

Leitfaden zur Messung und Beurteilung tieffrequenter Immissionen im Freizeitlärm

Experimentalstudie / Dokumentenversion: 1.2 vom 27. Juni 2018

Benjamin Bernschütz¹ und Jörn Latz²

¹ Technische Hochschule Mittelhessen THM, Fachbereich Management und Kommunikation – Veranstaltungstechnik, Wiesenstr. 14, 35390 Gießen, E-Mail: benjamin.bernschuetz@muk.thm.de

² Kramer Schalltechnik GmbH, Otto-von-Guericke-Str. 8, 53757 Sankt Augustin, E-Mail: j.latz@kramer-schalltechnik.de

Einleitung

Im Freizeitlärm kann es auch unter Einhaltung der Immissionsrichtwerte (L_{Aeq} zzgl. der üblichen Zuschläge, vgl. z. B. [1] [2] [3]) zu wesentlicher Geräuschbelastung im tieffrequenten Bereich kommen. Das Programmmaterial insbesondere moderner elektronischer Musikrichtungen weist mitunter hohe Energieanteile im tieffrequenten Bereich (z. B. $f < 50$ Hz) auf und aktuelle Beschallungsanlagen sind in der Lage, diese tieffrequenten Energieanteile mit hohen Schalldruckpegeln zu reproduzieren.

Durch die A-Bewertung sinkt die Gewichtung des tieffrequenten Bereichs bei einer Messung stark ab und mitunter bilden A-bewertete Messungen die tatsächliche tieffrequente Belastung am Immissionsort nicht mehr hinreichend ab.

Hinzu kommt der Faktor, dass Fenster und ähnliche leichte Elemente im tieffrequenten Bereich meist nur noch sehr geringe Bau-Schalldämm-Maße aufweisen. Leichte Elemente wirken somit als Tiefpassfilter. Während höherfrequente Anteile bei geschlossenen Fenstern relativ gut gedämmt werden und sich ein Anwohner durch das Schließen der Fenster selbst schützen kann, können tieffrequente Anteile weiterhin stärker in den Innenraum einer schutzbedürftigen Nutzung propagieren und hier ggf. noch durch Raummoden verstärkende Effekte erfahren. Das Problem wird weiter verschärft, da höherfrequente Anteile sowie auch insbesondere maskierende Fremdgeräusche (z. B. Verkehr) stark gedämmt werden und somit tieffrequente Anteile im Innenraum perceptiv weiter in den Vordergrund rücken.

DIN 45680 im Freizeitlärm

Die in der Einleitung beschriebenen Effekte treten auch bei Industrielärm auf. Die o. g. Faktoren sind hinreichend bekannt und ihnen wird im Rahmen der DIN 45680 [4] Rechnung getragen.

Die direkte Übertragung der DIN 45680 [4] auf den Freizeitlärm ist allerdings problematisch und in einigen Punkten nicht praktikabel. Ein wesentlicher Aspekt der DIN 45680 [4] liegt darin, dass die Messung des Immissionspegels für den tieffrequenten Bereich im Innenraum der schutzbedürftigen Nutzung zu erfolgen hat. Dies hat wesentliche praktische Implikationen insbesondere bei einer durchgehenden schalltechnischen Begleitung einer Veranstaltung (Dauermessung). Der Anwohner muss während des gesamten Messzeitraumes seine

Räumlichkeiten für die Messung zur Verfügung stellen. Ferner müssen alle hausinternen Geräuschquellen innerhalb der schutzbedürftigen Nutzung abgeschaltet werden (Kühlschränke, Klimaanlage, Fernseher, etc.) und die Bewohner müssten die Räumlichkeiten verlassen, da insbesondere Trittschall oder andere Aktivitäten die Messung direkt beeinflussen würden. Der positive Effekt des Anwohnerschutzes während einer Veranstaltung ist in dieser Konstellation fragwürdig.

Für die Einrichtung einer dauerhaft betriebenen Industrieanlage erscheint es zumutbar, dass eine einmalige Messung nach DIN 45680 [4] zum Schutze des Anwohners durchgeführt wird. Bei fluktuierenden und schalltechnisch durchgehend begleiteten Veranstaltungen kann dies hingegen kaum als für den Anwohner zumutbar und für den schalltechnischen Gutachter als praktikabel gewertet werden.

