



Das Lebensministerium



Sächsische Freizeitlärmstudie

Handlungsleitfaden zur Prognose und Beurteilung von
Geräuschbelastungen durch Veranstaltungen und Freizeitanlagen

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt und Geologie

Impressum

Sächsische Freizeitlärmstudie
Handlungsleitfaden zur Prognose und Beurteilung von Geräuschbelas-
tungen durch Veranstaltungen und Freizeitanlagen

Titelbild:

Freizeitpark Geiselwind
Foto: Akustik Bureau Dresden

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Öffentlichkeitsarbeit
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
E-Mail: Abteilung1@lfug.smul.sachsen.de

(kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente)

Bearbeitung:

Akustik Bureau Dresden
Dr. Roy + Dr. Ederer
Gußmannstraße 31
01217 Dresden

Redaktion:

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Abteilung: Integrativer Umweltschutz, Luft, Klima, Strahlen
Referat: Anlagenbezogener Immissionsschutz, Lärm

Redaktionsschluss: März 2006

Druck und Versand:

saxoprint GmbH, Enderstraße 94
01277 Dresden
Fax: 0351-2044 366
E-Mail: versand@saxoprint.de

(kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektroni-
sche Dokumente)

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Bezugsbedingungen:

Diese Veröffentlichung kann von der saxoprint GmbH kostenfrei bezogen
werden.

Hinweis:

Diese Veröffentlichung wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des
Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) herausge-
geben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern im Wahlkampf
zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen
Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Veröffentlichung nicht in
einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme des Landesamtes
zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden kann. Den Parteien ist
es gestattet, die Veröffentlichung zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu
verwenden.

Copyright:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt.

April 2006

L V-5/2

Diese Veröffentlichung steht als Download unter
www.umwelt.sachsen.de/lfug zur Verfügung



Vorwort

Der Besuch von Konzerten, Veranstaltungen und Diskotheken sowie die verschiedensten Freizeitaktivitäten sind integrierter Bestandteil unseres Freizeitverhaltens. Besonders in der wärmeren Jahreszeit findet dabei vieles im Freien statt – oft verbunden mit zum Teil beträchtlichen Schallemissionen. Was für die Besucher Genuss ist, kann zur gleichen Zeit an anderer Stelle für den ungewollten Mithörer in der Nachbarschaft erheblich belästigend sein. Freizeitanlagen und Freizeitaktivitäten besitzen demzufolge ein erhebliches Konfliktpotenzial.

Aus diesem Grund ist es erforderlich, die Belange des Schallimmissionsschutzes möglichst frühzeitig, d. h. bereits bei der Planung von Freizeitanlagen und Veranstaltungen zu berücksichtigen. Die Beurteilung der (immissionsschutzrechtlichen) Zulässigkeit und ggf. die Festlegung entsprechender Auflagen in der beantragten Genehmigung setzt für die verschiedensten Aktivitäten gesicherte und allgemein gültige Angaben über typische Emissionskenngrößen sowie geeignete Berechnungsverfahren zur schalltechnischen Prognose der zu erwartenden Geräuschbelastung voraus.

Die große Bandbreite möglicher Freizeitbeschäftigungen sowie die Vielfalt der benutzten Geräte, Fahrzeuge, Hilfsmittel, Tiere usw., die alle auf ihre jeweils spezifische Art und Weise als Schallquelle dienen, führt im Vergleich zu anderen Arten von Geräuschquellen zu unterschiedlichsten Schallemissionen. Zusätzlich werden diese sehr stark durch die Anzahl und das individuelle Verhalten der Besucher beeinflusst. Gleichwohl ist es erforderlich, die Emissionen der einzelnen Arten von Freizeitanlagen und –aktivitäten zu systematisieren und quantitativ zu beschreiben, um die Grundlagen für zuverlässige Schallimmissionsprognosen zu schaffen.

In den vergangenen Jahren wurden bereits für viele verschiedene Arten von Sport- und Freizeitanlagen Emissionsdaten zusammengetragen. Da das Angebot sich aber ständig erweitert, fehlen für etliche heute in der Praxis vorkommende Arten von Freizeitanlagen jedoch noch Emissionsdaten und Prognoseansätze.

Das Sächsische Landesamt für Umwelt und

Geologie hat deshalb seit 2001 für ausgewählte Anlagenarten die jeweils typischen Schallemissionen untersuchen lassen. Basis bildete eine große Anzahl von Mess- und Literaturdaten, deren Systematisierung und Verifizierung in der Praxis.

Mit der vorliegenden Broschüre möchten wir insbesondere Veranstaltern, Anlagenbetreibern, Planern, Sachverständigen sowie Behörden die Ergebnisse in einer für die praktische Anwendung aufbereiteten Form zugänglich machen. Bereits die große Nachfrage im Vorfeld dieser Veröffentlichung hat das breite Interesse daran aufgezeigt.



Hartmut Biele

Präsident des Sächsischen Landesamtes
für Umwelt und Geologie

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkungen	7
2	Vorgehensweise	8
2.1	Allgemeines	8
2.2	Signalkenngrößen	8
2.3	Sekundärgeräusche.....	9
2.4	Emissionen objektgebundener Fahrzeugbewegungen.....	10
3	Hinweise zur Beurteilung der Immissionen	11
4	Freiluftkonzerte / Freilichtbühne	14
4.1	Allgemeines	14
4.2	Schallleistungspegel von Beschallungsanlagen	14
4.3	Signalkenngrößen bei Beschallungsanlagen	17
4.4	Spektren bei Beschallungsanlagen	18
4.5	Richtwirkungen von Beschallungsanlagen	19
4.6	Schallimmissionsberechnungsverfahren	21
4.7	Berechnungsbeispiel / Verifizierung	22
5	Rummelplätze	26
5.1	Allgemeines	26
5.2	Emissionskenngrößen	26
5.3	Signalkenngrößen bei Rummelplätzen	28
5.4	Berechnungsbeispiel / Verifizierung	28
6	Volksfeste.....	30
6.1	Allgemeines	30
6.2	Emissionskenngrößen	30
6.3	Modellierung	31
7	Märkte	33
7.1	Allgemeines	33
7.2	Emissionskenngrößen	33
8	Zirkusse.....	35
8.1	Allgemeines	35

8.2	Emissionskenngrößen.....	36
8.3	Modellierung	36
9	Freizeit- und Vergnügungsparks	38
9.1	Allgemeines	38
9.2	Emissionskenngrößen.....	38
9.3	Modellierung	39
10	Vereins- und Bürgerhäuser.....	40
10.1	Allgemeines	40
10.2	Modellierung	40
11	Abenteuerspielplätze	41
11.1	Allgemeines	41
11.2	Emissionskenngrößen.....	41
12	Anlagen für Modellfahrzeuge und –flugzeuge	43
12.1	Modellflugplätze	43
12.2	Modellfahrzeuganlagen.....	50
13	Ortsfeste Wasserskianlagen	52
13.1	Allgemeines	52
13.2	Emissionskenngrößen.....	52
14	Sommerrodelbahnen	54
14.1	Allgemeines	54
14.2	Emissionskenngrößen.....	54
15	Hundedressurplätze.....	56
15.1	Allgemeines	56
15.2	Emissionskenngrößen.....	56
16	Kenngrößen / Begriffe / Symbole / Abkürzungen	58
17	Normverweise.....	59
18	Abbildungsverzeichnis.....	61
19	Tabellenverzeichnis	62

1 Vorbemerkungen

Das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie hat 2001/2002 ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt zur Erarbeitung von Emissionskenngrößen ausgewählter Freizeitanlagen und -aktivitäten unter dem Thema "Sächsische Freizeitlärmstudie" initiiert. Untersucht wurden Freiluftkonzerte / Freilichtbühnen, Rummelplätze, Volksfeste, Märkte, Zirkusse, Freizeit- und Vergnügungsparks, Vereins- und Bürgerhäuser, Abenteuerspielplätze, Anlagen für Modellfahrzeuge und -flugzeuge, ortsfeste Wasserskianlagen, Sommerrodelbahnen sowie Hundedressurplätze.

Aufbauend auf den Emissionskenngrößen sollten geeignete Prognoseverfahren zur Abschätzung der in der Nachbarschaft zu erwartenden Geräuschimmissionen entwickelt werden. Die Ergebnisse wurden in den Folgejahren erweitert und mit aktuellem Datenmaterial fortgeschrieben. In der vorliegenden Fassung werden die Ergebnisse zusammengefasst. Bearbeitet wurde das Projekt durch das AKUSTIK BUREAU DRESDEN. Neben einer Vielzahl eigener Messdaten wurden durch das Büro auch Daten behördlicher Messungen, von Fremdgutachten sowie aus der Literatur herangezogen.

Mit Hilfe der in dieser Broschüre beschriebenen Kenngrößen können wesentliche Schallemissionsdaten von Freizeitaktivitäten für die Verwendung in Schallimmissionsprognosen abgeschätzt werden. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die hier abgedruckten Daten als Hilfsmittel zur Erstellung von Schallimmissionsprognosen gedacht sind. Schalltechnische Beurteilungen werden auf Basis gültiger Richt- und Grenzwerte gemacht. Diese Regelungen sind bundesländerspezifisch. Im Kapitel 3 sind die für Sachsen gültigen Regelungen zusammengefasst, die auch in einigen anderen Bundesländern Anwendung finden. Im Text selbst werden aus Verständnisgründen an bestimmten Stellen ebenfalls Hinweise zur Beurteilung gegeben, z. B. wenn mit dem Auftreten besonderer Signalmerkmale zu rechnen ist.

Es zeigte sich, dass für viele – hinsichtlich ihrer Schallabstrahlung kritische Freizeitaktivitäten –

Beschallungsanlagen die Hauptquelle der Emission darstellen (z. B. Freiluftbühnen, Volksfeste, Rummelplätze, Märkte, Freizeit- und Vergnügungsparks). Deshalb wurden die Gesetzmäßigkeiten der Emission von Beschallungsanlagen besonders ausführlich untersucht.

Für andere Anlagenarten ergaben die Untersuchungen, dass deren Schallemissionen eher unkritisch sind. Dies betrifft z. B. ortsfeste Wasserskianlagen und Sommerrodelbahnen, in gewissen Grenzen auch Abenteuerspielplätze. Dies bedeutet nicht, dass in besonders kritischen Fällen (sehr kurze Abstände zu den Immissionsorten) nicht doch unzulässige Lärmbelastigungen in der unmittelbaren Nachbarschaft auftreten könnten, insbesondere, wenn Publikumsäußerungen und/oder Fahrzeugverkehr mit dem Betrieb der Anlage verbunden sind oder durch deren Betrieb in der Nachbarschaft drastisch zunehmen.

Die hergeleiteten Prognoseverfahren verwenden so weit wie möglich das Bausteinprinzip. Dabei werden einmal hergeleitete Prognosealgorithmen (z. B. für Beschallungsanlagen) als Baustein für die Prognose auch anderer Anlagenarten benutzt (z. B. Freiluftbühnen, Zirkusse, Volksfeste). Darüber hinaus wird für bestimmte Teil-Emissionsquellen auf gesicherte Prognoseverfahren aus der Literatur zurückgegriffen, z. B. bei der Geräuschemission von Personen [VDI 3770], [Probst] und Fahrzeugen [P-LS].

Für überschlägige Abschätzungen können die A-bewerteten Summenpegel für die Gesamtanlage bzw. für ausgedehnte Objekte die flächenbezogenen Schalleistungspegel L_{WA} benutzt werden. Zur Erstellung detaillierter Prognosen werden ergänzende Daten zur Differenzierung großflächiger Anlagen sowie die Spektren (sowohl in Terz- als auch Oktavbändern) aller untersuchten Anlagenarten bereitgestellt. In diesem Fall sind auch die Hindernisse und Reflexionsflächen auf dem Anlagen Gelände und in der weiteren Ausbreitungsrichtung zu beachten.

2 Vorgehensweise

2.1 Allgemeines

Der genauen Erörterung der für die einzelnen Freizeitaktivitäten und –veranstaltungen typischen Geräuschmerkmale vorangestellt, werden in diesem Kapitel allgemeine Kenngrößen spezifiziert. Ebenso werden für den Freizeitbereich typische Geräusche, die häufig auftreten und zur Belästigung der Nachbarschaft beitragen, aber nicht direkt aus dem Anlagenbetrieb herrühren, mit ihren Merkmalen aufgelistet. Zu nennen sind hier Zuschauerrufe, Kommunikationsgeräusche von gastronomischen Einrichtungen sowie Besucherverkehr.

In den nachfolgenden Kapiteln wird immer wieder auf die hier vorgestellten Kenngrößen und Geräuschtypen Bezug genommen.

2.2 Signalkenngrößen

Aus Nahfeldmessungen¹, die in jedem Fall ausreichende Signal-Stör-Abstände aufwiesen, wurden für alle Anlagenarten die Langzeit-Signalmittelungswerte ermittelt, wie:

- **energieäquivalenter Dauerschalldruckpegel** L_{Aeq} gemäß [DIN 45641, DIN 45645-1] über die jeweilige Gesamtdauer einer Veranstaltung, einer Trainingseinheit oder eines Wettkampfes, incl. kürzerer Pausen;
- **5-s-Taktmaximal-Mittelungspegel** L_{AFTeq} gemäß [DIN 45645-1];
- **Zuschlag für Impulshaltigkeit** K_I , der nach [TA Lärm] gemäß Gleichung (1) als Differenz zwischen dem 5-s-Taktmaximal-Mittelungspegel einer Anlagenart und dem zugehörigen energieäquivalenten Dauerschalldruckpegel definiert ist.

¹ Die Begriffe "Nahfeld" und "Fernfeld" werden hier nicht im strengen Sinne der akustischen Fachterminologie benutzt, wo sie auf die Abmessungen eines Schallstrahlers bezogen werden, sondern auf die Dimension des Messobjekts bzw. Anlagengeländes.

$$K_I = L_{AFTeq} - L_{Aeq} \quad (1)$$

mit: L_{AFTeq} : A-bewerteter 5-s-Taktmaximal-Mittelungspegel

L_{Aeq} : A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschalldruckpegel

Es erscheint evident, dass der Impulszuschlag einer Quelle mit zunehmender Entfernung abnimmt. Für eine entfernungsabhängige Umrechnung wird in [Degenkolb] empfohlen, pro 1000 m Entfernungszunahme den Impulszuschlag um 0,5 dB zu reduzieren, einen Wert von $K_I = 3$ dB jedoch nicht zu unterschreiten. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Regelung der [TA Lärm] hingewiesen, für Prognosen Zuschläge von +3 dB oder +6 dB, in der Summe jedoch nicht mehr als +6 dB zu verwenden.

- **Spitzenpegel** L_{AFmax} , in der Regel als 5%-Perzentilpegel im Sinne eines „mittleren“ Spitzenpegels ausgewertet, um einzelne untypische Pegelspitzen nicht überzubewerten;
- **Scheitelfaktor**² ΔL_{max} , der hier gemäß Gleichung (2) als mittlerer Abstand zwischen dem energieäquivalenten Dauerschalldruckpegel einer Anlagenart und dem zugehörigen Spitzenpegel verstanden wird. Für Fernfeld-Immissionsorte kann er sehr gut als Indikator für das Spitzenpegelkriterium herangezogen werden.

$$\Delta L_{max} = L_{AFmax} - L_{Aeq} \quad (2)$$

mit: L_{AFmax} : „mittlerer“ Spitzenpegel (A,F)

L_{Aeq} : A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschalldruckpegel

- Für jede Anlagenart wurde das **mittlere Spektrum** bestimmt. Die Spektren werden

² Der hier verwendete Begriff "Scheitelfaktor" ist nach Gleichung (2) definiert und sollte nicht mit dem in der Elektrotechnik verwendeten Begriff vertauscht werden.

generell als normierte Spektren mit einem Summenpegel "0 dB" angegeben. Für eine detaillierte Prognose kann das Emissionsspektrum $L_{WA}[T/O]$ einer Anlagenart somit gemäß Gleichung (3) durch einfache Subtraktion der Spektrums-Pegelkorrekturen $D_f^0[T/O]$ vom prognostizierten A-bewerteten Schalleistungspegel L_{WA} gebildet werden.

$$L_{WA}[T/O] = L_{WA} - D_f^0[T/O] \quad (3)$$

mit: L_{WA} : Gesamtschalleistung einer Quelle oder Anlage

$L_{WA}[T/O]$: Schalleistungspegel einer Quelle oder Anlage in Terz- bzw. Oktavbändern

- ➔ Um eine Aussage über die **Streuung** der in die Auswertung einbezogenen Einzelmessungen, und damit über die Präzision einer daraus abgeleiteten Prognose machen zu können, werden für alle Mittelwerte auch die Standardabweichungen σ nach Gleichung (4) angegeben.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2} \quad (4)$$

mit: X_i : Einzelmesswert

μ : linearer Mittelwert der Stichprobe

$n-1$: Freiheitsgrad der Stichprobe vom Umfang n

Mit Hilfe der ebenfalls ausgewiesenen Anzahl der Messwerte (Stichprobenumfang) lässt sich daraus bei Bedarf auch der Vertrauensbereich für die angegebenen Mittelwerte berechnen.

2.3 Sekundärgeräusche

In den nachfolgenden Ausführungen zu den einzelnen Freizeitanlagen und -aktivitäten wurden ausschließlich die Emissionen betrachtet, die direkt dem Anlagenbetrieb zugeordnet werden können und somit Bestandteil der Messergebnisse sind. Davon getrennte Zuschauergeräusche können besonders vor und nach Veranstaltungen eine Rolle spielen, ebenso die Kommunikationsgeräusche der

Besucher von gastronomischen Einrichtungen bei Festen und Märkten oder von Freiflächen vor Vereinshäusern. Derartige Emissionsanteile müssen im Bedarfsfall separat betrachtet werden. Dafür können die in Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 aus der Literatur zusammengestellten Werte zum Ansatz gebracht werden. Es handelt sich dabei um energieäquivalente Mittelwerte für die Zeitdauer der Äußerung.

Tabelle 1: Schallemissions-Kennwerte von Einzelpersonen aus der Literatur

Lautäußerung pro Person	$L_{WA,1}$ /dB (A)
Sprechen normal	65
Sprechen gehoben – laut	70 - 75
Rufen normal / über Distanz	80 - 85
Rufen laut – sehr laut	90 - 95
Schreien normal – laut	100 - 105
Schreien maximal	110
Kinderschreien	87

Tabelle 2: Schallemissions-Kennwerte von Personen auf Freiflächen

Anlage / Aktivität	$L_{WA,1}$	L_{WA}''
Biergarten (bis ca. 300 Personen)	65 dB(A)	66 dB(A)
Biergarten (mehr als 300 Personen)	70 dB(A)	71 dB(A)
Gartenrestaurant		60 dB(A)
Festzelt		83 dB(A)

Für die Prognose des resultierenden Gesamtschalleistungspegels L_{WA} kann ein personen- bzw. flächenbezogener Ansatz genutzt werden. Für Personengruppen (z. B. Zuschauer) berechnet sich dieser gemäß [Probst] nach Gleichung (5).

$$L_{WA} = L_{WA,1} + 10 \cdot \lg(k \cdot n) \text{ dB} \quad (5)$$

mit: $L_{WA,1}$: Schalleistungspegel pro Person
(Mittelwert)

n : Anzahl Personen

k : Gleichzeitigkeitsfaktor

Tabelle 3: Von Zuschauern verursachte Emissionspegel
(aus der Literatur, z. B. [Probst])

Anlage / Aktivität	$L_{WA,1}$	L_{WA}
Klatschen normal	89 dB(A)	
Klatschen sehr laut	94 dB(A)	
Zuschauerbereiche (Stehplätze, eng)	80 dB(A)	86 dB(A)
Zuschauerbereiche (Sitzplätze)	80 dB(A)	83 dB(A)

Für den aus der Fläche ermittelten Schalleistungspegel von Anlagen oder Personengruppen gilt Gleichung (6).

$$L_{WA} = L_{WA''} + 10 \cdot \lg\left(\frac{A}{A_0}\right) \text{ dB} \quad (6)$$

mit: $L_{WA''}$: flächenbezogener Schalleistungspegel
(örtlicher Mittelwert)

A : Größe der schallemittierenden
Flächenanteile in m^2

A_0 : Bezugsfläche 1 m^2

Zur Modellierung der frequenzmäßigen Zusammensetzung von Geräuschsituationen mit dominantem Stimmenanteil können situationsabhängig folgende mittlere Spektren verwendet werden:

- Moderation (Kapitel 4 „Freilichtbühnen“) gemäß Abbildung 4 / Tabelle 7;
- allgemeine Publikumsgeräusche (Kapitel 6 „Volksfeste“) gemäß Abbildung 13 / Tabelle 13 oder
- spielende Kinder (Kapitel 11 „Abenteuerspielplätze“) gemäß Abbildung 19 / Tabelle 20.

Die frequenzmäßige Zusammensetzung von Beifallsgeräuschen lässt sich aus dem Spektrum (Kapitel 4 „Freilichtbühnen“) gemäß Abbildung 6 / Tabelle 7 ableiten.

2.4 Emissionen objektgebundener Fahrzeugbewegungen

Geräusche, die von den Parkplätzen und Fahrwegen ausgehen, die nicht öffentlich gewidmet und eindeutig zur Anlage gehören, sind den Emissionen der jeweiligen Anlage unmittelbar hinzuzurechnen. Ihre Berechnung erfolgt nach den allgemein gültigen Berechnungsvorschriften [RLS-90] und [P-LSt]. Verkehrsgeräusche, die durch den Betrieb der Anlage auf öffentlichen Fahrwegen und Parkplätzen außerhalb des Volksfestgeländes verursacht werden, sind gemäß [TA Lärm] nach [RLS-90] zu berechnen und getrennt nach der [16. BImSchV] zu beurteilen, wenn sie den Beurteilungspegel am kritischsten Immissionsort um mehr als 3 dB erhöhen.

3 Hinweise zur Beurteilung der Immissionen

Zur Beurteilung der Immissionssituation ist, ausgehend von den nach dieser Studie prognostizierten Emissionspegeln einer Anlage oder Veranstaltung, der Beurteilungspegel nach der jeweils gültigen Vorschrift unter Berücksichtigung der Zuschläge für Ton- und Informationshaltigkeit sowie ggf. für Ruhezeiten zu bestimmen.

