

# **Messvorschrift und Bewertung für tieffrequenten Schall: Entwurf DIN45680 (Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschemissionen)**

Version DIN45680:1997

***Diese Dokument behandelt die Version von 1997. Akulap unterstützt auch den aktuellen Entwurf von 2020.***

## ***Hintergrund und Motivation***

In den letzten Jahren hat die Bedeutung der Erfassung tiefer Schallereignisse deutlich zugenommen. Tiefe Frequenzen bedeutet der Bereich unter 100Hz. Gerade der Bereich Wärmepumpen und Windenergieanlagen ist in den letzten Jahren Gegenstand vielfältiger Untersuchungen.

Messen konnte man den physikalischen Schallpegel in diesem Frequenzbereich seit Ewigkeiten mit hoher Genauigkeit.

Gegenstand aktueller Normierungsbemühungen und der Forschung ist es jedoch, die Wirkung auf den menschlichen Körper zu bewerten. Schall besteht in der Praxis nicht nur aus einzelnen Tönen oder Rauschen. Diese kann man durch Hörtests relativ einfach erfassen. Reale Schallereignisse (vielfältige Motorengeräusche, Presslufthammer, Lüftungsanlagen usw.) lassen sich nur schwer von einem rein physikalischen Schallpegel in eine wahrgenommenen Lautstärke umrechnen. Dies ist der Schwerpunkt der Psychoakustik, die mit komplexen Modellen versucht, das menschliche Hörvermögen nachzubilden.

## **Normativer Bezug zur TA-Lärm**

Viele Schallpegelmessungen orientieren sich an der TA\_Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm). Diese verweist bei tiefen Frequenzen auf die DIN45680 (Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschemissionen).

Gültig ist bisher die DIN45680 von 1997 (Stand Januar 2021). Diese wird jedoch vielfach kritisiert, da keine praxistauglichen Bewertungen durchgeführt werden konnten. Daher gab es 2013 einen neuen Anlauf, der jedoch zurückgezogen wurde. Aktuell gibt es einen Entwurf vom Sommer 2020, der möglicherweise als eine gültige Norm übernommen wird. Dadurch würde es endlich eine klare Messvorschrift für diesen Frequenzbereich geben.

Kriterium dB(C)-dB(A)

Für den Bereich unter 100Hz kann man auch mit sehr einfachen Schallpegelmessungen eine Bewertung durchführen. Dabei verwendet man die weit verbreitete A und C Bewertungen, die das Hörvermögen bei unterschiedlichen Frequenzen beschreiben. Die A-Kurve filtert tiefe Frequenzen weitaus stärker als die C-Kurve. Ist der mittlere Schallpegel in dB(C) deutlich

höher als der Wert in dB(A), so ist dies ein erster Hinweis auf ein tieffrequenten Anteil . In der DIN45680:1997 wurde ein Grenzwert dB(C)-dB(A) >20dB angenommen. In der 2013 Version wurde der Grenzwert auf 15dB verschärft. Im aktuell Entwurf von 2020 wurde dieses Kriterium jedoch ganz entfernt.

## Der aktuelle Entwurf der DIN 45680:2020

Gegenüber DIN 45680:1997 und DIN 45680 Beiblatt 1:1997 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

1. geändertes Messverfahren ohne Vorerhebung (ehemals  $L_{Ceq} - L_{Aeq} > 20$  dB)
2. Erweiterung des Frequenzbereichs auf 8 Hz bis 100 Hz
3. Ergänzung um zusätzlichen Frequenzbereich 1 Hz bis 20 Hz (informativ)
4. Beurteilungsverfahren ohne Vergleich mit einer Hör- oder Wahrnehmungsschwelle
5. Beurteilung der spektralen und zeitlichen Auffälligkeit in tieffrequenten Geräuschen

Der neue Entwurf besteht im wesentlichen aus einem speziellen Bewertungsverfahren für die Terzpegel im Bereich vom 1Hz bis 100Hz. Es gibt Zuschläge für Tonalität oder Impulsivität. Diese Zuschläge werden jedoch objektiv aus dem Spektrum berechnet und nicht als subjektiver Zuschlag definiert.

Insgesamt kommt man damit einer objektiven gehörgerechten Bewertung deutlich näher. Neu ist in diesem Entwurf ein Bewertungsverfahren für den Bereich von 1Hz-20Hz, also der klassische Infraschallbereich. Der Entwurf weist jedoch auf den nach wie vor deutlichen Forschungsbedarf in diesem Bereich hin. Daher ist dieser neue Frequenzbereich nur informativ aber richtungsweisend. Verbindlich ist jedoch der Frequenzbereich zwischen 8Hz und 100Hz.

Anmerkungen:

In dem neuen Entwurf von 2020 werden "frühe" Schwellwerte vermieden. Dies sind die Vorerhebung (ehemals  $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ ) und die Hörschwelle. Durch "harte" Schwellwerte wurden in den älteren Normen bzw. Entwürfen Schallereignisse verworfen oder einzelne Frequenzbereiche nicht berücksichtigt, da diese unterhalb der Schwellwerte waren. Aktuellere Forschungsergebnisse zeigten, dass solche Schallereignisse in Summe doch hörbar waren. Daher werden jetzt zunächst alle Terzpegel ausgewertet und zum Schluss Grenzwerte bzw. Empfehlungen für die ermittelten Beurteilungspegel angegeben.

