



# Was ist ES?

## Auf der Suche nach geeigneten Maßzahlen

Prof. Dr. Kerstin Giering  
HS Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld

# Inhalt

---

- Was haben wir? Der Äquivalente Dauerschallpegel
  - Definition
  - Stärken
  - Schwächen
  - Beispiele
- Was haben wir nicht?
  - Maximalpegel
  - Tieffrequente Geräusche
  - Innenpegel
- Ausblick/Fazit

---

# Was haben wir?

# Äquivalenter Dauerschallpegel

---

## Ziel

- Vergleich einer Immissionssituation mit einem Zielwert (Richtwert, Grenzwert)
- Eine Zahl zur Beschreibung der zeitlich veränderlichen Immissionssituation für einen bestimmten Zeitraum

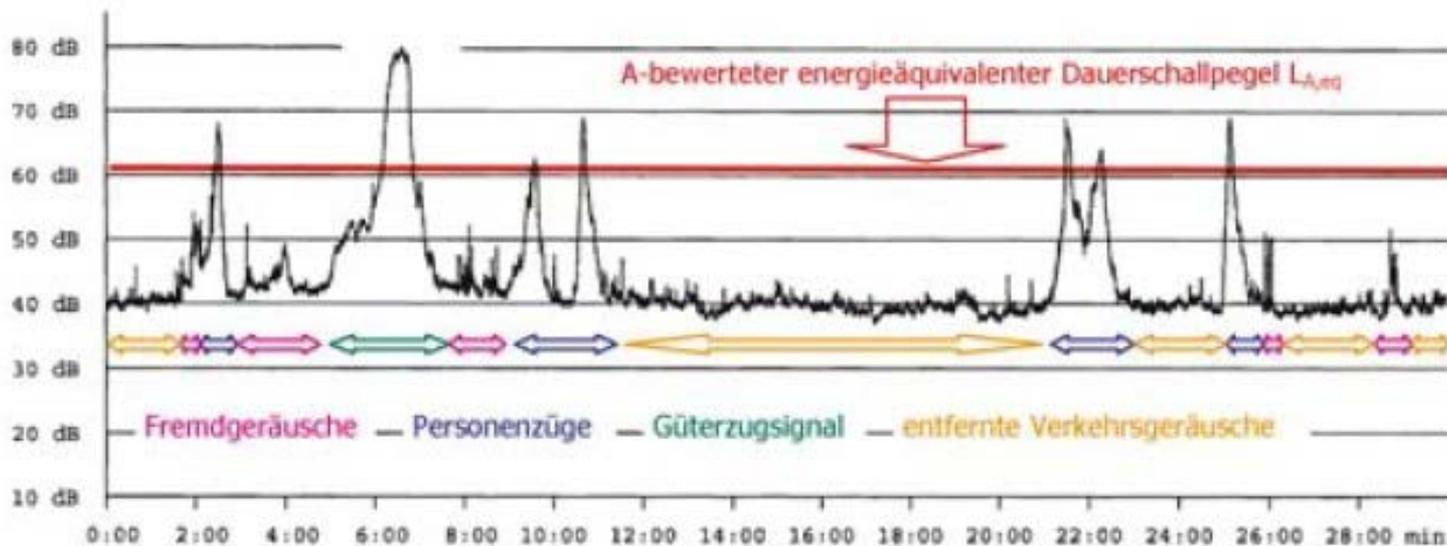
## Kernidee

- Akustische Situation durch Schalldruckpegel  $p(t)$  beschrieben
- Der Äquivalenter Dauerschallpegel ist hinsichtlich seiner im Zeitintervall transportierten Energie gleichwertig zum Energieeintrag des zeitlich schwankenden Geräuschs im gleichen Zeitraum

# Äquivalenter Dauerschallpegel

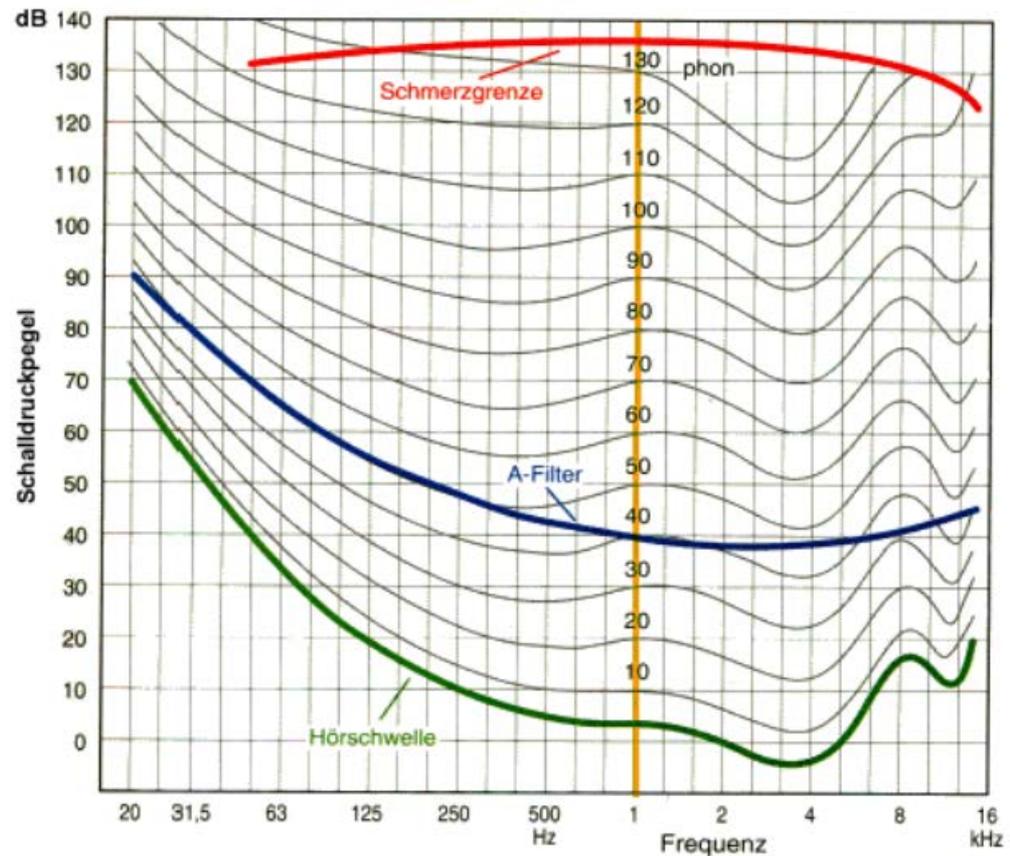
## Definition

$$L_{eq} = 10 \lg \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] dB$$



# $L_{Aeq}$ Frequenzbewertung

- Anpassung von Schallmessungen an das Hörempfinden
- A-Bewertung: entspricht den Kurven gleicher Lautstärkepegel bei ca. 20–40 phon



