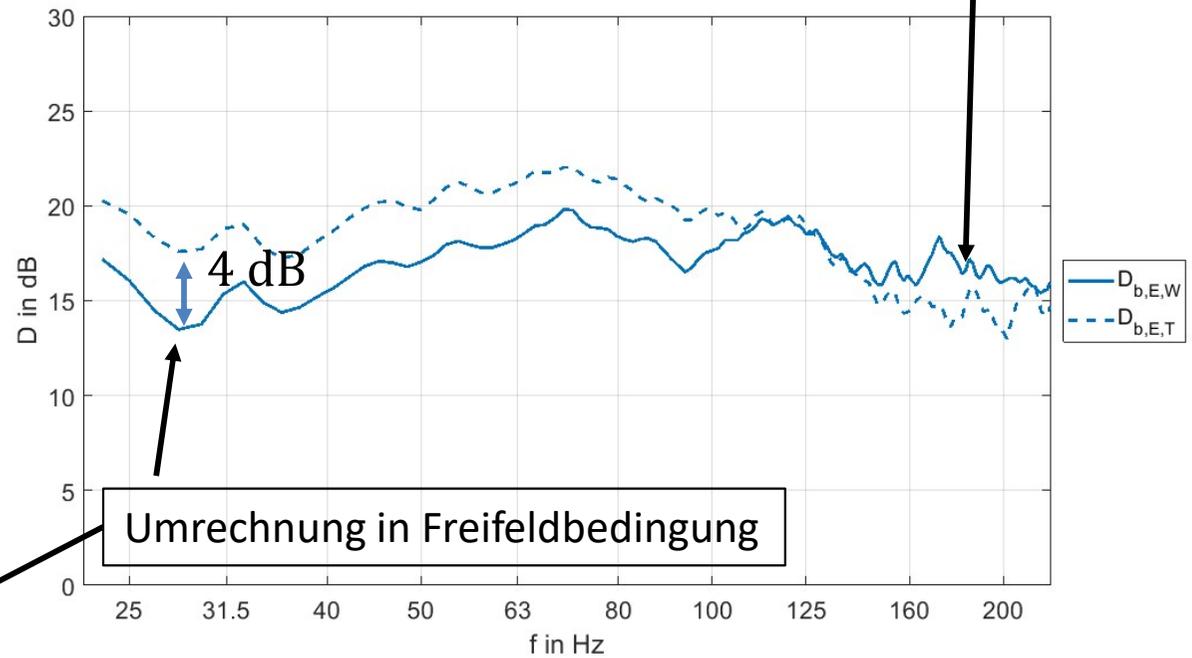
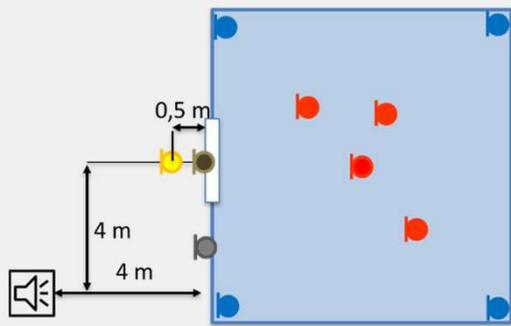
$$D_{b,E,W} = L_{p,a,W} - L_{p,i,E} - 6 \text{ dB}$$



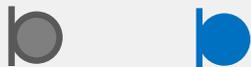
### 3. Auswertung

#### 3.1 Einfluss der Messpositionen

Mittelwert aller gemessenen Schalldruckpegeldifferenzen  $D$  (FFT)



$$D_{b,E,W} = L_{p,a,W} - L_{p,i,E} - 6 \text{ dB}$$

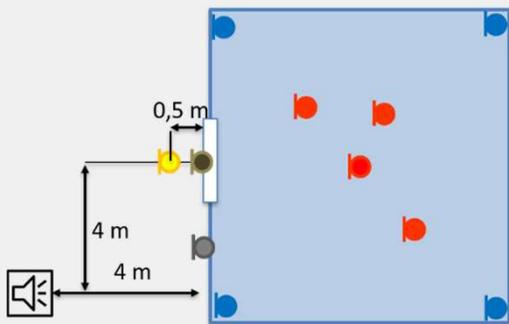


### 3. Auswertung

#### 3.2 Einfluss geometrischer Raumparameter

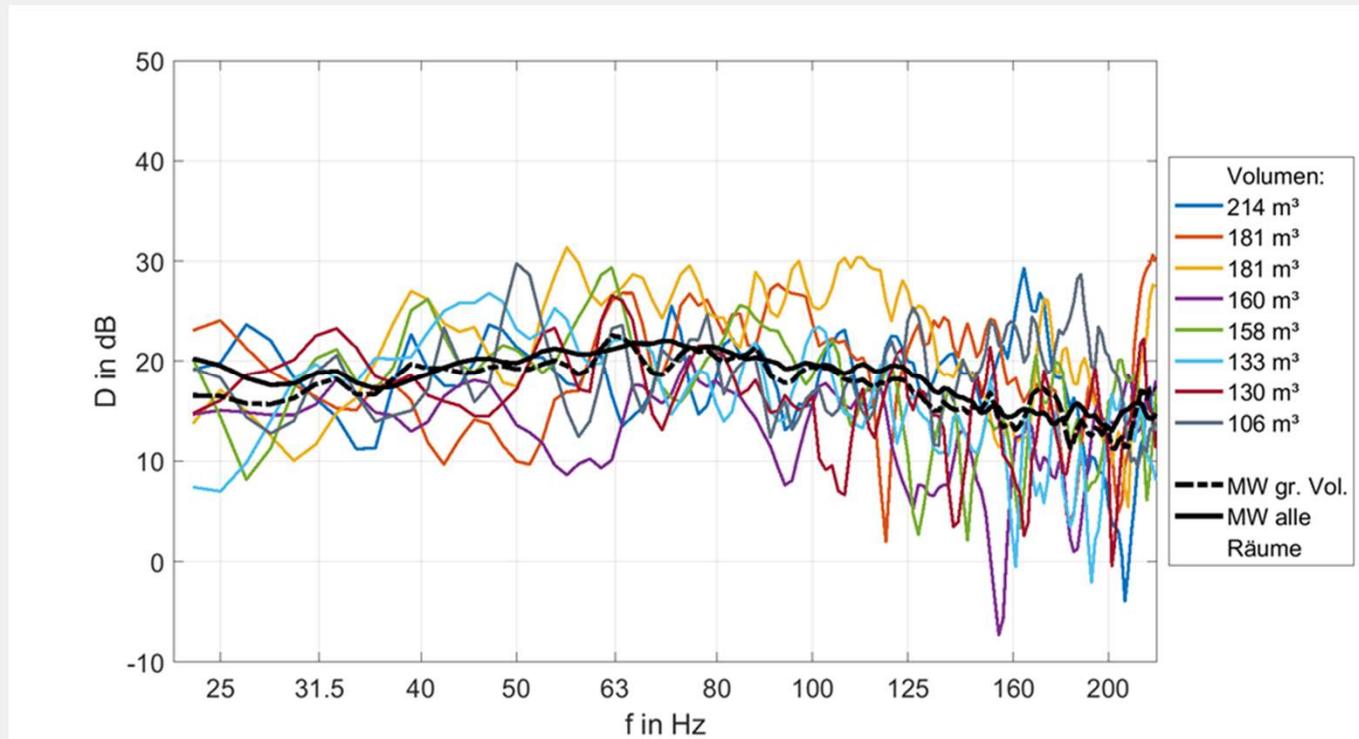
$D_{b,E,T}$  - **Mittelwert** für Räume mit **großem** Raumvolumen

