

Schallimmissionsprognosen mit Beschallungsanlagen

Import und komplexe Addition

Daniel Belcher, Elena Shabalina

Die Prognose der Schallimmissionen in der Umgebung von Open-Air-Veranstaltungen gewinnt zunehmend an Relevanz. Es wird eine Erweiterung der bisherigen Vorgehensweise zur Berechnung von Prognosen bezüglich zweier Aspekte vorgestellt:

- Komplexe Addition zur Berücksichtigung von Kohärenzeffekten
- Import detaillierter Systemdaten einer Beschallungsanlage von einem System-Design-Tool

Schallimmissions-Software berücksichtigt bisher nur energetische Summation bei der Schallausbreitung, weil typische Geräuschquellen im Lärmschutz üblicherweise nicht kohärent sind. Dahingegen verwenden Beschallungsanlagen mit Line-Arrays und Subwoofer-Arrays gezielt Kohärenzeffekte um eine hohe Richtwirkung zu erzielen.

Die Möglichkeit detaillierte Systemdaten einer gesamten Beschallungsanlage durch einen Import in Schallimmissions-Software zu übernehmen, ermöglicht eine präzise und zuverlässige Quellenmodellierung für die Berechnung von Prognosen.

Dabei überlappen zwei Bereiche mit verschiedenen Akteuren und Werkzeugen: Toningenieur planen Beschallungsanlagen mit System-Design-Tools und Akustik-Berater erstellen Prognosen mit Schallimmissions-Software.

Die Erweiterung um komplexe Addition wurde mit zwei Normen für die Schallausbreitung umgesetzt: Nord2000 als Fortschrittlichste und ISO 9613-2 als Verbreitetste. Die Wahl erfolgt nach den jeweiligen Anforderungen.

Bei wenige Tage andauernden Open-Air-Veranstaltungen bieten sich Betrachtungen von Wetter-Szenarien im Gegensatz zu Jahresmittelwerten an.

Einleitung

Die Prognose und Minimierung der Schallimmissionen in der Umgebung von Open-Air-Veranstaltungen gewinnt zunehmend an Relevanz, da die Veranstaltungen zahlreicher werden und auch seitens vieler Städtemarketings der Wunsch besteht, sie aufgrund günstiger Verkehrsanbindung stadtnah stattfinden zu lassen. Was für den

Noise predictions with sound reinforcement systems

The prediction of noise in the neighborhood of open-air events is becoming more important. An extension of the hitherto procedure for calculating predictions regarding two aspects is introduced:

- Complex summation to account for coherence effects
- Import of detailed data of a sound reinforcement system from a system design tool

Commonly available software for calculating environmental noise did not consider complex summation of sound, because typical noise sources in traffic or industry are usually incoherent. State of the art sound systems with arrays of loudspeakers and subwoofers effectively use coherence in order to achieve high directivity.

The possibility to utilize the detailed data of an entire sound reinforcement system via import into environmental noise software enables precise and reliable source modelling for calculating predictions.

Here, two areas with different professionals and tools overlap: sound engineers design sound reinforcement systems with system design tools and acoustic consultants calculate predictions with software for environmental noise.

The extension for complex summation was implemented with two standards for sound propagation: Nord2000 as the most advanced and ISO 9613-2 as the widely used. The choice is determined by the particular requirements.

Concerning weather conditions in the case of open-air events that only last a few days, specific scenarios should be considered rather than annual averages.