Quelle: ISO-Norm 226 (ergänzt)

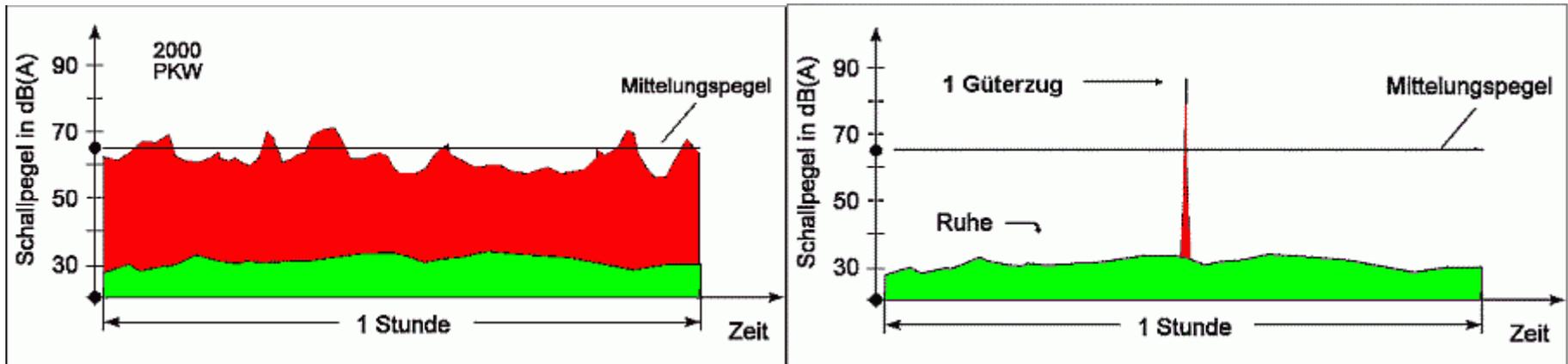
# Stärken

---

- $L_{Aeq}$  wird international verwendet
- Genormt (DIN 1320)
- Sowohl in Berechnungs- als auch in Messvorschriften
- I. d. R. Grundgröße in Lärmwirkungsstudien
- **Die** Größe im Immissionsschutzrecht ggf. ergänzt durch weitere Kriterien, bspw. NAT bei Fluglärm, Spitzenpegel bei Anlagenlärm
- Vergleichbarkeit von Lärmsituationen hinsichtlich ihrer **energetischen** Wirkung
- „Einfangen“ der zeitlichen Variabilität
- Anpassung an bestimmte Aspekte der Höreigenschaften (Kurven gleicher Lautstärke, Trägheitseigenschaften des Ohres bei Zeitbewertung „fast“)

# Schwächen

## Zeitstruktur



90 dB(A) für 20 Sekunden ergibt einen auf die Stunde bezogenen  $L_{Aeq}$  von 67,5 dB(A)

# Schwächen

---

- Beispiel
  - Zugvorbeifahrt mit 20 Sekunden Dauer und (konstanter) Vorbeifahrtpegel am Immissionsort von 80 dB(A)
  - Gesamt am Tag (6-22 Uhr): 96 Züge
- 3 Szenarien
  - a) Gleichverteilung: 6 Züge je Stunde
  - b) von 6-7 Uhr: 64 Züge, d.h. 64 Züge je Stunde  
von 20-22 Uhr: 32 Züge, d.h. 16 Züge je Stunde  
keine Vorbeifahrten zwischen 7 und 20 Uhr
  - c) von 6-7 Uhr: 32 Züge, d.h. 32 Züge je Stunde  
von 20-22 Uhr: 64 Züge, d.h. 32 Züge je Stunde  
keine Vorbeifahrten zwischen 7 und 20 Uhr