Eigenschaften von Schall mit tiefen Frequenzen unter 100Hz

- Sie können durch das menschliche Gehör nicht geortet werden. Der Schall ist gefühlt "überall"
- Im Freien haben tiefe Frequenzen eine enorme Reichweite.
- Durch die lange Wellenlänge, "kriecht" der Schall um jede Ecke (Beugungseffekte)
- Je tiefer die Frequenz, desto schwieriger ist die Bekämpfung durch passive Maßnahmen.
- In Räumen bilden sich häufig Resonanzen.
- Typische Dämmstoffe (Mineralwolle/Styropor) sind nahezu wirkungslos.

- Massive Baumaterialien schirmen jedoch gut ab. In Kirchen ist der Verkehrslärm durch die dicken Mauern kaum hörbar.
- Fenster sind hingegen für Frequenzen unterhalb von 100Hz nahezu durchlässig
- Schlafzimmer sind meist mit Decken, Teppichen, Vorhängen etc. ausgerüstet. Hohe Frequenzen werden dadurch stark bedämpft, sind aber für tieffrequenten Schall praktisch wirkungslos. Dadurch tritt Brummen besonders störend in den Vordergrund.

Schall ist bis etwa 20Hz hörbar. Tieffrequentere Signale werden dann als Erschütterungen / Vibrationen wahrgenommen. Die bewusste Wahrnehmung ist umstritten (aktuelle Forschungen gehen von einer Wahrnehmungsgrenze ab 8Hz aus), allerdings scheinen tieffrequente Anteile für Störungen im Wohlbefinden verantwortlich zu sein.

Die Ursachen für Brummen sind meist technischer Natur

- Industrie
- Verkehr
- Windkraftanlagen
- Baumaschinen
- Transformatoren
- Pipelines
- Wärmepumpen
- etc.

Tieffrequenter Schall und Infraschall wird aber auch im hohen Maße durch Wind und Wellen erzeugt, ganz ohne menschliches Einwirken.

### ***Auswertung mit Akulap***

Mit Akulap können Sie auf einfache Weise Messberichte für die DIN45680 erstellen

- Grafische Auswahl des Bereichs
- Messung und Bewertung der Terzpegel im Bereich 1Hz bis 100Hz
- Berechnung der Beurteilungspegel
- Berechnung der Zuschläge für spektrale und zeitliche Auffälligkeiten
- Auswertung im erweiterten Frequenzbereich vom 1Hz bis 20Hz
- Ermittlung von hervortretenden Einzeltönen
- Auswertung nach DIN45680:1997 Beiblatt 1

## **Zusammenfassung der DIN 45680:1997**

Die DIN45689:1997 betrachtet den Frequenzbereich in den Terzbändern von 10Hz bis 80Hz. In Sonderfällen werden auch die Bänder 8Hz und 100Hz berücksichtigt.

Die Bewertung nach DIN45689:1997 besteht aus folgenden Schritten:

- 1) Vorerhebung ( $L_{Ceq} - L_{Aeq} > 20\text{dB}$ )
- 2) Terzanalyse im Bereich 10Hz bis 80Hz. Prüfung auf Einzeltöne
- 3) Vergleich mit der Hörschwelle
- 4) Berücksichtigung der Tag und Nachtzeiten

### **Beurteilung bei gewerblichen Anlagen Beiblatt 1**

Für gewerbliche Anlagen finden sich im Beiblatt 1 Hinweise und Anhaltswerte. Dieser Teil der Norm ist nur informativ. Daher werden auch keine Grenzwerte sondern lediglich Anhaltswerte angegeben.

Das Beurteilungsverfahren unterscheidet zwei Fälle:

- 1) Beurteilung bei deutlich hervortretenden Einzeltönen
- 2) Beurteilung tieffrequenter Geräusche ohne deutlich hervortretende Einzeltönen

Beide Fälle werden völlig getrennt betrachtet. Daher gibt es getrennte Berechnungsverfahren und Anhaltswerte.

### **Vorerhebung**

Der erste Schritt in einer Auswertung nach DIN45689:1997 besteht in einer Vorerhebung. Anhand dieses Kriteriums wird entschieden, ob überhaupt tieffrequente Geräusche vorhanden sind.

**Ist diese Kriterium nicht erfüllt, so sind keine tieffrequenten Geräusche vorhanden. Eine weitere Untersuchung ist nicht erforderlich.**

Zur Vorerhebung misst man gleichzeitig den mittleren (energie-äquivalent) Schallpegel mit den Frequenzbewertungen A und C. Diese Messwerte bezeichnet man als  $L_{Aeq}$  und  $L_{Ceq}$ .

Das massgebliche Kriterium zur Vorerhebung ist die Differenz  $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ . Ist diese Differenz größer als 20dB, so sind tieffrequente Geräusche vorhanden.

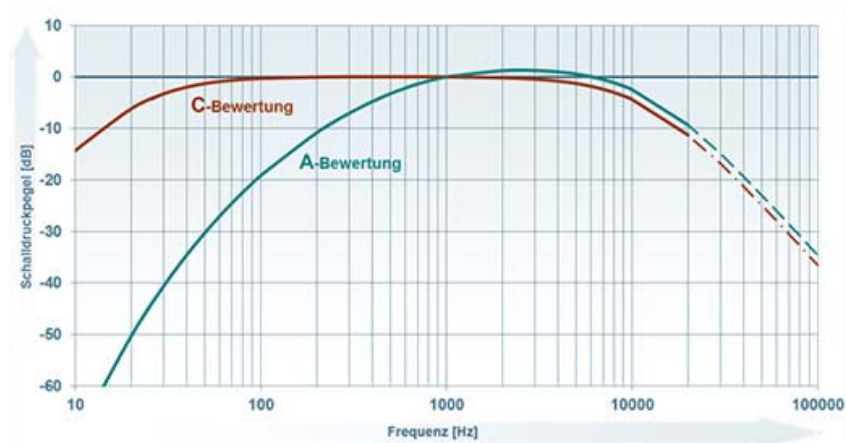
Zusätzlich können noch die Maximalwerte mit der Zeitbewertung F (fast 125ms) herangezogen werden. Man verwendet wieder die Frequenzbewertungen A und C. Diese Messwerte bezeichnet man als  $L_{AFmax}$  und  $L_{CFmax}$ .