Besucher einer Veranstaltung Kunst ist (art), kann für die Anwohner in der Umgebung Lärm sein (noise). Immer häufiger werden bei den Genehmigungsverfahren für Veranstaltungen Gutachten mit Prognosen der zu erwarteten Schallimmissionen in den möglicherweise betroffenen Nachbarschaften verlangt. In der Regel werden hierfür einfache Quellenmodelle verwendet, wel-

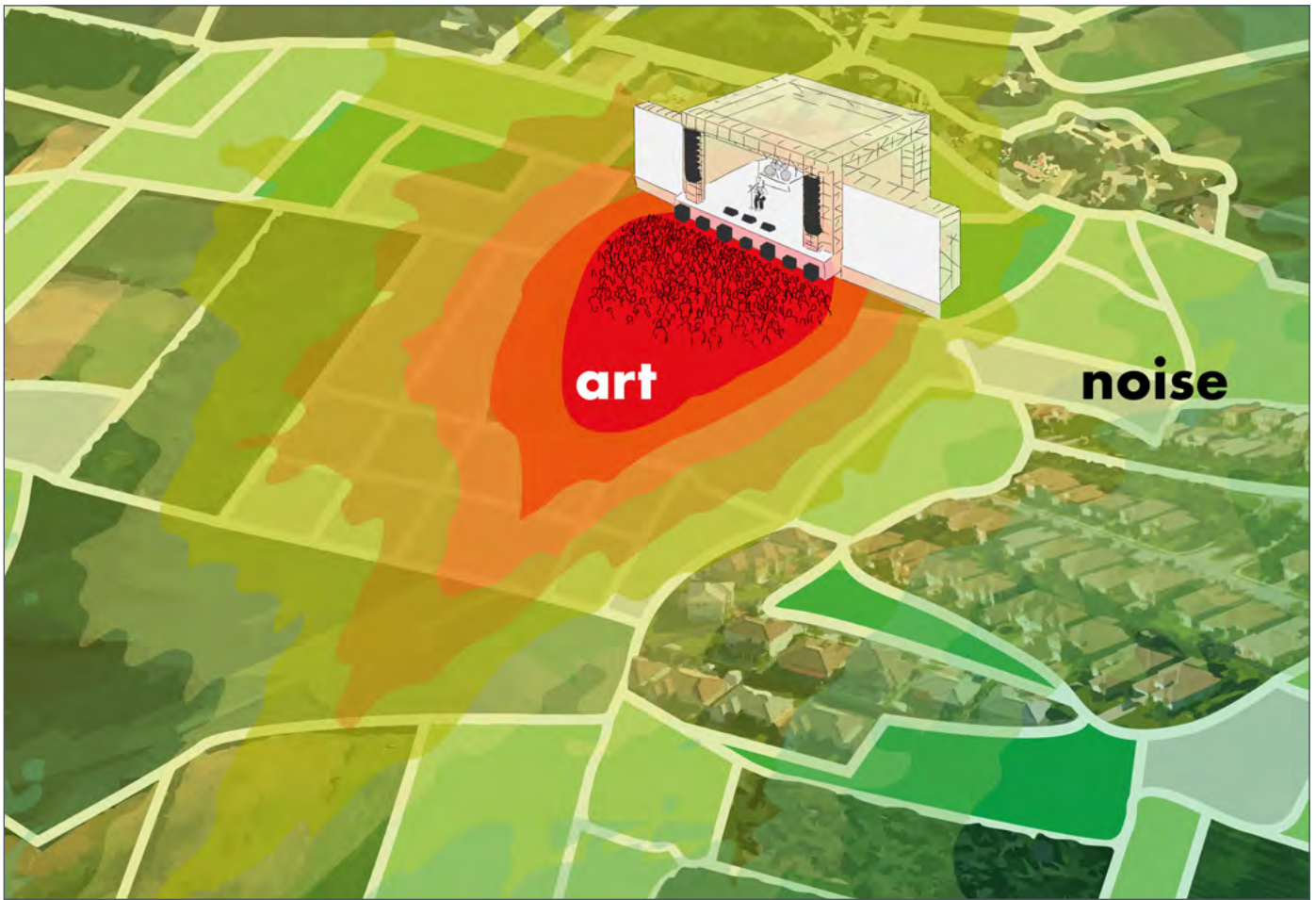


Abb. 1: Was für den Besucher einer Veranstaltung Kunst ist und wofür er bezahlt, kann für die Anwohner in der Umgebung Lärm sein.

che das komplexe und frequenzabhängige Abstrahlverhalten einer konkreten Beschallungsanlage nur annähern, ihm aber nicht entsprechen. Des Weiteren sind die einzelnen Lautsprecher-Schallquellen einer Beschallungsanlage korreliert und daher muss für eine korrekte Berechnung der Schallausbreitung komplexe Addition berücksichtigt werden. Bei den typischerweise im Schallschutzbereich angenommenen Schallquellen ist dies nicht der Fall.