# Schwächen

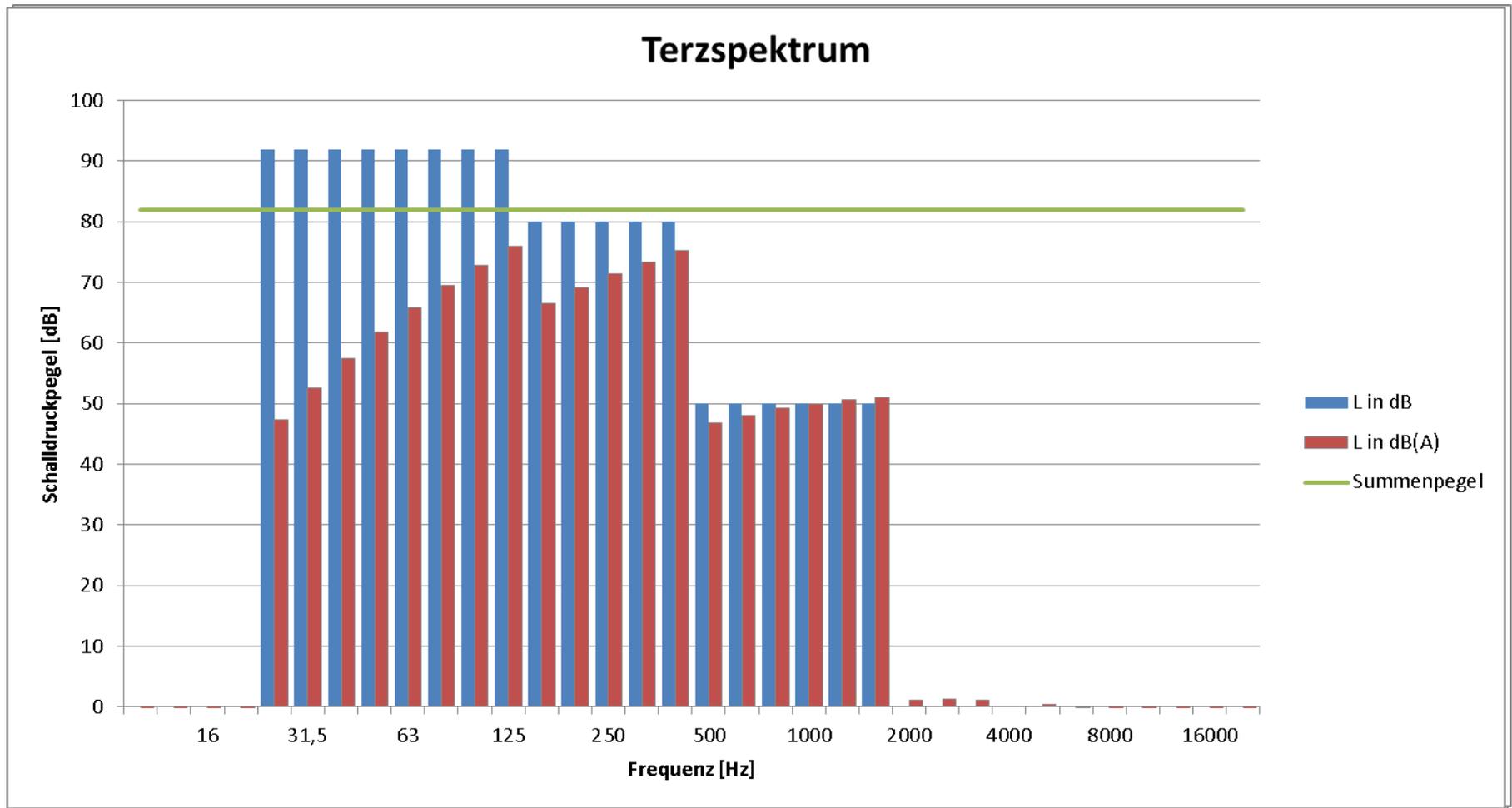
---

- Pegelwerte in dB(A) der Szenarien

Szenario	6-7 Uhr	7-20 Uhr	20-22 Uhr
<b>a</b>	65,2	65,2	65,2
<b>b</b>	75,5	0	69,5
<b>c</b>	72,5	0	72,5

- Gleicher  $L_{Aeq}$  (65,2dB(A)) für den Tag
- Wesentlich unterschiedliche Belästigung

# Schwächen



# Bezugszeitraum

---

- Tag: 16 Stunden -  $L_T$
- Nacht: 8 Stunden -  $L_N$
- Gesamtag: 24 Stunden –  $L_{24h}$
- Day, evening, night: 24 Stunden mit Wichtung -  $L_{DEN}$
- Lauteste Nachtstunde: TA Lärm in Deutschland

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

# Bezugszeitraum

---

- Beispiel Schiene: hoher Anteil GV nachts

$L_D$  (06-18 Uhr): 63,4 dB(A)

$L_E$  (18-22 Uhr): 64,4 dB(A)

$L_N$  (22-06 Uhr): 66,0 dB(A)

$L_T$  (06-22 Uhr): 63,7 dB(A)

$L_{24h}$  (00-24 Uhr): 64,6 dB(A)

$L_{DEN}$  (00-24 Uhr): 72,0 dB(A)

$L_{DEN} - L_{24h}$ : 7,4 dB

# Bezugszeitraum

---

- Beispiel Schiene: geringer Anteil GV nachts

$L_D$  (06-18 Uhr): 61,4 dB(A)

$L_E$  (18-22 Uhr): 62,5 dB(A)

$L_N$  (22-06 Uhr): 54,3 dB(A)

$L_T$  (06-22 Uhr): 61,7 dB(A)

$L_{24h}$  (00-24 Uhr): 60,3 dB(A)

$L_{DEN}$  (00-24 Uhr): 64,0 dB(A)

$L_{DEN} - L_{24h}$ : 3,7 dB

# Bezugszeitraum

---

- Beispiel Bundesautobahn (DTV 17.022 Kfz/24h)

$$M_D = 1.078 \text{ Kfz/h}, p_D = 12,1\%$$

$$M_E = 662 \text{ Kfz/h}, p_E = 7,5\%$$

$$M_N = 180 \text{ Kfz/h}, p_N = 20,2\%$$

$$L_D \text{ (06-18 Uhr): } 55,8 \text{ dB(A)}$$

$$L_E \text{ (18-22 Uhr): } 53,9 \text{ dB(A)}$$

$$L_N \text{ (22-06 Uhr): } 50,6 \text{ dB(A)}$$

$$L_T \text{ (06-22 Uhr): } 55,4 \text{ dB(A)}$$

$$L_{24h} \text{ (00-24 Uhr): } 54,3 \text{ dB(A)}$$

$$L_{DEN} \text{ (00-24 Uhr): } 58,5 \text{ dB(A)}$$

$$L_{DEN} - L_{24h}: 4,2 \text{ dB}$$

# Bezugszeitraum

---

- Beispiel Landesstraße (DTV 8.554 Kfz/24h)

$$M_D = 547 \text{ Kfz/h}, p_D = 1,9\%$$

$$M_E = 346 \text{ Kfz/h}, p_E = 0,9\%$$

$$M_N = 76 \text{ Kfz/h}, p_N = 2,2\%$$

$$L_D \text{ (06-18 Uhr): } 58,9 \text{ dB(A)}$$

$$L_E \text{ (18-22 Uhr): } 56,5 \text{ dB(A)}$$

$$L_N \text{ (22-06 Uhr): } 51,1 \text{ dB(A)}$$

$$L_T \text{ (06-22 Uhr): } 58,5 \text{ dB(A)}$$

$$L_{24h} \text{ (00-24 Uhr): } 57,1 \text{ dB(A)}$$

$$L_{DEN} \text{ (00-24 Uhr): } 60,2 \text{ dB(A)}$$

$$L_{DEN} - L_{24h}: 3,1 \text{ dB}$$

# Bezugszeitraum

- Beispiel Windelberg Schienenlärm  
(nahezu) gleicher  $L_{DEN}$
- 4 Szenarien
  - A: 520 GZ
  - B: 204 GZ
  - C: 452 GZ
  - D: 144 GZ