- Einfluss großer Raumvolumen – ist gering



$$D_{b,E,T} = L_{p,a,T} - L_{p,i,E}$$



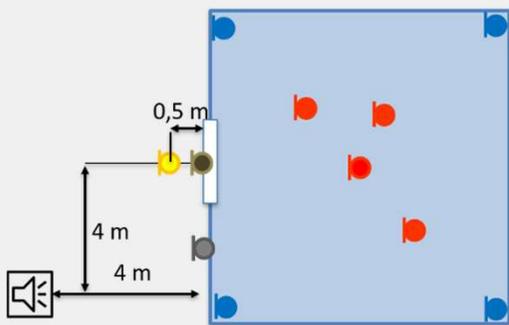


### 3. Auswertung

#### 3.2 Einfluss geometrischer Raumparameter

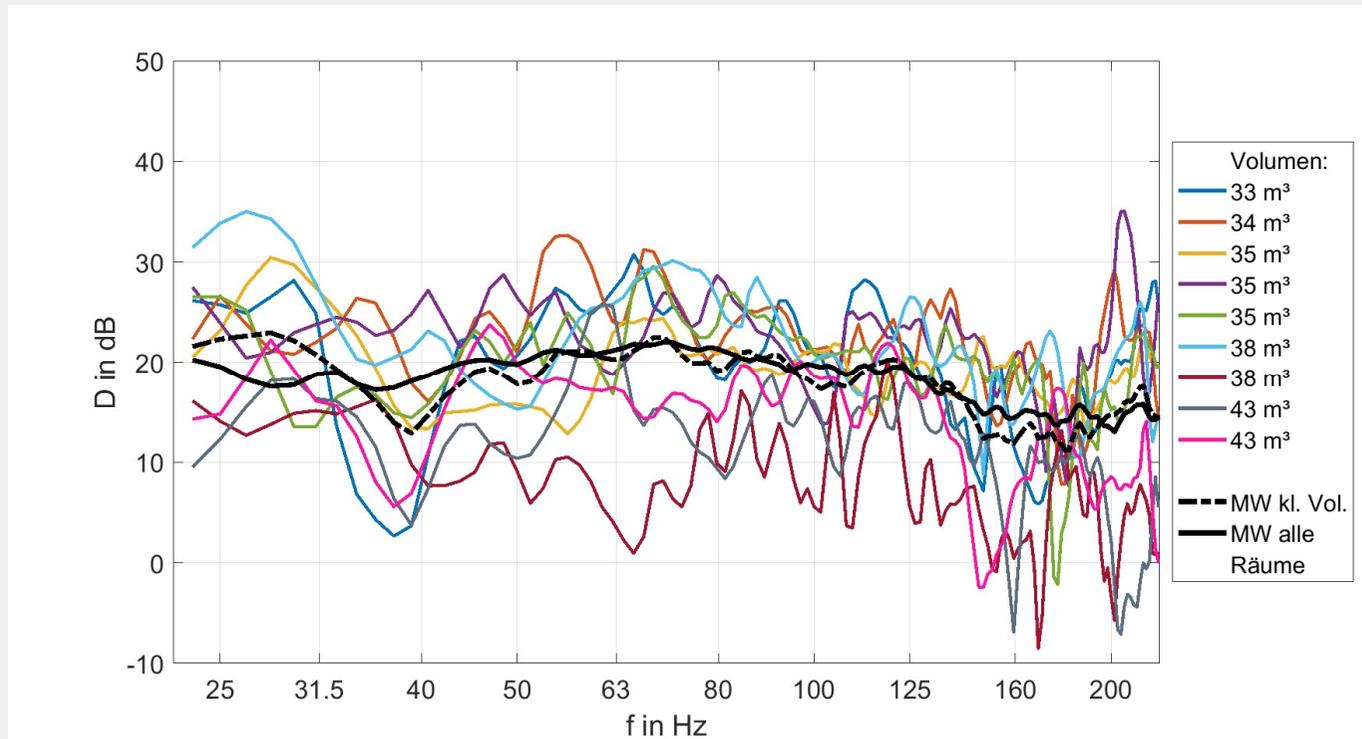
$D_{b,E,T}$  - **Mittelwert** für Räume mit **kleinem** Raumvolumen