In **Sachsen** und einigen anderen Bundesländern erfolgt die Beurteilung von Freizeitgeräuschen auf der Basis der vom Länderausschuss für Immissionsschutz im Anhang B der Musterverwaltungsvorschrift zur Ermittlung, Beurteilung und Verminderung von Geräuschemissionen genannten Freizeitlärm-Richtlinie [FZL-RL].

Der Katalog der im Anwendungsbereich dieser Freizeitlärm-Richtlinie aufgeführten Anlagen deckt sich im Wesentlichen mit den in der Sächsischen Freizeitlärmstudie [FREIZEIT-LÄRMSTUDIE] untersuchten Anlagen.

Die in der Richtlinie nicht genannten, aber in der Freizeitlärmstudie untersuchten Wasserski- sowie Modellflugzeuganlagen, dienen in der Regel gleichermaßen der Freizeitgestaltung und sind deshalb ebenfalls nach [FZL-RL] zu bewerten.

Für Freizeitanlagen gelten wie für alle nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen die Grundpflichten aus § 22 Abs. 1 BImSchG [BImSchG]. Danach sind schädliche Umwelteinwirkungen (erhebliche Belästigungen), die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, zu verhindern. Nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen sind auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Diese Pflichten sollten bei neuen Anlagen im Baugenehmigungsverfahren durch Nebenbestimmungen oder bei bestehenden Anlagen durch Anordnung technischer Schutzmaßnahmen oder zeitlicher Beschränkungen nach § 24 BImSchG durchgesetzt werden.

Eine Stilllegung von Anlagen kommt nach § 25 BImSchG nur in Betracht, wenn Leben oder die Gesundheit von Menschen oder be-

deutende Sachwerte gefährdet sind. Dies ist bei Anlagen, die der Freizeitgestaltung dienen, eher selten der Fall.

Zur Ermittlung der Geräuschemissionen kann auf die allgemein anerkannten akustischen Grundregeln, wie sie in der [TA Lärm] und der [18. BImSchV] beschrieben sind, zurückgegriffen werden.

Bei der Ermittlung des Beurteilungspegels können wie in der [TA Lärm] Zuschläge für Impulshaltigkeit und auffällige Pegeländerungen sowie Ton- und Informationshaltigkeit vergeben werden.

Die Vergabe eines Messabschlages in Höhe von 3 dB(A) gemäß Punkt 6.9 der [TA Lärm] und Nr. 1.6 des Anhanges zur [18. BImSchV] ist bei der Beurteilung von Freizeitgeräuschen nicht vorgesehen.

In Tabelle 4 sind die Immissionsrichtwerte (außen, in dB(A)) nach Freizeitlärmrichtlinien genannt, oberhalb derer in der Regel mit einer erheblichen Belästigung zu rechnen ist.

Tabelle 4: Immissionsrichtwerte in dB(A) nach der Freizeitlärmrichtlinie

Gebietskategorie	Immissionsrichtwerte in dB(A)		
	tags		nachts
	außerhalb der Ruhezeit	innerhalb der Ruhezeit und an Sonn- und Feiertagen	
Industriegebiet	70	70	70
Gewerbegebiet	65	60	50
Kern-, Dorf-, Mischgebiet	60	55	45
Allg. Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete	55	50	40
Reine Wohngebiete	50	45	35
Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten	45	45	35

Die Immissionsrichtwerte beziehen sich dabei auf die in Tabelle 5 zusammengestellten Zeiträume.

Tabelle 5: Zusammenstellung der Zeiträume, für die die Immissionsrichtwerte gelten

	tags	außerhalb der Ruhezeit	Ruhezeit	nachts
Werktage	6 – 22 Uhr	8 - 20 Uhr	6 – 8 Uhr 20 – 22 Uhr	22 – 6 Uhr
Beurteilungszeit		12 Stunden	2 Stunden	1 Stunde
Sonn- und Feiertage	7 – 22 Uhr	9 - 13 Uhr 15 - 20 Uhr	7 – 9 Uhr 13 – 15 Uhr 20 – 22 Uhr	22 – 7 Uhr
Beurteilungszeit		9 Stunden	2 Stunden	1 Stunde

Für die Beurteilung des Nachtzeitraumes ist jeweils die ungünstigste volle Nachtstunde heranzuziehen. Bei Geräuschübertragungen **innerhalb** von Gebäuden betragen die Richtwerte

tags: 35 dB(A) und
nachts: 25 dB(A).

Einzelne Geräuschspitzen sollen die Immissionsrichtwerte

„**außen**“ tags um nicht mehr als 30 dB(A),
nachts um nicht mehr als 20 dB(A)
sowie
„**innen**“ um nicht mehr als 10 dB(A)
überschreiten.

Die vorgegebenen Immissionsrichtwerte sind dabei nicht schematisch anzuwenden. Bei enger Nachbarschaft von Wohngebieten und Freizeitanlagen kann eine besondere Pflicht zur gegenseitigen Rücksichtnahme bestehen. Sofern an der Anlage der Stand der Technik realisiert ist, kann dies dazu führen, dass die direkt an die Anlage angrenzende Wohnbebauung (Gemengelage) eine höhere Geräuschbelastung als weiter entfernte Wohnbebauung hinnehmen muss. Dabei sollen die Immissionsrichtwerte des Gebietes mit dem nächstniedrigeren Schutzanspruch bzw. als Maximum die Immissionsrichtwerte für Kern-, Dorf- und Mischgebiete nicht überschritten werden.

Die Bestimmungen für seltene Ereignisse sind analog denen in der [TA-Lärm].

Ereignisse werden als **selten** bezeichnet, wenn sie an nicht mehr als zehn Tagen und Nächten eines Kalenderjahres und in diesem Rahmen auch nicht mehr als an zwei aufeinander folgenden Wochenenden auftreten.

Für **selten**e Ereignisse gelten unabhängig vom Schutzanspruch des Gebietes nachfolgende Immissionsrichtwerte:

tags: außerhalb der Ruhezeit: 70 dB(A)

tags: innerhalb der Ruhezeit: 65 dB(A)

nachts: 55 dB(A)

In der [FZL-RL] nicht geregelt ist der Umgang mit Anlagen, bei denen der Verdacht auf unzulässig starke tieffrequente Immissionsanteile besteht. Hier sind insbesondere Freilichtbühnen/-konzerte, Rummelplätze und Zirkusse zu nennen.

Diese Immissionen sollten mit Hilfe einer detaillierten Prognose abgeschätzt werden. Dazu sind aus dem frequenzabhängig berechneten Immissionspegel sowohl der A-bewertete Summenpegel gemäß Gleichung (7) als auch der C-bewertete Summenpegel gemäß Gleichung (8) zu bilden. Beträgt die Differenz zwischen C- und A-bewertetem Summenpegel bereits am Immissionsort (im Freien vor dem Gebäude) annähernd 20 dB oder mehr, so können schädliche Umwelteinwirkungen durch tiefe Frequenzen innerhalb schutzbedürftiger Räume auch bei geschlossenen Fenstern nicht ausgeschlossen werden. Sowohl bei der Neuplanung als auch bei bestehenden Anlagen sind weitergehende Untersuchungen nach Punkt 7.3 der [TA Lärm] unter Einbeziehung der [DIN 45680] durchzuführen.

Messungen sollten dabei grundsätzlich innerhalb der betroffenen Räume erfolgen.

$$L_A = 10 \cdot \lg \left(\sum_{T/O=1}^N 10^{\frac{L_A[T/O]}{10 \text{ dB}}} \right) \text{ dB} \quad (7)$$

$$L_C = 10 \cdot \lg \left(\sum_{T/O=1}^N 10^{\frac{L_A[T/O] - A[T/O] + C[T/O]}{10 \text{ dB}}} \right) \text{ dB} \quad (8)$$

mit: L_A : A-bewerteter Summenpegel

L_C : C-bewerteter Summenpegel

$A[T/O]$: A-Korrektur (Terz- bzw. Oktavbänder) nach [DIN IEC 651]

$C[T/O]$: C-Korrektur (Terz- bzw. Oktavbänder) nach [DIN IEC 651]

N : Anzahl der Terzbänder T bzw. Oktavbänder O

4 Freiluftkonzerte / Freilichtbühne

4.1 Allgemeines

In diesem Kapitel wird die Untersuchung der Emissionspegel von Freiluftkonzerten und Freilichtbühnen aller Größenordnungen beschrieben; von der Kleinbühne bei einem Stadtfest bis hin zu einem Großereignis mit mehreren zehntausend Besuchern. Charakteristisch für diese Veranstaltungsart ist die Dominanz der elektroakustischen Beschallung. Unterschiede ergeben sich hier jedoch durch die Größe der Veranstaltung, das Genre sowie die Art der verwendeten Beschallungsanlage. Sekundäre Geräuschquellen wie Beifall oder sonstige Lautäußerungen der Zuschauer spielen in der Regel, insbesondere im Fernfeld, nur eine untergeordnete Bedeutung.

4.2 Schalleistungspegel von Beschallungsanlagen

Den Aussagen dieses Abschnitts liegt die Annahme zu Grunde, dass die Schallemissionen von Bühnen im Wesentlichen elektroakustisch verursacht werden. Der Schalleistungspegel von Beschallungsanlagen lässt sich wahlweise anhand folgender Ausgangsgrößen abschätzen:

- zu beschallende Fläche A (daraus ableitbar: maximale Zuschauerzahl);
- elektrische Anschlussleistung $P_{\text{Nenn,el}}$ der Beschallungsanlage;
- genreabhängiger Mindestversorgungspegel $L_{V,\text{min}}$ ³.

Die geringste Streuung liefert die Berechnung mit Hilfe der zu beschallenden Fläche (nach einem empirischen Ansatz) gemäß Gleichung (9).

$$L_{WA} = L_{V,\text{min}} + 10\text{dB} + 10 \cdot \lg\left(\frac{A}{A_0}\right)\text{dB} \quad (9)$$

³ Der Mindestversorgungspegel kann ggf. direkt für die Abschätzung der Emission einer Bühne verwendet werden.

mit: A : zu beschallende Fläche in m^2

A_0 : Bezugsfläche 1 m^2

$L_{V,\text{min}}$: Mindestversorgungspegel in $\text{dB}(A)$, siehe auch Tabelle 6

= 89 $\text{dB}(A)$ (Großbühnen, Diskotheken)

= 81 $\text{dB}(A)$ (Kleinbühnen unter 1000 Besucher / 500 m^2 und Jazzbühnen)

= 75 $\text{dB}(A)$ (Klassikbühnen)

Durch die Verwendung genreabhängiger Mindest-Versorgungspegel ergibt sich eine bessere Anpassung an systematische Unterschiede der verschiedenen Bühnentypen. Die Grenze für den Übergang von Klein- zu Großbühnen liegt typischerweise bei einer zu beschallenden Fläche von $A \approx 500 \text{ m}^2$. Dies bedeutet gemäß [VDI 3770] bei Sitzplätzen (2 Personen/ m^2) eine Zuschauerzahl von $n \approx 1000$, bei Stehplätzen (4 Personen/ m^2) $n \approx 2000$ Zuschauer. Diskotheken sind unabhängig von ihrer Größe grundsätzlich als Großbühnen, Jazzbühnen wie Kleinbühnen zu behandeln (Abbildung 1).

Falls die zu beschallende Fläche (bzw. Zuschauerzahl) nicht, die Art der Anlage jedoch bekannt ist, kann die elektrische Nennleistung der Beschallungsanlage $P_{\text{n,el}}$ für die Prognose des Schalleistungspegels verwendet werden (Abbildung 2). Dafür ergibt sich die (empirische) Berechnungsvorschrift nach Gleichung (10).

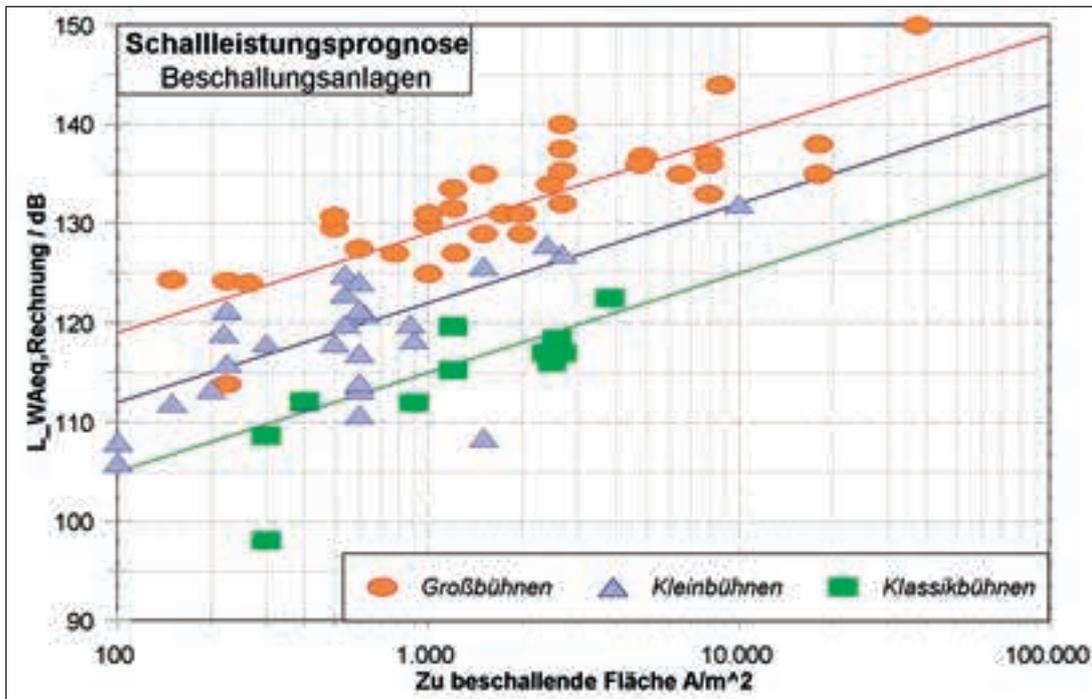


Abbildung 1: Prognose des Schalleistungspegels aus der zu beschallenden Fläche

$$L_{WA} = L_{V,\min} + 6\text{dB} + 10 \cdot \lg\left(\frac{P_{n,el}}{P_0}\right) \text{dB} \quad (10)$$

mit: $P_{n,el}$: Nennleistung der Lautsprecher in W

P_0 : Bezugsleistung 1 W

$L_{v,\min}$: Mindest-Versorgungspegel in dB(A), siehe auch Tabelle 6

= 89 dB(A) (Großbühnen Diskotheken)

= 81 dB(A) (Kleinbühnen unter 1000 Besucher/ 500 m² und Jazzbühnen)

= 75 dB(A) (Klassikbühnen)

Diese Methode ist deutlich ungenauer als die Prognose anhand der Fläche, da zum einen sich die Herstellerangaben für die Lautsprecherleistungen auf keine einheitliche Bezugsgröße beziehen und zum anderen die verbleibende Leistungsreserve (head room) der Anlage betreiberabhängig unterschiedlich hoch sein kann. Es muss mit 4-5 dB Leistungsreserve gerechnet werden, um die lautere Veranstaltungsabschnitte über den berechneten Mittelwerten liegen können.

Die Prognose für Klassikbühnen fällt häufig

etwas zu hoch aus, da bei Klassik höhere Scheitelfaktoren auftreten, was eine höhere Leistungsreserve bedingt. Bei Kleinbühnen ist die Aussteuerungsreserve besonders stark genreabhängig – worunter im Einzelfall die Genauigkeit der Prognose leiden kann.

Bei Verwendung der Schalleistungspegel, die durch Prognose mit obigen Verfahren ermittelt wurden, sind folgende Punkte zu beachten:

- Der berechnete Wert entspricht dem Gesamt-Schalleistungspegel L_{WA} einer Bühne/Anlage, der zum überwiegenden Teil von zwei (gerichteten) Punktstrahlern abgestrahlt wird, die sich links und rechts der Auftrittfläche befinden. Die Leistungen der Einzelkomponenten (Lautsprecherboxen, Cluster) sind deshalb entsprechend energetisch zu verteilen.

Als typische Abweichungen davon sind zu erwähnen:

- Dezentrale Anlagen**, bei denen zwei (oder mehr) Hauptsysteme im Bühnenbereich mit örtlich verteilten, so genannten Delay-Lautsprechern, kombiniert werden. Wenn die abgesetzten

Lautsprecher mehr als ein Zehntel der gesamten Schalleistung einer Bühne abstrahlen, muss für genaue Prognosen eine individuelle Berechnung unter Berücksichtigung der genauen Lautsprecheranordnung durchgeführt werden.

- ▶ **Line Arrays**, bei denen es sich im physikalischen Sinne um Linienquellen *endlicher* Länge handelt. Die Abstrahlungseigenschaften variieren daher in Abhängigkeit von der Entfernung. In größeren Entfernungen verhält sich jedes Line Array wie ein Punktstrahler mit

6 dB Pegelabfall pro Entfernungsverdopplung. Für ein Line Array üblicher Länge (ca. 5 m) und im mittleren Frequenzbereich (um 1000 Hz) gilt dies ab Entfernungen von ca. 36 m.

- ➔ Der berechnete Schalleistungspegel gilt für die **ungerichtete** Schallquelle (kugelförmig abstrahlende Punktquelle); die tatsächlich abgestrahlte Schalleistung ist um das Bündelungsmaß niedriger. Ohne Berücksichtigung des Richtwirkungsmaßes gemäß Kapitel 4.5 lassen sich daraus nur Immissionspegel in Hauptabstrahlrichtung berechnen.

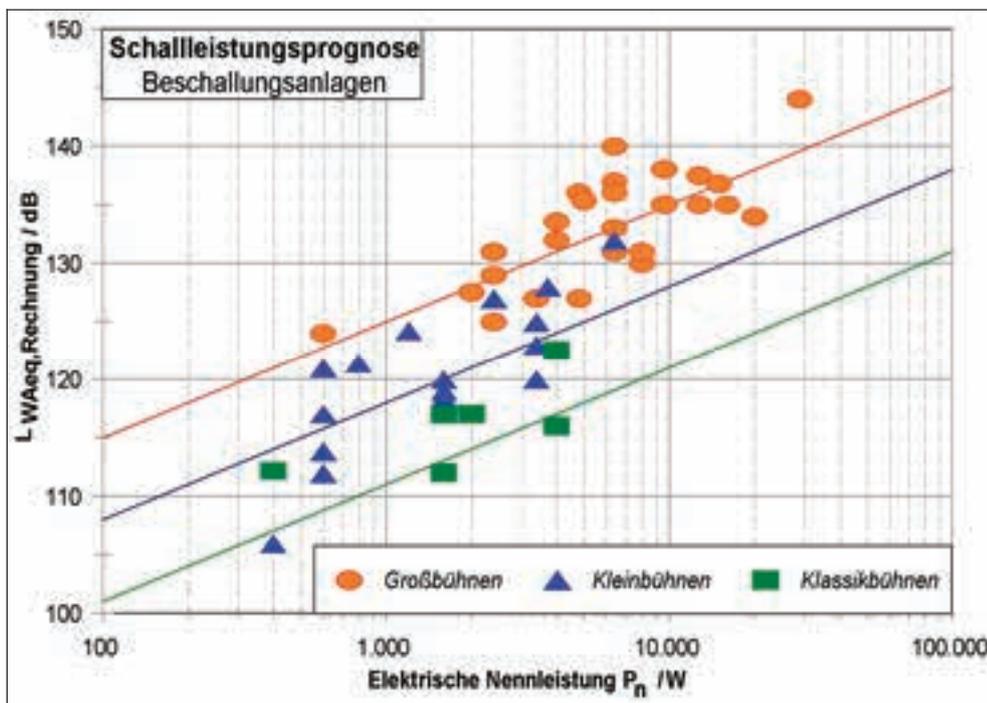


Abbildung 2: Prognose des Schalleistungspegels aus der elektrischen Nennleistung

Die nachfolgend beschriebenen Berechnungsmethoden sind nur für Fernfeld-Prognosen außerhalb des Publikumsbereichs einer Veranstaltung geeignet, auf welche die genaue Anzahl der Lautsprecher sowie deren differenzierte Anordnung und

Ausrichtung nur geringen Einfluss haben. Für Prognosen der Pegelverteilung im Versorgungsbereich der Beschallungsanlage müssen entsprechende Modellierungsprogramme verwendet werden.

Tabelle 6: Zusammenstellung der mittleren Signalkenngrößen von Veranstaltungen mit Beschallung

	Großbühnen	Kleinbühnen	Moderation +Musik	Pausenbeschallung	Klassik	Mittel über alles
$\Delta L_{\max, \text{mittel}}$	9,1 dB	10,4 dB	11,1 dB	7,1 dB	12,8 dB	10,1 dB
Std.-abw. σ	2,7 dB	3,0 dB	2,3 dB	1,8 dB	4,4 dB	2,8 dB
K_I, mittel	4,5 dB	4,7 dB	6,4 dB	3,9 dB	4,8 dB	4,9 dB
Std.-abw. σ	0,8 dB	1,0 dB	0,9 dB	1,0 dB	0,8 dB	0,9 dB
$L_{V, \text{min, mittel}}$	89,1 dB(A)	81,1 dB(A)	83,2 dB(A)	64,3 dB(A)	74,7 dB(A)	78,5 dB(A)
Std.-abw. σ	7,0 dB	7,4 dB	7,8 dB	6,9 dB	7,4 dB	7,3 dB
Messwerte	69	47	20	10	12	158

4.3 Signalkenngrößen bei Beschallungsanlagen

Für die Mittelwerte der Signalkenngrößen von Veranstaltungen mit Beschallung wurden die in Tabelle 6 zusammengestellten Werte ermittelt. Sie gelten jeweils für den Gesamtzeitraum eines Veranstaltungsabschnittes, einschließlich kurzer Pausen (Titelpausen usw.). Aus den Signalkenngrößen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Der Impulszuschlag K_I kann im Mittel sehr sicher mit 4,9 dB angesetzt werden, auch wenn genre- oder betreiberabhängig größere Abweichungen auftreten können. Für Fernfeld-Prognosen wird ein Wert von $K_I = 4 \text{ dB}$ empfohlen (siehe Kapitel 2).
- Für die Ableitung relevanter Emissionsparameter ist der mittlere Schalldruckpegel am entferntesten Zuschauerplatz maßgeblich, der auch als **Mindestversorgungspegel** $L_{V, \text{min}}$ bezeichnet wird. Ein Unterschreiten dieser Pegel stellt den bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlagen in Frage! Es hat also wenig Sinn, Aufla-

gen für Veranstaltungen zu erteilen, durch welche der erforderliche Mindestversorgungspegel nicht erreicht werden kann.