Das massgebliche Kriterium zur Vorerhebung ist die wieder die Differenz  $L_{CFmax} - L_{AFmax}$ . Ist diese Differenz größer als 20dB, so sind tieffrequente Geräusche vorhanden.

Sind beide Kriterien NICHT erfüllt, so sind auch keine tiefrequenten Geräusche (nach dieser Norm) vorhanden. Daher ist von keiner Belästigung durch tiefrequenten Geräusche auszugehen.

Anmerkungen:

Die Frequenzbewertung C dämpft tiefe Signale stärker als die A Kurve. Diese beiden Kurven sind in nahezu jedem Schallpegelmesser eingebaut. Damit kann eine Vorerhebung auch mit sehr einfachen oder älteren Geräten durchgeführt werden.



## Prüfung auf deutlich hervortretende Einzeltöne

Das Geräusch enthält einen deutlich hervortretenden Einzelton, wenn ein Pegel in einem Terzband die Pegel in den beiden benachbarten Terzen um 5dB übertrifft.

## Vergleich mit der Hörschwelle

Terzmittenfrequenz [Hz]	Hörschwelle L_HS [dB]
8	103
10	95
12,5	87
16	79
20	71
25	63
31,5	55,5
40	48
50	40,5
63	33,5
80	28
100	23,5

## Auswertung mit Akulap

Mit Akulap können Sie auf einfache Weise Messberichte für die DIN45680 erstellen

- Messung und Bewertung der Terzpegel im Bereich 1Hz bis 100Hz
- Berechnung der Beurteilungspegel
- Ermittlung von hervortretenden Einzeltönen
- Auswertung nach DIN45680:1997 Beiblatt 1

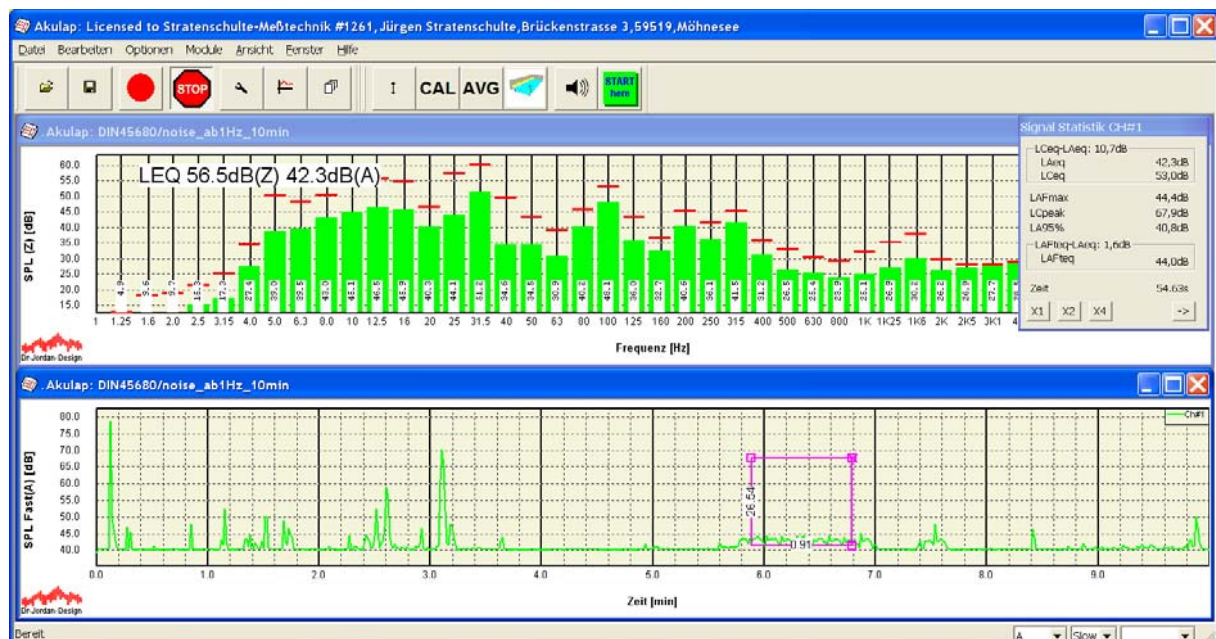
Akulap erzeugt ein HTML Dokument, das alle relevanten Messwerte und Grafiken enthält.