- Einfluss kleiner Raumvolumen - ist gering



$$D_{b,E,T} = L_{p,a,T} - L_{p,i,E}$$



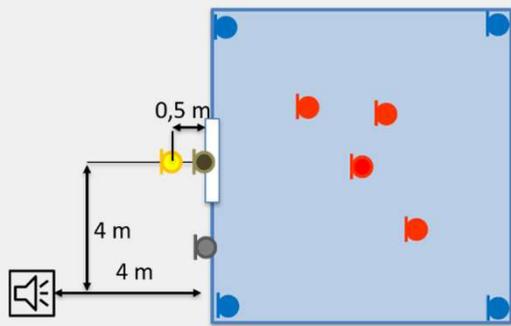


### 3. Auswertung

#### 3.2 Einfluss geometrischer Raumparameter

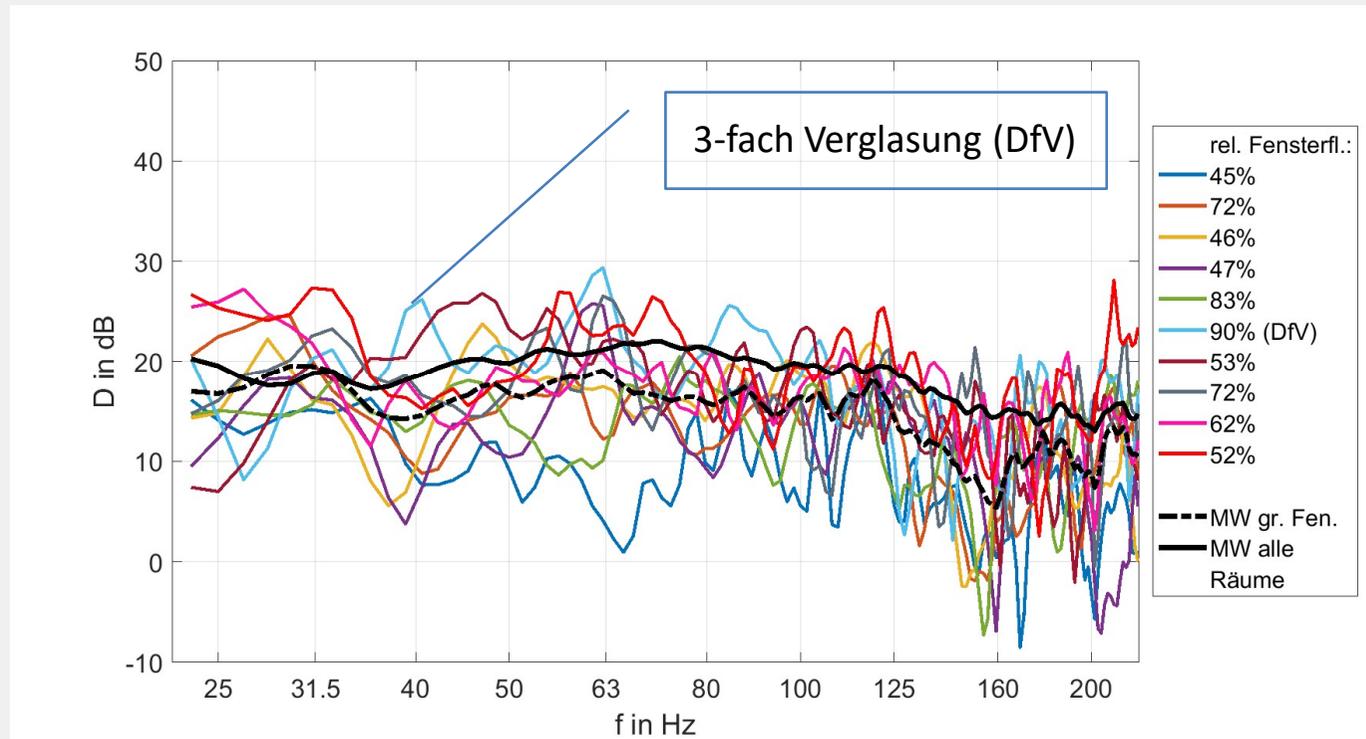
$D_{b,E,T}$  - **Mittelwert** für Räume mit großen Fensterflächen

- Einfluss großer Fensterflächen:  $D_{b,E,T}$  ca. 5 dB unter MW aller Räume



$$D_{b,E,T} = L_{p,a,T} - L_{p,i,E}$$



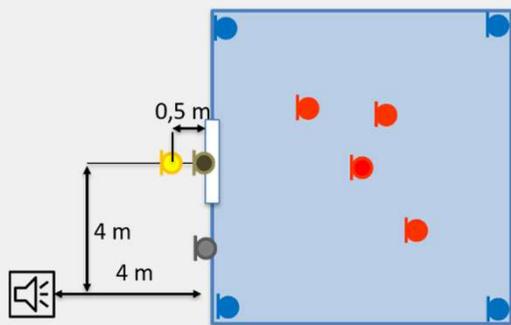


### 3. Auswertung

#### 3.2 Einfluss geometrischer Raumparameter

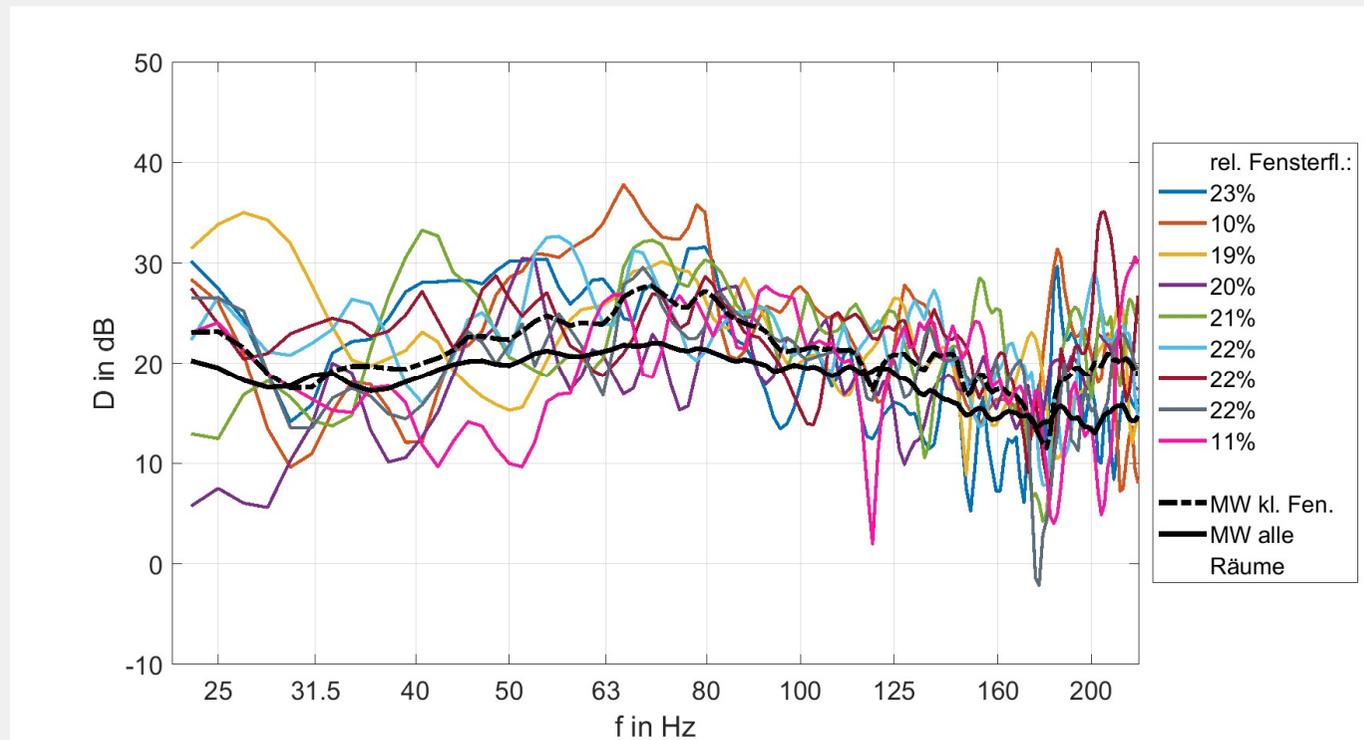
$D_{b,E,T}$  - **Mittelwert** für Räume mit kleinen Fensterflächen

- Einfluss kleiner Fensterflächen: für  $f \geq 40$  Hz Erhöhung  $D_{b,E,T}$  im Vergleich zum MW