Bei 158 Messungen beträgt für den Mindestversorgungspegel $L_{V, \text{min}}$ die Streuung $\sigma = \pm 7,3 \text{ dB}$, d. h. dass für konkrete Veranstaltungen grundsätzlich ca. 15 dB Unterschied im Schallleistungspegel auftreten können. Je höher der Bekanntheitsgrad der Akteure bzw. die Erwartungshaltung des Publikums an die Lautstärke ist (besonders bei Rock-/Pop), umso mehr ist mit überdurchschnittlich hohen Versorgungspegeln zu rechnen. Hingegen kann bei Kenntnis von Überwachungsmessungen - unabhängig von Betriebseinschränkungen durch Auflagen - von unterdurchschnittlichen Versorgungspegeln ausgegangen werden.

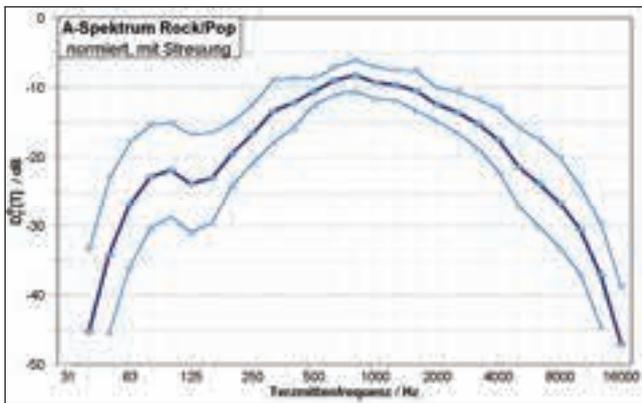


Abbildung 3: Mittleres Terzspektrum für Rock-/ Popmusik-Bühnen aus 62 Einzelmessungen

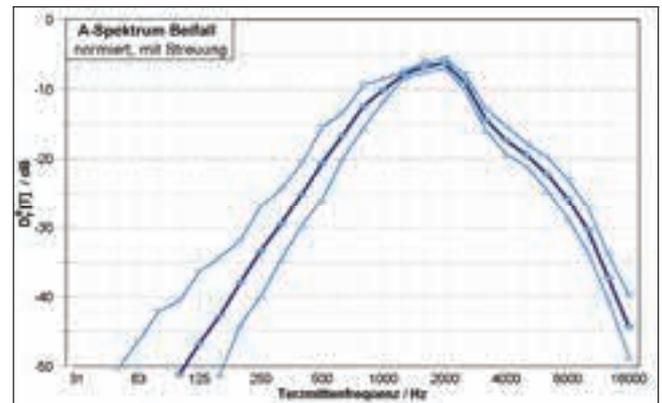


Abbildung 6: Mittleres Terzspektrum von Beifall aus 5 Einzelmessungen

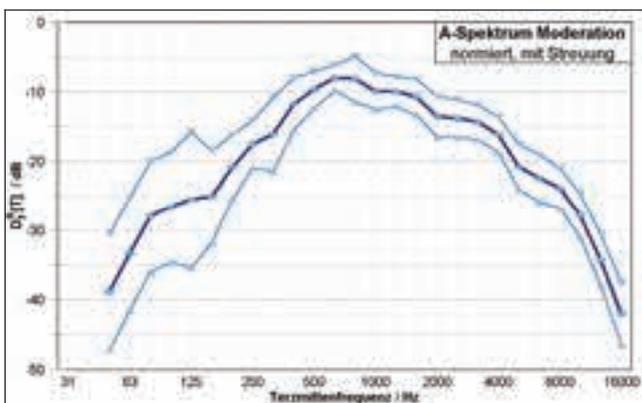


Abbildung 4: Mittleres Terzspektrum von Moderationen mit kurzen Musikeinlagen aus 19 Einzelmessungen

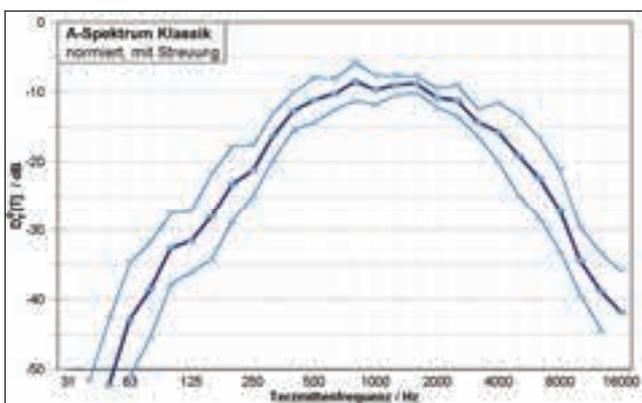


Abbildung 5: Mittleres Terzspektrum für Klassik-Bühnen aus 12 Einzelmessungen

4.4 Spektren bei Beschallungsanlagen

Für detaillierte Prognosen ist es erforderlich, das Emissionsspektrum zu berücksichtigen. Die Spektren sind generell normiert dargestellt, wie in Punkt 2 beschrieben (siehe Abbildung 3 bis Abbildung 6 und Tabelle 7). Anhand dieser Daten können auch Aussagen zur Auswirkung tieffrequenter Signalanteile getroffen werden, die bei nahezu allen Immissionsproblemen im Zusammenhang mit Beschallungsanlagen eine wichtige Rolle spielen. Bei Ausbreitungsrechnungen sind in diesem Fall die frequenzabhängigen Richtwirkungsmaße gemäß Abbildung 7 bzw. Tabelle 8 zu verwenden.

Für 62 Messwerte von Rock-/Pop-Bühnen beträgt die Streuung der Spektrumskorrekturen im Bereich tiefer Frequenzen $\sigma = \pm 7 - 8$ dB. Für Veranstaltungen mit erwartungsgemäß exzessiver Bassbeschallung kann deshalb die Obergrenze des angegebenen Streubereiches angesetzt werden.

Im Spektrum für „Moderation“ sind auch tieffrequente Anteile von Hintergrund- oder Begleitmusik enthalten.



4.5 Richtwirkungen von Beschallungsanlagen

Wegen der ausgeprägten richtungsspezifischen Abstrahlcharakteristik kann bei Lautsprechern das Richtwirkungsmaß D_1 nicht vernachlässigt werden. In der praktischen Anwendung ergibt sich sowohl für einzelne, freistehende Lautsprecherboxen als auch für größere Lautsprechergruppen ("Cluster") ein mittleres Richtwirkungsmaß, welches oktavweise in Abbildung 7 und für den A-bewerteten Summenpegel in Abbildung 8 dargestellt ist. Die in Abbildung 8 eingezeichnete Standardabweichung verdeutlicht, dass trotz der starken Unterschiede der Einzelcluster bezüglich Größe und Leistung die resultierende Richtwirkung nahezu gleichartig ist und für überschlägige Prognosen gut durch eine summarische A-bewertete Richtcharakteristik gemäß Tabelle 8 (letzte Spalte) beschrieben werden kann.

Die angegebenen Werte beschreiben nur die horizontale Richtwirkung, d. h. das Richtwirkungsmaß für Empfangsorte in Bodennähe. Moderne Beschallungstechnologien (CD-Hörner, Line-Arrays) ermöglichen für mittlere und hohe Frequenzen zusätzlich auch eine sehr hohe vertikale Bündelung - und damit eine zunehmende Konzentration der in diesem Frequenzbereich abgestrahlten Schallleistung auf den Versorgungsbereich. Dadurch können bei Immissionsorten im rückwärtigen Bereich

der Bühne verstärkt Probleme mit tiefen Frequenzen auftreten, da die Bassfrequenzen (durch die Subwoofer) unverändert ungerichtet abgestrahlt werden. Außerdem können bei nicht optimal ausgerichteten Anlagen (z. B. fehlende Neigung der Lautsprecher nach unten) auch Probleme in Hauptabstrahlrichtung auftreten, da sich in diesen Fällen der Versorgungsbereich z. T. erheblich über den Publikumsbereich hinaus ausdehnt.

Tabelle 7: Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für die A-bewerteten Spektren von Bühnenemissionen, bezogen auf den jeweiligen A, F-bewerteten energieäquivalenten Summenpegel

Frequenz	Rock-/Pop		Moderation		Klassik		Beifall	
	D_f^0 [T]/dB	D_f^0 [O]/dB	D_f^0 [T]/dB	D_f^0 [O]/dB	D_f^0 [T]/dB	D_f^0 [O]/dB	D_f^0 [T]/dB	D_f^0 [O]/dB
31 Hz	-66,5	-45,3	-64,2	-54,2	-66,5	-58,8	-71,2	-64,9
40 Hz	-45,3		-54,8		-59,9		-66,4	
50 Hz	-34,2		-38,9		-52,3		-61,8	
63,5 Hz	-26,8	-21,2	-33,3	-26,6	-42,9	-37,1	-58,2	-52,3
80 Hz	-22,9		-28,0		-38,6		-54,3	
100 Hz	-21,9		-26,6		-32,7		-51,2	
125 Hz	-23,9	-18,1	-25,5	-20,9	-31,6	-25,5	-46,7	-40,8
160 Hz	-23,0		-25,1		-28,0		-42,7	
200 Hz	-19,5		-20,8		-23,3		-37,9	
250 Hz	-16,6	-11,1	-17,5	-13,0	-21,3	-14,5	-33,3	-27,5
315 Hz	-13,4		-16,1		-16,4		-29,5	
400 Hz	-12,2		-11,8		-12,7		-25,1	
500 Hz	-10,6	-5,6	-9,6	-4,8	-11,2	-6,5	-20,6	-14,7
630 Hz	-9,0		-8,0		-10,3		-16,6	
800 Hz	-8,3		-8,1		-8,5		-12,5	
1 kHz	-9,3	-4,3	-9,9	-4,5	-9,7	-4,3	-10,1	-5,0
1,25 kHz	-9,7		-10,0		-9,1		-7,9	
1,6 kHz	-10,5		-10,8		-8,5		-6,8	
2 kHz	-12,4	-7,2	-13,6	-7,7	-10,8	-5,4	-6,3	-2,4
2,5 kHz	-13,6		-13,8		-11,3		-9,0	
3,15 kHz	-15,2		-14,4		-14,4		-14,4	
4 kHz	-17,5	-12,6	-16,2	-11,6	-15,8	-11,3	-17,3	-11,8
5 kHz	-21,4		-20,8		-19,2		-19,5	
6,3 kHz	-23,8		-22,4		-22,5		-22,2	
8 kHz	-26,7	-21,5	-23,9	-19,4	-27,2	-21,0	-25,8	-20,2
10 kHz	-30,6		-27,8		-34,4		-30,3	
12,5 kHz	-37,1		-34,3		-38,9		-37,2	
16 kHz	-47,0		-42,0		-41,9		-44,3	

Tabelle 8: Mittlere unbewertete Oktav- und A-bewertete Richtwirkungsmaße D_I für Lautsprechercluster in dB

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	A+Spektr.
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45°	0	-3	-5	-5	-5	-5	-7	-7	-5
90°	0	-5	-8	-10	-15	-15	-20	-23	-12
135°	0	-6	-11	-17	-18	-18	-29	-34	-16
180°	0	-5	-8	-15	-21	-21	-30	-34	-14

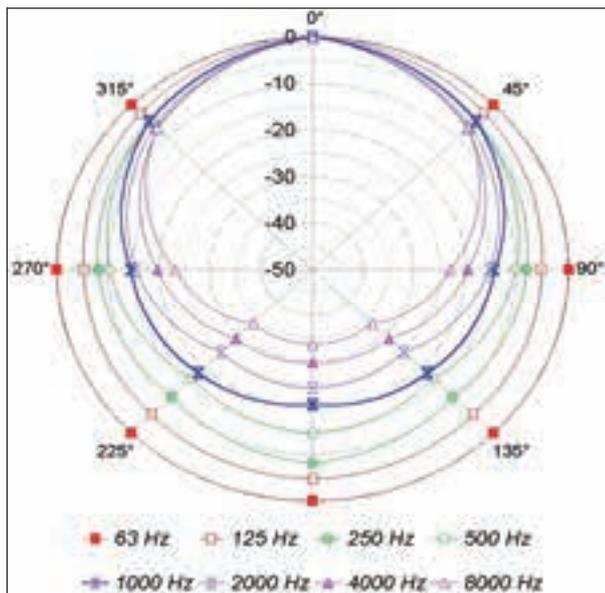


Abbildung 7: Oktavweise horizontale Richtwirkungsmaße für Lautsprechercluster (in dB) für detaillierte Prognosen

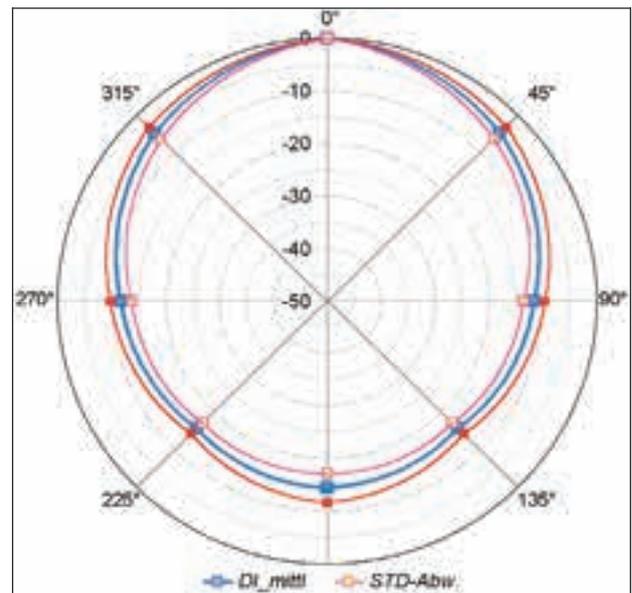


Abbildung 8: Mittleres A-bewertetes Richtwirkungsmaß für Lautsprechercluster (in dB) für überschlägige Prognosen

4.6 Schallimmissionsberechnungsverfahren

Aus den mit Hilfe von Gleichung (9) bzw. (10) hergeleiteten Emissionskenngrößen kann nach [VDI 2714] bzw. [DIN ISO 9613-2] der Immissionspegel berechnet werden. Dazu muss vom Schalleistungspegel gemäß Gleichung (9) oder (10) für überschlägige Rechnungen mit A-bewerteten Kenngrößen nach Gleichung (11) das Richtwirkungsmaß und die Ausbreitungsdämpfung subtrahiert werden. Bei detaillierter Rechnung in Frequenzbändern ist nach Gleichung (12) zusätzlich die Terz-/ Oktavkorrektur zu berücksichtigen.

$$L_m = L_{WA} + D_{I,A} + K_0 - D \quad (11)$$

- mit:
- L_m : Schalldruckpegel am Immissionsort (A-bewertet) [VDI 2714]
 - L_{WA} : Schalleistungspegel der Quelle (A-bewertet)
 - $D_{I,A}$: A-Richtwirkungsmaß gemäß Tabelle 8
 - K_0 : Raumwinkelmaß
 - D : Abstandsmaß, incl. aller weiteren Ausbreitungsdämpfungen

$$L_f[T/O] = L_{WA} + D_f^0[T/O] + D_C - D[T/O] \quad (12)$$

mit:

$L_{f[T/O]}$: Terz- bzw. Oktav-Schalldruckpegel am Immissionsort (A-bewertet) [DIN ISO 9613-2]

L_{WA} : Schalleistungspegel der Quelle (A-bewertet)

$D_f^0[T/O]$: Terz- bzw. Oktav-Spektrumskorrektur gemäß Tabelle 7

$D_C = D_1 + D_0$: Richtwirkungskorrektur

$D_1[T/O]$: Richtwirkungsmaß, frequenzabhängig, gemäß Tabelle 8

D_0 : Richtwirkungsmaß für Raumwinkel (entspricht K_0)

$D[T/O]$: Abstandsmaß⁴, incl. aller weiteren frequenzabhängigen Ausbreitungsdämpfungen - entsprechend der Rechenvorschrift in [DIN ISO 9613-2]

Die Gesamtschalleistung ist energetisch auf die Zahl der Quellen (in der Regel zwei) aufzuteilen.

Das Richtwirkungsmaß D_1 ist entsprechend der Richtung des Immissionsortes zur Hauptachse des Schallstrahlers gemäß Tabelle 8 zu bestimmen.

Für das Raumwinkelmaß wird zumeist $K_0 = +3$ dB anzusetzen sein (Halbraumabstrahlung).

Das Abstandsmaß D entspricht der Schallausbreitung einer Punktquelle.

Der Gesamt-Immissionspegel ergibt sich durch energetische Überlagerung der Anteile aller Teilquellen / aller Frequenzbänder am Immissionsort.

Zur Ermittlung des Beurteilungspegels sind die so bestimmten Mittelungspegel anschließend je nach gültiger Beurteilungsvorschrift mit Zu-

⁴ In der [DIN ISO 9613-2] ist dieser Term mit A bezeichnet. Um Verwechslungen mit der Bezeichnung für Fläche, die ebenfalls A lautet, zu vermeiden, wird hier auf die Notation der [VDI 2714] zurückgegriffen.

schlägen für Impulshaltigkeit, Ton- und Informationshaltigkeit sowie entsprechenden Korrekturen für die jeweiligen Beurteilungszeiträume (ggf. incl. Ruhezeitzuschlägen) zu beaufschlagen.

Abschätzungen der sekundären Geräuschquellen haben gezeigt, dass Publikumsgeräusche während der Veranstaltungen nur eine untergeordnete Rolle spielen. In seltenen Fällen kann durch rhythmisches Schreien oder Mitsingen der Spitzenpegel angehoben werden.

4.7 Berechnungsbeispiel / Verifizierung

Emissionsgrößen

Als Beispiel wird die Berechnung des Mittelungspegels an zwei Immissionsorten in Wohngebieten für die Schallabstrahlung einer angenommenen Bühne für ein Freiluft-Popkonzert durchgeführt. Als Ausgangsgröße für die Prognose wird die zu beschallende Fläche von $A = 3400$ m² verwendet, was einer Kapazität von 6800 Zuschauern auf Sitzplätzen entspricht.

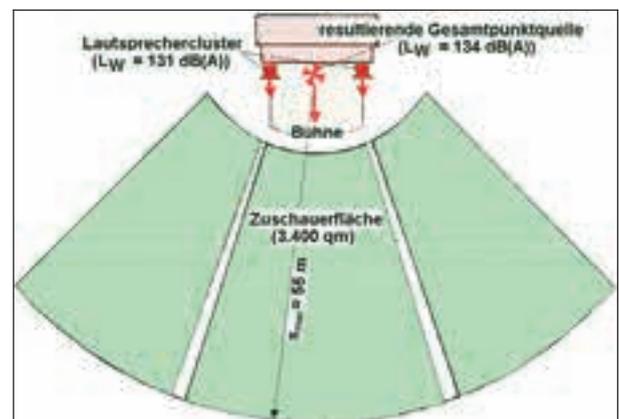


Abbildung 9: Lageplan Popkonzert (Nahbereich)

Die Anordnung im Nahbereich der Bühne ist Abbildung 9 zu entnehmen. Der resultierende Mittelungspegel soll für zwei ca. 1300 m entfernte Immissionsorte berechnet werden. Davon befindet sich der Immissionsort IO 1 in Hauptabstrahlrichtung der Bühne, während IO 2 schräg hinter der Bühne in einem Winkel von 135° zur Hauptabstrahlrichtung liegt. Die

Gesamtkonfiguration ist in Abbildung 10 dargestellt. Da die Fläche deutlich über 500 m² beträgt, wird als

Mindestversorgungspegel $L_{V, \min} = 89 \text{ dB(A)}$ für eine Großbühne angesetzt.



Abbildung 10: Lageplan Popkonzert (Fernbereich)

Aus der zu beschallenden Fläche ergibt sich nach Gleichung (9):

$$L_{WA} = 89 \text{ dB(A)} + 10 \text{ dB} + 10 \cdot \lg(3400) \text{ dB} = 134,3 \text{ dB(A)}$$

Mit diesem Wert ist eine überschlägige Prognoserechnung für A-bewertete Schallpegel direkt möglich. Für eine detaillierte Prognose mit frequenzabhängiger Ausbreitungsrechnung benötigt man das Spektrum der Schallquelle, welches in Form von Zahlenwerten aus Tabelle 7 entnommen werden kann. Im vorliegenden Fall wird das Oktavspektrum von Popmusik verwendet.

Immissionspegel / Überschlägige Rechnung

Für die Ausbreitungsrechnung wird der (auf volle Dezibel gerundete) Wert des A-bewerteten Schalleistungspegels (134 dB(A)) zum Ansatz gebracht. Der Winkel zwischen Hauptstrahlrichtung der Lautsprecher und Richtung zum Immissionsort IO 1 beträgt 0°, der zum Immissionsort IO 2 ca. 135°. Aus der Grafik mit dem mittleren Richtwirkungsmaß (vgl. Abbildung 8) lässt sich für IO 1 $D_1 = 0 \text{ dB}$ und für IO 2 $D_1 = -16 \text{ dB}$ ablesen. Aufgrund des großen Abstands werden die beiden Lautsprechercluster zu einer Einzelquelle zusammengefasst. Der Mittelungspegel am Immissionsort ergibt sich dann nach [VDI 2714] wie folgt:

$$\begin{aligned}
L_m &= L_{WA} + D_{I,A} + K_0 - (D_S + D_L + D_{BM}) \\
L_{m, IO 1} &= 134 \text{ dB(A)} - 0 \text{ dB} + 3 \text{ dB} - (20 \cdot \lg(1300) + 11) \text{ dB} - 2 \cdot 1300/1000 \text{ dB} - 4,8 \text{ dB} \\
&= \mathbf{56 \text{ dB(A)}}.
\end{aligned}$$

Mit dem mittleren Impulszuschlag $K_I = 4 \text{ dB}$ ergibt sich der Taktmaximal-Mittelungspegel aus dem energieäquivalenten Mittelungspegel $L_{Aeq} (= L_m)$ zu:

$$\begin{aligned}
L_{AFTEq, IO 1} &= L_{Aeq} + K_I \\
&= 56 \text{ dB(A)} + 4 \text{ dB} \\
&= \mathbf{60 \text{ dB(A)}}.
\end{aligned}$$

Das Spitzenpegelkriterium lässt sich anhand des Immissionspegels L_m mit Hilfe des Scheitelfaktors ΔL_{max} (siehe Tabelle 6) kontrollieren:

$$\begin{aligned}
L_{max} &= L_m + \Delta L_{max} \\
&= 56,0 \text{ dB(A)} + 9,1 \text{ dB} \\
&= \mathbf{65 \text{ dB(A)}}.
\end{aligned}$$

Für den links hinter der Bühne liegenden IO 2 ergibt sich:

$$\begin{aligned}
L_{m, IO 2} &= 134 \text{ dB(A)} - 16 \text{ dB} + 3 \text{ dB} - (20 \cdot \lg(1300) + 11) \text{ dB} - 2 \cdot 1300/1000 \text{ dB} - 4,8 \text{ dB} \\
&= \mathbf{40 \text{ dB(A)}}.
\end{aligned}$$

Der Unterschied von 16 dB entspricht der Differenz des Richtwirkungsmaßes bei 0° und 135° .