Situation

Für die Genehmigung einer Open-Air-Veranstaltung verlangen Behörden abhängig von den Gegebenheiten des Veranstaltungsorts, seiner Umgebung und der Art der Veranstaltung Schallimmissionsprognosen. Es werden Akustiker engagiert, welche den Freizeitlärm von Musik-, Kultur- und Sport-Veranstaltungen erfassen und bewerten, sowie die Organisatoren diesbezüglich beraten. Sie kennen sich genauestens mit den rechtlichen Lärmbestimmungen und den Anforderungen an Prognosen und Schallmessungen aus, die nach bestimmten Normen durchgeführt werden müssen. Dies fängt bei vermeintlich einfachen

Dingen wie der eigentlichen Beurteilungsgröße an, kann verschiedene, vom Signaltyp abhängige Zuschläge umfassen und geht hin bis zur immissionschutzrechtlichen Bewertung mit Beurteilungszeiten (tags mit und ohne Ruhezeiten, nachts).

Auf der anderen Seite befinden sich Toningenieure, deren Aufgabe es ist, dem gesamten Publikum ein möglichst gutes Hörerlebnis zu bieten. Hierfür verwenden sie in der Planungsphase einer Veranstaltung ein sogenanntes System-Design-Tool, um eine Beschallungsanlage für die akustischen Anforderungen auszulegen. Viele namhafte Hersteller stellen eigene Tools für ihre Beschallungssysteme kostenfrei zur Verfügung. Um eine gewünschte Schallverteilung über den Publikumsbereich zu erzielen, verwenden diese Tools hochau aufgelöste komplexwertige Datensätze des Abstrahlverhaltens aller Elemente eines Beschallungssystems. Wird eine Beschallungsanlage auch als Durchsagesystem für Notfälle ausgelegt (z. B. zur Evakuierung), werden solche Tools auch als Nachweis eines zu erreichenden Mindestschallpegels im gesamten Publikumsbereich verwendet. Für die Berechnung betrachten diese Tools in der Regel den Direktschall und die Absorption der Luft (siehe Abschnitt „System-

Design-Tools“). Da sowohl alle mechanischen als auch akustischen Daten der Lautsprecher hinterlegt sind, lassen sich auch komplexe Systeme sehr effizient und zeitsparend modellieren.

Für eine Aussage über die mögliche Lärmbelastung in den umliegenden Wohngebieten jenseits der Publikumsbereiche reichen die betrachteten Einflussgrößen auf die Schallausbreitung der System-Design-Tools nicht aus. Für die Berechnung von Schallimmissionsprognosen müssen folgende weitere Aspekte berücksichtigt werden:

- Topographie des Geländes
- meteorologische Bedingungen wie Wind und Temperaturgradient (neben Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck)
- unterschiedliche akustische Bodenbeschaffenheiten
- Abschattung durch Gebäude und Reflexionen an deren Wände
- Abschattung, Reflexion und Beugung an (Schallschutz-) Wänden
- Absorption durch Wälder

Dies leisten kommerziell erhältliche Berechnungsprogramme für Schallimmissionen. Die Vergleichbarkeit von Gutachten ist (lärm-)rechtlich natürlich ungemein wichtig. Um diese sicherzustellen, geben unterschiedliche Normen Rechenvorschriften vor, die in diesen Berechnungsprogrammen implementiert sind. (Weitere Details folgen im Abschnitt „Berechnung von Schallimmissionen“.)

