

# Vorschlag zur Bildung eines Beurteilungspegels für gebäudetechnische Anlagen – Teil 2

Henning Alpei<sup>1</sup>, Thomas Hils<sup>2</sup>, Karsten Köhler<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Akustikbüro Göttingen GbR, Bunsenstraße 9c, 37073 Göttingen, Germany, Email: alpei@abgt.de

<sup>2</sup> hils consult gmbh, Kolpingstr. 15, 86916 Kaufering, Germany, Email: info@hils-consult.de

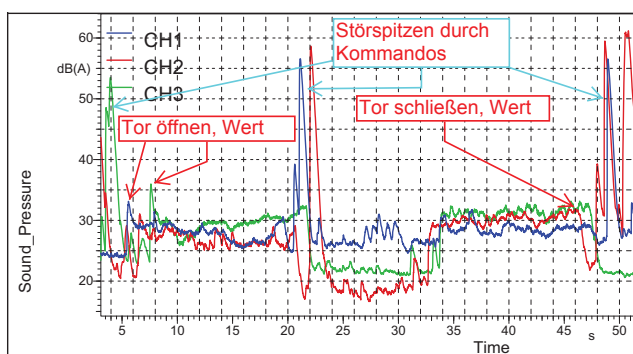
<sup>3</sup> Akustikbüro Göttingen GbR, Bunsenstraße 9c, 37073 Göttingen, Germany, Email: koehler@abgt.de

## Einleitung

Im ersten Teil dieses Vortrags [1] wurden die Motivation und die Grundlagen für das Verfahren zur Bildung eines Beurteilungspegels für Gebäude technischer Anlagen dargestellt. Nun sollen in einem zweiten Teil auf die durchgeführten praktischen Auswertungen der unterschiedlichen generierten und am Bau gemessenen Geräusche eingegangen werden. Für einerseits künstlich generierte Geräusche und andererseits aus der Messpraxis stammenden aufgenommenen Geräuschen werden die Ergebnisse der messtechnischen Analysen dargestellt. Auf Grundlage dieser Größen wird die Auswertung der beiden Vorschläge für den  $L_{r,GTA}$  genannten Beurteilungspegels dargestellt und für die unterschiedlichen Beurteilungszuschlägen (vergleiche DIN 45645-1:1996-07) [2] wie Takthaltigkeit, Tonhaltigkeit, Vorhandensein tieffrequenter Immissionen systematisch untersucht.

Im Vorfeld wurden dazu zahlreiche vorliegende Aufnahmen der letzten 10 Jahre aus der Büropraxis von typischen Geräuschen analysiert. Wichtig war, eine Auswahl der Signale zu treffen, die messtechnisch einwandfrei waren, also z. B. nicht durch Fremdgeräusche beeinträchtigt waren.

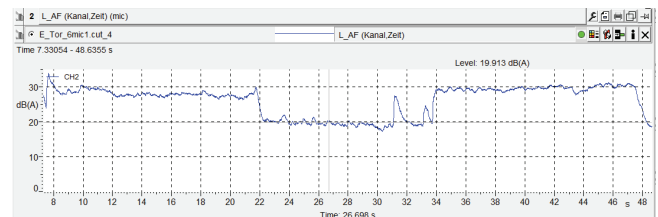
Ein solches typisches Geräusch aus der Praxis ist in Abbildung 1 dargestellt. Das Störpotenzial dieses Geräusches lag vor allem in dem tonhaltigen Antriebsgeräusch, während der Motoranlaufimpuls zwar auch deutlich war, aber insgesamt weniger lästig von den Betroffenen wahrgenommen wurde.