Impulszuschlag und Spitzenpegelkriterium können analog zur Rechnung für IO 1 gehandhabt werden.

Immissionspegel / Detaillierte Prognoserechnung

Die Ausbreitungsrechnung wird nach [DIN ISO 9613-2] gemäß Gleichung (12) durchgeführt. Nach [TA Lärm] werden für die frequenzabhängige Berechnung die Oktaven der Mittenfrequenzen 63 bis 4000 Hz verwendet. Die Korrekturwerte D_f^0 [O] zur Ermittlung der A-bewerteten Oktav-Schalleistungspegel für Popmusik werden aus Tabelle 7 entnommen; die Oktav-Richtwirkungsmaße aus den Werten in Tabelle 8 interpoliert. Für die Entfernung von 1300 m und eine mittlere Höhe des Schallausbreitungsweges von 1,6 m berechnen sich die Ausbreitungsdämpfungen D wie angegeben.

Wichtige Schritte im Ablauf des Rechenweges sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Zu bewerten sind zunächst die äquivalenten A-

bewerteten Immissionspegel L_A , wobei Betrachtungen zum Impulszuschlag und Spitzenpegel analog dem vorigen Abschnitt durchzuführen sind. Zu erkennen ist, dass sich bei der frequenzabhängigen Rechnung für IO 1 in Hauptabstrahlrichtung ein etwas geringerer Mittelungspegel und für IO 2 bei 135° ein etwas höherer Mittelungspegel im Vergleich zur überschlägigen Rechnung ergibt.

Die frequenzabhängige Ausbreitungsrechnung erlaubt den Vergleich des C-bewerteten mit dem A-bewerteten Mittelungspegel, wodurch das Auftreten schädlicher Umwelteinwirkungen durch tieffrequente Geräusche gemäß [TA Lärm] abgeschätzt werden kann. Im Beispiel wird für IO 1 außerhalb des Gebäudes in Hauptabstrahlrichtung eine Differenz von $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ von 11 dB ermittelt, während sich für IO 2 schräg hinter der Bühne – bei gleichem

Abstand – eine Differenz von 21 dB ergibt. Da nach [TA Lärm] die Differenz von $L_{Ceq}-L_{Aeq}$ innerhalb des schutzbedürftigen Raumes zu beurteilen ist, müssten in einem solchen Fall weitergehende Untersuchungen angestellt wer-

den, weil dieser Pegelunterschied im Innenraum durch die Frequenzabhängigkeit der Schalldämmung der Außenbauteile (insbesondere leichter Bauteile, wie Fenster) und der Nachhallzeit noch anwächst.

Tabelle 9: Ausgangsdaten und Rechenweg für detaillierte Prognoserechnungen

L_{WA}	134							dB(A)
Frequenz f	63	125	250	500	1000	2000	4000	Hz
$D_f^0 [O]$	-21,2	-18,1	-11,1	-5,6	-4,3	-7,2	-12,6	dB
$L_{WA}[O]$ nach Gl. (3)	112,8	115,9	122,9	128,4	129,7	126,8	121,4	dB(A)
Berechnung für IO 1 in Hauptabstrahlrichtung (0°)								
$D_C = D_\Omega; D_I = 0$ dB	3	3	3	3	3	3	3	dB
$D[O]$	78,2	78,4	79,5	81,7	84,5	89,7	107,8	dB
$L_f[O]$ nach Gl. (12)	37,6	40,5	46,4	49,7	48,2	40,1	16,6	dB(A)
L_A nach Gl. (7)	A-bewerteter Immissionspegel am IO 1						54	dB(A)
L_C nach Gl. (8)	C-bewerteter Dauerschalldruckpegel am Immissionsort						65	dB(C)
Berechnung für IO 2 schräg hinter der Bühne (135°)								
$D_C = D_I + D_\Omega$	3	-3	-8	-14	-15	-15	-26	dB
$D[O]$	78,2	78,4	79,5	81,7	84,5	89,7	107,8	dB
$L_f[O]$ nach Gl. (12)	37,6	34,5	35,4	32,7	30,2	22,1	-12,4	dB(A)
L_A nach Gl. (7)	A-bewerteter Immissionspegel am IO 2						42	dB(A)
L_C nach Gl. (8)	C-bewerteter Dauerschalldruckpegel am Immissionsort						63	dB(C)

5 Rummelplätze



5.1 Allgemeines

Rummelplätze weisen ein sehr hohes Konfliktpotenzial hinsichtlich ruhestörenden Lärms in der Nachbarschaft auf. Insbesondere wirkt sich aus, dass sie

- sehr häufig in Betrieb sind (an manchen Standorten bis zu 5 mal im Jahr);
- relativ lange Standzeiten aufweisen (bis über mehrere Wochen);
- sehr hohe Gesamtschallleistungspegel erzeugen;
- der emittierte Schall eine hohe Lästigkeit aufweist (dominierender rhythmischer Bassanteil, hoher Informationsgehalt der Ansagen usw.);
- große Besuchermengen anziehen (mit einer deutlichen Konzentration auf Ruhezeiten).

Im Umfeld von Rummelplätzen kommt es mitunter auch durch den Parkverkehr der Besucher zu Problemen, die jedoch nur zum Teil auf rein akustische Belästigungen zurückzuführen ist. Für diejenigen Rummelplätze, die über eindeutig zuordenbare Parkflächen verfügen, ist eine Abschätzung der zu erwartenden

Immissionen entsprechend den Hinweisen in Kapiteln 1; 2.3 und 2.4 durchzuführen.

5.2 Emissionskenngrößen

Aus dem flächenbezogenen Schallleistungspegel L_{WA} der Schaustellerflächen, d. h. für Fahrgeschäfte genutzten Flächen, lässt sich der Gesamtschallleistungspegel L_{WA} gemäß Gleichung (13) ermitteln.

$$L_{WA} = 71dB(A) + 10 \cdot \lg\left(\frac{A}{A_0}\right) dB \quad (13)$$

mit: L_{WA} : A-bewerteter energieäquivalenter Gesamtschallleistungspegel eines Rummelplatzes

71 dB(A): flächenbezogener Schallleistungspegel der Schaustellerfläche; $\sigma = 2,9$ dB

A: für Fahrgeschäfte genutzte "effektive" Fläche in m^2

A_0 : Bezugsfläche von $1 m^2$

Dieser Ansatz hat jedoch den offenkundigen Fehler, dass für kleine Rummelplätze häufig zu geringe Schalleistungen berechnet werden.

Für die Abschätzung des Mindest-Gesamtschalleistungspegels kann Gleichung (14) genutzt werden.

$$L_{WA} = 104dB(A) + 10 \cdot \lg(N)dB \quad (14)$$

mit: L_{WA} : A-bewerteter Gesamt-Schalleistungspegel eines Rummelplatzes

104 dB(A): mittlerer effektiver Schalleistungspegel der dominanten Fahrgeschäfte

N: Anzahl der dominant lauten Fahrgeschäfte

Es wird empfohlen, den jeweils höheren Wert aus Gleichung (13) und (14) für die Prognose anzusetzen. Auch wenn eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich der Festlegung "dominant lauter" Fahrgeschäfte besteht, ergibt sich durch diesen Ansatz eine Möglichkeit, die reale Struktur auch in einfachen Prognosen berücksichtigen zu können.

Dies trifft insbesondere für kleinere Rummelplätze zu, bei denen einzelne, besonders laute Fahrgeschäfte den Gesamt-Schalleistungspegel auch tatsächlich maßgeblich bestimmen (Tabelle 10).

Weitere Einzelwerte von Fahrgeschäften sind in Tabelle 17 enthalten.

Allgemeine Publikumsgeräusche, die nicht unmittelbar mit Lautäußerungen beim eigentlichen Fahrbetrieb verbunden sind (Kreischen, Schreien), liegen stets ca. 10 dB unter dem Gesamtschalleistungspegel des jeweiligen Rummelplatzes und brauchen deshalb nicht getrennt berechnet werden.

Auf den zugeordneten Parkplätzen finden Stellplatzwechsel sehr viel häufiger statt, als in der Literatur angesetzt. Für die Abschätzung der Maximalpegel kann mit $N = 1,0/h$ gerechnet werden. Damit sind diese Parkplätze am ehesten mit "Parkplätzen an Einkaufszentren" nach [P-LSt] vergleichbar.

Tabelle 10: Schallemissions-Kennwerte einzelner Fahrgeschäfte

Anlage/Aktivität	dominant laut	L_{WA} /dB(A)
große Fahrgeschäfte	x	108-114
Berg- & Talbahn	x	104-109
Autoscooter	x	100-106
kleinere Fahrgeschäfte		98-102
Kinderkarussell		85
Ansagen (Losbuden, Eigenwerbung usw.)		106-108 *
Signalhorn		116 *

* nur Einzelereignisse, die den Spitzenpegel bestimmen können

5.3 Signalkenngrößen bei Rummelplätzen

Aus den Nahfeld- und Einzelmessungen wurden die Mittelwerte für Impulszuschlag K_I und Scheitelfaktor ΔL_{\max} der Schallemissionen von Rummelplätzen bestimmt. Es ergeben sich aus 58 Messungen folgende Werte:

$$K_I = 4,2 \pm 1,2 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{\max} = 11,2 \pm 3,4 \text{ dB.}$$

Für Fernfeldprognosen wird $K_I = 4 \text{ dB}$ empfohlen.

Die Messungen belegen, dass ein Rummelplatz den Schall im Mittel nahezu ungerichtet abstrahlt. Untersuchungen an einigen "dominant lauten" Fahrgeschäften zeigen, dass nur ca. 1/4 davon nennenswerte Eigenabschattung aufweist, die in der summarischen Wirkung eines Rummelplatzes jedoch vernachlässigt werden können.

Das mittlere Spektrum aller Messungen *innerhalb* von Rummelplatzgeländen entspricht Abbildung 11 resp. den in Tabelle 11 angegebenen A-bewerteten Bandkorrekturen.

5.4 Berechnungsbeispiel / Verifizierung

Als Beispiel soll ein realer Immissionsort, ca. 220 m von einem größeren Festplatzgelände entfernt, dienen (siehe Lageplan in Abbildung 12).

Das für Fahrgeschäfte genutzte Gelände hat eine Größe von ca. 20.000 m². Es waren 12 "dominant laute" Fahrgeschäfte vertreten.

Lassen sich keine näheren Aussagen treffen, kann die mit Fahrgeschäften bestandene "innere" Grundfläche als Ausgangswert für die Prognose nach Gleichung (13) genutzt werden.

$$\begin{aligned} L_{AFTeq} &= L_{WA} + K_0 - (D_S + D_L + D_{BM}) + K_I \\ &= 115 \text{ dB(A)} + 3 \text{ dB} - 57,8 \text{ dB} - 0,44 \text{ dB} - 4,1 \text{ dB} + 4 \text{ dB} \\ &= 60 \text{ dB(A)} \end{aligned}$$

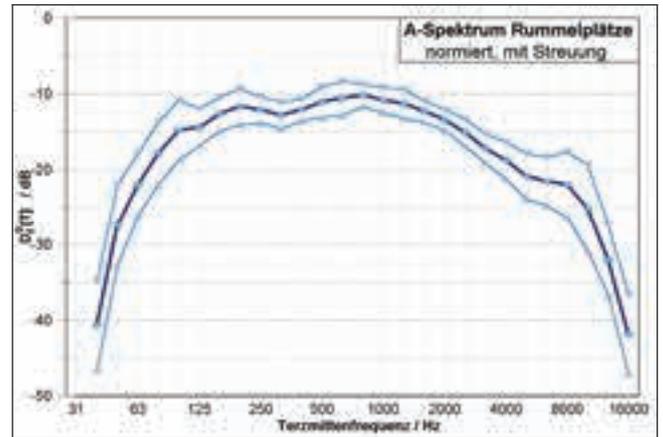


Abbildung 11: Mittleres Spektrum von Rummelplätzen für 14 Einzelmessungen

$$\begin{aligned} L_{WA} &= 71 \text{ dB(A)} + 10 \cdot \lg (A/A_0) \text{ dB} \\ &= 71 \text{ dB(A)} + 10 \cdot \lg (20.000) \text{ dB} \\ &= 71 \text{ dB(A)} + 43 \text{ dB} \\ &= 114 \text{ dB(A)} \end{aligned}$$

Überprüft man diesen Wert gemäß Gleichung (14) mit der Zusatzinformation, dass 12 "dominant laute" Fahrgeschäfte vertreten waren, erhält man einen geringfügig höheren Wert.

$$\begin{aligned} L_{WA} &= 104 \text{ dB(A)} + 10 \cdot \lg (N) \text{ dB} \\ &= 104 \text{ dB(A)} + 10 \cdot \lg (12) \text{ dB} \\ &= 104 \text{ dB(A)} + 11 \text{ dB} \\ &= 115 \text{ dB(A)} \end{aligned}$$

Durch Verwenden des höheren Wertes lässt sich der Immissionspegel mit einem Impulszuschlag von $K_I = 4 \text{ dB}$ in Form des L_{AFTeq} abschätzen.

Es liegen für diesen Immissionspunkt zwei konkrete Messergebnisse von $L_{AFTeq} = 64 \text{ dB(A)}$ und 61 dB(A) vor. Somit liegt

der prognostizierte Immissionspegel im Rahmen der typischen Unsicherheit von Feldmessungen.

Tabelle 11: Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum von Rummelplätzen, bezogen auf den jeweiligen A-bewerteten, energieäquivalenten Summenpegel

Frequenz	Korrekturwert in dB		Frequenz	Korrekturwert in dB	
	$D_f^0[\text{T}]$	$D_f^0[\text{O}]$		$D_f^0[\text{T}]$	$D_f^0[\text{O}]$
31 Hz	-53,9	-40,4	630 Hz	-10,6	
40 Hz	-40,7		800 Hz	-10,2	
50 Hz	-27,4		1 kHz	-10,8	-6,0
63,5 Hz	-22,0	-16,1	1,25 kHz	-11,3	
80 Hz	-17,8		1,6 kHz	-12,3	
100 Hz	-14,8		2 kHz	-13,4	-8,7
125 Hz	-14,4	-9,1	2,5 kHz	-15,1	
160 Hz	-12,7		3,15 kHz	-17,2	
200 Hz	-11,7		4 kHz	-18,8	-13,9
250 Hz	-12,1	-7,4	5 kHz	-20,9	
315 Hz	-12,9		6,3 kHz	-21,5	
400 Hz	-12,1		8 kHz	-22,0	-17,8
500 Hz	-11,1	-6,5	10 kHz	-25,1	

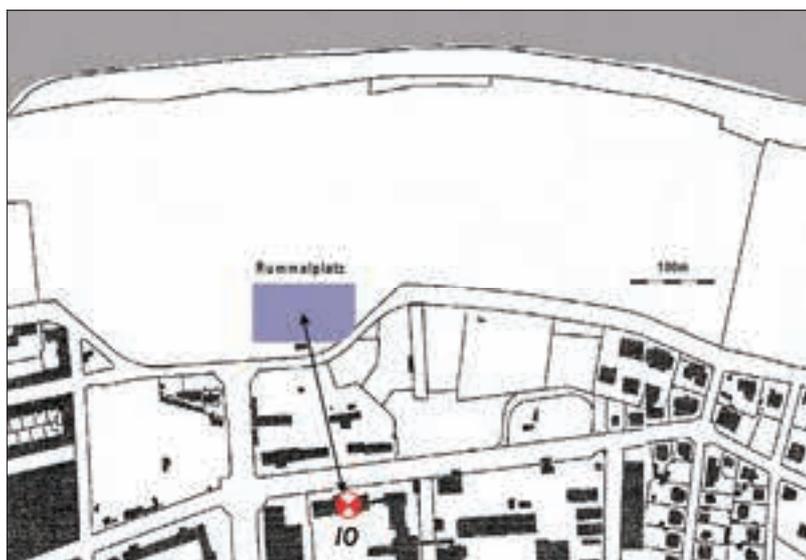


Abbildung 12: Lageplan Festplatzgelände und Immissionsort IO

6 Volksfeste

6.1 Allgemeines

Unter Volksfesten soll hier eine Vielzahl von Freizeitaktivitäten verstanden werden, die auf größeren Flächen und mit erheblichen Zuschauerzahlen stattfinden. Die dominanten Quellen der Schallemission sind meistens Bühnen mit Beschallungsanlagen. Dabei spielen die Äußerungen der Besucher allerdings oft eine größere Rolle als bei der Betrachtung von Freilichtbühnen, speziell, wenn die Volksfeste von größeren Marktflächen oder gastronomi-

schen Einrichtungen begleitet werden. Bei Volksfesten kann eine Vielzahl weiterer Einzelquellen hinzukommen, die allgemein nur sehr ungenau zu fassen sind. Das betrifft stationäre Quellen, wie Schausteller bzw. Fahrgeschäfte und Festzelte, aber auch Umzüge mit Kapellen. Ein generalisierter flächenbezogener Ansatz ist daher nur bedingt sinnvoll; für die Mehrzahl der Fälle wird die differenzierte Modellierung der Einzelquellen gemäß Kapitel 6.2 erforderlich sein.

Tabelle 12: Von Volksfesten ausgehende Emissionspegel

Anlage/Aktivität	L _{WA}	L _{WA} ''
Besucher Straßenfest	65 dB(A) ¹	62 dB(A)
Festzelt		83 dB(A)
Festzelt mit Kapelle (kleiner Verstärker)	100 dB(A)	
Blasorchester	108 dB(A)	
Chor	96 dB(A)	
Volksfestbetrieb (ohne Einschränkung)		ca. 75 dB(A) ²
Volksfestbetrieb (verringerte Emission)		ca. 73 dB(A) ²
Volksfest / Markt (ohne Musikanlagen)		ca. 64 dB(A) ^{2,3}

¹= Wert pro Person / ²= bezogen auf gesamte Volksfestfläche / ³= im Unterschied zu reinem Verkaufsmarkt

6.2 Emissionskenngrößen

6.2.1 Beschallungsanlagen

Aus dem Vergleich der Schalleistungspegel in Tabelle 12 für Volksfeste wird deutlich, dass die (fast immer) eingesetzten Beschallungsanlagen die Hauptquelle der Emission von Volksfesten darstellen. Wenn die notwendigen Ausgangsdaten von Einzelbühnen zugänglich sind, können für die Beschallungsanlagen die Schalleistungspegel gemäß Kapitel 4 berechnet werden. In der Regel wird dabei als Mindestversorgungspegel 81 dB für Kleinbühnen anzusetzen sein.

6.2.2 Kommunikationsgeräusche

Hierbei kann sowohl der personen- als auch der flächenbezogene Ansatz für den Schalleistungspegel sinnvoll sein. Eine Zusammenstellung dazu liefert Tabelle 12 (siehe auch Abbildung 13). Die angegebenen Schalleistungspegel sind dabei als mittlere, auf die gesamte Zeitdauer der Emission bezogene Werte zu betrachten. Der Gleichzeitigkeitsfaktor k ist also bereits darin enthalten. Ergänzende Angaben dazu können auch Tabelle 1 und Tabelle 2 entnommen werden. Die gesamte Fläche eines Volksfestes ist dann so genau wie erforderlich in Einzelflächen entsprechend der Nutzung (z. B. Biergärten/ Kapitel 2, Märkte/ Kapitel 7, Rummelplätze/ Kapitel 5 etc.) aufzuteilen; für welche die Schalleistungspegel jeweils getrennt zu ermitteln sind.

6.2.3 Schaustellerflächen

Die Emissionen der einzelnen Fahrgeschäfte können anhand der Werte gemäß Tabelle 10 bzw. Tabelle 17 abgeschätzt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Emissionen der an die Geschäfte gebundenen Beschallungsanlagen und die Kommunikationsgeräusche der Nutzer bereits in diesen Werten enthalten sind. Sie müssen nicht separat berücksichtigt werden.

6.2.4 Sonstige Emissionsquellen

Bei Volksfesten treten häufig Musikkapellen (Blasorchester, Trommel- und Spielmannszüge, Schallmeiengruppen) ohne oder mit nur geringer Verstärkung auf. Für diese kann ein mittlerer A-bewerteter Gesamtschallleistungspegel von $LWA = 108 \text{ dB(A)}$ angesetzt werden. Dies entspricht einem Schallleistungspegel von $LWA,1 \approx 94 \text{ dB(A)}$ pro Musiker. Das zugehörige, mittlere normierte Terzspektrum ist in Abbildung 14 abgebildet (siehe auch Tabelle 13). Infolge der hohen Pauken- und Trommelanteile ergibt sich ein höherer Baßanteil als bei klassischer Musik gemäß Abbildung 5.

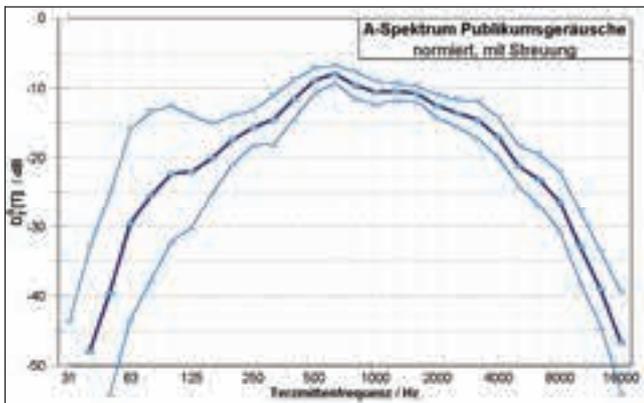


Abbildung 13: Mittleres normiertes Terzspektrum von Publikumsgeräuschen und leiser Hintergrundmusik aus 13 Einzelmessungen (Der relativ hohe tieffrequente Anteil resultiert aus der Hintergrundmusik.)