Szene	Day (06 - 18 Uhr)	Evening (18 - 20 Uhr)	Tag (06 - 22 Uhr)	Nacht (22 - 06 Uhr)	DEN (06 - 06 Uhr)
Szenario A	$L_{Day} = 66 \text{ dB}(A)$ 32 Güterzüge pro Stunde	$L_{Evening} = 66 \text{ dB}(A)$ 32 Güterzüge pro Stunde	$L_{Tag} = 66 \text{ dB}(A)$	$L_{Nacht} = 51 \text{ dB}(A)$ 1 Güterzug pro Stunde	$L_{DEN} = 67 \text{ dB}(A)$
Szenario B	$L_{Day} = 51 \text{ dB}(A)$ 1 Güterzug pro Stunde	$L_{Evening} = 66 \text{ dB}(A)$ 32 Güterzüge pro Stunde	$L_{Tag} = 60 \text{ dB}(A)$	$L_{Nacht} = 60 \text{ dB}(A)$ 8 Güterzüge pro Stunde	$L_{DEN} = 67 \text{ dB}(A)$
Szenario C	$L_{Day} = 66 \text{ dB}(A)$ 32 Güterzüge pro Stunde	$L_{Evening} = 51 \text{ dB}(A)$ 1 Güterzug pro Stunde	$L_{Tag} = 65 \text{ dB}(A)$	$L_{Nacht} = 60 \text{ dB}(A)$ 8 Güterzüge pro Stunde	$L_{DEN} = 67 \text{ dB}(A)$
Szenario D	$L_{Day} = 51 \text{ dB}(A)$ 1 Güterzug pro Stunde	$L_{Evening} = 51 \text{ dB}(A)$ 1 Güterzug pro Stunde	$L_{Tag} = 51 \text{ dB}(A)$	$L_{Nacht} = 63 \text{ dB}(A)$ 16 Güterzüge pro Stunde	$L_{DEN} = 68 \text{ dB}(A)$

Windelberg: 24h-Mittelungspegel  $L_{DEN}$  und nächtlicher Schienen-Güterverkehr April 2011 (mittl@rh3b\_LDEN)

# Spielraum der Berechnungsvorschriften

- Beispiel TA Lärm: Unterschiedliche Einstellungen bei der Berechnung möglich
- Bodeneffekt: alternatives Verfahren oder Zahlenwert – wie detailliert?
- Verwendung von Spektren oder pauschaler Wert von 500Hz
- Berücksichtigung der Meteorologie:  $C_{met}$  ( $C_0=0$ ,  $C_0=2$ , lokale Windstatistik)

	C0=0, alt., spektr.	C0=0, G=0,2, spektr.	C0=2, alt., spektr.	C2=0, G=0,2, spektr.	C0=0, 500Hz	C0=2, 500Hz	Wind, G=0,2, spektr.	Wind, alt., 500Hz	Delta, max.
IO 01	52,5	55,8	51,6	54,8	53,6	52,6	54	48	7,8
IO 02	57,8	60,0	57,4	59,7	58,6	58,2	58	53	7,0

---

# Was haben wir nicht?

# Maximalpegel

---

- Straßenverkehrslärm  
Bei Straßen mit mittleren und hohen Verkehrsaufkommen (geringe Schwankungsbreite des Pegels) ist der  $L_{Aeq}$  i. d. R. zur Beschreibung der akustischen Situation (gut) geeignet
- Fluglärm/Schienenverkehrslärm  
Ausgeprägte Pegelspitzen bei Überflügen/Vorbeifahrten  
Besonders störend im Nachtzeitraum (Aufwachreaktionen)  
Deshalb Fluglärm in Deutschland: NAT-Kriterium (number above threshold)

# Maximalpegel

---

- NAT-Kriterium

Maximalpegel von 53 dB(A) darf höchstens 6 mal pro Nacht überschritten werden

Kein wirkliches Maximalpegelkriterium: Höhe des Maximalpegels nicht begrenzt

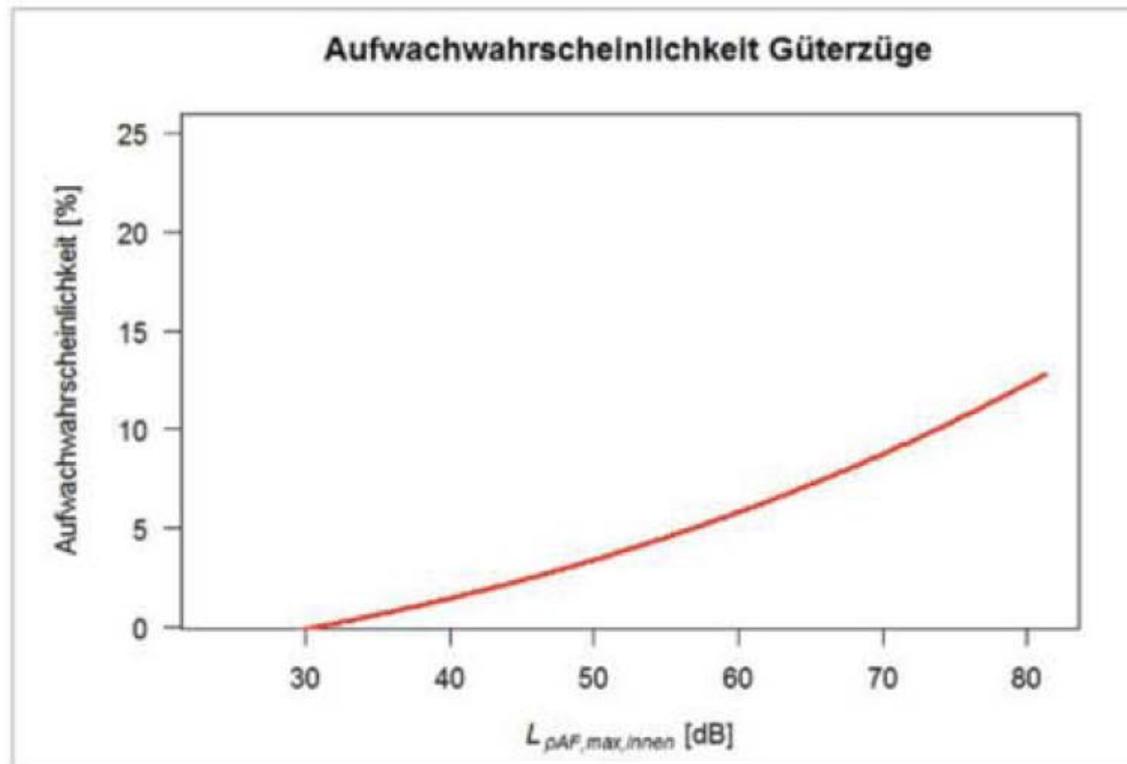
Zeitstruktur (Maximalpegelverteilung) nicht berücksichtigt: 6