**Abbildung 1:** Typischer Pegelverlauf der Messung eines elektrischen Rolltores in einem betroffenen Wohnraum, unbearbeitet, drei Mikrofonkanäle (unterschiedliche Positionen) gleichzeitig

Im obigen Beispiel ist die Funk-Kommunikation der Messtechniker allerdings das lauteste Ereignis. Die Geräusche

mussten also zunächst entsprechend nachbearbeitet (ausgeschnitten werden). Den Pegelschrieb eines so bearbeiteten Signal zeigt die Abbildung 2

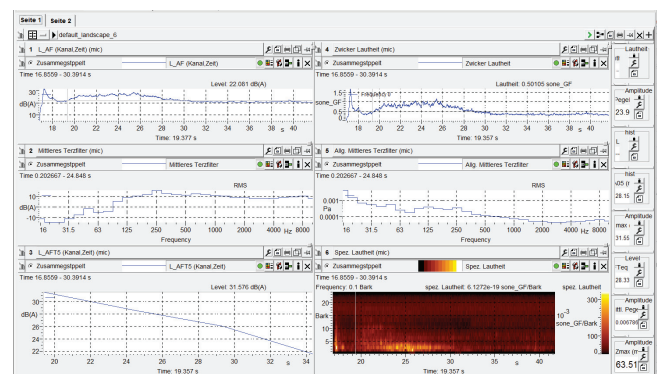


**Abbildung 2:** Typischer Pegelverlauf der Messung eines elektrischen Rolltores, bearbeitet

## Untersuchungsmethode

Es wurden zunächst die typischen Eigenschaften der Geräusche kategorisiert, um diese Eigenschaften in zu generierenden Testsignalen zu implementieren.

In der Voruntersuchung wurden deutlich mehr Pegelwerte bestimmt und auch Lautheit und die Tonhaltigkeit bestimmt. Auch die Terzspektren und der Verlauf der Lautheit bzw. der spezifischen Lautheit dargestellt und so eine gute Übersicht über die verschiedenen Pegelgrößen erhalten. Als Beispiel der Auswertung ein typisches Auswertungsblatt mit dem Analyseprogramm *si++ workbench* eines WC-Geräusches (Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Typisches Auswertungsblatt der Messung eines WC-Geräusches mit *si++ workbench*

Die detailliert Untersuchung der tatsächlichen Geräusche führte dann auf das Erfordernis, künstliche Signale mit den typischen zu synthetisieren um so systematisch die Störeeigenschaften und die Bewertung mit einem Beurteilungspegel zu untersuchen. Dazu wurden typische Signalverläufe für die drei wichtigen Signalklassen herge-

stellt und in gleicher Art wie die tatsächlichen Signale ausgewertet.

- transiente Signale (Impuls) → Fahrstuhl
- stochastische Signale (Rauschen) → Lüftungsgerät
- Tonsignale (Grundfrequenz mit Obertönen) → Garagentor

Alle Signale wurden zunächst so gewählt, dass die jetzige Bewertung nach  $L_{AF,max,n}$  dB nicht zu Überschreitungen im Sinne der DIN 4109-1:2016-07 [3] führen sollte, sondern die Wirkung der Zuschläge zur Bildung des Beurteilungspegels ggf. zu Überschreitungen führen sollte:

- Erzeugung eines 60s rosa Rauschens mit  $L_{AF} = 10$  dB als Hintergrundpegel,
- darauf addiert ein 30s rosa Rauschen mit Pegeln von  $L_{AF} = 20 - 30$  dB oder eine Sinuston (300 Hz) mit Pegeln von ebenfalls  $L_{AF} = 20 - 30$  dB jeweils als Geräusch der gebäudetechnischen Anlage
- ebenfalls aufaddiert ein Impuls mit unterschiedlichen Pegeln von  $L_{AF} = 28 - 30$  dB

Die Abbildung 4 zeigt den Pegelverlauf der generierten Signale.

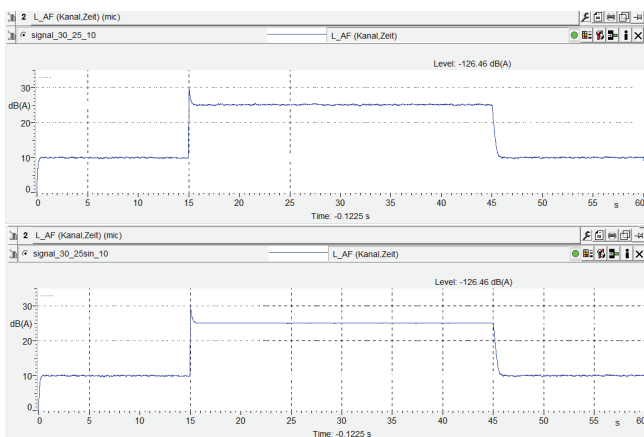


Abbildung 4: Rauschen mit  $L_{AF} = 25$  dB , Impuls mit  $L_{AF} = 30$  dB und Sinuston (300 Hz) mit Pegel von ebenfalls  $L_{AF} = 25$  dB, Impuls mit  $L_{AF} = 30$  dB