$$D_{b,E,T} = L_{p,a,T} - L_{p,i,E}$$

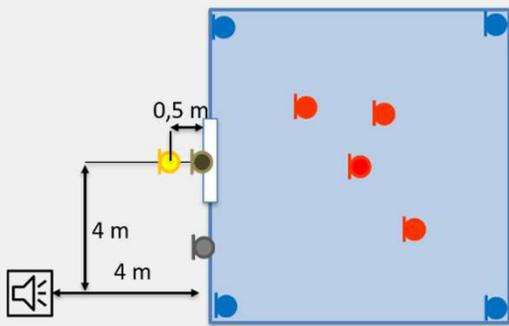




# 3. Auswertung

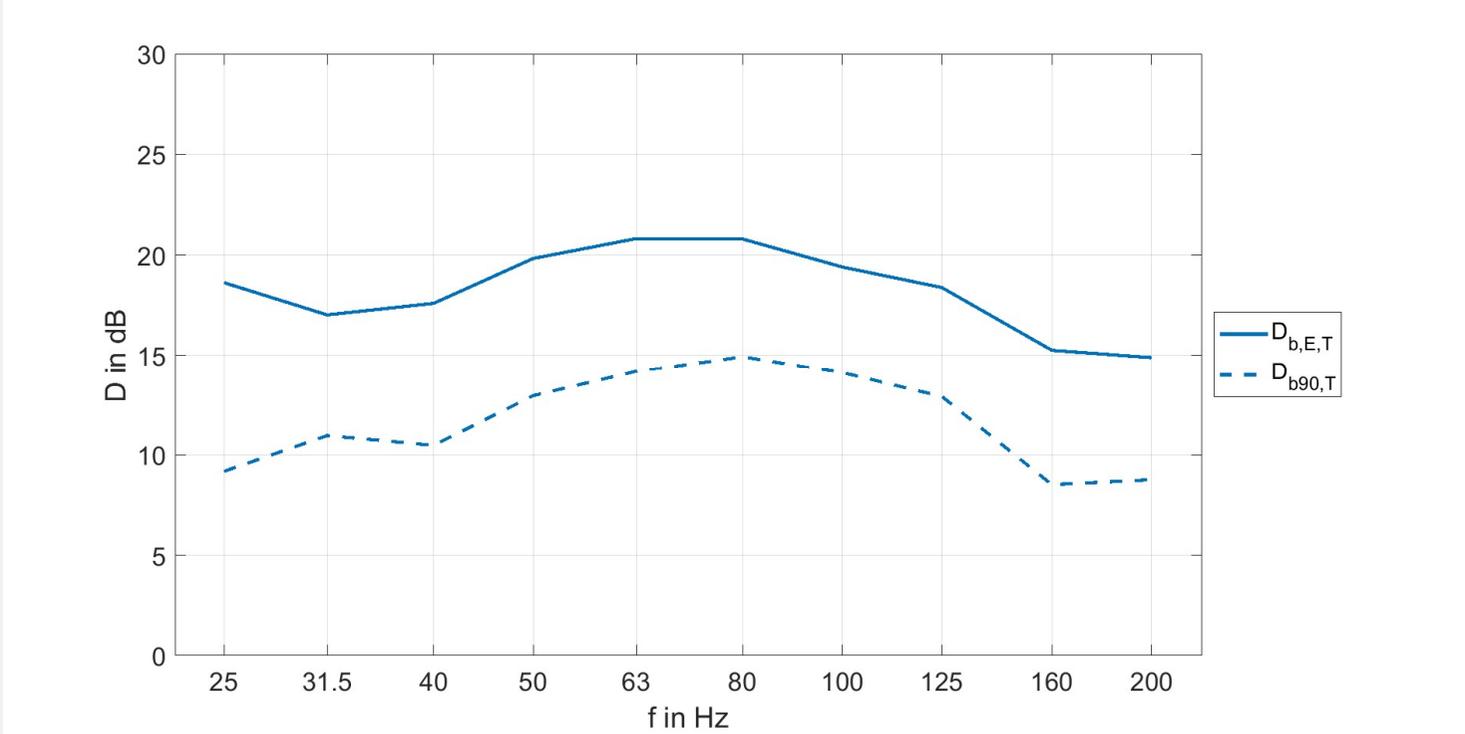
## 3.3 Einordnung der Messergebnisse

Gegenüberstellung des Terz-Spektrums von gemessener mittlerer Schalldruckpegeldifferenz  $D_{b,E,T}$  und **Sicherheitsgrenze**  $D_{b90,T}$  für breitbandige tieffrequente Geräusche



$$D_{b,E,T} = L_{p,a,T} - L_{p,i,E}$$

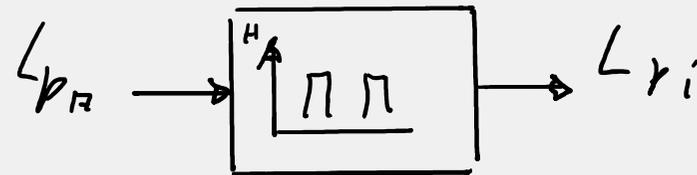
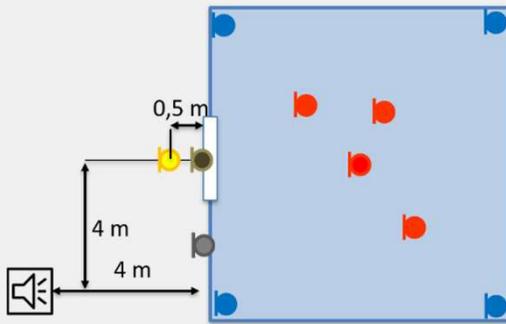




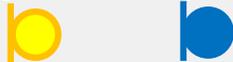
### 3. Auswertung

#### 3.3 Einordnung der Messergebnisse

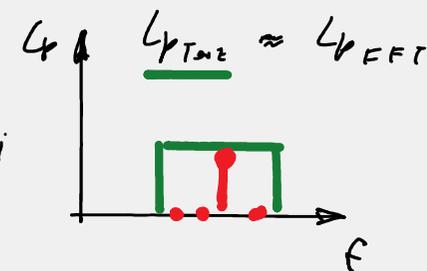
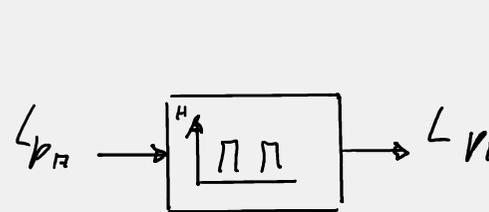
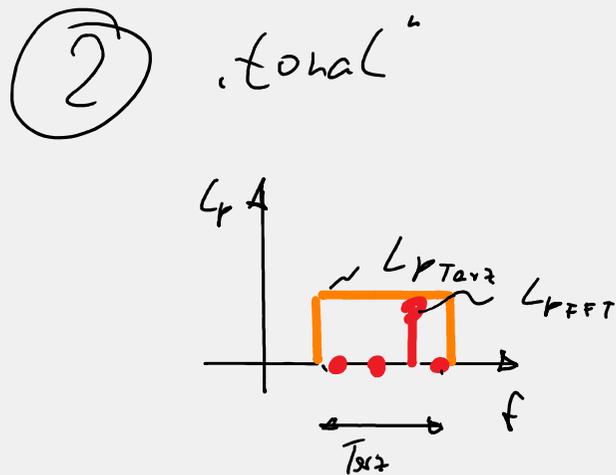
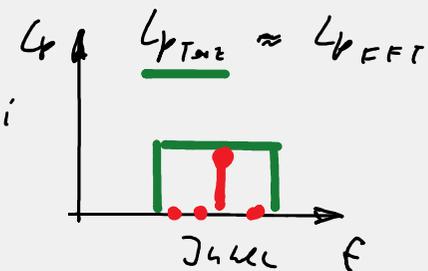
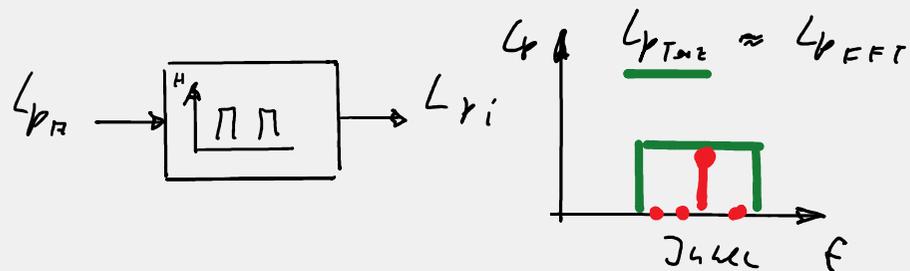
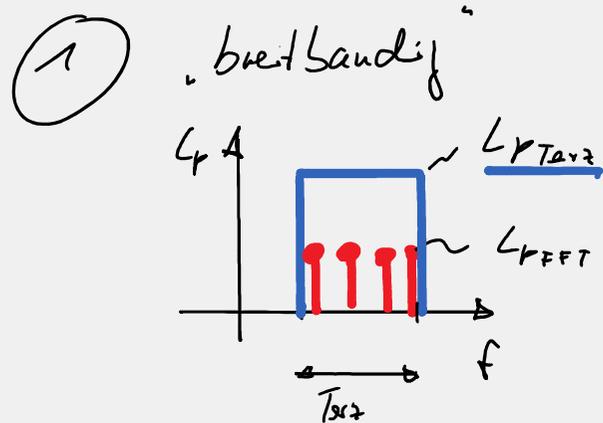
Terz-Spektren gemessener mittlerer Schalldruckpegeldifferenz  $D_{b,E,W}$  und Sicherheitsgrenze  $D_{b90,W}$  für **breitbandige** Geräusche sowie von gemessener mittlerer Schalldruckpegeldifferenz  $D_{t,E,W}$  und Sicherheitsgrenze  $D_{t90,W}$  für **tonale** Geräusche unter Berücksichtigung des TA-Lärmpegels ( $MP_{a,T}$ )