Überflüge zwischen 22 und 23 Uhr sind aus Sicht der

Wirkungsforschung nicht mit 6 Überflügen zwischen 5 und 6 Uhr oder einem Überflug alle 80 min. vergleichbar

# Maximalpegel

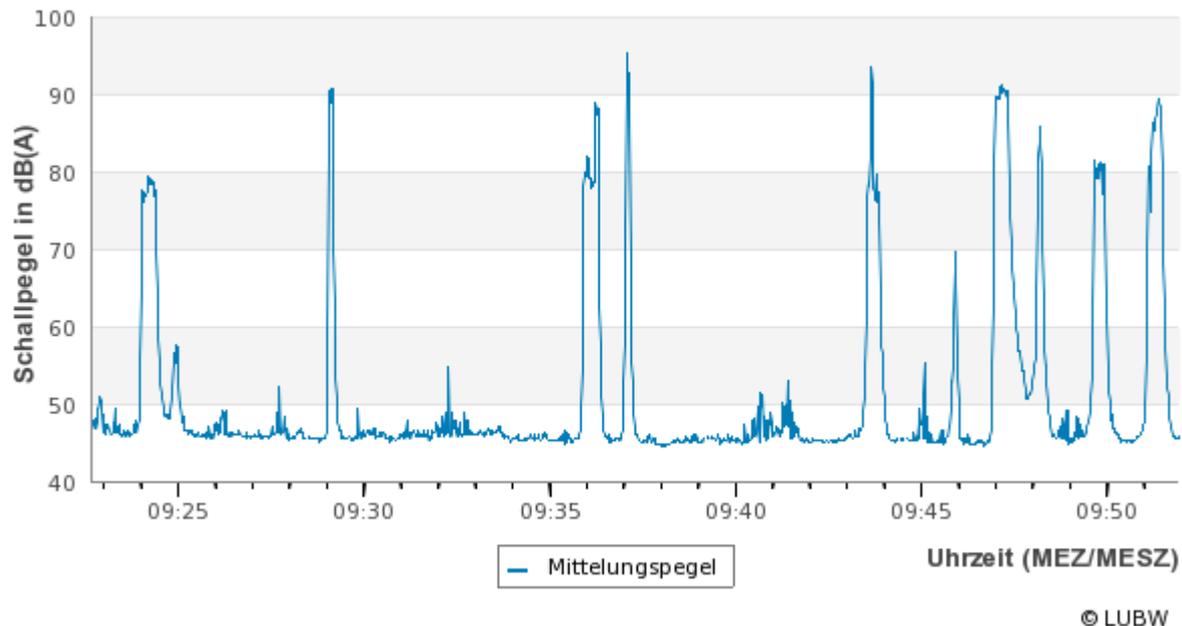
- Notwendigkeit eines Maximalpegelkriteriums bei Schienenlärm  
Zunahme der lärminduzierten Aufwachreaktionen ab ca. 30 dB(A)  
Innenpegel



Quelle: Möhler et al. 2018

# Maximalpegel

- Hohe Vorbeifahrtpegel und insbesondere bei Güterzügen Geräuschspitzen durch klappernde Aufbauten, Überfahren von Stoßstellen



Quelle: LUBW

# Maximalpegel

- Vorschlag Möhler (NORAH)

- Bildung des mittleren maximalen Schalldruckpegels auf Basis des Emissionspegels  $L_{m,E}$  nach VBUSch

$$\overline{L_{AF,max,Zug}} = L_{m,E} + 10 \lg \left( \frac{1000 * \overline{v_{Zug}}}{l_{Zug} * n} \right) dB$$

- Berechnung des mittleren maximalen Schalleistungspegels auf Gleismitte unter Annahme der geometrischen Dämpfung  $A_{div}$  einer halbzyylinderförmigen Linienschallquelle, unter Berücksichtigung des Raumwinkelmaßes  $D_{\Omega}$  und des Richtwirkungsmaßes  $D_I$  (ISO 9613-2)

$$\overline{L_{WA,max,Quelle}} = \overline{L_{AF,max,Zug}} + A_{div} - D_{\Omega} - D_I$$

- Schallausbreitungsberechnung für die kürzeste Entfernung zwischen Emissions- und Immissionsort  
Position der Linienschallquelle wird entlang des gesamten Gleises durchiteriert  
Aufsummation über die gesamte Zuglänge  
Mithilfe der  $L_{WA,max}$ -Emission und der Ausbreitungsverluste Bestimmung des „Pegelzeitverlaufs“ mit seinem Maximum