Eine Messung und Auswertung mit Akulap besteht aus folgenden Schritten

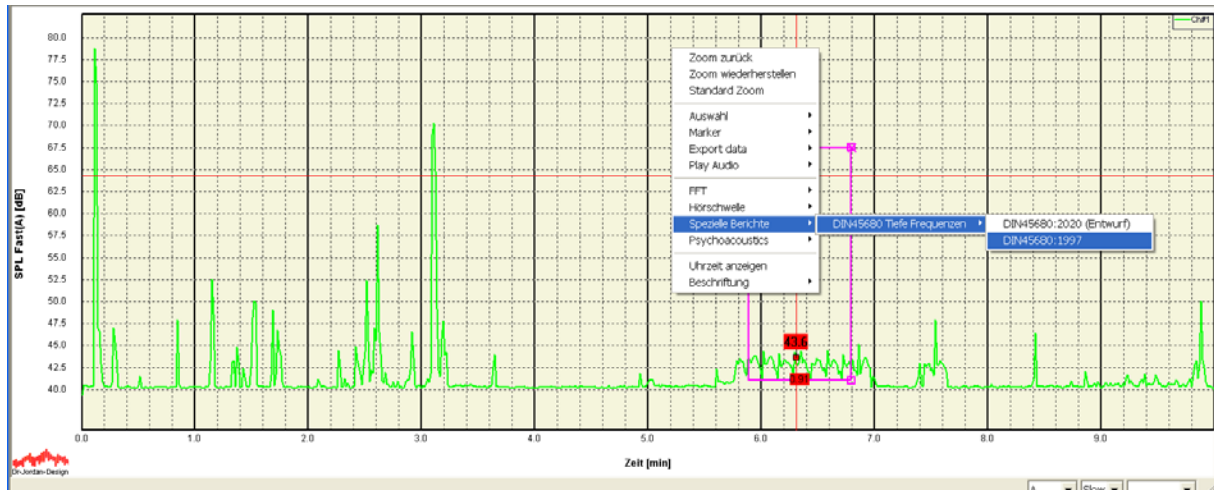
- 1) Start von Akulap
- 2) Kalibrierung mit einem Schallpegelkalibrator
- 3) Durchführung einer Messung mit Terzanalyse
- 4) Speichern einer Messung
- 5) Laden einer Messung
- 6) Auswahl eines Bereichs
- 7) Auswertung nach DIN45680

Die Schritte 1) bis 6) werden in der allgemeinen Dokumentation für Akulap ausführlich beschrieben. Daher beschränken wir uns in dieser Anleitung auf die reine Auswertung.

Laden sie eine Messung und wählen Sie ein Bereich im unteren Fenster durch einen Doppelklick mit der linken Maustaste.

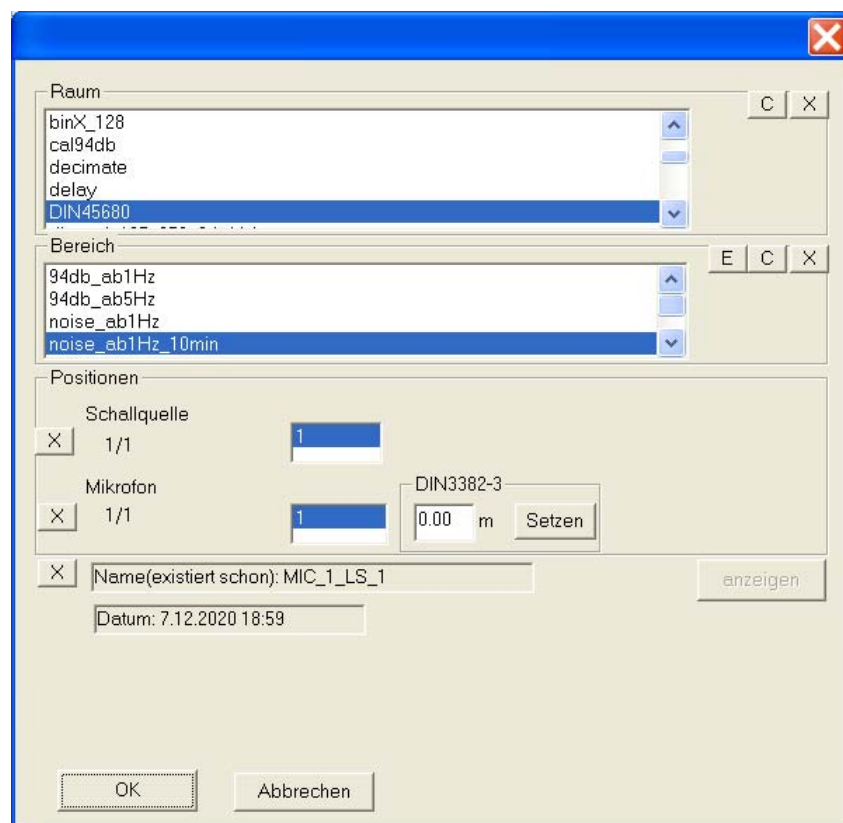


Drücken Sie im unteren Fenster die rechte Maustaste um das Kontextmenü zu öffnen.



Wählen Sie Spezielle Berichte->DIN45680 Tiefe Frequenzen->DIN45680:1997

Sie können im nächsten Schritt den Speicherort angeben. Typischerweise ist das auch die Messung, die Sie geladen haben. Die Messung selbst wird nicht verändert. Es wird lediglich ein Unterordner mit dem Bericht angelegt.



Wählen Sie Ok. Nach kurzer Zeit öffnet sich Ihr Internet-Browser mit dem Bericht. Sie können diesen abspeichern drucken usw.

## Beispiel eines solchen Berichts

### DIN45680:1997 Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen

#### Einstellungen

Beginn der Messung: Montag, Dezember 07, 2020 18:39:52

Anzahl der Datenpunkte: 4800

Meßintervall: 125ms

Meßdauer: 10m: 0s

Kalibrieroffset: 136.3dB

Version: AkuLap V2020\_12\_10

Seriennummer: #33001261

#### ***Es wurde ein Ausschnitt gewählt***

Start Offset 5m:53s

Stop Offset 6m:47s

#### **Vorerhebung als Eingangskriterium ob tieffrequente Signale vorhanden sind**

Diese Messwerte werden nur für diese Norm (DIN45680:1997) und den verworfenen Entwurf von 2013 verwendet.