Übertragungsfunktion

$$D_{b,E,T} = L_{p,a,T} - L_{p,i,E}$$


# Unterschied „breitbandig“ und „tonale“ Übertragung



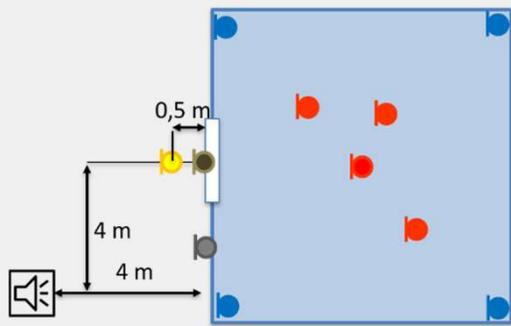
$$\underline{L_{pTavz}} > \underline{L_{pTavz}}$$

$$\underline{L_{pTavz}} = \underline{L_{pTavz}}$$

### 3. Auswertung

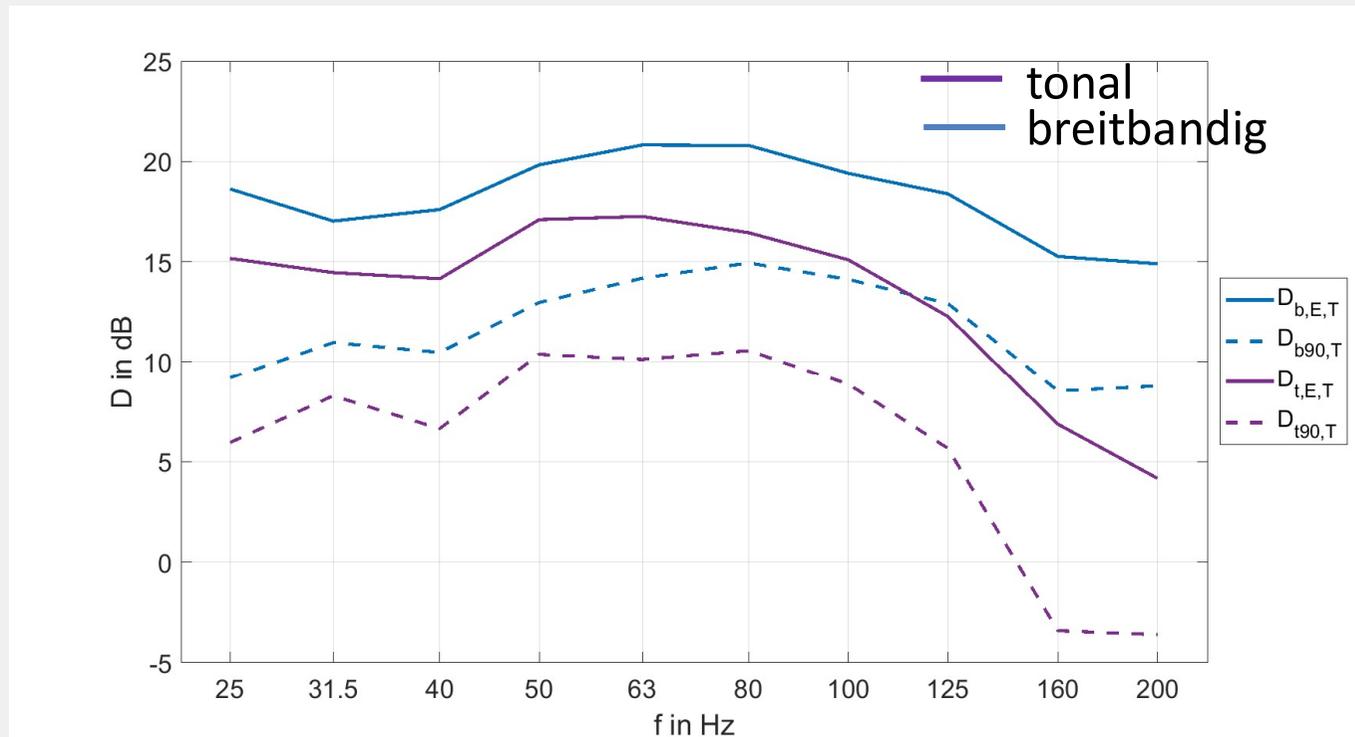
#### 3.3 Einordnung der Messergebnisse

Terz-Spektren gemessener mittlerer Schalldruckpegeldifferenz  $D_{b,E,W}$  und Sicherheitsgrenze  $D_{b90,W}$  für **breitbandige** Geräusche sowie von gemessener mittlerer Schalldruckpegeldifferenz  $D_{t,E,W}$  und Sicherheitsgrenze  $D_{t90,W}$  für **tonale** Geräusche unter Berücksichtigung des TA-Lärmpegels ( $MP_{a,T}$ )