Erst die Auswertung mit Frequenzanalyse zeigt die Unterschiede der Signale Ton und Rauschen (vergleiche Abbildung 5 und 6). Dort dargestellt sind links oben der zeitliche Pegelverlauf  $L_{AF}$  und rechts oben der Zeitverlauf der Lautheit. in der Mitte links das A-bewertete Terzspektrum und in der Mitte rechts das unbewertete Terzspektrum. Unten links ist der Zeitverlauf des  $L_{AF,T}$  in 5s-Takten dargestellt und rechts unten der Zeitverlauf der spezifischen Lautheit.

Für alle untersuchten Geräusche wurden die hier vorgenommene Auswertung die folgenden Messwerte ermittelt:

- $L_{AF,max}$  Pegelmaximum des A- und F-bewerteten Signals
  - $L_{AF,eq}$  energieäquivalenter A-bewerteter Mittelungspegel
  - $L_{AF,Teq}$  Taktmaximalpegel
  - $L_{CF,eq}$  energieäquivalenter A-bewerteter Mittelungspegel
- Der Tonhaltigkeitszuschlag wurde entsprechend

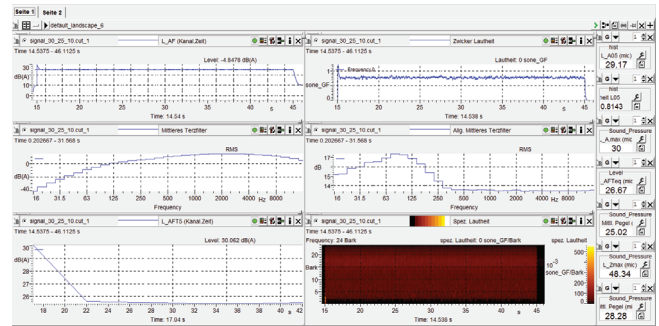


Abbildung 5: Analyse des künstlichen Signals mit Rauschen  $si^{++}$  workbench

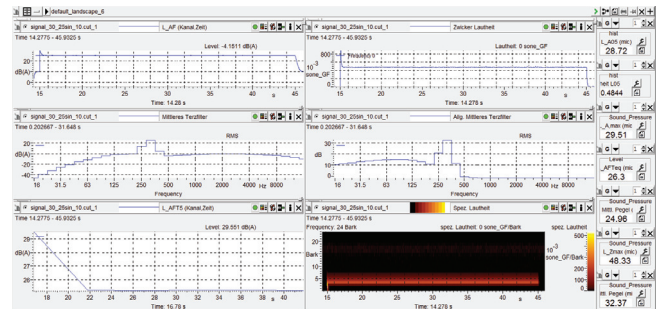


Abbildung 6: Analyse des künstlichen Signal mit Ton mit  $si^{++}$  workbench

DIN 45681:205-03 [5] ermittelt und auch subjektiv durch Anhören überprüft.

## Randbedingungen zur Beurteilung

Es sollte mit dem Beurteilungsverfahren einerseits die zur Zeit vorgenommene Beurteilung konsistent mit berücksichtigt werden. Dabei führt erfahrungsgemäß das Kriterium, nur den höchsten Pegelwert mit einem Richtwert von  $L_{AF,max,n} = 30$  dB zu vergleichen zu einer relativ scharfen Bewertung von kurzen Impulsen, die selten auftreten, obwohl sie häufig gar nicht so stark stören, wie eine Reihe von Impulsen, die über längere Zeit häufig auftreten. Zum Vergleich: Die TA Lärm [4] z. B. nennt für nachts einen um 5 dB höheren Richtwert.