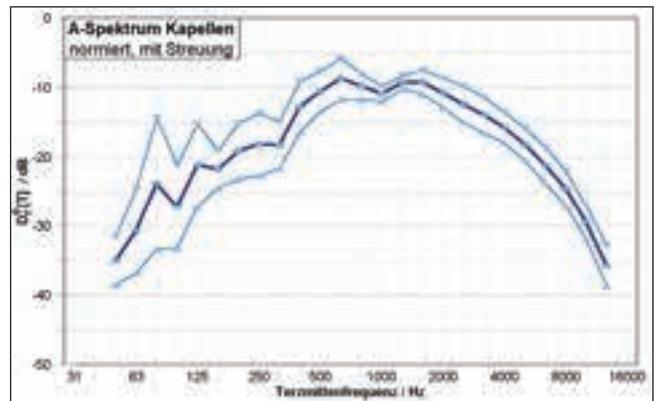


Abbildung 14: Mittleres normiertes Terzspektrum für Blasorchester und Kapellen aus 10 Einzelmessungen

6.3 Modellierung

Je nachdem, wie genau die Emissionskenngrößen bekannt sind, kann die Berechnung überschlägig oder detailliert erfolgen. Ist die Lage der Beschallungsanlagen bzw. Bühnen bekannt, kann der zugehörige Beurteilungspegel am Immissionsort analog zu Kapitel 4 berechnet werden. Die sonstigen Emissionsquellen (z. B. Biergärten u. ä.) sind mit ihrem jeweiligen Teil-Schallleistungspegel in die Berechnung einzubeziehen. Falls keine Detailangaben über die Lage der einzelnen Emissionsquellen vorliegen, bleibt nur der Ansatz über die Gesamtfläche mit den in Tabelle enthaltenen flächenbezogenen Schallleistungspegeln. Mit diesem einfachen Ansatz ist im Nahbereich jedoch mit erheblichen Unsicherheiten der Prognosen zu rechnen.

Tabelle 13: Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für die A-bewerteten Emissionsspektren von Publikumsgeräuschen, Hintergrundmusik und Kapellen - bezogen auf den jeweiligen A-bewerteten, energieäquivalenten Summenpegel

Frequenz	Korrekturwert in dB			
	Publikum (mit Hintergrundmusik)		Kapellen (ohne Verstärkung)	
	D_f^0 [T]	D_f^0 [O]	D_f^0 [T]	D_f^0 [O]
31 Hz	-58,7	-47,7	0,0	
40 Hz	-48,0		0,0	
50 Hz	-39,6		-35,0	
63,5 Hz	-29,6	-24,0	-30,7	-22,7
80 Hz	-25,5		-23,8	
100 Hz	-22,3		-27,2	
125 Hz	-22,0	-16,6	-21,2	-17,9
160 Hz	-20,1		-21,7	
200 Hz	-17,4		-19,1	
250 Hz	-15,7	-10,9	-18,2	-13,7
315 Hz	-14,5		-18,3	
400 Hz	-11,6		-12,8	
500 Hz	-8,9	-4,5	-10,5	-5,6
630 Hz	-8,0		-8,7	
800 Hz	-9,6		-9,8	
1 kHz	-10,6	-5,5	-10,9	-5,2
1,25 kHz	-10,5		-9,3	
1,6 kHz	-10,8		-9,2	
2 kHz	-12,6	-7,4	-10,8	-5,8
2,5 kHz	-13,6		-12,4	
3,15 kHz	-14,6		-14,0	
4 kHz	-17,1	-12,1	-15,7	-10,9
5 kHz	-21,2		-18,2	
6,3 kHz	-23,2		-21,1	
8 kHz	-26,4	-21,2	-24,5	-19,0
10 kHz	-32,9		-29,4	

7 Märkte

7.1 Allgemeines

Die "Anlagenart" Markt ist im Sinne einer einheitlichen Prognose schwer zu definieren. Zum einen gehören reine Versorgungsmärkte nicht zur Kategorie der Freizeitanlagen, zum anderen sind reine Freizeitmärkte relativ selten. Nahezu alle anderen als "Märkte" bezeichneten Veranstaltungen, wie Mittelaltermarkt oder Weihnachtsmarkt, tragen eher den Charakter von Volksfesten, zumal sie häufig von Bühnen und Schaustellern begleitet werden. In diesen Fällen wird die Schallemission der Märkte **ausschließlich** durch die der Bühnen bzw. der Schausteller bestimmt. Dies bedeutet, sie lassen sich mit den in Kapitel 4 (Freilichtbühnen) bzw. Kapitel 5 (Rummelplätze) beschriebenen Verfahren berechnen. Sie wurden bei den Messungen deshalb auch ausgeblendet. Eine Ausnahme bilden die inzwischen relativ häufigen "Marktschreiertage". Diese eigentlichen Versorgungsmärkte finden generell an Wochenenden statt und besitzen einen nicht zu leugnenden Unterhaltungswert, so dass sie in die Kategorie "Freizeitaktivitäten" aufgenommen wurden.

Märkte – in welcher Art auch immer – dienen vordergründig dem Verkauf von Waren. Die allgemeine Grundlautstärke wird deshalb in einem Rahmen gehalten, der eine problemlose Kommunikation zwischen Verkäufer und Kunden noch zulässt. Bei eigenen Messungen konnte folglich auch beobachtet werden, dass selbst die Hintergrundbeschallung das normale Umgebungsgeräusch, das durch größere Menschenansammlungen entsteht, kaum anhebt. Insofern können die üblichen Schallemissions-Kennwerte von Personen aus der Literatur (vgl. Tabelle 12) für einfache Abschätzungen durchaus herangezogen werden. Die Märkte finden in der Regel auf den Zentralplätzen der Städte bzw. Ortschaften statt, wo die allgemeinen urbanen Umgebungsgeräusche bereits Pegel bis zu 60 dB(A) aufweisen. Aus diesem Grund konnten keine Fernfeldmessungen durchgeführt werden; die angegebenen flächenbezogenen Schalleistungspegel wurden aus Mittelungspegeln berechnet, die durch Abschreiten der jeweiligen Marktbereiche gewonnen wurden.

7.2 Emissionskenngrößen

Im Folgenden wird zwischen allgemeinen Märkten und Marktschreibern unterschieden. Für die Märkte werden flächenbezogene Schalleistungspegel angegeben, wobei die wirksame Fläche vereinfachend zu 50 % der Marktgrundfläche abgeschätzt werden kann. Die Signalkenngrößen sind in Tabelle 14 zusammengestellt.

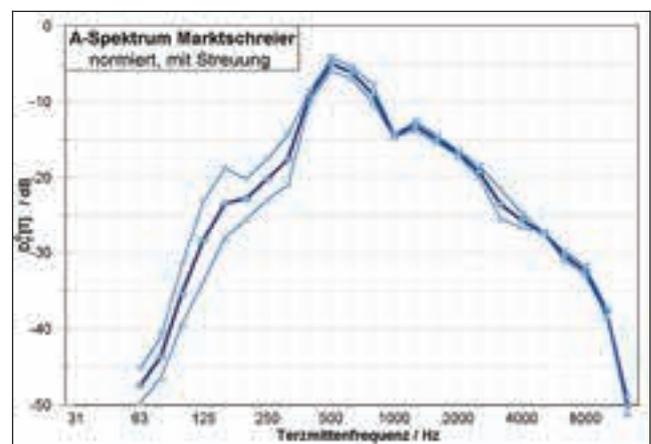


Abbildung 15: Mittleres Spektrum (Oktav-Korrektur) für Marktschreier aus 3 Einzelmessungen

Marktschreier benutzen heute generell Beschallungsanlagen, die mit denen von Kleinbühnen vergleichbar sind (2 Aktiv-Kompaktboxen, links und rechts des Standes angeordnet). Für die Marktschreier werden deshalb (Gesamt-) Schalleistungspegel je Marktstand angegeben. Das mittlere Spektrum entspricht etwa dem Langzeitspektrum eines männlichen Sprechers gemäß Abbildung 15 bzw. Tabelle 15. Da die entscheidende Schallabstrahlung über die Lautsprecher erfolgt, ist zu beachten, dass der angegebene Schalleistungspegel für eine ungerichtet abstrahlende äquivalente Punktschallquelle gilt. Für Immissionsorte außerhalb der Hauptversorgungsrichtung sind deshalb die Richtwirkungsmaße gemäß Gleichung (11) und Tabelle 8 zu berücksichtigen (siehe Kapitel 4).

Üblicherweise sind mehrere Marktstände gleichzeitig in Betrieb, so dass selbst bei

Marktschreiern ein relativ konstanter "Geräuschteppich" entsteht. Deshalb unterscheiden sich Impulszuschlag und Scheitelfaktor auch kaum von normalen Märkten. Es ist allerdings fraglich, ob die hohen, ausschließlich aus Nahfeldmessungen bestimmten Impulszuschläge im Fernfeld tatsächlich wirksam werden. Da jedoch gleichzeitig ein hoher Informa-

tionsgehalt vorhanden ist, kann die Regelung der [TA Lärm] für gewerbliche Anlagen als Orientierung dienen, wonach für Prognosen Zuschläge von +3 dB oder +6 dB zu verwenden sind, in der Summe jedoch nicht mehr als 6 dB.

Tabelle 14: Emissionskenngrößen von Märkten

Quelle	$L_{WA} / \text{dB(A)}$	$L_{WA}'' / \text{dB(A)}$	K_I / dB	$\Delta L_{\text{max}} / \text{dB}$
normaler Markt		$58,3 \pm 4,4$) ¹	$6,2 \pm 0,9$	$12,1 \pm 1,8$
Marktschreier	$104,5 \pm 7,1$) ²		$7,6 \pm 1,2$	$12,8 \pm 2,3$

)¹ wird auf die Marktfläche bezogen

)² entspricht der Gesamtemission eines Verkaufsstandes (Modellierung gemäß Kapitel 4.6)

Tabelle 15: Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum eines Marktschreiers, bezogen auf den jeweiligen A-bewerteten, energieäquivalenten Summenpegel

Frequenz	Korrekturwert in dB		Frequenz	Korrekturwert in dB	
	$D_f^0[\text{T}]$	$D_f^0[\text{O}]$		$D_f^0[\text{T}]$	$D_f^0[\text{O}]$
31 Hz	-61,8	-54,8	630 Hz	-6,2	
40 Hz	-56,1		800 Hz	-8,9	
50 Hz	-50,1		1 kHz	-14,4	-6,7
63,5 Hz	-47,4	-41,5	1,25 kHz	-13,2	
80 Hz	-43,6		1,6 kHz	-14,9	
100 Hz	-35,4		2 kHz	-16,8	-11,8
125 Hz	-28,4	-22,0	2,5 kHz	-19,2	
160 Hz	-23,4		3,15 kHz	-23,4	
200 Hz	-22,8		4 kHz	-25,6	-20,4
250 Hz	-20,2	-14,9	5 kHz	-27,3	
315 Hz	-17,5		6,3 kHz	-30,3	
400 Hz	-9,2		8 kHz	-32,3	-27,7
500 Hz	-5,0	-1,7	10 kHz	-37,7	

8 Zirkusse

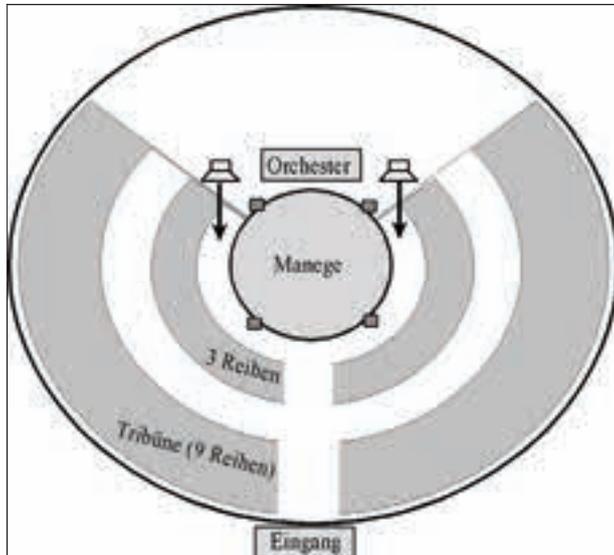


Abbildung 16: Typischer Grundriss eines Zirkuszeltes

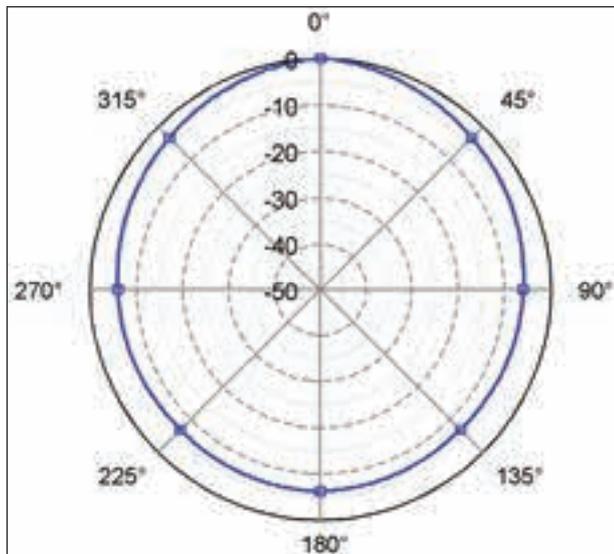


Abbildung 17: Berechnetes mittleres Richtwirkungsmaß in dB für Zirkusse (bewertet mit A-Kurve und mittlerem Spektrum)

8.1 Allgemeines

Die Quellen der Schallemissionen von Zirkussen ähneln prinzipiell denen von Freilichtbühnen. Für die getrennte Untersuchung der Emissionen von Besuchern (unabhängig von den regulären Zirkusaufführungen) können die in Kapitel 2 zusammengefassten Werte von personen- bzw. flächenbezogenen Schallleistungspegeln herangezogen werden. Bei der Anwendung auf Veranstaltungen im Zelt ist allerdings zusätzlich stets die frequenzabhängige Dämpfung des Zeltmaterials zu beachten! Die Signalquellen werden ausnahmslos über eine Beschallungsanlage verstärkt, wobei die Lautsprecherboxen links und rechts des Orchesters angeordnet sind. Eine typische Aufstellung im Zirkuszelt zeigt Abbildung 16. Das nach außen wirksame Richtwirkungsmaß kann Abbildung 17 entnommen werden. Das zugehörige Spektrum (außerhalb des Zeltes) ist in Abbildung 18 dargestellt.

Gelegentlich kann es im Nachtzeitraum zu Problemen mit von Tieren verursachten Geräuschen kommen. So können z. B. von Raubtieren oder Elefanten erzeugte Geräusche bei Standorten in Wohngebieten u. U. die nachts zulässigen Spitzenpegel überschreiten. Dafür können jedoch keine Emissionswerte angegeben werden.

8.2 Emissionskenngrößen

Aus den Messungen ergeben sich folgende mittlere Schalleistungspegel:

$$L_{WA} = 108,3 \pm 1,3 \text{ dB(A)}$$

Der Impulszuschlag liegt in der Größenordnung von:

$$K_i = 4,6 \pm 1,1 \text{ dB}$$

Als Scheitelfaktor lässt sich ein Wert abschätzen von:

$$\Delta L_{\max} = 10,8 \pm 2,3 \text{ dB}$$

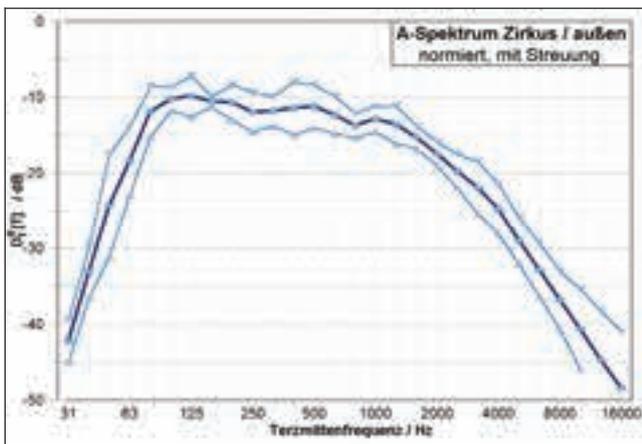


Abbildung 18: Spektrum Zirkusse (Mittelwerte aus 4 Einzelmessungen)

8.3 Modellierung

Analog zu den Betrachtungen für Freilichtbühnen in Kapitel 4 besteht die Möglichkeit der Prognose auf der Basis der zu beschallenden Fläche, die proportional der Zuschauerzahl ist, bzw. der maximalen Beschallungsentfernung, die proportional der Zeltgröße ist.

$$L_{WA} = 79 \text{ dB(A)} + 10 \cdot \lg(n) \text{ dB} \quad (15)$$

mit: n : Platzanzahl Zirkus (Zuschauerkapazität)

$$L_{WA} = 84 \text{ dB(A)} + 20 \cdot \lg\left(\frac{r}{r_0}\right) \text{ dB} \quad (16)$$

mit: r : mittlerer Radius Zirkuszelt
 r_0 : Bezugsradius von 1 m

Die abschattende Wirkung der häufig um das Großzelt angeordneten Wagenburg ist in den Messwerten nicht enthalten. Für genauere Prognosen für Immissionsorte in Zeltnähe müssen deshalb entsprechend detaillierte Modellgeometrien verwendet werden. Für weiter entfernt liegende Immissionsorte geht deren Abschattungswirkung infolge des ausgeprägten Tieftonteils hingegen schnell gegen Null.

Tabelle 16: Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum von Zirkussen, bezogen auf den jeweiligen A-bewerteten, energieäquivalenten Summenpegel

Frequenz	Korrekturwert in dB	
	D_f^0 [T]	D_f^0 [O]
31 Hz	-42,2	-32,5
40 Hz	-33,1	
50 Hz	-24,3	
63,5 Hz	-18,3	-10,8
80 Hz	-11,9	
100 Hz	-10,2	
125 Hz	-9,8	-5,4
160 Hz	-10,5	
200 Hz	-10,7	
250 Hz	-11,9	-6,7
315 Hz	-11,8	
400 Hz	-11,4	
500 Hz	-11,2	-6,9
630 Hz	-12,3	
800 Hz	-13,7	
1 kHz	-12,9	-8,6
1,25 kHz	-13,6	
1,6 kHz	-15,3	
2 kHz	-17,4	-12,3
2,5 kHz	-19,7	
3,15 kHz	-21,9	
4 kHz	-24,7	-19,6
5 kHz	-28,9	
6,3 kHz	-32,8	
8 kHz	-36,8	-30,9
10 kHz	-40,6	

9 Freizeit- und Vergnügungsparks

9.1 Allgemeines

In Deutschland existieren mehr als 50 große Freizeit- und Vergnügungsparks. Diese unterscheiden sich stark hinsichtlich ihrer Thematik und damit der Art und Dichte der enthaltenen Attraktionen. Die Spannweite reicht dabei von naturnahen Parks über Filmparks bis hin zu Fun- und Abenteuerparks mit sehr vielen Fahrgeschäften. Die Öffnungszeiten für die Mehrheit der Parks liegen zwischen 9.00 Uhr und 18.00 Uhr. Nur einzelne Parks sind bis 23.00 Uhr geöffnet. Diese Vielfalt macht die Ableitung allgemeingültiger Zusammenhänge für Prognosen der Emissionskennwerte sehr schwierig. Hinzu kommt, dass die Freizeitparks sehr große Flächen einnehmen, die bei großen Anlagen im Bereich von 60 - 80 ha liegen können. Die Emissionen schwanken auch in Folge unterschiedlicher Besucherzahlen, die durch Wochentag, Tageszeit, Wetter etc. beeinflusst werden. Für die Prognose sollte mit hohen Besucherzahlen gerechnet werden, die auch entsprechende Emissionen durch Anreise- und Parkverkehr verursachen.

Im Prinzip ähneln die Gesetzmäßigkeiten der Schallemission von Freizeit- und Vergnügungsparks denen von Rummelplätzen, so dass für die Prognosen ein ähnlicher Ansatz wie in Kapitel 5 gewählt wurde. Dabei ist jedoch zu beachten, dass bei ortsfesten Fahrgeschäften in Freizeit- und Vergnügungsparks im Gegensatz zu Rummelplätzen in der Regel keine separate Beschallung der Fahrgäste über eine eigene Anlage erfolgt. Die untersuchten Parks wurden typischerweise flächendeckend mit dezenter Hintergrundmusik beschallt. Über größere Entfernungen waren auch Emissionen parkeigener stationärer Bühnen oder Zirkusse eher selten wahrnehmbar.

9.2 Emissionskenngrößen

Bei Freizeitparks sind nur die Werte des reinen Fahrgeräuschs und die Lautäußerungen der Nutzer zu berücksichtigen, da Beschallungsan-

lagen an den Fahrgeschäften nur für Ansagen genutzt werden und in ihrer Emission gegenüber dem Fahrgeräusch vernachlässigt werden können. Die Schalleistungspegel der Einzelquellen sind zusammen mit weiteren Emissions-Kennwerten in Tabelle 17 aufgeführt. Diese Schalleistungspegel gelten für den Betrieb der entsprechenden Einzelquelle. Auf Grund objektiver Umstände (z. B. Fahrgastwechsel) können die Anlagen nicht ständig in Betrieb sein. Es wurde deshalb die maximal mögliche Auslastung abgeschätzt und darüber eine Zeitkorrektur der bei der Messung ermittelten Schalleistungspegel vorgenommen. Die so berechneten (Dauer)-Schalleistungspegel in Tabelle 17 charakterisieren also die auf die gesamte Betriebszeit des Freizeitparks bezogene Schallemission bei voller Auslastung.

Emissionsdaten von Menschenmengen sind in Kapitel 2.3 zusammengefasst. Angaben zu (vorwiegend flächenbezogenen) Emissionspegeln, die denen von Freizeit- und Vergnügungsparks ähneln, lassen sich auch aus Tabelle 12 entnehmen. Weitere Emissionsdaten von Fahrgeschäften sind in Tabelle 10 enthalten. Für Bühnen mit Beschallungsanlagen kann die Prognose und Ausbreitungsrechnung nach dem im Kapitel 4 hergeleiteten Verfahren vorgenommen werden.