Für eine exakte Modellierung einer Beschallungsanlage in solcher Immissions-Software stehen aber häufig die detaillierten Systemdaten nicht zur Verfügung oder sind nicht entsprechend zugänglich. Bei diesen Daten handelt es sich z. B. um:

- Art und Anzahl der Einzelquellen
- Größe und Anordnung
- komplexe Übertragungsfunktion mit Amplituden- und Phasenfrequenzgang
- frequenzabhängiges Abstrahlverhalten
- elektronische Ausrichtung und Tuning des Systems

All diese Daten sind bei der Auslegung einer konkreten Beschallungsanlage für eine Veranstaltung in einer System-Design-Tool-Datei abgespeichert. Nun gibt es eine neue Möglichkeit, diese detaillierten Systemdaten einer bereits ausgelegten Beschallungsanlage in eine Immission-Software zu importieren. Dadurch wird dem Akustiker das erneute und zugleich ungenaue Modellieren der Quellen erspart und er hat die Gewissheit, dass genau die vorgesehene Beschallungsanlage für die Prognose verwendet wird.

System-Design-Tools

Neben den System-Design-Tools der Hersteller gibt es auch herstellerunabhängige Programme, die für die akustische Auslegung einer Beschallungsanlage verwendet werden können. Beispielsweise werden bei raumakustischen Fragestellungen EASE [1], ODEON [2] oder CATT-Acoustic [3] verwendet. Da die System-Design-Tools in der Regel nur den Direktschall betrachten (mit Ausnahmen auch bis zu einer Reflexion), können mit ihnen keine raumakustischen Parameter berechnet werden.

Die System-Design-Tools verwenden ein sogenanntes Complex Directivity Point Source Model (CDPS), welches in [4] genau beschrieben ist und mehrfach validiert wurde [5]. Jeder Lautsprecher wird als eine Punktschallquelle (oder eine Kombination von mehreren) mit einer komplexen Übertragungsfunktion und frequenzabhängigen Richtcharakteristik angenommen. Das Direktschallfeld an jeder Hörerposition entspricht der komplexen Summe aller Elemente des Beschallungssystems (ohne Luftabsorption):

$$p(\vec{r}, f) = \sum_l A_l(f) D_l(\vec{r}, f) \frac{e^{-ik(|\vec{r}_l| + \varphi_l)}}{|\vec{r}_l|}$$

$A_l(f)$ komplexe Übertragungsfunktion jeder Punktschallquelle l inklusive jeglicher Filtereinstellungen

$D_l(\vec{r}, f)$ komplexe Richtcharakteristik jeder Punktschallquelle l (üblicherweise in Polarkoordinaten)

$\frac{e^{-ik(|\vec{r}_l| + \varphi_l)}}{|\vec{r}_l|}$ Schallausbreitung von jeder Punktschallquelle zur Hörposition

Das CDPS Model wird vielfach – und auch in unserem Falle – angewendet, einerseits aufgrund seiner vergleichsweise Einfachheit und andererseits wegen der erreichbaren Genauigkeit, sofern detaillierte Messdaten herangezogen werden.

Die Simulation von Beschallungsanlagen erfolgt nach dem Paradigma: für die Berechnungen wird ein mathematisches Modell gewählt, welches anhand von Messdaten validiert wird. Wenn die Ergebnisse übereinstimmen, kann das Modell innerhalb der angenommenen Vereinfachungen und Bedingungen angewendet werden, ansonsten muss das Modell korrigiert werden.

Berechnung von Schallimmissionen

Die Schallausbreitung im Freien unterliegt vielfältigen Einflüssen, die physikalisch nicht vollum-

fänglich berücksichtigt werden können, sondern stark vereinfacht werden müssen, um eine Berechnung überhaupt erst zu ermöglichen. Eine weitere Herausforderung ist die gewünschte Vergleichbarkeit von Berechnungsergebnissen auch über Jahre hinweg, wie z. B. bei der Stadtplanung. [6]