Für die Auswertung nach DIN45680:2020 hat dies nur informativen Charakter.

#### ***Vorerhebung mit Eingangskriterium LCeq-LAeq***

LCeq=53.00dB

LAeq=42.35dB

LCeq - LAeq =10.65dB

#### ***Vorerhebung Eingangskriterium LCFmax-LAFmax für kurzfristige Ereignisse***

LCFmax=58.43dB

LAFmax=44.39dB

LCFmax - LAFmax =14.04dB



### ***Ergebnis der Vorerhebung***

**Beide Differenzen sind kleiner als 20.0dB. Daher sind im Sinne dieser Norm KEINE tiefrequenten Signale vorhanden. Eine Terzanalyse ist daher lediglich informativ.**

### **Beurteilungspegel**

Der Beurteilungspegel  $L_r$  ergibt sich dem energie-äquivalentem Mittelwert ( $L_{eq}$ ) und einem Zeitfaktor (in dB)

Es wird das Verhältnis der Gesamteinwirkungsdauer ( $T_e$ ) zur Beurteilungszeit ( $T_r$ ) berücksichtigt.

$$L_r = L_{eq} + 10 \cdot \log_{10}(T_e/T_r)$$

### ***Beurteilungspegel $L_r$ tagsüber (6:00-22:00h)***

Die Beurteilungszeit ( $T_r$ ) beträgt 16h

**Das Geräusch tritt nur während der Messzeit auf**

Gesamteinwirkungsdauer ( $T_e$ )=0.0h

**Zeitfaktor  $10 \cdot \log_{10}(T_e/T_r) = -30.2\text{dB}$**

### ***Beurteilungspegel $L_r$ nachts (22:00h-6:00h)***

Die Beurteilungszeit ( $T_r$ ) beträgt 1h

**Das Geräusch tritt nur während der Messzeit auf**

Gesamteinwirkungsdauer ( $T_e$ )=0.0h

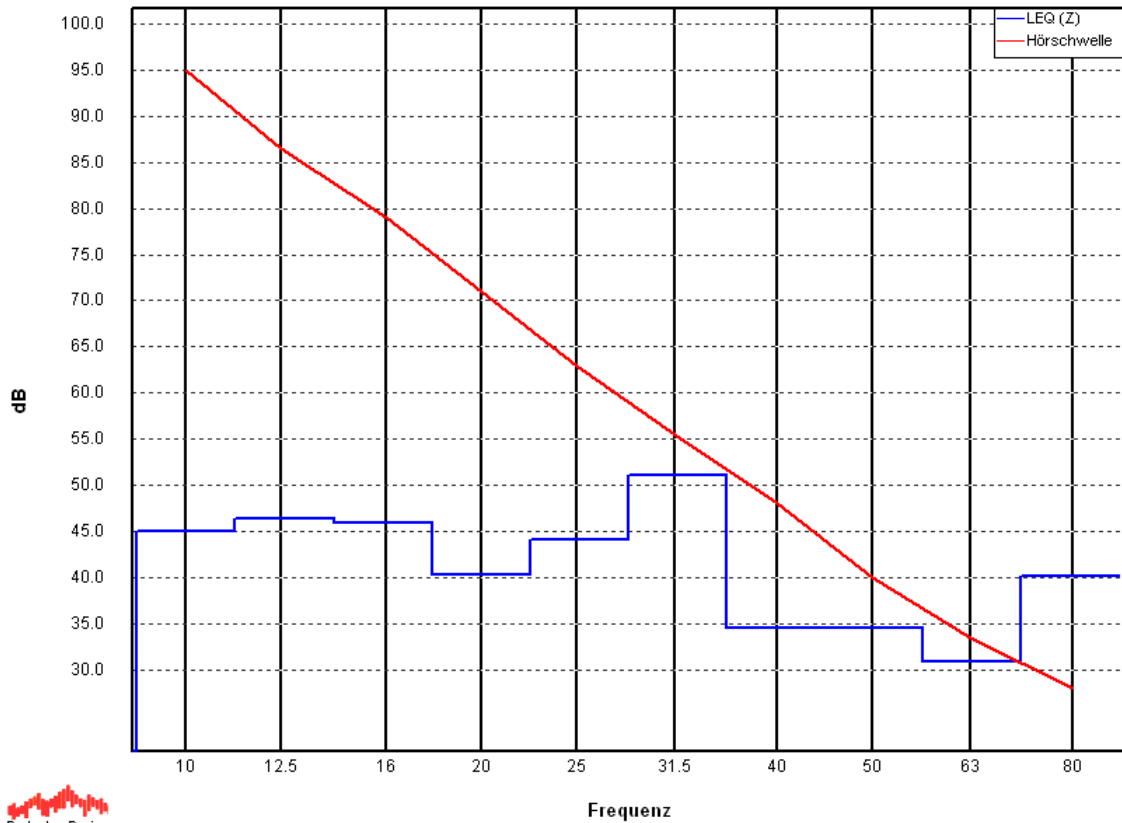
**Zeitfaktor  $10 \cdot \log_{10}(T_e/T_r) = -18.2\text{dB}$**

### **DIN45680:1997 Auswertung Terzanalyse**

Frequenzbereich 10Hz bis 80Hz.