Die von Besuchern verursachten Geräusche können entsprechend der konkreten Anordnung von Wegen, gastronomischen Einrichtungen u. ä. mit den zugehörigen Schalleistungspegeln versehen werden, die gemäß dem Vorgehen in Kapitel 6 zu ermitteln sind. Die Aufenthaltsdauer der Besucher in einem Freizeitpark ist erfahrungsgemäß sehr lang. Deshalb ist bei der Modellierung der dazugehörigen Parkplätze zu beachten, dass die Stellplatzwechsel auf den einzelnen Stellflächen sehr niedrig sind. Sie können zwischen einem und zwei Wechsel je Stellplatz und Tag betragen.

Tabelle 17: Emissionskennndaten von in Freizeitparks untersuchten Einzelquellen

Quelle	L _{WA}	K _I	ΔL _{max}
Berg- u. Talbahn	98 dB(A)	3,4 dB	5,1 dB
Schleuderkarussell	100 dB(A)	5,0 dB	9,4 dB
Achterbahn	102 - 107 dB(A)	5,3 - 8,1 dB	10,3 - 19,7 dB
Bühne (Ansager)	105 dB(A)	7,3 dB	13,5 dB
Wildwasserbahn	89 dB(A)	3,5 dB	6,3 dB
Saurier (Lautspr.)	91 dB(A)	6,3 dB	15,0 dB
Schiffsschaukel	102 dB(A)	6,4 dB	15,2 dB
Zirkus (Kinder)	99 dB(A)	6,3 dB	14,7 dB
Wasserrutsche	110 dB(A)	4,8 dB	16,4 dB

9.3 Modellierung

Lokal relevante Aussagen über die Schall-emission von Freizeit- und Vergnügungsparks lassen sich nur durch detaillierte Prognosen ermitteln.

Prognosen aus flächenbezogenen Schalleis-tungspegeln eignen sich nur für grobe Ab-schätzungen. Für Immissionsorte in der Nähe des Parkgeländes können bei der anschlie-ßenden Ausbreitungsrechnung grobe Abwei-chungen zu realen Beurteilungspegeln entste-hen, wenn z. B. dominante Einzelquellen in unmittelbarer Nähe angeordnet sind. Die her-geleiteten flächenbezogenen Schalleistungs-pegel bei voller Auslastung der Parks liegen zwischen

$$L_{WA''} = 58 \text{ dB(A)}$$

(naturnaher Park, wenig Fahrgeschäfte) und

$$L_{WA''} = 67 \text{ dB(A)}$$

(erlebnisorientierter Park, viele Fahrgeschäfte).

Der mittlere Impulszuschlag für die vier unter-suchten Parks beträgt

$$K_I = 5,2 \pm 0,8 \text{ dB.}$$

Als Scheitelfaktor lässt sich ein Wert abschät-zen von:

$$\Delta L_{\max} = 12,5 \pm 3,0 \text{ dB.}$$

10 Vereins- und Bürgerhäuser

10.1 Allgemeines

Für Vereins- und Bürgerhäuser lassen sich sehr schwer allgemeingültige Zusammenhänge zur Prognose von Schallemissionskenngößen ableiten. Das liegt an der sehr unterschiedlichen Nutzung dieser Einrichtungen, die von praktisch geräuschlosen Tätigkeiten (z. B. Malerei) über Laienmusik (Orchester/Chor) bis hin zu Diskotheken bzw. Live-Konzerten reichen kann. Da Vereins- und Bürgerhäuser häufig in Wohngebieten gelegen sind, spielen auch die Geräuschemissionen des Gästefahrzeugverkehrs sowie von Personen im Außenbereich der Einrichtungen eine Rolle, was besonders bei Nutzung für Diskotheken und Konzerte in den Abend- und Nachtstunden problematisch sein kann.

10.2 Modellierung

Für verlässliche Prognosen muss in den meisten Fällen das jeweilige konkrete bauliche Objekt und seine spezielle zeitliche Nutzung untersucht werden. Ausgangspunkt für die Abschätzung der Emission wird in der Regel der mittlere Innenraumpegel des entsprechenden Veranstaltungsraumes sein. In Tabelle 18 sind einige Werte möglicher Innenraumpegel bei kritischen Nutzungen aufgeführt.

Bei anderen Nutzungen muss ggf. der Innenraumpegel abgeschätzt werden. Mit den ermittelten Werten kann eine Ausbreitungsrechnung z. B. nach [VDI 2571] durchgeführt werden. Dabei müssen die Außenbauteile des Gebäudes mit ihren Flächen und Schalldämmmaßen berücksichtigt werden. Zu beachten ist vor allem die verminderte Schalldämmung der Fassade bei geöffneten Türen oder Fenstern.

Tabelle 18: Beispiele für Innenschalldruckpegel in Räumen

Raumnutzung	L_{Aeq}	K_i	ΔL_{max}
Diskotheke (nach [Joiko])	99-102 dB(A)	3,6 dB	10,2 dB
Techno-Diskotheke	105-108 dB(A)	4,9 dB	12,5 dB
Blaskapelle, 25 Musiker (Rechnung)	88 dB(A)	3,9 dB	8,1 dB
Orchesterprobe (klassisches Repertoire)	83 dB(A)	5,6 dB	18,7 dB
Chorprobe (ca. 50 Personen)	81 dB(A)	5,3 dB	16,5 dB

11 Abenteuerspielplätze

Tabelle 19: Schallemissionskennwerte für spielende Kinder

Schallquelle	$L_{WA,1}$	L_{WA}''
Kindergartenspielplatz		60 dB(A)
laut spielendes Kind	88 dB(A)	
längere Zeit spielendes Kind	78 dB(A)	
Kinderbecken im Freibad	85 dB(A)	80 dB(A)

11.1 Allgemeines

Für die Beurteilung von Abenteuerspielplätzen ist die Interpretation der [FZL-RL] zu beachten: "Die mit ihrer Nutzung (von Kinderspielplätzen, die die Wohnnutzung in dem betroffenen Gebiet ergänzen) unvermeidbar verbundenen Geräusche sind sozialadäquat und müssen von den Nachbarn hingenommen werden".

An allen untersuchten Abenteuerspielplätzen konnte festgestellt werden, dass die Kinder infolge der gezielten Beschäftigungsanleitung durch Aufsichtspersonen, häufig auch im Beisein von Eltern oder Großeltern, sich diszipliniert und relativ ruhig verhielten. Ähnliches trifft auf Abenteuerspielplätze in zentralurbanen Lagen zu. Insofern scheint von Abenteuerspielplätzen weniger Lärm auszugehen als von "normalen" Spielplätzen, z. B. in Wohngebieten. Anlagen mit klang- oder geräuscherzeugender Ausstattung konnten nicht ermittelt werden.

11.2 Emissionskenngrößen

Werte aus der Literatur liegen nur sehr wenige vor, auch wenn in der [FZL-RL] so genannte "Robinson-Spielplätze" und "Aktiv-Spielplätze" ausdrücklich erwähnt sind. Die verfügbaren Werte sind in Tabelle 19 zusammengestellt.

Aus den wenigen auswertbaren Messungen ergeben sich flächenbezogene Schalleistungspegel mit einem Spektrum gemäß Abbildung 19 bzw. Tabelle 20:

$$L_{WA}'' = 68,6 \pm 7,6 \text{ dB(A)} .$$

Der Impulszuschlag kann abgeschätzt werden zu:

$$K_i \approx 8 \pm 2 \text{ dB} .$$

Als Scheitelfaktor lässt sich abschätzen:

$$\Delta L_{\max} \approx 10 \pm 3 \text{ dB} .$$

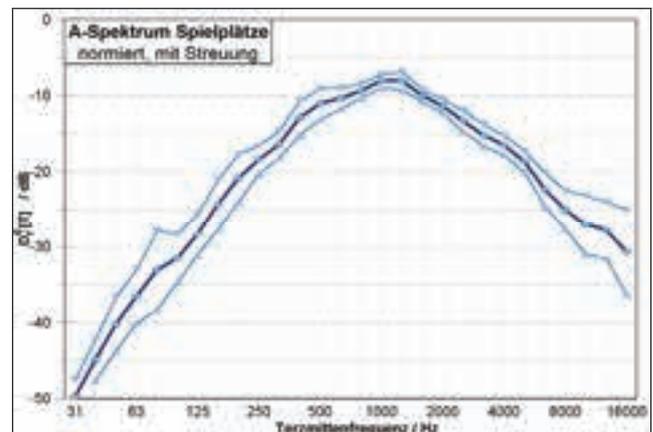


Abbildung 19: Mittleres Spektrum für Abenteuerspielplätze mit dominierenden Lautäußerungen der Kinder aus 5 Einzelmessungen

Tabelle 20: Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum von Abenteuerspielplätzen, bezogen auf den jeweiligen A-bewerteten, energieäquivalenten Summenpegel

Frequenz	Korrekturwert in dB	
	D_f^0 [T]	D_f^0 [O]
31 Hz	-49,8	-43,3
40 Hz	-44,8	
50 Hz	-40,2	
63,5 Hz	-36,6	-30,9
80 Hz	-33,1	
100 Hz	-31,5	
125 Hz	-28,3	-22,3
160 Hz	-24,3	
200 Hz	-20,8	
250 Hz	-18,4	-13,4
315 Hz	-16,4	
400 Hz	-12,9	
500 Hz	-11,1	-6,6
630 Hz	-10,4	
800 Hz	-9,4	
1 kHz	-8,1	-3,7
1,25 kHz	-8,1	
1,6 kHz	-10,0	
2 kHz	-11,4	-6,6
2,5 kHz	-13,3	
3,15 kHz	-15,2	
4 kHz	-16,5	-11,8
5 kHz	-18,6	
6,3 kHz	-22,3	
8 kHz	-25,1	-19,6
10 kHz	-27,1	

12 Anlagen für Modellfahrzeuge und –flugzeuge

12.1 Modellflugplätze

12.1.1 Allgemeines

Nach § 16 der Luftverkehrs-Ordnung [LuftVO] besteht u. a. eine Erlaubnispflicht zum Aufstieg für Flugmodelle mit Verbrennungsmotoren, die in einer Entfernung von weniger als 1,5 km von Wohngebieten betrieben werden. Einer Aufstiegserlaubnis für konkrete Modelle bedarf es nicht, wenn der Flugbetrieb auf einem zugelassenen Flugplatz für Flugmodelle durchgeführt wird.

Flugplätze für Flugmodelle sind seit 2006 nach den „Grundsätzen des Bundes und der Länder für die Erteilung der Erlaubnis zum Aufstieg von Flugmodellen gemäß § 16 LuftVO“ [Grundsätze Flugmodelle] zu bewerten. Nach diesen Grundsätzen dürfen die Schallpegel von Flugmodellen, die von Verbrennungsmotoren angetrieben werden, die Lärmgrenzwerte nach der vom Luftfahrt-Bundesamt veröffentlichten Lärmvorschrift für Luftfahrzeuge [LVL] in der jeweils geltenden Fassung nicht überschreiten. Aktuell (LVL vom 01.08.2004) ist für Flugmodelle mit Kolbenmotoren (Propeller und Hubschrauber) ein Grenzwert von

$$L_{Amax} = 84 \text{ dB(A)}$$

und für Flugmodelle mit Strahltriebwerk (Strahlflugzeuge und Hubschrauber) ein Grenzwert von

$$L_{Amax} = 90 \text{ dB(A)}$$

festgelegt.

Im anzuwendenden Messverfahren ist eine arithmetische Mittelung von Messungen in unterschiedlichen Richtungen in 25 m Bezugsentfernung vorgegeben. Die Messpunkte befinden sich 1 m über kurz gemähtem Grasboden.

Dies entspricht bei Flugzeugen mit Kolbenmotoren einem maximalen Schallleistungspegel je Flugzeug von:

$$L_{WA} \leq 121 \text{ dB(A)}.$$

Der DEUTSCHE MODELLFLIEGER VERBAND E.V. hat 1999 ein Konzept zur Lärmbewertung von Modellflugplätzen [MF-Konzept] entwickeln

lassen. Zur Vereinfachung der Anwendung wurde dieses 2004 um eine Messvorschrift und Abstandstabellen in Abhängigkeit der Gebietseinstufung der Immissionsorte ergänzt [Sorge]. Diese Abstandstabellen sind nun Bestandteil der „Grundsätze des Bundes und der Länder für die Erteilung der Erlaubnis zum Aufstieg von Flugmodellen gemäß § 16 LuftVO“ und können im Rahmen einer vereinfachten schalltechnischen Beurteilung für Modellfluggelände auf der Basis der [18. BImSchV] angewandt werden. In allen anderen Fällen sind die Schallimmissionen genau zu berechnen.

Dazu wird die aus den Messwerten gemäß Gleichung (17) ermittelte Schalleistung als halbkreisförmige Flächenschallquelle mit einem Radius von 300 m (= Größe des Flugkorridors) in 75 m Höhe (= mittlere Flughöhe) angesetzt (vgl. Abbildung 20).

$$\begin{aligned} L_{WA} &= L_{Aeq}^5 + 39 \text{ dB} \\ L_{WA}'' &= L_{WA} - 10 \cdot \lg\left(\frac{A}{A_0}\right) \text{ dB} \\ &= L_{WA} - 51,5 \text{ dB} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\text{bzw.} \quad = L_{Aeq} - 12,5 \text{ dB}$$

Die Gesamtemission eines Modellflugplatzes ist dann durch die energetische Addition der zeitlich gewichteten Anteile der genutzten Modellkategorien (vergleiche Kapitel 12.1.2) zu berechnen. Die Flugzeit eines einzelnen Modells liegt deutlich unter 10 min; je zugelassenen Flugkorridor dürfen höchstens 2 Modelle gleichzeitig betrieben werden.

Die Schallausbreitungsberechnung erfolgt gemäß [18. BImSchV] nach [VDI 2714]. Der Vergleich mit der aktuellen [DIN ISO 9613-2] hat im interessierenden Ausbreitungsbereich für die Mitwindsituation nur zu sehr geringen Abweichungen im Endergebnis geführt.

⁵ arithmetischer Mittelwert aus mehreren Messungen des L_{Amax} eines Modells in 25 m Entfernung

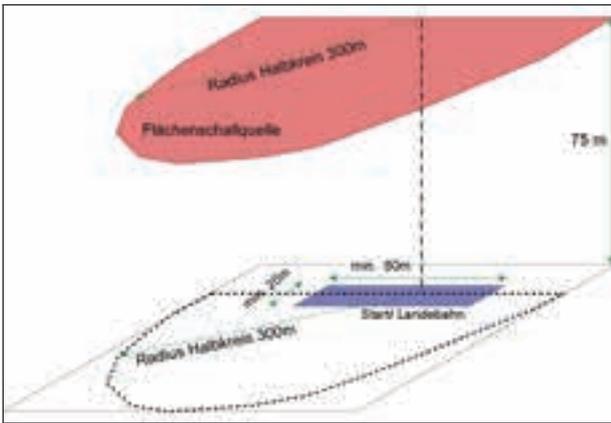


Abbildung 20: Anordnung der Flächenschallquelle entsprechend dem halbkreisförmigen Flugkorridor bei mittlerer Flughöhe

12.1.2 Emissionskenngrößen

Bei der Festlegung der Ausgangsgrößen für die Schallemissionsberechnung von Modellflugplätzen sind die unterschiedlichen Flugmodellsporkategorien der aktiv genutzten Modelle zu berücksichtigen. Dies ist aufgrund ihrer differierenden Schalleistungspegel als auch der sehr unterschiedlichen Spektren (Tabelle 21) notwendig. Nachfolgend werden die wichtigen Modellkategorien⁶ kurz beschrieben. Klanglich dominant sind in nahezu allen Fällen die Antriebsgeräusche (Kolbenmotoren, Turbinen, Elektromotoren), so dass funktionale Modellunterschiede (originalgetreue Flugzeuge, Funflyer, Hubschrauber usw.) bei der Ermittlung der Emission vernachlässigt werden können.

Die angegebenen Zuschläge für Impulshaltigkeit wurden aus Messungen bei Flugbetrieb an Messorten in Nähe des Modellpiloten gewonnen, an denen sich die entfernungs- und richtungsbedingten Pegelschwankungen sehr stark auswirken. Einige wenige, im Fernfeld des Flugkorridors gewonnene Messdaten bestätigen diese nicht. Da alle Modellverbrennungsmotoren ausgeprägte tonale Klangkomponenten aufweisen, wird in [MF-Konzept] ein Zuschlag für Ton- und Informationshaltigkeit

von +6 dB, sowie ein pauschaler Sicherheitszuschlag von +3 dB vorgeschlagen. Als Beurteilungszeitraum werden 9 Stunden (Sonn- und Feiertags außerhalb der Ruhezeiten) angesetzt, so dass die Zeitkorrektur 0 dB beträgt.

Bei der Beurteilung ist zu berücksichtigen, dass bei allen Modellen mit Propellerantrieb, einschließlich Hubschraubern, ortsuntypische, schmalbandige tonale Klangkomponenten auftreten (auch bei Modellen mit Elektroantrieb), die bereits bei niedrigen Immissionspegeln, weit unterhalb der zulässigen Richtwerte, eine hohe Störwirkung haben. Allgemein kann dabei davon ausgegangen werden, dass mit kleineren Hubräumen höhere Drehzahlen und damit steigende Lästigkeit des Klanges verbunden sind. Nur für Turbinenantriebe trifft dies nicht zu.

RC-Flugmodelle mit Kolbenverbrennungsmotoren

Die Mehrzahl der hier zu betrachtenden Flugzeugmodelle ist funkferngesteuert und wird durch Kolbenverbrennungsmotoren angetrieben. Es werden sehr unterschiedliche Modellgrößen und zugehörige Motorleistungen verwendet. Anhand der Messungen lässt sich trotz der relativ großen Streuung ein deutlich unter dem zulässigen Maximalwert liegender mittlerer Schalleistungspegel von

$$L_{WA} = 104,9 \pm 4,4 \text{ dB(A)}$$

je Flugzeug angeben. Sehr unterschiedlich sind hingegen die zugehörigen Spektren und die daraus resultierende Lästigkeit der Motorengeräusche. Aus Terzmessungen an insgesamt 34 Modellen dieser Kategorie lassen sich drei Gruppen definieren, die in Tabelle 22 beschrieben sind.

⁶ im schallemissionstechnischen Sinne - nicht im Sinne der Modellkategorien des Deutschen Aero Club e.V.

Tabelle 21: Zusammenstellung der Signalkenngrößen von Modellmotoren (für die Betriebsdauer) unter Berücksichtigung von Werten aus eigenen Messungen und aus [Sorge]

	Kolbenmotoren	Turbinen	Fesselflug	Elektromodelle
ΔL_{\max} / dB	8,8	8,8	6,2	11,1
Std.-abw. σ /dB	2,0	3,1	2,4	4,3
K_I / dB	4,5	4,1	4,7	5,2
Std.-abw. σ /dB	1,4	2,3	1,8	0,7
L_{WA} / dB(A)	104,9	120,3	119,2	86,2
Std.-abw. σ /dB	4,4	9,0	2,5	6,9
Anzahl	37	10	18	7

Tabelle 22: Klangliche Hauptgruppen von Kolbenverbrennungsmotoren

	Hubraum	klangliche Besonderheiten
Kleine Motoren	$\leq 10 \text{ cm}^3$	durchdringender, ausschließlich hochfrequenter Klang
Mittlere Motoren	10 - 30 cm^3	größte Lautstärke im mittleren Frequenzbereich
Große Motoren	$\geq 30 \text{ cm}^3$	tiefrequentes Brummen, Klang ähnlich einem Moped

RC-Flugmodelle mit Turbinen

Zunehmend sind Flugmodelle mit Turbinenantrieben im Einsatz (Jets, Hubschrauber). Diese weisen zwar deutlich höhere Schalleistungspegel als Kolbenmotoren auf, ihr Klang ist jedoch ein nahezu von tonalen Komponenten freies mitten- bis höhenbetontes Rauschen, so dass eine wesentlich geringere Lästigkeit vorhanden ist. Zuschläge für Ton- oder Informationshaltigkeit können entfallen.

RC-Flugmodelle mit Elektromotoren

Auch bei Modellen mit Elektromotor-Antrieben existieren erhebliche Größen- und Leistungsunterschiede. Häufig werden derartige Antriebe für Motorsegler oder für den Start von Segelflugzeugen eingesetzt. Für diese konnten keine Messwerte ermittelt werden, da die erzeugten Schalleistungspegel äußerst gering und die damit verbundenen Schallemissionen vernachlässigbar sind.

Die angegebenen Werte beziehen sich auf

größere Funktionsmodelle (z. B. Hubschrauber mit Elektroantrieb und Funflyer mit Abwurfeinrichtungen u. ä.). Diese haben im Mittel gegenüber Verbrennungsmotoren um 20 dB niedrigere Schalleistungspegel, so dass deren Emissionen in nahezu allen Fällen unkritisch sind.

Segelflugmodelle

Segelflugmodelle benötigen einen kurzen Startauftrieb (ca. 30 s), der entweder durch einen „kleineren“ Verbrennungsmotor (siehe Tabelle 23 und Abbildung 23), einen Elektromotor oder einen Gummiaufzug realisiert wird. Die beiden letzten Kategorien erzeugen praktisch keine nennenswerte Schallemission und dürfen deshalb auch von unbefestigten Behelfsflugplätzen aus aufsteigen. Größere Segelflugzeuge ohne eigenen Antrieb werden hingegen von großen verbrennungsmotorgetriebenen Schleppmaschinen gezogen, deren Emissionen sich mit denen „großer“ Motoren beschreiben lassen (vgl. Tabelle 23 und Abbildung 21).