Ein weiteres wesentliches Problem der Anwendung der DIN 45680 [4] im Freizeitlärm liegt darin, dass in der Norm keine „Seltene Ereignisse“ berücksichtigt werden. Auf dieses Problem wurde die Normenkommission inzwischen aufmerksam. Im Neuentwurf der DIN 45680 [5] wird in Abschnitt 3 darauf verwiesen, dass die in der Norm genannten Anhaltswerte nicht auf „Seltene Ereignisse“ angewandt werden können. Jedoch fehlt jeder Hinweis auf eine alternative Vorgehensweise oder Bewertung bei einem „Seltene Ereignis“. Eine mögliche Interpretation dessen wäre, dass bei „Seltene Ereignissen“ keine Prüfung auf tieffrequente Anteile durchzuführen ist. Diese Auslegung würde keinen Anwohnerschutz berücksichtigen und könnte als Freibrief für die Veranstaltungen verstanden werden. Im Sinne des Immissionsschutzes ist dies vermutlich nicht beabsichtigt.

In der aktuell gültigen Fassung der DIN 45680 [4] werden „Seltene Ereignisse“ nicht ausgeschlossen oder in anderer Art und Weise berücksichtigt.

Seltene Ereignisse

Bei einem „Seltene Ereignissen“ dürfen um bis zu 10 dB erhöhte A-bewertete Immissionsrichtwerte an den Immissionsorten angesetzt werden, vgl. z. B. [1] [2] [3]. Viele Veranstaltungen könnten ohne ein „Seltene Ereignis“ überhaupt nicht realisiert werden. Betroffen sind hierbei besonders Open-Air Veranstaltungen in der Sommerzeit, bei denen es zur ungehinderten freien Ausbreitung des Schalls kommt. Durch die hohe Besiedelungsdichte

in urbanen Gebieten sind aber zunehmend auch Indoor-Veranstaltungen davon betroffen. Bei einem „Seltene Ereignis“ wird den Anwohnern an einer begrenzten Anzahl von Tagen im Jahr zugunsten der Realisierbarkeit von Veranstaltungen eine erhöhte Immissionslast zugemutet. Hier wird seitens der Behörden im Einzelfall eine Abwägung zwischen Zumutbarkeit und Realisierbarkeit (bzw. auch öffentlichem Interesse an) einer Veranstaltung getroffen.

Das „Seltene Ereignis“ und seine erhöhten Richtwerte sind in den gängigen Regelwerken wie z. B. der Freizeitlärmrichtlinie LAI [1] oder dem Runderlass Freizeitlärm NRW [2] bzw. der übergeordneten Verwaltungsvorschrift TA Lärm [3] verankert. Gemäß TA Lärm [3] ist jedoch auch die DIN 45680 [4] für die Messung und Beurteilung der tieffrequenten Immissionen heranzuziehen.

Es ist jedoch nicht sinnvoll, einer Veranstaltung einen erhöhten A-bewerteten Immissionsrichtwert zuzusprechen ohne dabei auch gleichartig die Immissionsrichtwerte im tieffrequenten Bereich zu erhöhen. Andernfalls müssten die Bassanteile auf einer Veranstaltung im Bezug auf den Gesamtpegel deutlich vermindert werden. Bei einer Industrieanlage kann man tatsächlich gezielt die tieffrequenten Anteile mindern. Bei einer Veranstaltung lässt sich das Emissionsspektrum jedoch nicht beliebig ändern, da der Zuhörer eine ganz bestimmte spektrale Zusammensetzung von der Beschallung erwartet. Die kulturelle und hörästhetische Entwicklung ging in den letzten Jahren zudem deutlich in Richtung steigender Bassanteile. Somit kann bei einer Beschallungsanlage nicht einfach eine Abenkung oder Minderung durchgeführt werden. Es steht gegen den Charakter einer Veranstaltung, das Spektrum der eingesetzten Beschallungsanlage derart zu modifizieren.

Somit ist es im Freizeitlärm unabdingbar notwendig, die tieffrequenten Anhaltswerte bei einem „Seltene Ereignis“ gleichermaßen mit den Immissionsrichtwerten zu erhöhen.