Andererseits sollten Geräusche, die nach TA Lärm ohne Zuschläge den Richtwert von  $L_{AF,eq} = 25$  dB unterschreiten auch bei der Beurteilung als gebäudetechnischen Anlagen gerade nicht zur Überschreitung führen. Eine Lösungsmöglichkeit wäre, zwei unterschiedliche Richtwerte für Impulse oder für gleichmäßige Geräusche zu definieren. Dies scheint aber nicht unbedingt erforderlich, wenn man das Maximalpegelkriterium in Form einer Berücksichtigung der Impulshaltigkeit oder der energetischen Auswirkung des Maximalpegels einbezieht. Dies führte auf die folgen beiden Vorschläge zu Definition des Beurteilungspegels.

## Vorschlag 1 für den Beurteilungspegel:

Es ist die energetische Summe aus den A- und F-bewerteten gemessenen Standard-Maximalpegel  $L_{AF,max,nT}$  und dem ggf. mit Zuschlägen versehenen

energieäquivalenten Standard Schalldruckpegel  $L_{AFeq,nT}$  zur Beurteilung heranzuziehen.

$$L_{r,GTA1} = (L_{AFmax,nT}) \oplus (L_{AFeq,nT} + K_T + K_{If})$$

bzw.

$$L_{r,GTA1} = 10 \cdot \lg \left( 10^{L_{AFmax,nT}/10} + 10^{(L_{AFeq,nT} + K_T + K_{If})/10} \right) \quad (1)$$

mit:

$L_{r,GTA1}$  = Beurteilungspegel für gebäudetechnische Anlagen nach diesem Memorandum / dieser Empfehlung

$\oplus$  = energetische Pegeladdition

$L_{AFmax,nT}$  = Maximaler A- und F-bewerteter gemessener Pegel des Geräusches bezogen auf eine Nachhallzeit von  $T = 0.5$  s, ggf. korrigiert um den Störgeräuscheinfluss

$L_{AFeq,nT}$  = A- und F-bewerteter Mittelungspegel über die Einwirkdauer des Geräusches gemessenen bezogen auf eine Nachhallzeit von  $T = 0.5$  s, ggf. korrigiert um den Störgeräuscheinfluss

$K_T$  = Zuschlag für Tonhaltigkeit

$K_{If}$  = Zuschlag für tieffrequente Immissionen (low frequencies)

**Messdauer:** Ein vollständiger Betriebszyklus. Sofern technisch nicht möglich oder nicht sinnvoll, ist ein das Geräusch kennzeichnender Zeitabschnitt zu wählen. Als evtl. nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass ggf. ein sehr lang anhaltendes leises Geräusch eine relativ lauten enthaltenen Impuls im Pegel soweit reduzieren könnte, dass durch sehr langes Messen der Beurteilungspegel verändert werden könnte.

### Vorschlag 2 für den Beurteilungspegel:

Es ist der A- und F-bewertete gemessene energieäquivalente Standard Schalldruckpegel  $L_{AFeq,nT}$  – ggf. mit Zuschlägen versehen – auf  $T_r = 30$  s Beurteilungszeit bezogen heranzuziehen.

$$L_{r,GTA2} = 10 \cdot \lg \left( \frac{T_e}{T_r} \cdot 10^{(L_{AFeq,nT} + K_I + K_T + K_{If})/10} \right) \quad (2)$$

mit:

$L_{r,GTA2}$  = Beurteilungspegel für gebäudetechnische Anlagen nach diesem Memorandum / dieser Empfehlung

$L_{AFeq,nT}$  = A- und F-bewerteter Mittelungspegel über die Einwirkdauer des Geräusches gemessenen,  $T = 0.5$  s, ggf. korrigiert um den Störgeräuscheinfluss

$T_r$  = Beurteilungszeit 30 s

$T_e$  = Messzeitraum, bzw. Einwirkzeitraum innerhalb Beurteilungszeit 30 s

$K_I$  = Zuschlag für Impulshaltigkeit

$K_T$  = Zuschlag für Tonhaltigkeit

$K_{If}$  = Zuschlag für tieffrequente Immissionen (low frequencies)

**Messdauer:** Ein vollständiger Betriebszyklus und zur Auswertung der 30 s Abschnitt mit dem höchsten  $L_{r,GTA2}$  zugrunde zu legen (gleitend oder feste Abschnitte noch zu klären).