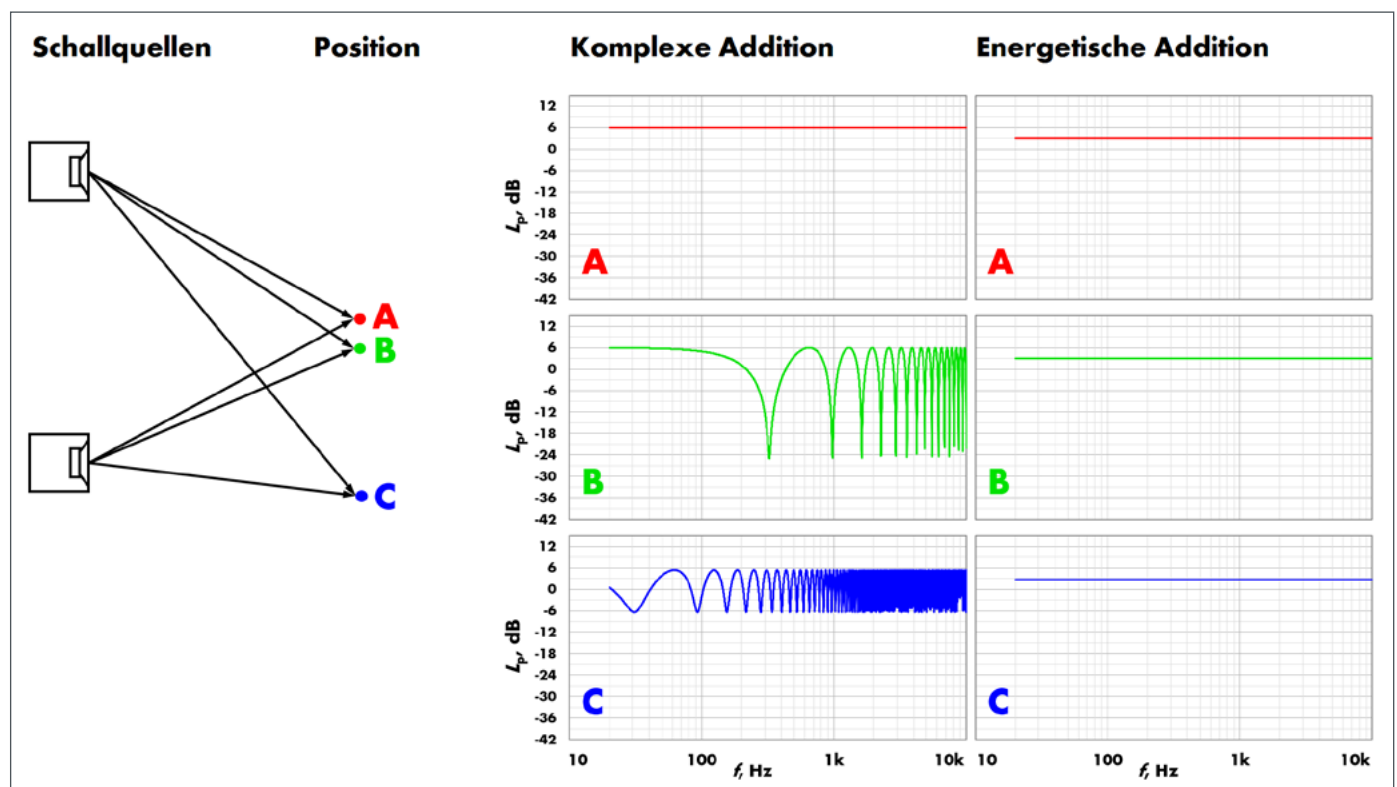
Das Paradigma bei Schallimmissionsberechnungen unterscheidet sich von dem bei Beschallungsanlagen: Für unterschiedliche Lärmarten gibt es verschiedene, meist empirisch begründete Berechnungsmodelle (Straßen-, Schienen-, Industrielärm, etc.). Implementationen dieser Modelle werden mit Berechnungen normierter Test-Szenarien überprüft, wodurch ein direkter Vergleich mit aufwendigen Messungen erspart bleibt. Das Problem bei Schallmessungen in größerer Entfernung ist, dass sie vermehrt durch ungewollte Hintergrundgeräusche beeinflusst werden, weil dort die Pegel entsprechend leise sein können (im Gegensatz zum Bereich direkt vor einer Beschallungsanlage, wo die Pegel sehr laut und weitgehend unbeeinflusst sind).