Auslösekriterium $L_{Ceq} - L_{Aeq}$

In der DIN 45680 [4] wird als einfach zu erfassende Größe die Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq} > 20$ dB als Auslösekriterium für eine weiterführende Untersuchung der tieffrequenten Anteile aufgeführt.

Keinesfalls wäre es sinnvoll, allein die Unterschreitung des o. g. Auslösekriterium ohne weiterführende Untersuchung als Auflage für eine Veranstaltung zu erlassen, auch wenn dies zunächst einfach und praktikabel erscheinen mag. Weiterhin ist zu beachten, dass das o. g. Auslösekriterium nur für Messungen im Innenraum einer schutzbedürftigen Nutzung sinnvoll angewandt werden kann, nicht jedoch bei Messungen im Außenbereich, wo ggf. Fremdgeräusche wie Straßenverkehr oder Passanten einwirken.

Bei der Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq} > 20$ dB handelt es sich lediglich um ein Auslösekriterium für weitere Prüfungen. Die Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ ist dabei als praxisnahe Hilfs-

größe zu verstehen, deren Überschreitung eines Maßes von 20 dB auf eine *mögliche* tieffrequente Belastung hinweist. Eine Untersuchung, ob nun auch tatsächlich eine tieffrequente Belastung vorliegt, muss danach unbedingt noch explizit durchgeführt werden. Keinesfalls kann gesagt werden, dass bei der Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq} > 20$ dB tatsächlich eine tieffrequente Belastung vorliegt, da es sich hier um ein relatives Maß handelt und daraus keine absolute Aussage ableitbar ist.

Wird der Pegel auf der Veranstaltung reduziert oder erhöht, bleibt das Hilfsmaß $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ theoretisch immer konstant. Es muss also weiterhin an einem absoluten Maßstab geprüft werden. Ein Wert $L_{Ceq} - L_{Aeq} > 20$ dB sagt lediglich aus, dass eine rein A-bewertete Messung hier nicht mehr unbedingt aussagekräftig sein wird und weitere Überprüfungen durchgeführt werden sollten.

Das Maß $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ ist zudem als sehr empfindlich gegenüber Fremdgeräuschen einzustufen. Werden Messungen im Außenbereich durchgeführt, ist das Fremdgeräusch ein nicht vernachlässigbarer Faktor. So kann z. B. Verkehr in der Nähe des Messpunktes dieses Kriterium stark beeinflussen. Und dies geschieht zudem in reziproker Art und Weise. Ist höherfrequentes Fremdgeräusch am Messpunkt vorhanden, so sinkt der Wert $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ ab und scheinbar gibt es nun keine tieffrequente Belastung mehr. Hinter dem Fenster des Anwohners (Tiefpassfilter) sieht die Situation aber möglicherweise ganz anders aus. Der Anwohner innerhalb des Gebäudes hört den Verkehr nicht mehr. Der Bass der Veranstaltung ist aber deutlich wahrzunehmen. Aus diesem Grunde sind die Messungen für das Auslösekriterium gemäß DIN 45680 [4] explizit im Innenbereich durchzuführen.

Weiterhin müssen im Bereich Freizeitlärm unbedingt die inhärenten physikalischen Eigenschaften von Beschallungsanlagen berücksichtigt werden. Bässe strahlen üblicherweise omnidirektional ab, als es Mittel- und Hochtonsysteme tun (abgesehen von aufwendigeren und nicht überall realisierbaren Arrayanordnungen der Bässe). Gehen wir bei einer Veranstaltung hinter die Bühne, so sind dort meist nur noch die Bässe hörbar. Während die Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ in Spielrichtung der Bühne aufgrund stärkerer Mittel-/Hochtonanteile eher klein ist, wird die Differenz hinter der Bühne sehr stark ansteigen, obwohl der absolute Pegel im tieffrequenten Bereich hier nicht höher liegt. Dieses Verhalten propagiert weiter zu den Immissionsorten. Immissionsorte, die in der Spielrichtung der Bühne gelegen sind, werden somit tendenziell einen geringeren $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ aufweisen als es bei Immissionsorten im rückwärtigen Bereich der Bühne der Fall ist. Tatsächlich könnte die tieffrequente Belastung bei beiden Immissionsorten aber identisch sein oder sie könnte sogar am Immissionsort in Spielrichtung höher sein, obwohl die Differenz $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ dort geringer ist.