## Ergebnisse

Die Pegelwerte für die künstlichen Signale sind in der Abbildung 1 dargestellt. Die berechneten Beurteilungspegel und die Bewertung anhand der vorgeschlagenen Richtwerte sind in Tabelle 2 angegeben.

Nr	Vorgang	$T_e$	$L_{AF,max}$	$L_{AF,eq}$	$L_{AFT,eq}$	$L_{CFeq}$	$K_T$	$K_I$	$K_{Z,30s}$
161	30-20-sin10	32	29,65	20,38	23,97	28,4	6	3,6	0,0
162	30-20-10	32	29,99	20,41	24,24	25,4	0	3,8	0,0
163	30-25-10	32	30	25,02	26,67	28,3	0	0,0	0,0
163a	30-25-10	5	30	25	26,67	28,3	0	0,0	-7,8
164	30-25-sin10	32	29,51	24,96	26,3	32,37	6	0,0	0,0
165	28-20-10	32	27,97	20,34	23,12	24,74	0	2,8	0,0
166	28-20-sin10	32	27,62	20,32	22,82	27,91	6	2,5	0,0
167	28-25-10	32	28,07	25	26,08	27,82	0	0,0	0,0
168	28-25-sin10	32	27,46	25	25,69	32,45	6	0,0	0,0

**Tabelle 1:** Tabelle der Pegelwerte für die künstlich erzeugten Signale

Nr	Vorgang	$L_{r,GTA1}$	$L_{r,GTA2}$	$L_{AFmax}$	$L_{r,GTA1}$	$L_{r,GTA2}$	$L_{r,GTA2} > 25$ ODER $L_{AFmax} > 30$
				> 30	> 30	> 25	
161	30-20-sin10	31,3	30,0	nein	ja	ja	ja
162	30-20-10	30,4	24,2	nein	ja	nein	nein
163	30-25-10	31,2	25,0	nein	ja	ja	ja
163a	30-25-10	31,2	17,2	nein	ja	nein	nein
164	30-25-sin10	33,3	31,0	nein	ja	ja	ja
165	28-20-10	28,7	23,1	nein	nein	nein	nein
166	28-20-sin10	30,0	28,8	nein	ja	ja	ja
167	28-25-10	29,8	25,0	nein	nein	nein	nein
168	28-25-sin10	32,6	31,0	nein	ja	ja	ja

**Tabelle 2:** Tabelle der Beurteilungspegel und Vergleich mit Richtwerten für die künstlich erzeugten Signale

Die Ergebnisse wurden zunächst ohne das Kriterium für tieffrequente Einwirkungen dargestellt, da in den synthetischen Signalen noch keine tieffrequenten Anteile eingefügt wurden. Festzustellen ist:

- Die Berücksichtigung der Beurteilungszuschläge ermöglicht für einige Geräusche doch eine deutlich andere Bewertung als das bisherige Verfahren mit  $L_{AF,max,n}$ .
- Die Bewertung gegenüber dem bisherigen Kriterium  $L_{AF,max,n}$  wird aber nur ergänzt. Es ergeben sich keine Widersprüche zur bisherigen Beurteilung.
- Die Beurteilung nach beiden vorgeschlagenen Verfahren ist recht ähnlich, das Verfahren  $L_{r,GTA1}$  scheint etwas „strenger“ zu sein.

Mit den tatsächlich aufgenommenen Signalen ergeben sich die Pegelwerte nach Tabelle 3. In Tabelle 4 sind die Beurteilungspegel und der Vergleich mit den Richtwerten angegeben.

- Die Ergebnisse mit tatsächlich gemessenen Signalen weichen nicht wesentlich voneinander ab. Die Tonhaltigkeit und die Impulshaltigkeit von Signalen