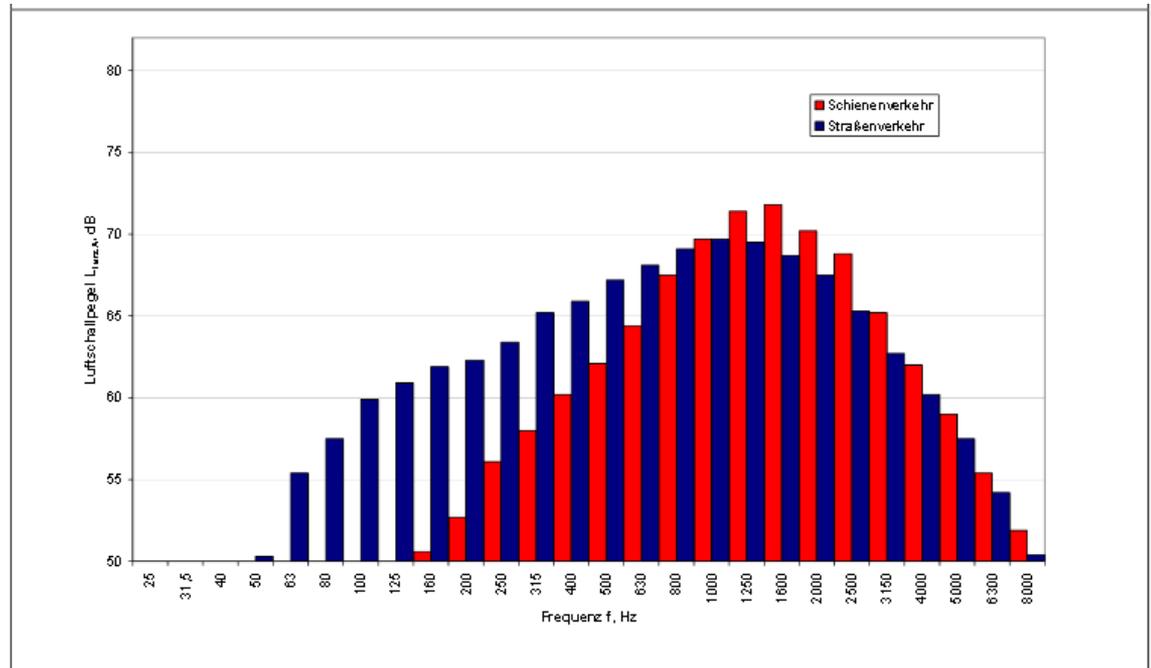
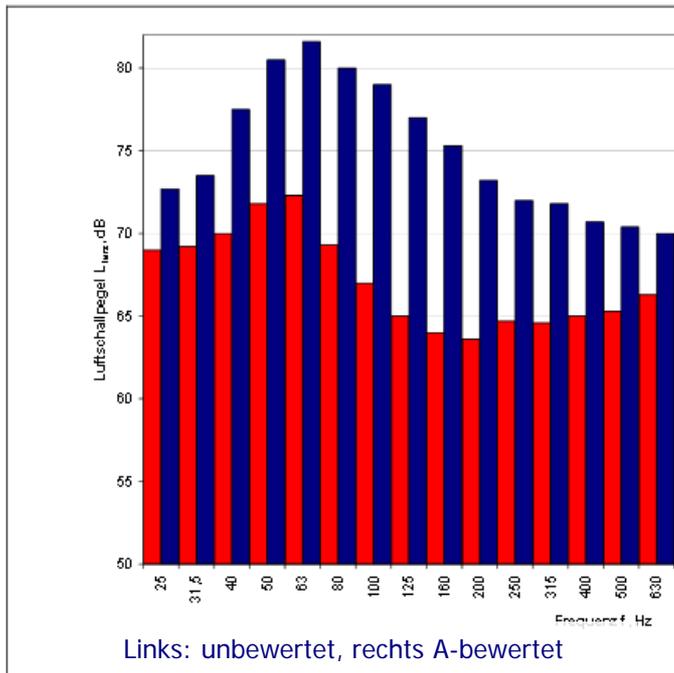
# Tieffrequente Geräusche

---

- Tieffrequenter Schall: bis 140 Hz (Terzmitte 125 Hz) (DIN 45680 Entwurf 2013, Stand 1997 bis 80Hz)
- Tieffrequente Schalle werden weniger gut gehört, sondern auch „gefühl“
- Keine Differenzierung des Geräuschklangs („Brummen“)
- Höhere Störwirkung oberhalb der Hörschwelle (Verdopplung der Lautstärkeempfindung bei 5 dB-Zunahme)
- Geringere Dämpfung, größere Reichweite der tieffrequenten Geräuschanteile
- Geringe Schalldämmung von Bauteilen
- Interferenzen und Resonanzen in Räumen

# Tieffrequente Geräusche

- Im Immissionsschutz  
Keine Berücksichtigung im Verkehrslärm (Straße)



Quelle: UBA-Texte 23/2010

- Keine Grenz- oder Richtwerte

# Tieffrequente Geräusche

- Prüfung/Berücksichtigung nach TA Lärm
  - Prüfkriterium:  $L_A - L_C > 20$  dB (DIN 45680-E (2013): 15 dB)
  - Terzanalyse
  - Ermittlung einer Überschreitung für die Wahrnehmungsschwelle
  - Ermittlung der Kenngröße H für tiefe Frequenzen über Lautheitsspektrum

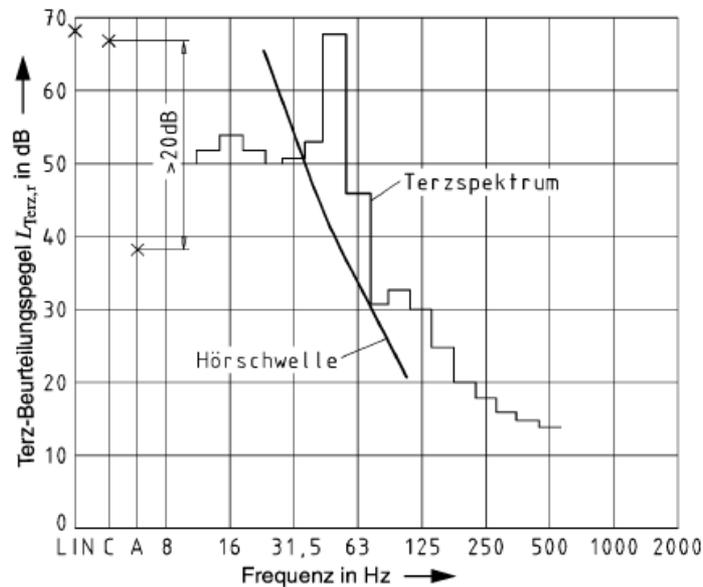
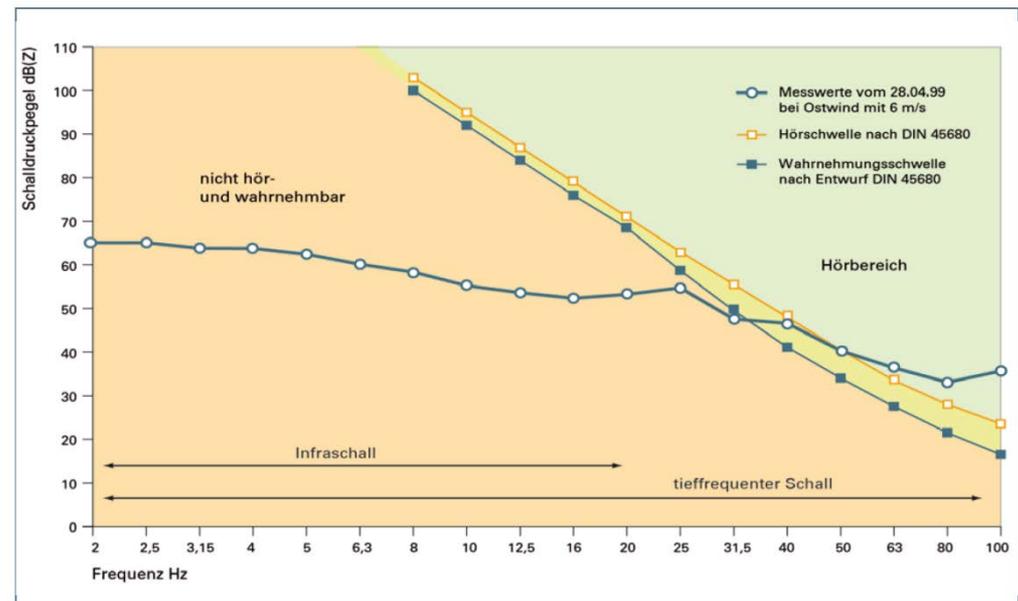