Messverfahren und Beurteilung

Im Folgenden wird in Anlehnung an verschiedene Regelwerke (insbesondere DIN 45680 [4]) und anderweitige Untersuchungen sowie unter Berücksichtigung der praktischen Anwendbarkeit eine vereinfachte Vorgehensweise vorgeschlagen, die eine Messung und Beurteilung der tieffrequenten Geräuschimmissionen durch Freizeitlärm beim Anwohner ermöglicht. Die Messung findet im Außenbereich am regulären Messpunkt statt. Auf die vorgeschaltete Analyse des Auslösekriteriums $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ wird verzichtet, da die Messung im Außenbereich stattfindet. Zur näheren Begründung sei auf den letzten Abschnitt verwiesen. Ferner finden im vorgeschlagenen Verfahren „Seltene Ereignisse“ Berücksichtigung bei der Beurteilung.

Die Messung wird direkt am maßgeblichen Immissionsort (bzw. an einem geeigneten Ersatzimmissionsort) im Außenbereich durchgeführt, an dem auch die üblichen Immissionsmessungen gemäß TA Lärm [3] bzw. den Freizeitlärmrichtlinien, z. B. [1] oder [2], stattfinden. Zur Messung wird ein konventionelles Messgerät wie in DIN 45680 [4] beschrieben eingesetzt. Für das Verfahren sind analog zur DIN 45680 [4] unbewertete (Z, LIN) 1/3-Oktav-Spektren zu messen. Die Terzen sind zeitlich auf volle Stunden zu mitteln. Der gemittelte Messwert einer Terz sei im Folgenden mit $L_{Z\text{ Terz } eq}$ bezeichnet.

Auszuwerten sind die Terzen 25 Hz, 31,5 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz und 100 Hz. Eine untere Grenzfrequenz der Analyse von 25 Hz ist hinreichend, da übliche Beschallungsanlagen unterhalb von 25 Hz keinen beurteilungsrelevanten Schalldruck mehr erzeugen.

Da im tieffrequenten Bereich bei Freizeitlärm üblicherweise vorwiegend dominantere Einzeltöne (z. B. Bassdrum) auftreten, wird die Auswertung zur Vereinfachung auf die Untersuchung einzelner Terzbänder beschränkt. Dies ermöglicht eine Überwachung und Einschätzung bei laufender Veranstaltung. Eine Summenpegelbildung nur tieffrequenter Komponenten vor Ort ist mit Geräten nach dem heutigen Stand der Technik üblicherweise nicht möglich. Dies könnte nur in einer nachgeschalteten Auswertung erfolgen. Auf der Veranstaltung könnte die Überschreitung eines tieffrequenten Summenpegels nicht ad hoc festgestellt werden. Es gäbe also auch keine Möglichkeit auf der Veranstaltung einzugreifen und eine Überschreitung aktiv zu verhindern.

Bei der Anwendung von Beschallungsanlagen wird das Spitzenpegelkriterium bei Einhaltung der Richtwerte für den Dauerschallpegel in aller Regel ebenfalls eingehalten. Die Differenz zwischen Mittelungspegel L_{Aeq} und Maximalpegel L_{Amax} beträgt in der Praxis in der Regel ca. 10 dB. Die entspricht auch den Ansätzen in der VDI 3770 [6]. Zwischen Beurteilungspegel L_T und Maximalpegel L_{Amax} wird die Differenz aufgrund der Zuschläge nochmals geringer. Die separate Messung und Auswertung der Maximalpegel für den tieffrequenten Bereich wird somit zur Vereinfachung des Verfahrens vernachlässigt.

In Anlehnung an die DIN 45680 [4] wird auf die unbewerteten Terzmesswerte $L_{Z\text{ Terz } eq}$ eine Hörschwellenkorrektur $K_{HS\text{ Terz}}$ angewandt, vgl. Tabelle 1. Die Hörschwellenkorrektur ist aus Tabelle 1 der DIN 45680 [4] abgeleitet.