$$D_{b,E,T} = L_{p,a,T} - L_{p,i,E}$$



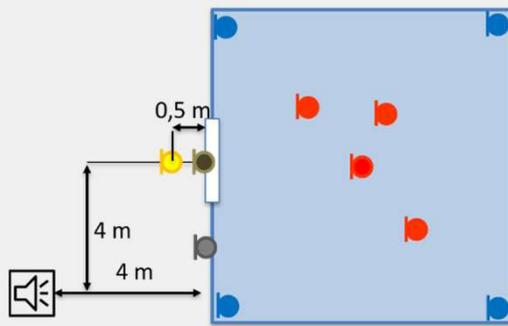


### 3. Auswertung

#### 3.3 Einordnung der Messergebnisse

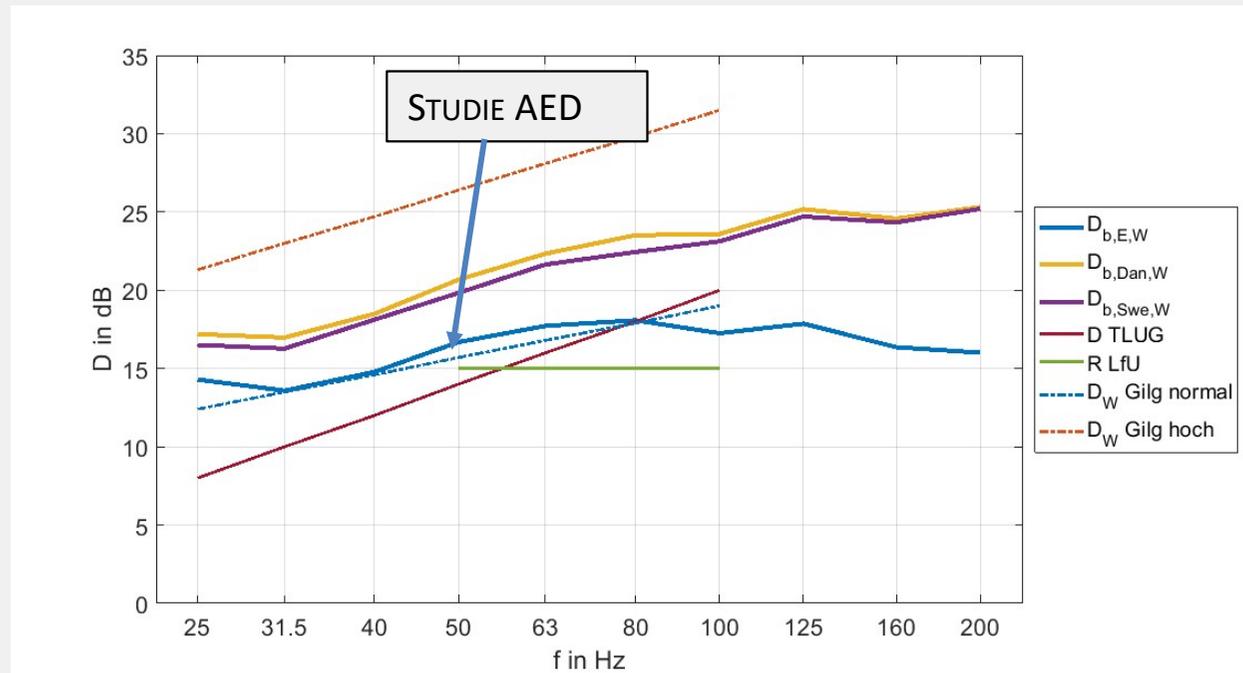
Vergleich des Terz-Spektrums der gemessenen mittleren Schalldruckpegeldifferenz mit Ergebnissen der Literatur

- Messergebnisse stimmen gut mit den Ergebnissen von [Schmidt] überein



$$D_{b,E,W} = L_{p,a,W} - L_{p,i,E} - 6 \text{ dB}$$



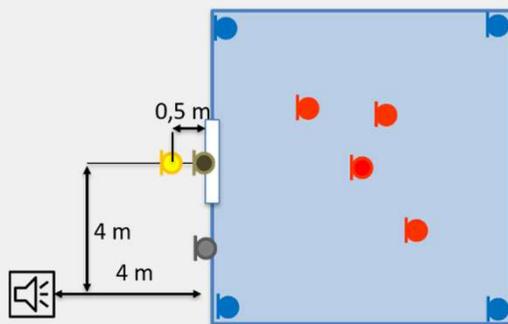


### 3. Auswertung

#### 3.3 Einordnung der Messergebnisse

Vergleich des Terz-Spektrums der gemessenen Ergebnisse der Literatur

- Messergebnisse stimmen gut mit den

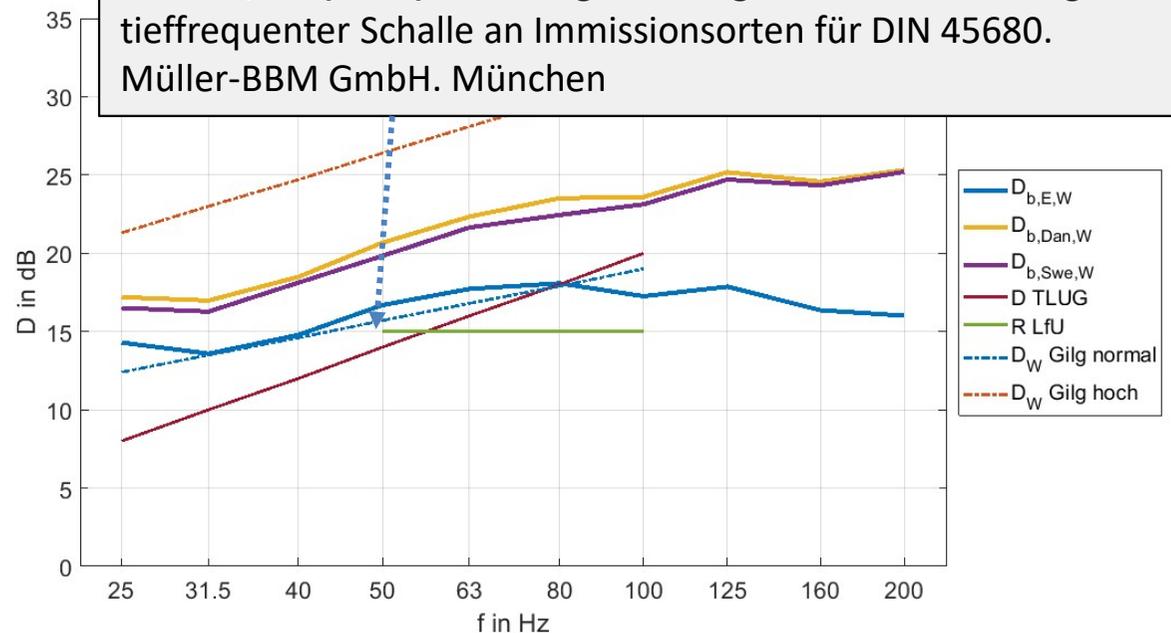


$$D_{b,E,W} = L_{p,a,W} - L_{p,i,E} - 6 \text{ dB}$$



**GILG, J. (2001).** BERÜCKSICHTIGUNG TIEFFREQUENTER GERÄUSCHE GEMÄß TA LÄRM IN GENEHMIGUNGS-, PLANFESTSTELLUNGS- UND BAUGENEHMIGUNGSVERFAHREN – MUSTERGUTACHTEN UND HANDLUNGSANLEITUNG. STUDIE IM AUFTRAG DES STAATLICHEN UMWELTAMTES KIEL. MÜLLER-BBM GMBH.