## Mittlerer Terzpegel unbewertet vs. Hörschwelle

### Die Berechnung erfolgt ohne Beurteilung der Tag/Nachtzeiten



## Prüfung auf deutlich hervortretende Einzeltöne

Das Geräusch enthält einen deutlich hervortretenden Einzelton, wenn ein Pegel in einem Terzband die Pegel in den beiden benachbarten Terzen um 5dB übertrifft.

### Ergebnis der Berechnung

Es sind deutlich hervortretenden Einzeltöne vorhanden

Ton #1 Frequenz 31.5 Pegeldifferenz zum Nachbarband 16.5dB

Ein deutlich hervortretender Einzelton, dessen Frequenz im Übergangsbereich zwischen zwei Terzbändern liegt kann anhand dieses Kriteriums nicht erkannt werden.

Ein solcher Einzelton kann vorliegen, wenn die Differenz der energetischen Summe in zwei benachbarten Terzen zu den entsprechenden Pegeln der beiden Nachbarterzen größer als 5 dB ist.

Diese Bedingung ist jedoch kein hinreichendes Indiz auf einen Einzelton.

Daher kann sie nur dann als Kriterium für einen deutlich hervortretenden Einzelton herangezogen werden, wenn auch nach dem Höreindruck (Tonhöhenempfindung oder Ortsabhängigkeit des Schalldruckes im Raum) ein Einzelton vorliegt

### Ergebnis der Berechnung

Es sind mögliche Einzeltöne vorhanden

Ton #1 Frequenz 28.0 Pegeldifferenz zum Nachbarband 17.3dB

Ton #2 Frequenz 35.2 Pegeldifferenz zum Nachbarband 16.7dB

### Terzpegel vs. Hörschwelle mit Bewertung Tag/Nacht

Terzmittenfrequenz [Hz]	Hörschwelle L_HS [dB]	Leq [dB]	L_Terz,r Tag [dB]	L_Terz,r Nacht [dB]	L_TerzFMAX [dB]
10,0	95,0	45,1	14,9	26,9	54,2
12,5	86,5	46,5	16,2	28,3	56,7
16,0	79,0	45,9	15,7	27,7	55,2
20,0	71,0	40,3	10,1	22,1	47,2
25,0	63,0	44,1	13,9	25,9	58,1
31,5	55,5	51,2	21,0	33,0	60,6
40,0	48,0	34,6	4,4	16,5	50,0
50,0	40,0	34,5	4,3	16,3	44,6
63,0	33,5	30,9	0,6	12,7	40,3
80,0	28,0	40,2	10,0	22,0	47,2

### Auswertung gemessenes Terzspektrum Tag (6.00-22.00)

Terzmittenfrequenz [Hz]	L_Terz,r [dB]	Hörschwelle L_HS [dB]	L_Terz,r -L_HS [dB]
10,0	14,9	95,0	<0
12,5	16,2	86,5	<0
16,0	15,7	79,0	<0
20,0	10,1	71,0	<0
25,0	13,9	63,0	<0
31,5	21,0	55,5	<0
40,0	4,4	48,0	<0

50,0	4,3	40,0	<0
63,0	0,6	33,5	<0
80,0	10,0	28,0	<0

### Auswertung gemessenes Terzspektrum Nacht (22.00-6.00)

Terzmittenfrequenz [Hz]	L_Terz,r [dB]	Hörschwelle L_HS [dB]	L_Terz,r -L_HS [dB]
10,0	26,9	95,0	<0
12,5	28,3	86,5	<0
16,0	27,7	79,0	<0
20,0	22,1	71,0	<0
25,0	25,9	63,0	<0
31,5	33,0	55,5	<0
40,0	16,5	48,0	<0
50,0	16,3	40,0	<0
63,0	12,7	33,5	<0
80,0	22,0	28,0	<0

### Beiblatt 1: Hinweise zur Beurteilung gewerblicher Anlagen

#### Beurteilung bei deutlich hervortretenden Einzeltönen tagsüber

Ton	Frequenz [Hz]	$\Delta L1=L\_Terz,r-L\_HS$ [dB]	$\Delta L2=L\_TerzFMAX-L\_HS$ [dB]
1	31,5	-34,5	5,1

Es sollten die Werte für  $\Delta L1$  5.0dB und für  $\Delta L2$  15.0dB nicht überschritten werden