Tabelle 1: Hörschwellenkorrektur $K_{HS\text{ Terz}}$

Terzfrequenz / Hz	$K_{HS\text{ Terz}} / \text{dB}$
25	- 63
31,5	- 55,5
40	- 48
50	- 40,5
63	- 33,5
80	- 28
100	- 23,5

Weiterhin wird in Anlehnung an das Dokument „Ansatz für die Schallimmissionsprognose tieffrequenter Geräusche der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie“ [7] eine Fassadendämmungskorrektur $K_{FD\text{ Terz}}$ angewandt, um die Dämmung der Außenfassade zwischen dem Messpunkt im Freien und dem Innenraum der schutzbedürftigen Nutzung zur berücksichtigen, vgl. Tabelle 2.

Tabelle 2: Fassadendämmungskorrektur $K_{FD\text{ Terz}}$

Terzfrequenz / Hz	$K_{FD\text{ Terz}} / \text{dB}$
25	- 8
31,5	- 10
40	- 12
50	- 14
63	- 16
80	- 18
100	- 20

Hier wird entsprechend von einem Selbstschutz des Anwohners durch Schließen der Fenster ausgegangen. Dabei werden mögliche Koinzidenzeffekte der Fassadenbauteile sowie stehende Wellen in den Räumlichkeiten vernachlässigt. Diese Effekte sind sehr individuell von den jeweiligen Baukörpern abhängig und können nicht in sinnvoller Art und Weise allgemein berücksichtigt werden. Weiterhin bleibt analog zur DIN 45680 [4] der Schutzanspruch der Immissionsorte unbeachtet.

Liegt der Messpunkt an einem Ersatzimmissionsort in nicht vernachlässigbarer räumlicher Distanz zum tatsächlichen Immissionsort, so wird die gleiche Ausbreitungsdämpfung wie bei der Umrechnung des L_{Aeq} vom Ersatzimmissionsort zum tatsächlichen Immissionsort als Korrekturfaktor K_A berücksichtigt.

Im nächsten Schritt wird noch ein Korrekturwert K_{SE} für „Seltene Ereignisse“ angewandt, vgl. Tabelle 3.

Zur Berücksichtigung geringerer Empfindlichkeit und höherer maskierender Fremdgeräuschpegel zur Tagzeit könnte optional noch in Anlehnung an die Anhaltswerte

Tabelle 3: Korrektur „Seltenes Ereignis“ K_{SE}

Genehmigungssituation	K_{SE} / dB
Kein Seltenes Ereignis	0
Seltenes Ereignis	- 10

Tabelle 4: Korrektur Tag/Nacht K_{TN}

Zeitraum	K_{TN} / dB
Tagesstunden	-5
Nachstunden	0

in Tabelle 1 im Beiblatt 1 der DIN 45680 [4] ein entsprechender Korrekturwert K_{TN} herangezogen werden, vgl. Tabelle 4. Sicherheitshalber werden jedoch die weiterhin erhöhten Anhaltswerte für die 80 Hz und die 100 Hz Terzen aus der DIN 45680 [4] zunächst nicht berücksichtigt.

Ferner könnte noch ein Korrekturfaktor für Fremdgeräusche berücksichtigt werden, der jedoch in der ersten Version des Verfahrens unberücksichtigt bleibt, da im tieffrequenten Bereich üblicherweise kaum Fremdgeräusche zu erwarten sind.

Zur Beurteilung ist folgende Berechnung jeweils für die sieben Terzen von 25 Hz bis 100 Hz durchzuführen:

$$L_{B \text{ Terz}} = L_{Z \text{ Terz eq}} + K_{HS \text{ Terz}} + K_{FD \text{ Terz}} + K_{SE} + [K_A + K_{TN}]. \quad (1)$$

Ein resultierender Wert

$$L_{B \text{ Terz}} \leq 0$$

gilt nun als Einhaltung des Richtwertes für die jeweilige Terz. Wohingegen ein Wert

$$L_{B \text{ Terz}} > 0$$

als Überschreitung wird. Das o. g. Kriterium sollte entsprechend für alle Terzen einzeln eingehalten werden.