**SCHMIDT, M. (2016).** Messung und Prognose der Einwirkung tieffrequenter Schalle an Immissionsorten für DIN 45680. Müller-BBM GmbH. München

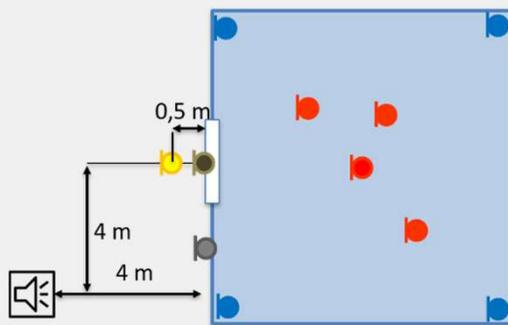


### 3. Auswertung

#### 3.3 Einordnung der Messergebnisse

Vergleich des Terz-Spektrums der gemessenen mittleren Schalldruckpegeldifferenz mit Ergebnissen der Literatur

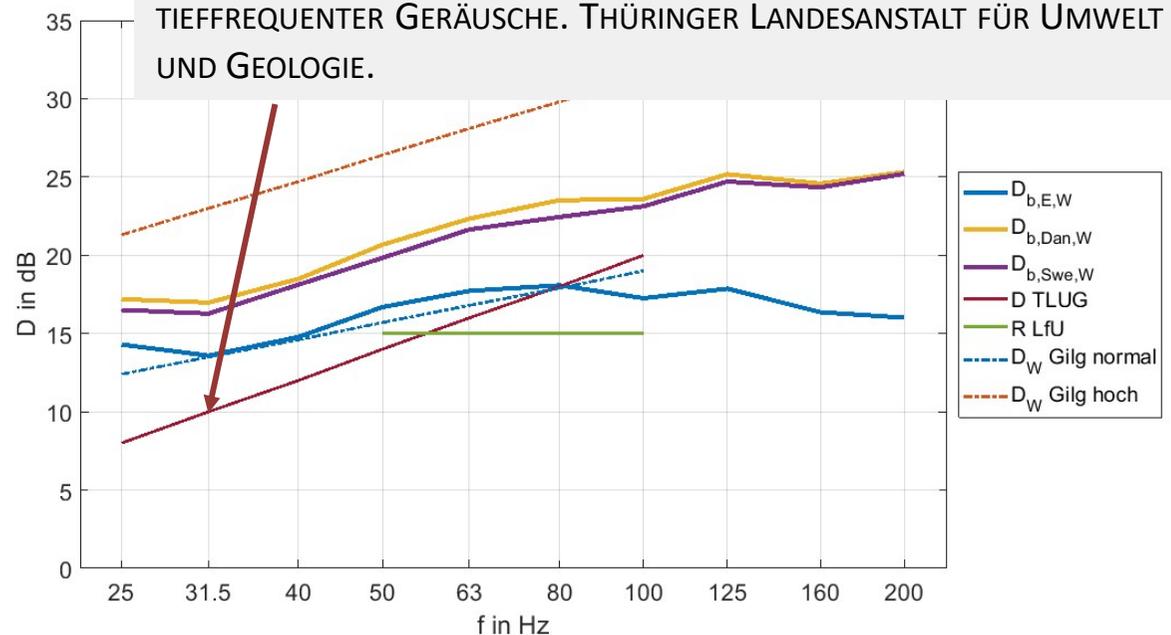
- Messergebnisse stimmen gut mit den Ergebnissen von [Schmidt] überein



$$D_{b,E,W} = L_{p,a,W} - L_{p,i,E} - 6 \text{ dB}$$



**FRITZSCHE, C. (2013).** EIN ANSATZ FÜR DIE SCHALLIMMISSIONSPROGNOSE TIEFFREQUENTER GERÄUSCHE. THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE.

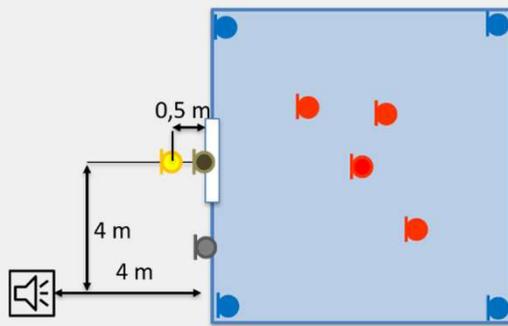


### 3. Auswertung

#### 3.3 Einordnung der Messergebnisse

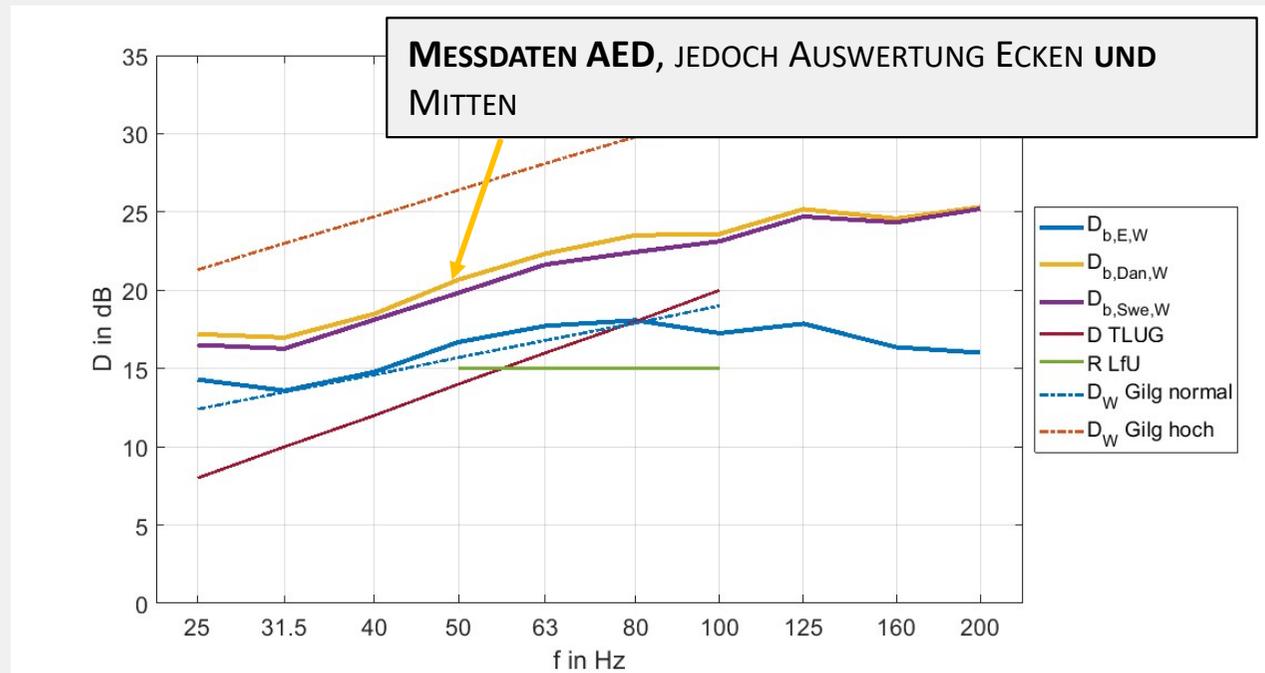
Vergleich des Terz-Spektrums der gemessenen mittleren Schalldruckpegeldifferenz mit Ergebnissen der Literatur