Hinweis: Die Anhaltswerte wurden nicht überschritten

#### Beurteilung ohne deutlich hervortretende Einzeltöne

##### Beurteilung tagsüber (6.00 bis 22.00)

Tag	Messwert [dB]	Anhaltswert [dB]
-----	---------------	------------------

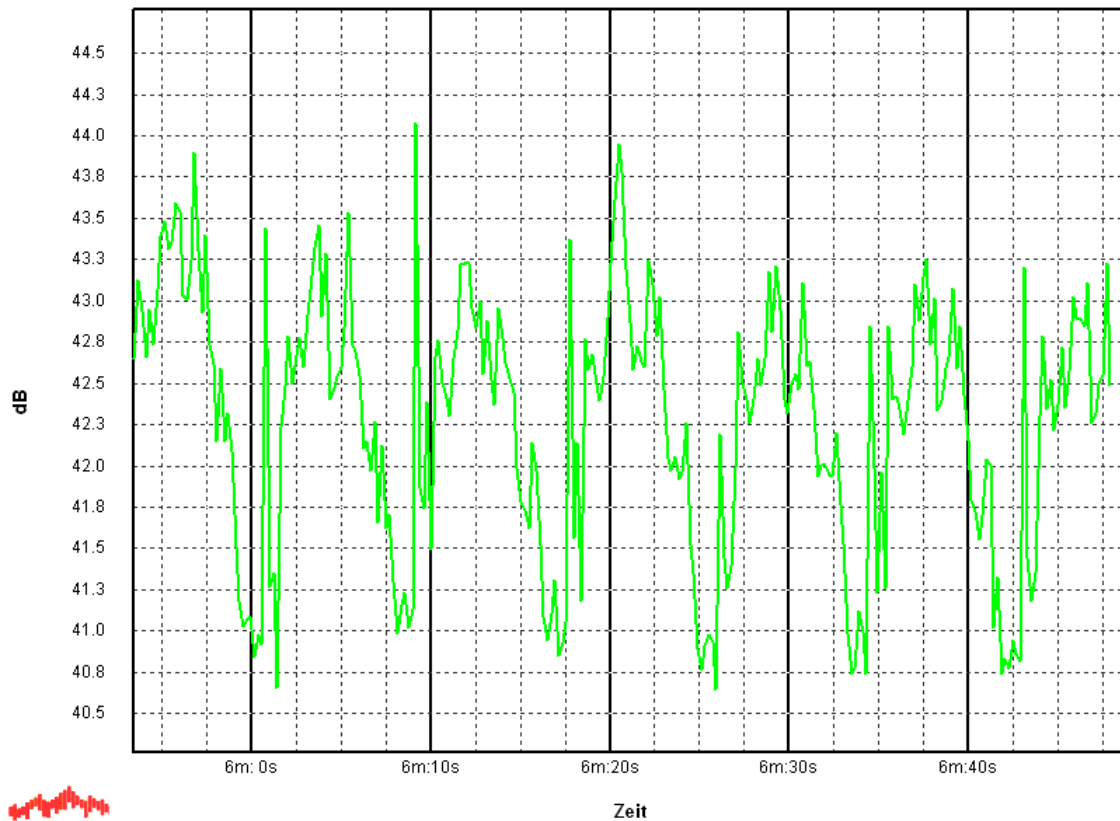
Beurteilungspegel Lr	-20,2	35,0
Spitzenwert LAFMAX	44,4	45,0

**Beurteilung nachts ( 22.00 bis 6.00)**

Nacht	Messwert [dB]	Anhaltswert [dB]
Beurteilungspegel Lr	-17,2	25,0
Spitzenwert LAFMAX	44,4	35,0