Bild A.1: Tonhaltiges tieffrequentes Geräusch

Quelle: DIN 45680 (1997)



LfU Bayern: WEA – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit, 2014

# Tieffrequente Geräusche

## • Erfassung

- In der Prognose:  
Keine spezifische Ausbreitungsrechnung

ISO 9613

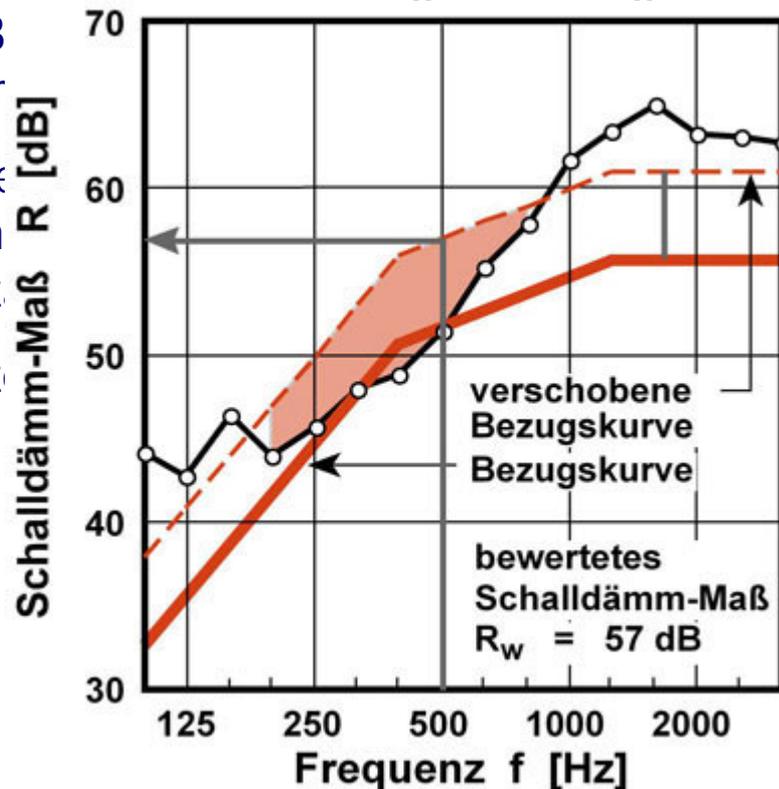
Für Inner

- Messung

Im Innen

Frequenz

- Frequenz



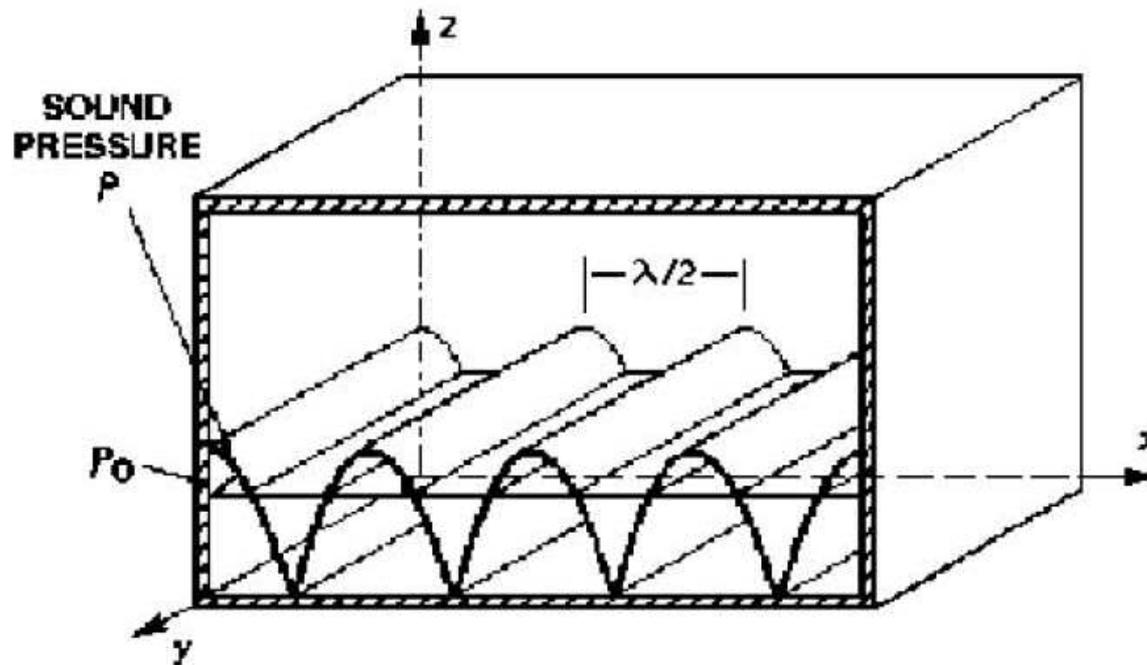
von 63 Hz bis 8kHz

im Außenbereich wegen  
der Außenbauteile

von 150Hz

# Tieffrequente Geräusche

- Messungen im Innenraum
  - Ausgeprägte Raummoden führen zu starken Pegelunterschieden



- Welche Messposition ist die adäquate (bspw. maximaler Pegel, Mittelung über mehrere Raumpositionen, bestimmte Raumpunkte)

Quelle: Bruel&Kjaer

# Innenraumpegel

---

- I. d. R. Ableitung des Innenraumpegels aus dem berechneten (oder gemessenen) Außenpegel
- DIN 4109: Schutzanspruch innen, daraus Anforderungen an das Schalldämmmaß in Abhängigkeit vom maßgeblichen Außenlärmpegel
- Simultane Messungen außen und innen sind aufwändig, i. Allg. nur bei Schlafstudien (wenn überhaupt)
- Berechnung des Innenpegels bspw. nach VDI 2719

$$L_i = L_a - R'_{w,res} + 10 \cdot \lg \frac{S_g}{A} + K + W$$

K: Korrektursummand, der sich aus dem Spektrum des Außengeräuschs und der Frequenzabhängigkeit des Schalldämmmaßes ergibt