Fesselflugmodelle

Flugplätze für Fesselflugmodelle sind vergleichsweise selten, da ein relativ hoher baulicher Aufwand für eine eher veraltete Technologie betrieben werden muss. Die entweder von Verbrennungs- oder Elektromotoren angetriebenen Modelle fliegen über einem kreisförmigen Flugfeld von 16 m Durchmesser und hartem Belag. Die Schallemissionspegel differieren in Abhängigkeit der Klassifizierung sehr stark, sind jedoch innerhalb einer Kategorie auf

Grund der extremen Spezialisierung ausgesprochen einheitlich. Die Schallemission der Elektromotor-Modelle kann vernachlässigt werden. Generell ist die subjektive Auffälligkeit des hochfrequenten, sirenenartigen Klages von Fesselflugmodellen sehr hoch, da die schmalbandigen Resonanzschalldämpfer auf Grund der engen kreisförmigen Flugbahn einen ausgeprägten Dopplereffekt erzeugen. Andererseits können Fesselflugmodelle in Folge der Länge der Steuerleine nur maximal 15 m hoch aufsteigen (gilt nur für die Kategorien F2B und F2D; die Geschwindigkeitsmodelle F2A und F2C fliegen generell in maximal 2 m Höhe). Insofern ist für die Schallimmissionsberechnung derartiger Anlagen ein gesonderter Ansatz heranzuziehen.

Als typisch können die Spektren und Schalleistungen für kleine Modellmotoren angesetzt werden. Für die Geschwindigkeitskategorien, bei denen Motoren mit Hubräumen von ca. 2,5 cm³ und Drehzahlen bis zu 40.000/min eingesetzt werden, die zur Leistungs-/Drehzahlsteigerung generell mit sehr schmalbandigen "Resonanzschalldämpfern" ausgestattet sind, ist die getrennt beschriebene Gruppe "Geschwindigkeitsmotoren" zu verwenden (siehe Tabelle 24, Abbildung 24).

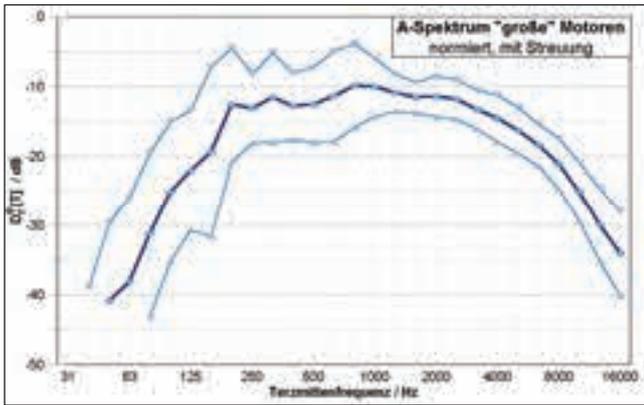


Abbildung 21: Mittleres Emissionsspektrum für "große" Modellmotoren aus 17 Einzelmessungen

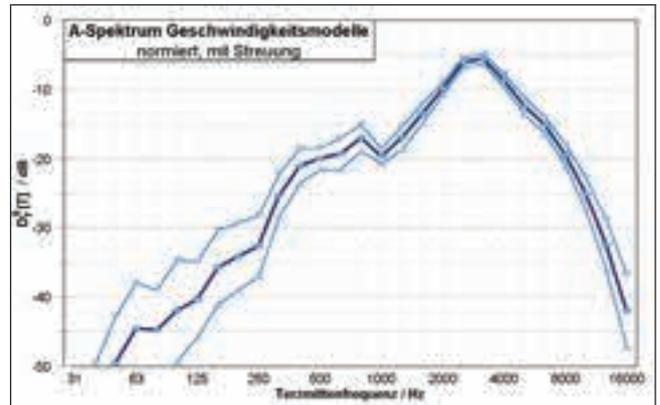


Abbildung 24: Mittleres Emissionsspektrum von Motoren für Geschwindigkeitsmodelle aus 9 Einzelmessungen

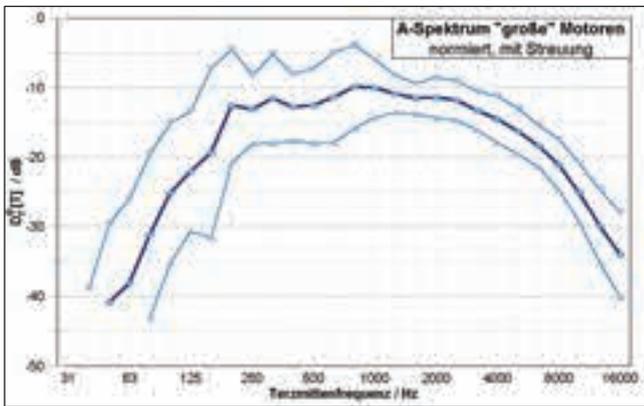


Abbildung 22: Mittleres Emissionsspektrum "mittelgroßer" Modellmotoren aus 16 Einzelmessungen

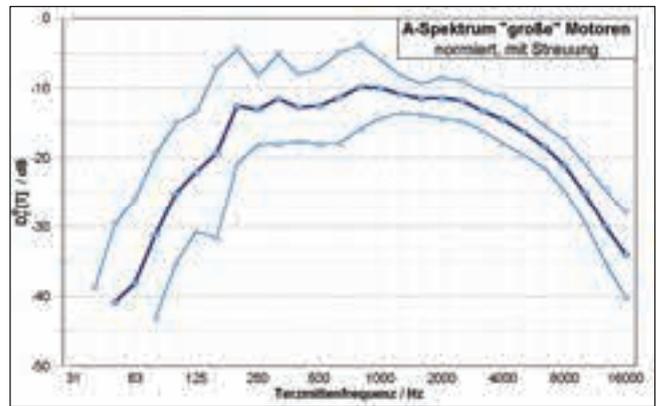


Abbildung 25: Mittleres Emissionsspektrum für Modellturbinen aus 10 Einzelmessungen

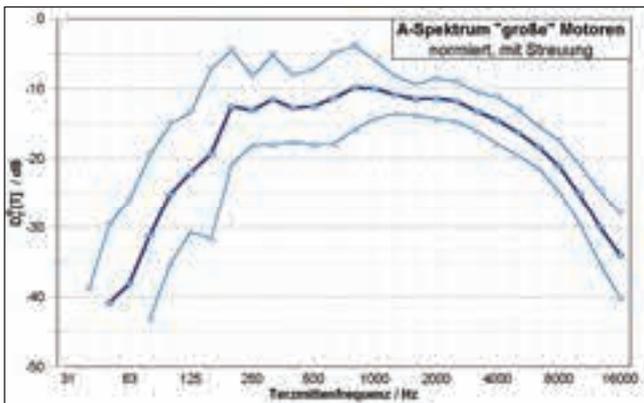


Abbildung 23: Mittleres Emissionsspektrum für "kleine" Modellmotoren aus 8 Einzelmessungen

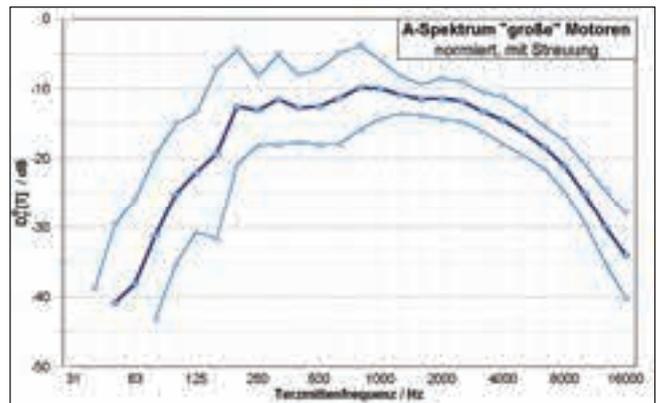


Abbildung 26: Mittleres Emissionsspektrum von Modellen mit Elektromotoren aus 8 Einzelmessungen

Tabelle 23: Spektren-Korrekturwerte für die A-bewerteten Emissionsspektren von Modellen mit Verbrennungs-Kolbenmotoren bezogen auf den zugehörigen Summenpegel

Frequenz	Korrekturwert in dB					
	"große" Motoren		"mittlere" Motoren		"kleine" Motoren	
	D ⁰ _f [T]	D ⁰ _f [O]	D ⁰ _f [T]	D ⁰ _f [O]	D ⁰ _f [T]	D ⁰ _f [O]
31 Hz	-54,2	-47,7	-54,0	-48,6	-70,2	-63,7
40 Hz	-49,4		-50,8		-65,1	
50 Hz	-40,9		-42,0		-56,7	
63,5 Hz	-38,1	-30,0	-39,3	-34,7	-53,6	-49,2
80 Hz	-31,2		-37,9		-52,7	
100 Hz	-25,1		-34,7		-46,7	
125 Hz	-22,0	-16,8	-34,3	-22,7	-46,2	-37,3
160 Hz	-19,4		-23,3		-38,5	
200 Hz	-12,6		-21,9		-33,2	
250 Hz	-13,1	-7,6	-22,9	-14,9	-37,2	-28,1
315 Hz	-11,5		-16,9		-30,6	
400 Hz	-12,8		-14,3		-24,5	
500 Hz	-12,6	-7,4	-11,7	-7,9	-14,3	-10,9
630 Hz	-11,3		-12,3		-13,9	
800 Hz	-9,8		-10,4		-16,7	
1 kHz	-10,1	-5,5	-11,3	-6,0	-13,9	-8,8
1,25 kHz	-10,9		-10,6		-11,6	
1,6 kHz	-11,5		-10,2		-11,1	
2 kHz	-11,4	-6,8	-10,2	-5,2	-9,4	-4,9
2,5 kHz	-11,8		-9,7		-8,9	
3,15 kHz	-13,3		-10,7		-9,8	
4 kHz	-14,5	-9,8	-11,9	-7,1	-9,9	-5,3
5 kHz	-16,3		-13,4		-10,7	
6,3 kHz	-18,4		-16,3		-11,3	
8 kHz	-21,1	-16,0	-17,6	-13,3	-13,2	-8,1
10 kHz	-25,1		-22,1		-15,1	
12,5 kHz	-29,9		-26,4		-19,5	
16 kHz	-34,1		-30,1		-24,3	

Tabella 24: Spektrum-Korrekturwerte für die A-bewerteten Emissionsspektren von Modellantrieben

Frequenz	Korrekturwert in dB					
	Turbinen		Elektromotoren		Geschwindigkeitsmotoren	
	D ⁰ _f [T]	D ⁰ _f [O]	D ⁰ _f [T]	D ⁰ _f [O]	D ⁰ _f [T]	D ⁰ _f [O]
31 Hz	-47,3	-39,8	-56,8	-50,9	-60,6	-54,8
40 Hz	-41,2		-52,9		-56,5	
50 Hz	-40,0		-47,3		-49,5	
63,5 Hz	-38,4	-32,5	-47,8	-40,4	-44,5	-41,0
80 Hz	-35,0		-42,5		-44,8	
100 Hz	-32,8		-39,3		-41,9	
125 Hz	-30,2	-25,4	-37,3	-32,1	-40,4	-33,7
160 Hz	-28,2		-35,0		-35,7	
200 Hz	-24,5		-32,0		-34,2	
250 Hz	-21,9	-17,8	-21,7	-18,9	-32,6	-24,1
315 Hz	-21,9		-22,5		-25,3	
400 Hz	-19,3		-22,2		-21,0	
500 Hz	-19,2	-13,2	-10,2	-8,7	-20,0	-15,2
630 Hz	-16,2		-14,9		-19,2	
800 Hz	-12,4		-11,8		-16,9	
1 kHz	-11,7	-6,7	-12,6	-7,2	-19,6	-12,9
1,25 kHz	-10,6		-11,7		-16,9	
1,6 kHz	-8,8		-10,0		-13,4	
2 kHz	-7,8	-3,8	-10,2	-5,4	-9,8	-4,0
2,5 kHz	-9,2		-10,4		-6,0	
3,15 kHz	-12,1		-9,0		-5,6	
4 kHz	-11,9	-7,0	-10,5	-5,5	-8,6	-3,3
5 kHz	-11,3		-11,9		-12,4	
6,3 kHz	-13,9		-13,2		-15,1	
8 kHz	-15,0	-10,4	-15,6	-10,5	-19,4	-13,4
10 kHz	-17,1		-18,7		-25,0	
12,5 kHz	-20,4		-22,7		-32,5	
16 kHz	-25,8		-28,2		-42,0	

12.2 Modellfahrzeuganlagen

12.2.1 Allgemeines

Automodellsport, speziell der RC-Modellrennsport⁷, erfreut sich einer zunehmenden Beliebtheit. Es sind verschiedene Modellmaßstäbe üblich (1:5, 1:8 und 1:10). Es gibt Modelle mit Verbrennungsmotoren und solche mit Elektroantrieb. Letztere erzeugen keine nennenswerte Schallemission, so dass nachfolgend nur noch Modelle mit Verbren-



nungsmotoren betrachtet werden. Sollten bei Wettkämpfen Beschallungsanlagen für die Anlagen benutzt werden, so kann deren Schallemission entsprechend Kapitel 4 (Moderation von Kleinbühnen) abgeschätzt werden.

Die Anlagen sind eben und besitzen eine befestigte Oberfläche (Asphalt). Da die festgelegte Streckenlänge stets so kompakt und übersichtlich wie möglich angeordnet wird, haben die Anlagen typischerweise Flächen von reichlich 1000 m².

Im Training/Freizeit fahren zumeist 1 - 4 Fahrzeuge in unregelmäßigen Intervallen gleichzeitig, z. T. auch unterschiedlichen Maßstabs. Bei offiziellen Rennen ist die Anzahl auf 15 Fahrer in den Vorrunden und 10 Fahrer in den Entscheidungsrunden limitiert. Die erhöhte Schallemission der offiziellen Rennveranstaltungen wird in der Regel als "seltenes Ereignis" zu be-

handeln sein.

Derzeit gibt es im Osten Deutschlands jedoch nur (noch) wenige in Betrieb befindliche Anlagen; nach Aussagen der Modellsportler aufgrund von Schallschutzproblemen. Für Buggy-Modelle, die üblicherweise auf einer unbefestigten Geländestrecke gefahren werden, liegen weder Angaben aus der Literatur vor, noch konnten eigene Messungen durchgeführt werden, da die meisten Anlagen aus besagten Gründen inzwischen stillgelegt wurden.

Nach dem Reglement der EFRA⁸ dürfen seit 2000 nur noch Fahrzeuge betrieben werden, die (bis zu einer Motordrehzahl von 40.000 U/min) einen maximalen Schalldruckpegel von:

$$L_{AFmax} \leq 81 \text{ dB(A)},$$

gemessen in 10 m Entfernung und 1 m über Grund, nicht überschreiten. Dies entspricht einem maximalen Schalleistungspegel je Fahrzeug von:

$$L_{WA, 1} \leq 109 \text{ dB(A)} .$$

Zusätzlich sind eine Reihe technischer Einzelheiten zu Auspuff und Luftansaugung festgelegt, welche die Einhaltung dieser Forderung gewährleisten sollen. Auch das Startreglement des DMC⁹ enthält derartige Festlegungen. Bei offiziellen Veranstaltungen (Rennen) kann die Einhaltung dieser Festlegung kontrolliert werden, teilweise werden automatisch registrierende Schallmesseinrichtungen ("EFRA-Noise-Trap") während der Rennen eingesetzt.

⁷ RC (radio controlled) = funkfern gesteuert

⁸ European Federation of radio-operated Model-automobiles

⁹ Deutscher Minicar Club e.V.

12.2.2 Emissionskenngrößen

Aus 23 Messungen ergibt sich als mittlerer Schalleistungspegel je Modellauto:

$$L_{WA} = 102,1 \pm 3,7 \text{ dB(A)}.$$

Dieser Wert liegt deutlich unter dem EFRA-Maximalwert. Somit kann mit Hilfe der o. g. Daten der mittlere flächenbezogene Schalleistungspegel einer Modellfahrzeulanlage abgeschätzt werden zu:

$$L_{WA}'' \approx 82 \text{ dB(A)}.$$

Der Impulszuschlag liegt in der Größenordnung:

$$K_I = 6,4 \pm 2,3 \text{ dB}.$$

Dabei ist anzumerken, dass infolge der jeweils nur kurzen, aber intensiven Beschleunigungs- bzw. Bremsphasen und der dadurch sich rasch ändernden Abstände der Impulszuschlag im Nahfeld¹ der Anlage sehr hoch ist, mit der Entfernung von der Anlage jedoch sehr wahrscheinlich abnimmt. Hinzu kommt, dass der Taktmaximalpegel in Abhängigkeit der Fahr-

zeuganzahl langsamer steigt als der zugehörige energieäquivalente Mittelungspegel, was dazu führt, dass der Impulszuschlag mit der Fahrzeuganzahl abnimmt. Dieser Effekt lässt sich messtechnisch belegen.

Als Scheitelfaktor lässt sich ein Wert abschätzen von:

$$\Delta L_{\max} = 12,2 \pm 2,8 \text{ dB}.$$

Die Spektren ähneln denen von Modellflugzeugen. Für Modelle im Maßstab 1:5 können die Spektren von „mittleren“ Modellmotoren, für solche im Maßstab 1:10 eher die von „kleinen“ Modellmotoren (vgl. Tabelle 23) angesetzt werden. Bei der Beurteilung sind die stark ausgeprägten tonalen Klangkomponenten der Verbrennungsmotoren zu berücksichtigen (siehe dazu auch Punkt 12.1.2). Diese treten – trotz der eingesetzten Schalldämpfer – praktisch bei allen Fahrzeug-Modellkategorien auf. Es ist deshalb angeraten, entfernungsabhängig einen Tonhaltigkeitszuschlag von

$$K_T \geq 3 \text{ dB}$$

zu erteilen.

13 Ortsfeste Wasserskianlagen

13.1 Allgemeines

Alle untersuchten ortsfesten Wasserskianlagen waren baulich vom gleichen Typ: ein doppelter Seilzug wird über 4, z. T. auch mehr Umlenkrollen geführt, der mit Hilfe einer zusätzlichen Leine alle 60 s einen Starter zieht. Die dadurch entstehende Schallemission ist äußerst gering, zumal längs der Bahn (während der Messungen) kaum Lautäußerungen der Nutzer auftreten. Diese konzentrieren sich auf den Start- bzw. Endbereich und lassen sich mit den aus der Literatur bekannten Werten für Freibäder abschätzen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Schallemissionen derartiger Anlagen grundsätzlich sehr ähnlich sind.

Das Fahrgeräusch entsteht durch das von den Sportgeräten verursachte Wasserrauschen und unterscheidet sich kaum von Windgeräuschen oder Blätterrauschen. Das reine Anlagengeräusch ist noch wesentlich leiser; nur in unmittelbarer Nähe der Umlenkrollen an den Pfeilern ist ein periodisches "Klicken" zu hören.

13.2 Emissionskenngrößen

Entsprechend der relativ schnellen Bewegung der Quellen entlang einer ausgedehnten aber ortsfesten Bahn bietet sich eine Modellierung als Linienschallquelle an. Aus den Messungen ergibt sich als mittlerer linienbezogener Schallleistungspegel für die voll ausgelastete Wasserskianlage, d. h. mit einem Fahrer je Minute, folgender Wert:

$$L_{WA'} = 68,5 \pm 1,1 \text{ dB(A)}.$$

Bei einer frequenzabhängigen Berechnung ist ein Spektrum gemäß Abbildung 27 und Tabelle 25 zu berücksichtigen.

Der Impulszuschlag liegt typischerweise bei:

$$K_I = 3,8 \pm 1,2 \text{ dB}.$$

Der Scheitelfaktor lässt sich abschätzen zu:

$$\Delta L_{\max} = 6,8 \pm 1,3 \text{ dB}.$$

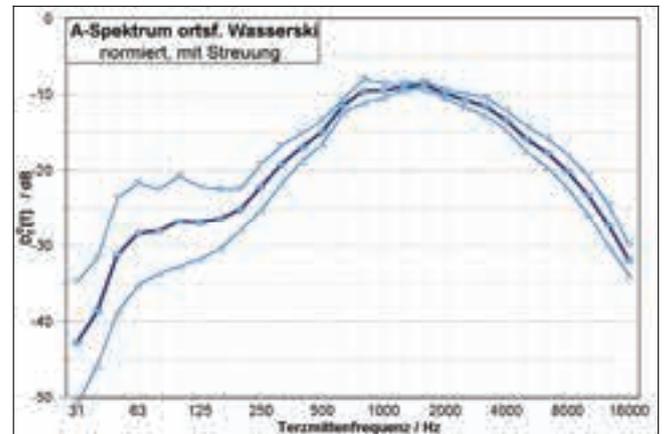


Abbildung 27: Mittleres Spektrum von ortsfesten Wasserskianlagen aus 11 Einzelmessungen

Tabelle 25: Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum von Wasserschikanlagen, bezogen auf den jeweiligen A-bewerteten, energieäquivalenten Summenpegel

Frequenz	Korrekturwert in dB	
	$D_f^0[T]$	$D_f^0[O]$
31 Hz	-42,8	-36,7
40 Hz	-38,6	
50 Hz	-31,1	
63,5 Hz	-28,4	-24,2
80 Hz	-28,1	
100 Hz	-26,7	
125 Hz	-26,9	-21,9
160 Hz	-26,4	
200 Hz	-25,2	
250 Hz	-22,1	-16,8
315 Hz	-19,2	
400 Hz	-16,9	
500 Hz	-14,9	-9,1
630 Hz	-11,5	
800 Hz	-9,5	
1 kHz	-9,5	-4,6
1,25 kHz	-9,0	
1,6 kHz	-8,7	
2 kHz	-9,9	-5,0
2,5 kHz	-10,8	
3,15 kHz	-11,6	
4 kHz	-13,4	-8,5
5 kHz	-15,8	
6,3 kHz	-17,6	
8 kHz	-20,1	-15,0
10 kHz	-23,2	
12,5 kHz	-27,3	
16 kHz	-31,9	

14 Sommerrodelbahnen

14.1 Allgemeines

Alle untersuchten Anlagen waren baulich vom gleichen Typ: in einer Rinne aus Edelstahlblech mit halbkreisförmigem Querschnitt laufen gummiereifte 2-Sitzer-Wagen. Typische Dimensionen sind reichlich 1000 m Bahnlänge mit 60 - 70 m Höhenunterschied. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass die Anlagen auch grundsätzlich ähnliche Schallemissionen aufweisen. Laute Publikumsäußerungen (Rufen, Kreischen) entlang der Strecke sind eher selten, Zurufe usw. konzentrieren sich auf die Start- bzw. Endpunkte.