**Pegel-Zeitverläufe**

**SPL A Fast**



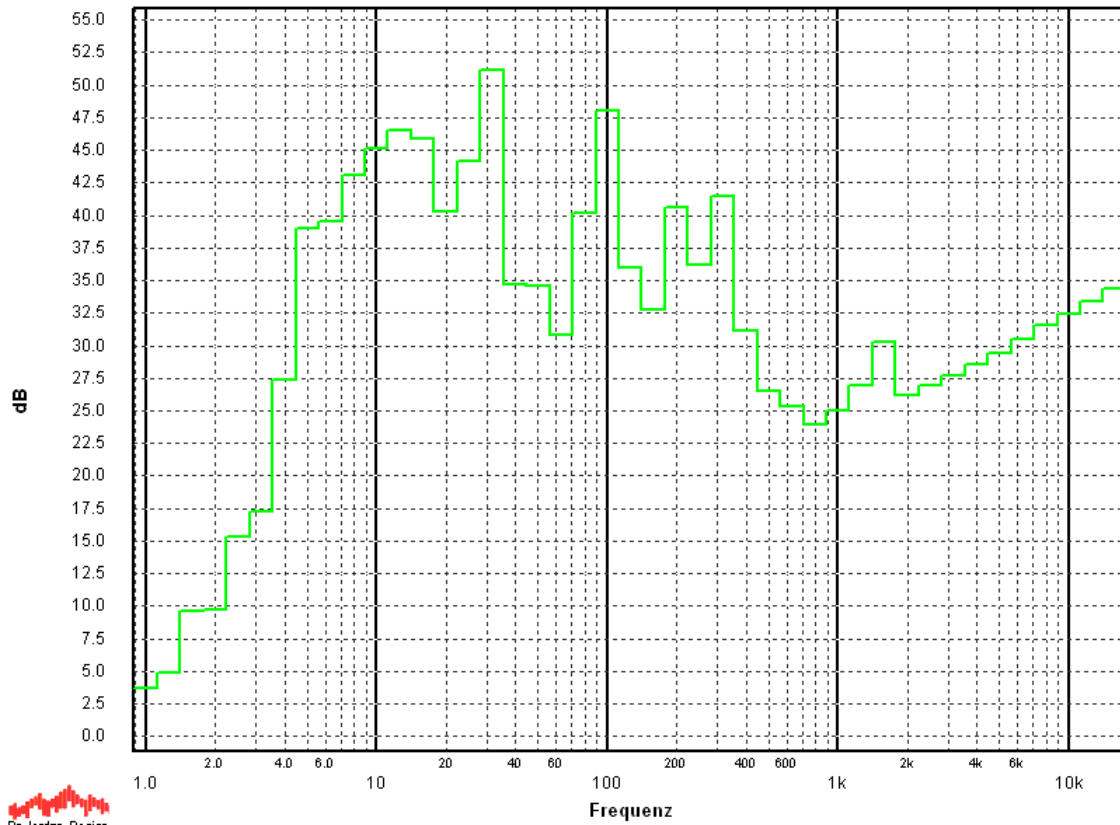
### SPL C Fast



## Terzspektren

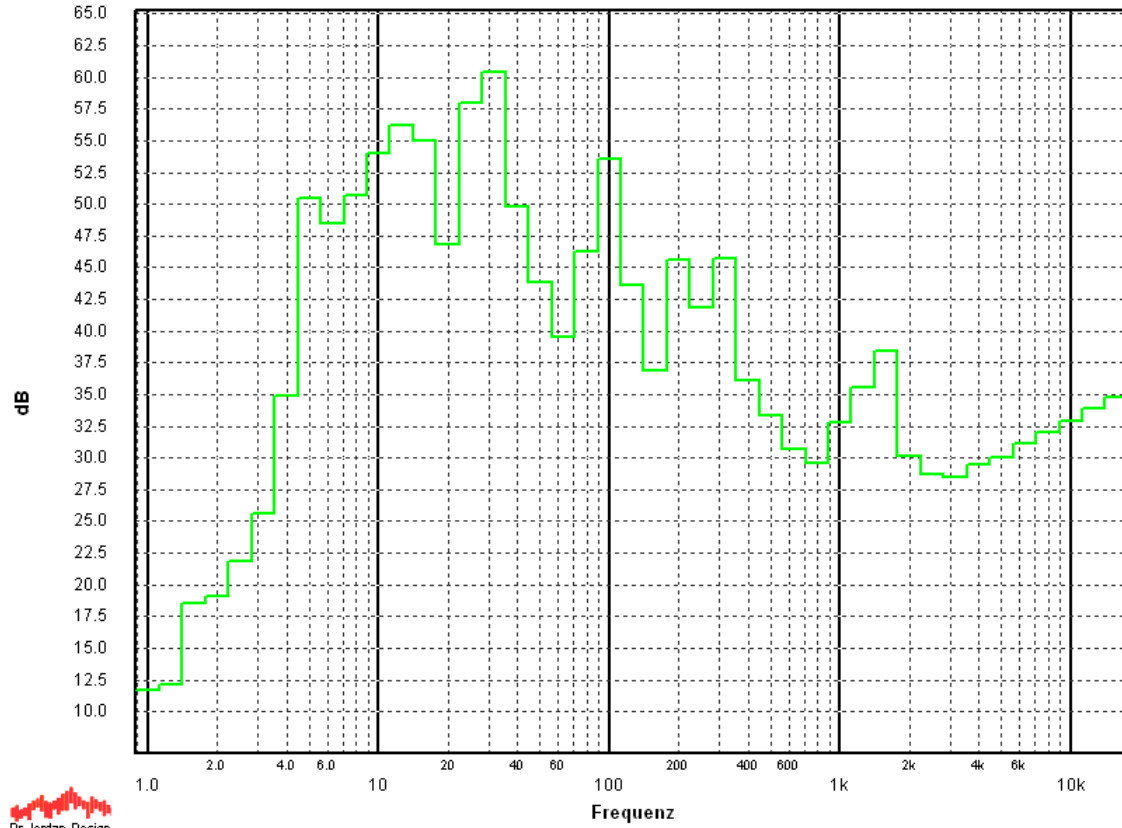
### *Mittleres Terzspektrum ohne Bewertung*

### *Mittleres Terz-Spektrum*



## Terzspektrum Peak Fast ohne Bewertung

### Terz-Spektrum Peak Fast





## Hintergrundwissen: wichtige Messgrößen

### Einzelmesswert $LAF(t)$

Beim Einzelmesswert handelt es sich um einen Schalldruckpegel, der zu einem bestimmten Zeitpunkt vom Messgerät erfasst und angezeigt wird. Man spricht dann auch von einem Momentan-Pegel. In schalltechnischen Gutachten oder Berichten erfolgt die Schallpegelangabe mit dem Buchstaben L gefolgt von Indizes welche die Bewertungen kennzeichnen.  $LAF(t)$  steht demnach für einen A-bewerteten (im Frequenzbereich) Schalldruckpegel. Eine zeitliche Bewertung (Mittelung) erfolgt mit der Einstellung F (fast=125ms)

### Maximalpegel $LAF_{max}$

Der Maximalpegel  $LAF_{max}$  kennzeichnet den höchsten Schalldruckpegel eines Einzelereignisses innerhalb eines Messzeitraumes. Er wird zur Kennzeichnung von kurzzeitigen Geräuschspitzen nach TA Lärm herangezogen.

### Mittelungspegel $L_{Aeq}$

Beim Mittelungspegel handelt es sich um einen durchschnittlichen, während der Messung auftretenden Schalldruckpegel, der aus den Einzelmesswerten nach DIN 45641 im zeitlichen Verlauf gebildet wird. Dabei handelt es sich um eine energetische Mittelung über einen gewissen Zeitraum. Er ist für die Einwirkzeit  $T_E$  die typische Kenngröße und wird als  $L_{Aeq}$  (energieäquivalenter Dauerschallpegel) angegeben.

### Beurteilungspegel $L_r$

Der Beurteilungspegel  $L_r$  ist ein aus dem Mittelungspegel umgerechneter Pegel, bei dem durch Pegelkorrekturen die Einwirkdauer, Ton- und Informationshaltigkeit, Impulshaltigkeit einzelner Schallquellen, der Anteil der Ruhezeiten und Störgeräusche sowie die Messunsicherheit zusätzlich berücksichtigt werden. Er wird als Beurteilungsgröße für die Lärmsituation mit den vorgegebenen Orientierungs-, Anhalts- oder Immissionsrichtwerten verglichen.