Zur praktischen Anwendung vor Ort können die höchsten zulässigen Terzpegel im Vorfeld der Messung berechnet werden:

$$L_{Z \text{ Terz eq lim}} = - \left(K_{HS \text{ Terz}} + K_{FD \text{ Terz}} + K_{SE} + [K_A + K_{TN}] \right). \quad (2)$$

Während der laufenden Veranstaltung können dann die gemessenen und gemittelten Terzpegel $L_{Z \text{ Terz eq}}$ mit den höchsten zulässigen Terzpegeln $L_{Z \text{ Terz eq lim}}$ direkt verglichen werden, um eine situative Einschätzung treffen zu können. $L_{Z \text{ Terz eq}}$ darf dabei den berechneten Wert $L_{Z \text{ Terz eq lim}}$ nicht überschreiten.

Erläuterung des Verfahrens

Der Hintergrund des Verfahrens beruht darauf, dass bei einer Veranstaltung ohne Einstufung als „Seltenes Ereignis“ die einzelnen tieffrequenten Terzpegel im Innenraum des Anwohners im Maximalfall genau auf der

Hörschwelle liegen. Sicherheitshalber könnte auch noch ein Abschlag definiert werden, um ganz sicher unterhalb der Hörschwelle zu liegen. Dies könnte aber in der Praxis zu nicht mehr realisierbaren Konstellationen führen und wird daher zunächst vernachlässigt. Bei einem „Seltenen Ereignis“ müsste der Anwohner dann jedoch entsprechend eindeutig wahrnehmbare aber moderate Bassanteile innerhalb der schutzbedürftigen Nutzung hinnehmen. Es liegt insgesamt genau im Wesen des „Seltenen Ereignisses“, dass ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Anwohnerschutz und Realisierbarkeit einer Veranstaltung eingestellt wird.

Dieses Verfahren ist ein erster Vorschlag für eine mögliche Vorgehensweise zur Messung und Beurteilung tieffrequenter Immissionen im Bereich Freizeitlärm/Bühen in Ermangelung anderweitiger praktikabler Vorgehensweisen. Es ist stark an die DIN 45680 [4] angelehnt, beinhaltet jedoch insbesondere einige Vereinfachungen mit speziellem Bezug auf die Situation im Freizeitlärm, die eine Realisierbarkeit von Messung sowie eine Beurteilbarkeit in der Praxis sicherstellen. Die entsprechenden Bezüge wurden hier an vorgeschlagene Ansätze für die Schallimmissionsprognose tieffrequenter Geräusche der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie angelehnt [7]. Eine insgesamt vergleichbare Vorgehensweise – jedoch ohne spezifische Berücksichtigung tieffrequenter Anteile – wurde beispielsweise im Kontext der Bewertung von Public-Viewing Veranstaltungen und Außengastronomie vom Landesumweltamt NRW [8] vorgeschlagen.

Literatur

- [1] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), „Freizeitlärm-Richtlinie“ vom 06.03.2015 und daraus abgeleitete landesspezifische Richtlinien.
- [2] Runderlass des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (NRW), „Messung, Beurteilung und Verminderung von Geräuschimmissionen bei Freizeitanlagen“, V5 - 8827.5 - (V Nr.), 23.10.2006, geändert am 16.09.2009 sowie am 13.04.2016.
- [3] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, „Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm“, GMBL, Nr. 26, S. 503-515, 1998 mit Änderung vom 01.07.2017.
- [4] DIN 45680:1997-03 „Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen“, unter Berücksichtigung des zugehörigen Beiblattes 1, gültige Fassung der Norm, 1997.
- [5] DIN 45680:2013-09 „Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen“, Normentwurf, 2013.
- [6] VDI 3770:2012-09 „Emissionskennwerte von Schallquellen - Sport- und Freizeitanlagen“, 2012.
- [7] Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, „Ein Ansatz für die Schallimmissionsprognose tieffrequenter Geräusche“, Seminar 17/2013, 2013.
- [8] Pompetzki, W., Landesumweltamt NRW, „Akustische Rahmenbedingungen und Bewertungsmaßstäbe für die Beurteilung von Geräuschen bei Public-Viewing Veranstaltungen und Außengastronomie“, 2006.