- Messergebnisse stimmen gut mit den Ergebnissen von [Schmidt] überein



$$D_{b,E,W} = L_{p,a,W} - L_{p,i,E} - 6 \text{ dB}$$

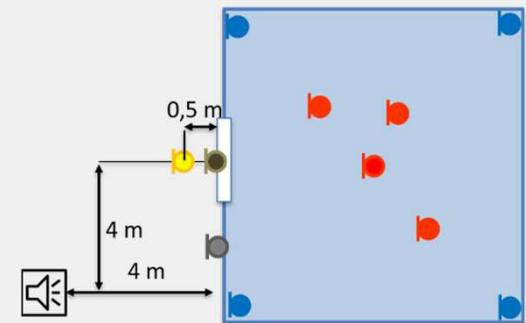




## 4. Zusammenfassung

Messung innen an „0,1m-Ecken“

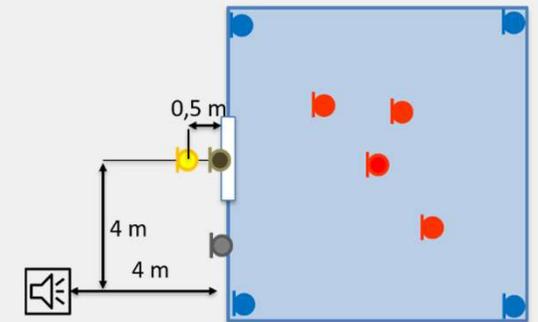
- repräsentieren die höchsten Immissionsschalldruckpegel im Raum
- sind weniger von der Komplexität der Schalldruckverteilung im Raum betroffen, dadurch hohe Reproduzierbarkeit gegeben
- Messpunkt führt zu geringeren („worst case“) Werten von  $D$



## 4. Zusammenfassung

### Messung außen

- außerhalb des Nahfeldes
- Beschallung schräg zur Wandnormalen, da
  - geringere Interferenzeffekte,
  - u.U. stärkere Anregung der Koinzidenzfrequenz der Wand
- $f \leq 60$  Hz, keine 6 dB Erhöhung in der Differenz zw. Schalldruckpegel auf der Wand  $L_{(p,a,W)}$  und TA-Lärmpegel  $L_{(p,a,T)}$ 
  - Grund - Fresnel-Zonen (Wand und Fenster bilden die reflektierende Fläche)



## 4. Zusammenfassung

- Untersuchung an 35 Messorten
- Einfluss geometrischer Raumparameter auf  $D_{b,E,T}$  oder  $W$ 
  - Einfluss Raumvolumen ist gering
  - Einfluss Fenstergröße
    - Verringerung  $D_{b,E,T}$  oder  $W$  gegenüber MW bei großen Fensterflächen, ausgenommen Dreifach-Verglasung
    - Erhöhung  $D_{b,E,T}$  oder  $W$  gegenüber MW bei kleinen Fensterflächen
    - Einfluss Mauerwerk (gesamtes zusammengesetztes trennendes Bauteil) nicht eindeutig ablesbar

## 4. Zusammenfassung

### Einordnung der Messergebnisse

- Messergebnisse  $D_{b,E,W}$  stimmen gut mit den Ergebnissen von [Schmidt] überein
- breitbandige Betrachtung
  - Mittelwert  $D_{b,E,T}$ : 15-20dB
  - **Sicherheitsgrenze  $D_{b90,T}$ : 9-15dB**
- tonale Betrachtung
  - Mittelwert  $D_{t,E,T}$  :
    - $f \leq 100 \text{ Hz}$ : 15-17dB
    - $f \geq 100 \text{ Hz}$ : 5-15dB
  - **Sicherheitsgrenze  $D_{t90,T}$** 
    - $f \leq 100 \text{ Hz}$ : **6-11dB**
    - $f \geq 100 \text{ Hz}$ : -5 - +10dB

## 5. Ausblick

- Die Festlegung einer Sicherheitsgrenze, z.B.  $D_{t90,T}$  stellt nur eine Umrechnung zwischen „Außen“ und „Innen“ dar.
- Eine Festlegung von Richtwerten im Sinne einer Genehmigung (Anwohner v.s. Betreiber) erfordert
  - ausführliche Markanalyse (Benchmark) zu Schallleistungspegel (Festlegung eines Standes der Technik), z.B.
    - Studie Mirko-BHKW (LfULG)
    - Studie LWWP (UBA)
  - einheitliche Aussagen zur Genauigkeit von Schallleistungsmessungen im tieffrequenten Bereich (Nahfeld-Korrektur etc.)
  - Verbesserung der Ausbreitungsberechnung (Interferenz- und Kugelwelleneffekt, z.B. Nord2000)
  - Bewertung nach Entwurf DIN 45680

## Quellen

- BGL (2012). Hinweise zur Genehmigung und Überwachung von Biogasanlagen in Mecklenburg-Vorpommern (Biogasleitfaden). Erlass des Ministeriums für Wirtschaft, Bau und Tourismus.
- EBERLE, G., FÜRST, W. & RUTTKA, B. (2011). Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen: Ein Leitfaden (Teil 3; Umwelt Spezial). Bayrisches Landesamt für Umwelt (LfU).
- [https://www.lfu.bayern.de/laerm/gewerbe\\_anlagen/luftwaermepumpen/doc/tieffrequente\\_geraeusche\\_teil3\\_luftwaermepumpen.pdf](https://www.lfu.bayern.de/laerm/gewerbe_anlagen/luftwaermepumpen/doc/tieffrequente_geraeusche_teil3_luftwaermepumpen.pdf) (Zuletzt abgerufen am 20.02.2020).
- FRITZSCHE, C. (2013). Ein Ansatz für die Schallimmissionsprognose tieffrequenter Geräusche. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie. [https://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlug/abt1/v-referate/2013/17\\_2013/ansatz\\_prognose\\_tieffrequenter\\_ger.pdf](https://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlug/abt1/v-referate/2013/17_2013/ansatz_prognose_tieffrequenter_ger.pdf), (Zuletzt abgerufen am 23.08.2019).
- GILG, J. (2001). Berücksichtigung tieffrequenter Geräusche gemäß TA Lärm in Genehmigungs-, Planfeststellungs- und Baugenehmigungsverfahren – Mustergutachten und Handlungsanleitung. Studie im Auftrag des Staatlichen Umweltamtes Kiel. Müller-BBM GmbH.
- 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. (2016). Messung und Prognose der Einwirkung tieffrequenter Schalle an Immissionsorten für DIN 45680. Müller-BBM GmbH. München. <https://www.din.de/resource/blob/186474/d594186130efc9d7ae9c1ba9e2968298/abschlussbericht-mueller-bbm-data.pdf> (Zuletzt abgerufen am 20.12.2019).
- SCHULZE, C. & HÜBELT, J. (2014). Ermittlung der Geräuschemissionen und Möglichkeiten zur Lärminderung bei Luft-Wasser-Wärmepumpen. Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH. Dresden.