K=0 für Bahnstrecken mit überwiegend Personenverkehr

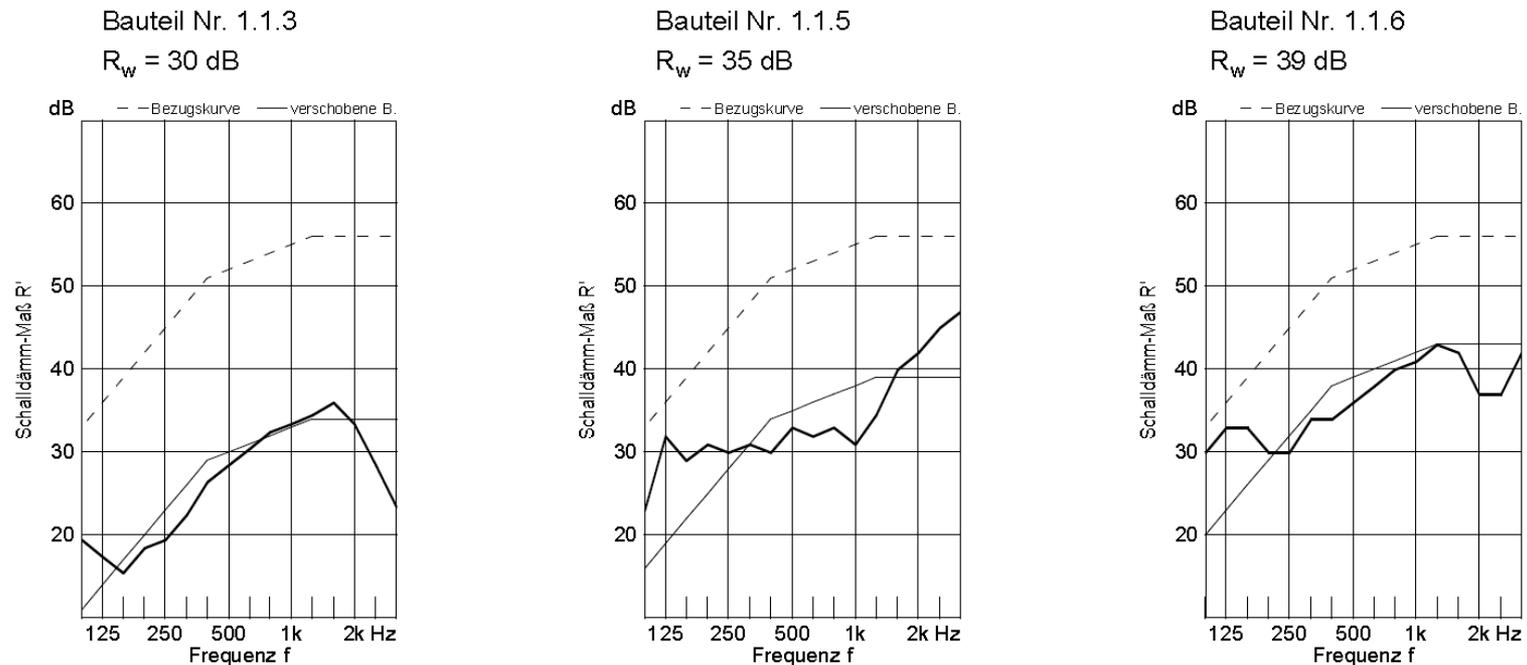
K=3 für übrige Bahnstrecken und nichtinnerstädtische Straßen

K=6 für innerstädtische Straßen

# Innenraumpegel

- Pauschalisierung des Spektrums der Bauteile ist nur grobe Näherung

Tab. 4.3: Spektren Verglasungen und Fenster



Quelle: LfU Bayern: Gewerbelärm, Kenndaten und Kosten von Schutzmaßnahmen

# Innenraumpegel

- Berücksichtigung des gekippten Fensters  
10dB? 15dB?

Zu öffnen [m x m]	Öffnungsweite [cm]	Schalldämm-Maß [dB]
0,8 x 2,5	8	9,3
	4	12,1
0,8 x 1,5	8	11,0
	4	13,7
0,4 x 2,5	8	10,3
	4	12,8
0,8 x 0,4	8	14,3
	4	16,7

Quelle: Hafencity Hamburg GmbH: Schallschutz bei teilgeöffneten Fenstern; Gesamtfläche des Fensters 0,8mx2,5m

- Und wo genau haben wir den Innenpegel?  
Am Ohr des Schlafers? In der Raummitte? Am Fenster?
- Hingegen bei Außenlärmpegel: festgelegte Position

---

# Ausblick / Fazit

# Ausblick/Fazit

---

- Es wäre schön, wenn der Beurteilungspegel berücksichtigen könnte
    - Geräuschcharakteristika  
Maximalpegel mit deren Häufigkeiten, Verteilungen und Pegelanstiegszeiten  
Dynamik  
Frequenzzusammensetzung
    - Charakteristika der Hörwahrnehmung  
Lautheitsempfinden  
Verdeckungseffekte  
Anteile hoher Frequenzen (Schärfe)  
Schwankungen der Lautheit (Rauigkeit)  
Tonhaltigkeit  
Informationshaltigkeit
    - Einwirkungscharakteristika  
Schutzanspruch sensibler Tageszeiten  
Tatsächlicher Aufenthaltsort  
Außen- oder Innenpegel
  - Und das möglichst als Einzahlwert!
-

# Ausblick/Fazit

---

- Bei Geräuschen mit hohen Pegelspitzen (Schiene, Fluglärm): Ergänzend zum  $L_{Aeq}$  ein Maximalpegelkriterium
- Bei Lärmwirkungsstudien: Sorgfältige Auswahl der Metrik vorab, genaue Dokumentation
- Schalltechnische Begutachtung: Dokumentation aller Berechnungseinstellungen Verbindliche Hinweise zu Berechnungseinstellungen wären sinnvoll
- Aber ansonsten: Besser mehr Umsetzung von Lärmschutzmaßnahmen als Diskussionen über das Pegelmaß
- Trauerspiel Deutschland (Rheinland-Pfalz, Saarland) Umsetzung von Tempo 30 Einbau lärmoptimierter Asphalte Stand der Technik der Berechnungsvorschriften (RLS-90)

---

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!