Nr	Vorgang	$T_e$	$L_{AF,max}$	$L_{AF,eq}$	$L_{AFT,eq}$	$L_{CFeq}$	$K_T$	$K_I$	$K_{Z,30s}$
23	Rolladen	20	51,4	33,4	46,5	41,5	0	13,1	-1,8
24	Toilette	60	43,5	27,8	35,3	31,3	0	7,56	0,0
25	Toilette	20	29,5	22,3	26,8	29,6	0	4,5	-1,8
25b	Toilette	20	29,4	21,6	26,6	34,6	0	5	-1,8
26	WC	4,5	31,6	23,5	27,0	40,6	0	3,5	-0,9
27	WC	25	28,4	22,1	24,8	40,7	0	2,7	-0,8
28	Dusche	42	35,1	31	33,4	43,2	0	2,4	0,0
29	Tor auf	17	25	22,2	24,6	43,9	2	2,4	-2,5
30	Tor zu	12	23,4	21,3	23,1	43,3	3	0	-4,0
31	Dusche	29	29	24,7	27	42,6	4	2,3	0,0
32	Dusche	13	26,6	25,3	26,4	43,4	4	0	0,0

**Tabelle 3:** Tabelle der am Bau gemessenen Pegelwerte

Nr	Vorgang	$L_{r,GTA1}$	$L_{r,GTA2}$	$L_{AFmax}$	$L_{r,GTA1}$	$L_{r,GTA2}$	$L_{r,GTA2}$ > 25 ODER $L_{AFmax}$ > 30
23	Rolladen	51,5	44,7	ja	ja	ja	ja
24	Toilette	43,6	35,3	ja	ja	ja	ja
25	Toilette	30,3	25,0	nein	ja	ja	ja
25b	Toilette	30,1	24,8	nein	ja	nein	nein
26	WC	32,2	26,1	ja	ja	ja	ja
27	WC	29,3	24,0	nein	nein	nein	nein
28	Dusche	36,5	33,4	ja	ja	ja	ja
29	Tor auf	27,6	24,1	nein	nein	nein	nein
30	Tor zu	26,9	20,3	nein	nein	nein	nein
31	Dusche	31,9	31,0	nein	ja	ja	ja
32	Dusche	31,2	29,3	nein	ja	ja	ja

**Tabelle 4:** Tabelle der Beurteilungspegel und Vergleich mit Richtwerten für die am Bau gemessenen Signalen

führt zu sinnvollen „Verschärfungen“ der Beurteilung aber nicht zu einem generellen Anheben der Anforderungen.

- Auch die kombinierte Beurteilung in Anlehnung an das Verfahren der TA Lärm mit einem Maximalpegelkriterium von hier ( $L_{AF,max} \leq 30$  dB und einem Mittelungspegelkriterium von  $L_{AF,eq} \leq 25$  dB) liefert in den untersuchten Daten die gleiche Beurteilung wie Beurteilung  $L_{r,GTA2}$  allein.

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen auf Grundlage von generierten Signalen und am Bau aufgenommenen Signalen hat gezeigt, dass eine Bildung des Beurteilungspegels in der Systematik der mit DIN 45645-1:1996-07 vorgeschlagenen Form sinnvoll und praktikabel ist. Mit einer Beurteilungszeit von 30 s kann eine gute Beschreibung der Störung durch die Geräusche erreicht werden.

Zu klären sind noch folgende offene Punkte:

- Bei  $L_{r,GTA2}$ : gleitender Abschnitt oder aufeinanderfolgende 30 s-Abschnitte wählen, um bei langen Vorgängen den höchsten Wert zu ermitteln?
- Zuschlag für tieffrequent: es müsste die Fremdgeräuschkorrektur auch im tieffrequenten Bereich vorgenommen werden – einfaches Kriterium ist

in dem Pegelbereich problematisch, da fast alle Hintergrund- und Fremdgeräusche ebenfalls tieffrequent sind.

- Weitere am Bau gemessene Geräusche sollten untersucht werden und so auch geklärt werden, ob bzw. welcher Mehraufwand gegenüber der jetzigen Messpraxis zu erwarten ist.

## Literatur

- [1] T. Hils, H. Alpei, K. Köhler: Beurteilung gebäudetechnischer Anlagen (Teil 1), DAGA 2017
- [2] DIN 45645-1:1996-07: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen. Teil 1: Geräuschmissionen in der Nachbarschaft, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [3] DIN 4109-1:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [4] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm, Bundesgesetzblatt, GMBL. 1998 Nr. 26/1998, Seite 503 bis 515
- [5] DIN 45681:2005-03: Akustik – Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschmissionen, Beuth Verlag GmbH, Berlin