14.2 Emissionskenngrößen

In Folge der relativ schnellen Bewegung der Quellen entlang einer ausgedehnten aber ortsfesten Bahn bietet sich eine Modellierung als Linienschallquelle an. Es ergibt sich aus 26 Einzelmessungen ein mittlerer längenbezogener Schalleistungspegel einschließlich Publikumsäußerungen von:

$$L_{WA} = 72,4 \pm 4,4 \text{ dB(A)}.$$

Das zugehörige Spektrum ist gemäß Abbildung 28 bzw. Tabelle 26 zu berücksichtigen. Der hohe Wert für den Impulszuschlag kommt durch das an sich leise „Rattern“ zustande, das beim Überfahren der Blechkanten (Bahnabschnitte) entsteht. Er liegt bei:

$$K_I = 7,1 \pm 1,5 \text{ dB}.$$

Der für die Beurteilung wirksame Impulszuschlag dürfte deshalb für Fernfeldmesspunkte erheblich niedriger liegen. Der Scheitelfaktor liegt auf Grund einzelner, sehr seltener Lautäußerungen ungewöhnlich hoch. Der Wert lässt sich abschätzen auf:

$$\Delta L_{\max} = 17,1 \pm 4,6 \text{ dB}.$$

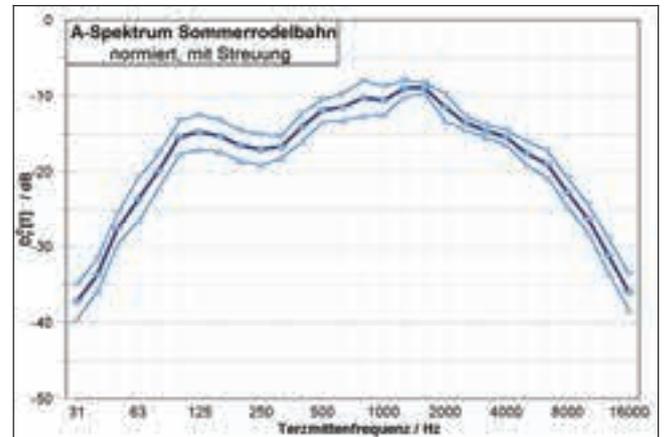


Abbildung 28: Mittleres Emissionsspektrum für Sommerrodelbahnen (Fahrgeräusch und Lautäußerungen) aus 4 Einzelmessungen

Tabelle 26: Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum von Sommerrodelbahnen, bezogen auf den jeweiligen A-bewerteten, energieäquivalenten Summempiegel

Frequenz	Korrekturwert in dB	
	D_f^0 [T]	D_f^0 [O]
31 Hz	-37,2	-31,9
40 Hz	-33,6	
50 Hz	-27,6	
63,5 Hz	-23,6	-17,8
80 Hz	-19,8	
100 Hz	-15,4	
125 Hz	-14,8	-10,4
160 Hz	-15,3	
200 Hz	-16,5	
250 Hz	-17,1	-12,0
315 Hz	-16,7	
400 Hz	-14,1	
500 Hz	-11,9	-7,6
630 Hz	-11,5	
800 Hz	-10,3	
1 kHz	-10,6	-5,1
1,25 kHz	-9,0	
1,6 kHz	-8,9	
2 kHz	-11,4	-6,1
2,5 kHz	-13,5	
3,15 kHz	-14,6	
4 kHz	-15,4	-10,9
5 kHz	-17,5	
6,3 kHz	-19,0	
8 kHz	-22,7	-16,9
10 kHz	-26,2	

15 Hundedressurplätze

15.1 Allgemeines

Für Hundelplätze lässt sich keine **mittlere** Schallemission angeben. Dies liegt daran, dass die "Bellfreudigkeit" der Hunde extrem vom Ausbildungsstand abhängig ist, so dass – unabhängig von der Größe des Platzes oder der Anzahl der Hunde – an bestimmten Tagen sehr hohe, an anderen hingegen nur sehr geringe Schallemissionen auftreten. Schließlich macht die hohe Schalleistung einzelner, jedoch nur sehr selten auftretender Lautäußerungen (Kommandos, Pfiffe, Bellen) die Mittelwertbildung problematisch.

Während normaler Trainingstage sind folgende vier Phasen jeweils sehr unterschiedlicher Emissionen zu beobachten:

- **eigentliche Trainingsphase, 1:00 - 2:00 h**
 - ▶ normales Training → kaum Bellen;
 - ▶ Sozialisierung Welpen (Verhaltenstraining) → häufiges Bellen, maximale Dauer 1:00 h
 - ▶ Schutzdienstausbildung → kurzzeitiges Bellen als Ausbildungsziel
- **Verwahrung in Boxen** → z. T. lang anhaltendes, intensives Bellen
- **Verwahrung im Pkw** → z. T. lang anhaltendes, intensives Bellen, jedoch gedämpft
- **An- und Abmarsch** → sporadisches Bellen, meist geringerer Intensität

Die Abbildung 29 zeigt die Anordnung dieser Hauptgeräuschquellen auf einem Hundelplatz.

15.2 Emissionskenngrößen

Aus den Messungen ergeben sich als Mittelwerte der Signalkenngrößen für Hundedressurplätze die in Tabelle 27 zusammengestellten Werte.

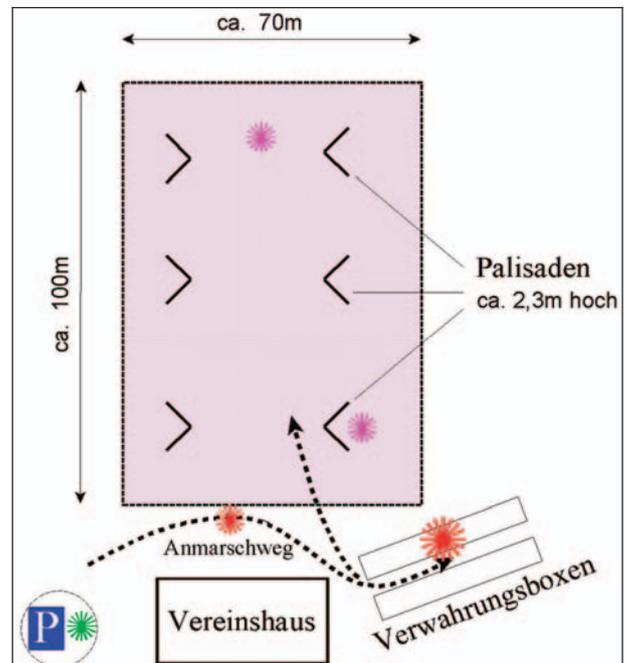


Abbildung 29: Prinzipskizze eines Hundelplatzes

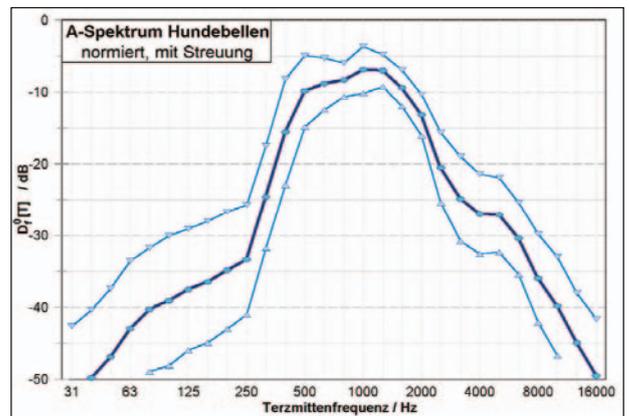


Abbildung 30: Mittleres Emissionsspektrum für Hundelplätze aus 31 Einzelmessungen

Intensität und Häufigkeit der Teilemissionen sind objektabhängig zu ermitteln, dabei ist besondere Aufmerksamkeit der Lage der Verwahrungsboxen zu widmen. Es kann von einem mittleren Spektrum gemäß Abbildung 30 ausgegangen werden (zugehörige Spektrum-Korrekturwerte Tabelle 28).

Tabelle 27: Zusammenstellung der Signalkenngrößen von Emissionen auf Hundesportanlagen als Mittelwert für die Dauer einer Trainingseinheit gemäß Kapitel 15.1 (außer Einzelhund)

	Hunde im Zwinger	Hunde im Pkw	An- und Ab- marsch	Training		Einzel- hund	Mittel (ohne Pkw)
				Soziali- sierung	Schutz- dienst		
ΔL_{\max} / dB	14,0	19,6	15,2	17,0	15,9	9,5	14,3
Std.-abw. σ / dB	4,4		3,8	3,0	5,3	1,5	3,6
K_1 / dB	8,9	10,6	7,6	6,9	7,6	7,9	7,8
Std.-abw. σ / dB	0,7		1,7	3,3	1,9	1,1	1,7
L_{WA} / dB(A)	101,2	81,0	95,6	102,0	94,7	105,8	99,9
Std.-abw. σ / dB	2,8		5,0	1,1	4,3	3,5	3,3
Anzahl	17	1	5	5	20	17	64

Tabelle 28: Spektrum-Korrekturwerte D^0_f für das A-bewertete Emissionsspektrum von Hundebellen; bezogen auf den jeweiligen A-bewerteten, energieäquivalenten Summenpegel

Frequenz	Korrekturwert in dB		Frequenz	Korrekturwert in dB	
	D^0_f [T]	D^0_f [O]		D^0_f [T]	D^0_f [O]
31 Hz	-52,9	-47,4	630 Hz	-8,8	
40 Hz	-49,8		800 Hz	-8,3	
50 Hz	-46,9		1 kHz	-6,9	-2,6
63,5 Hz	-43,0	-37,9	1,25 kHz	-7,0	
80 Hz	-40,3		1,6 kHz	-9,4	
100 Hz	-39,0		2 kHz	-13,2	-7,7
125 Hz	-37,5	-32,8	2,5 kHz	-20,5	
160 Hz	-36,5		3,15 kHz	-24,8	
200 Hz	-34,8		4 kHz	-27,0	-21,4
250 Hz	-33,4	-23,7	5 kHz	-27,1	
315 Hz	-24,6		6,3 kHz	-30,4	
400 Hz	-15,5		8 kHz	-36,0	-29,0
500 Hz	-9,8	-5,8	10 kHz	-39,8	

16 Kenngrößen / Begriffe / Symbole / Abkürzungen

$A_{[T/O]}$	A-Korrektur [Terz- bzw. Oktavbänder] (nach DIN IEC 651)
$C_{[T/O]}$	C-Korrektur [Terz- bzw. Oktavbänder] (nach DIN IEC 651)
L_A	A-bewerteter Summenpegel
L_C	C-bewerteter Summenpegel
L_{Aeq}	A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschalldruckpegel
L_{AFmax}	Maximalpegel, Spitzenpegel
L_{AFTeq}	A-bewerteter 5-s-Taktmaximal-Mittelungspegel
L_{ASmax}	maximaler Schalldruckpegel
L_m, L_f	Mittelungspegel am Immissionsort
$L_{V, min}$	Mindest-Versorgungspegel (mittlerer Schalldruckpegel am entferntesten Zuschauerplatz)
L_{WA}	Gesamtschalleistungspegel einer Quelle oder Anlage
$L_{WA} [T/O]$	Schalleistungspegel einer Quelle oder Anlage in Terz- bzw. Oktavbändern
$L_{WA, 1}$	Schalleistungspegel einer einzelnen Quelle
L_{WAFTeq}	mittlerer A-bewerteter Taktmaximal-Gesamtschalleistungspegel
$L_{W\dot{A}}$	linienbezogener Schalleistungspegel
$L_{W\ddot{A}}$	flächenbezogener Schalleistungspegel
ΔL_{max}	Schallpegeldifferenz zwischen L_{AFmax} und L_{Aeq} (Scheitelfaktor)
k	Gleichzeitigkeitsfaktor (Anteil gleichzeitig sprechender Personen in Personengruppen)
K_I	Zuschlag für Impulshaltigkeit
K_o, D_Ω	Raumwinkelmaß
K_T	Zuschlag für Tonhaltigkeit
D	Gesamt-Ausbreitungsdämpfung (= $D_s + D_L + D_{BM}$)
D_{BM}	Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß
$D_f^0 [T/O]$	Terz- bzw. Oktav-Korrekturwert, normiert
$D_i ; D_C$	Richtwirkungsmaß bzw. Richtwirkungskorrektur
$D_i [T/O]$	Terz- bzw. Oktav- Richtwirkungsmaß
$D_{i, A}$	A- Richtwirkungsmaß
D_L	Pegelminderung aufgrund von Luftabsorption
D_s	Abstandsmaß, incl. aller weiteren Ausbreitungsdämpfungen
IO	Immissionsort, Messort
A	Fläche
r	Abstand, Radius
n, N	Stichprobenumfang, Anzahl
$P_{n,el}$	elektrische Nennleistung von Beschallungsanlagen
X_i	Einzelmesswert
μ	linearer Mittelwert
σ	Standardabweichung

17 Normverweise

[BImSchG].	Bundes-Immissionsschutzgesetz, 24. Auflage, 2005
[16. BImSchV]	16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV), 1990
[18. BImSchV]	18. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Sportanlagenlärmschutzverordnung – 18. BImSchV), 1991
[TA Lärm]	Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz: „Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm“, 1998
[LAI 19/88]	„Hinweise zur Beurteilung der durch Freizeitaktivitäten verursachten Geräusche“ des Länderausschusses für Immissionsschutz von der Umweltministerkonferenz im Mai 1987 und von der Sportministerkonferenz im November 1987
[FZL-RL]	Musterverwaltungsvorschrift zur Ermittlung, Beurteilung und Verminderung von Geräuschimmissionen, Anhang B, Freizeitlärmrichtlinie, Mai 1995
[DIN ISO 9613-2]	DIN-ISO 9613 "Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien", Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, Oktober 1999
[DIN 45 641]	DIN 45 641 "Mittelung von Schallpegeln", Juni 1990
[DIN 45645-1]	DIN 45645-1 "Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen", Juli 1996
[DIN IEC 651]	DIN IEC 651 "Schallpegelmesser", Dezember 1981
[DIN 45 680]	DIN 45 680 "Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft", März 1997
[VDI 2571]	VDI-Richtlinie 2571 "Schallabstrahlung von Industriebauten", August 1976
[VDI 2714]	VDI-Richtlinie 2714 "Schallausbreitung im Freien", Januar 1988
[VDI 2720]	VDI-Richtlinie 2720, Blatt 1 "Schallschutz durch Abschirmung im Freien"; März 1997
[VDI 3724]	VDI-Richtlinie 3724 „Beurteilung der durch Freizeitaktivitäten verursachten und von Freizeiteinrichtungen ausgehenden Geräusche“ Entwurf, Februar 1989
[VDI 3770]	VDI-Richtlinie 3770 (Entwurf) "Emissionskennwerte von Schallquellen" April 2002
[RLS 90]	Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen, RLS-90/23, Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Ausgabe 1990.
[P-LSt]	Parkplatzlärmstudie des LfU Bayern 4. vollständig überarbeitete Auflage, Schriftenreihe Heft 89, 2003
[Degenkolb]	Sachverständigenbüro Dr. Degenkolb "Untersuchungen zur Prognose der Lärmemissionen großer musikalischer Freiluftveranstaltungen und zu Maßnahmen zur Minderung der von ihnen ausge-

henden Lärmbelastigungen", Bericht SDL-00305001, 06.06.2004

- [Joiko] Dr. Karin Joiko, TU Dresden, Institut für Arbeitsingenieurwesen
"Maßnahmen zur Verminderung der Gehörschäden Jugendlicher durch Diskothekenmusik", Forschungsbericht 1998
- [Probst] Wolfgang Probst: "Geräusentwicklung von Sportanlagen und deren Quantifizierung für immissionsschutztechnische Prognosen", Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Schriftenreihe Sportanlagen und Sportgeräte, 1994
- [MF-Konzept] TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, Köln 1999
"Entwicklung eines allgemeinen Konzeptes zur Lärmbewertung von Modellflugplätzen", Bericht-Nr. 933/720907/01
- [Sorge] Wolfgang Sorge, Ingenieurbüro für Bauphysik GmbH
"Entwicklung eines vereinfachten Verfahrens zur schallimmissionsschutztechnischen Beurteilung von Modellfluggeländen gemäß Sportanlagenlärmschutzverordnung (18. BimSchV)", Bericht 7618.1 vom 28.05.2004
- [FREIZEITLÄRMSTUDIE] Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Akustik Bureau Dresden: "Sächsische Freizeitlärmstudie", November 2002, aktualisiert 2004
- [LuftVO] Luftverkehrs-Ordnung vom 27. März 1999 (BGBl. I S. 580), zuletzt geändert durch Art. 132 G v 21. Juni 2005 (BGBl. I S. 1818)
- [Grundsätze Flugmodelle] "Grundsätzen des Bundes und der Länder für die Erteilung der Erlaubnis zum Aufstieg von Flugmodellen gemäß § 16 LuftVO", 2006
- [LVL] Lärmvorschrift für Luftfahrzeuge, August 2004

18 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prognose des Schalleistungspegels aus der zu beschallenden Fläche	15
Abbildung 2:	Prognose des Schalleistungspegels aus der elektrischen Nennleistung	16
Abbildung 3:	Mittleres Terzspektrum für Rock-/ Popmusik-Bühnen	18
Abbildung 4:	Mittleres Terzspektrum von Moderationen mit kurzen Musikeinlagen	18
Abbildung 5:	Mittleres Terzspektrum Klassik-Bühnen	18
Abbildung 6:	Mittleres Terzspektrum von Beifall	18
Abbildung 7:	Oktavweise horizontale Richtwirkungsmaße für Lautsprechercluster	21
Abbildung 8:	Mittleres A-bewertetes Richtwirkungsmaß für Lautsprechercluster	21
Abbildung 9:	Lageplan Popkonzert (Nahbereich)	22
Abbildung 10:	Lageplan Popkonzert (Fernbereich)	23
Abbildung 11:	Mittleres Spektrum von Rummelplätzen	28
Abbildung 12:	Lageplan Festplatzgelände und Immissionsort IO	29
Abbildung 13:	Mittleres normiertes Terzspektrum von Publikumsgeräuschen und leiser Hintergrundmusik	31
Abbildung 14:	Mittleres normiertes Terzspektrum für Blasorchester und Kapellen	31
Abbildung 15:	Mittleres Spektrum (Oktav-Korrektur) für Marktschreier	33
Abbildung 16:	Typischer Grundriss eines Zirkuszelt	35
Abbildung 17:	Berechnetes mittleres Richtwirkungsmaß in dB für Zirkusse	35
Abbildung 18:	Spektrum Zirkusse	36
Abbildung 19:	Mittleres Spektrum für Abenteuerspielplätze mit dominierenden Lautäußerungen der Kinder	41
Abbildung 20:	Anordnung der Flächenschallquelle entsprechend dem halbkreisförmigen Flugkorridor bei mittlerer Flughöhe	44
Abbildung 21:	Mittleres Emissionsspektrum für "große" Modellmotoren	47
Abbildung 22:	Mittleres Emissionsspektrum "mittelgroßer" Modellmotoren	47
Abbildung 23:	Mittleres Emissionsspektrum für "kleine" Modellmotoren	47
Abbildung 24:	Mittleres Emissionsspektrum von Motoren für Geschwindigkeitsmodelle	47
Abbildung 25:	Mittleres Emissionsspektrum für Modellturbinen	47
Abbildung 26:	Mittleres Emissionsspektrum von Modellen mit Elektromotoren	47
Abbildung 27:	Mittleres Spektrum von ortsfesten Wasserskianlagen	52
Abbildung 28:	Mittleres Emissionsspektrum für Sommerrodelbahnen	54
Abbildung 29:	Prinzipskizze eines Hundeplatzes	56
Abbildung 30:	Mittleres Emissionsspektrum für Hundeplätze	56

19 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Schallemissions-Kennwerte von Einzelpersonen aus der Literatur	9
Tabelle 2:	Schallemissions-Kennwerte von Personen auf Freiflächen	9
Tabelle 3:	Von Zuschauern verursachte Emissionspegel (aus der Literatur)	10
Tabelle 4:	Immissionsrichtwerte in dB(A) nach der Freizeitlärmrichtlinie	12
Tabelle 5:	Zusammenstellung der Zeiträume, für die die Immissionsrichtwerte gelten	12
Tabelle 6:	Zusammenstellung der mittleren Signalkenngrößen von Veranstaltungen mit Beschallung	17
Tabelle 7:	Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für die A-bewerteten Spektren von Bühnenemissionen	20
Tabelle 8:	Mittlere unbewertete Oktav- und A-bewertete Richtwirkungsmaße D_i für Lautsprechercluster in dB	21
Tabelle 9:	Ausgangsdaten und Rechenweg für detaillierte Prognoserechnungen	25
Tabelle 10:	Schallemissions-Kennwerte einzelner Fahrgeschäfte	27
Tabelle 11:	Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum von Rummelplätzen	29
Tabelle 12:	Von Volksfesten ausgehende Emissionspegel	30
Tabelle 13:	Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für die A-bewerteten Emissionsspektren von Publikumsgeräuschen, Hintergrundmusik und Kapellen	32
Tabelle 14:	Emissionskenngrößen von Märkten	34
Tabelle 15:	Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum eines Marktschreiers	34
Tabelle 16:	Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum von Zirkussen	37
Tabelle 17:	Emissionskenndaten von in Freizeitparks untersuchten Einzelquellen	39
Tabelle 18:	Beispiele für Innenschalldruckpegel in Räumen	40
Tabelle 19:	Schallemissionskennwerte für spielende Kinder	41
Tabelle 20:	Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum von Abenteuerspielplätzen	42
Tabelle 21:	Zusammenstellung der Signalkenngrößen von Modellmotoren	45
Tabelle 22:	Klangliche Hauptgruppen von Kolbenverbrennungsmotoren	45
Tabelle 23:	Spektren-Korrekturwerte für die A-bewerteten Emissionsspektren von Modellen mit Verbrennungs-Kolbenmotoren	48
Tabelle 24:	Spektrum-Korrekturwerte für die A-bewerteten Emissionsspektren von Modellantrieben	49
Tabelle 25:	Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum von Wasserskianlagen	53
Tabelle 26:	Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewertete Emissionsspektrum von Sommerrodelbahnen	55
Tabelle 27:	Zusammenstellung der Signalkenngrößen von Emissionen auf Hundesportanlagen	57
Tabelle 28:	Spektrum-Korrekturwerte D_f^0 für das A-bewert. Emissionsspektrum von Hundebellen	57