Für den Immissionsschutz wurden viele unterschiedliche Berechnungsmodelle länderspezifisch und für verschiedene Anwendungen entwickelt, allerdings berücksichtigen sie keine Kohärenzeffekte zwischen Quellen. Dies ist bei Geräuschquellen z. B. im Verkehr oder der Industrie auch nicht notwendig, weil deren Ent-

stehungsprozesse üblicherweise statistisch unabhängig voneinander sind: Gleich laute (und gleichartige) Geräusche von Fahrzeugen auf einer Straße oder Gebläse eines Gewerbes addieren sich bei gleichem Abstand stets mit +3 dB, da es keine Abhängigkeit von ihrer Phasenlage gibt. Dies ist bei Beschallungsanlagen nicht der Fall: zwischen zwei Lautsprechern gibt es Bereiche, in denen sich die Pegel zweier Strahlen gleicher Amplitude und Phasenlage mit +6 dB addieren oder bei entgegengesetzter Phasenlage auslöschen (theoretisch „-∞ dB“), siehe Abbildung 2. Da die hohe Richtwirkung insbesondere von Line-Arrays auch auf Kohärenzeffekten beruht, müssen die Schallausbreitungsmodelle um die komplexe Addition erweitert werden, um das Abstrahlverhalten und die Berechnung der Schallausbreitung korrekt zu berücksichtigen.

Bei der hier vorgestellten Methode wurden zwei Normen für die Berechnung der Schallausbreitung herangezogen: Nord2000 als Fortschrittlichste [7] und ISO 9613-2 als Verbreitetste [8]. Beide Normen verwenden einen ähnlichen Ansatz: der Schalldruckpegel beim Empfänger entspricht der Schallleistung der Quelle unter Berücksichtigung der Richtwirkung abzüglich aller Dämpfungseffekte zwischen Quelle und Empfänger (in dB).

Abb. 2: Vergleich der frequenzabhängigen komplexen (links) und energetischen Summe (rechts) der Schalldruckpegel zweier Quellen an drei unterschiedlichen Positionen A, B und C



ISO 9613-2

$$L = L_w + D_c - A$$

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

- L Schalldruckpegel beim Empfänger
 L_w Schallleistung der Quelle
 D_c Richtwirkung der Quelle
 A Summe aller Dämpfungsterme
 A_{div} Dämpfung aufgrund von geometrischer Ausbreitung (6 dB je Verdoppelung der Entfernung)
 A_{atm} Dämpfung aufgrund von Luftabsorption
 A_{gr} Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts
 A_{bar} Dämpfung durch Abschirmung (z. B. Schallschutzwände)
 A_{misc} Dämpfung durch verschiedene andere Effekte (Wälder etc.)

In Nord2000 werden die Terme etwas anders zusammengefasst, aber die Berechnung erfolgt nach demselben Prinzip.

Nord2000

$$L_r = L_w + \Delta L_d + \Delta L_a + \Delta L_t + \Delta L_s + \Delta L_r$$

- L_r Schalldruckpegel beim Empfänger
 L_w Schallleistung der Quelle mitsamt ihrer Richtwirkung
 ΔL_d Dämpfung aufgrund geometrischer Ausbreitung (6 dB je Verdoppelung der Entfernung)
 ΔL_a Dämpfung aufgrund von Luftabsorption
 ΔL_t Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts
 ΔL_s Dämpfung aufgrund von Streuung an Hindernissen
 ΔL_r Dämpfung aufgrund von Reflexion an Hindernissen

Details zu Nord2000

Das Ausbreitungsmodell in Nord2000 wurde in den Jahren von 1996 bis 2000 erarbeitet. Es ermöglicht die Berechnung von Schallimmissionen mit unterschiedlichen Quellen in Terzbändern, einschließlich beliebiger Topographien, Bodenbeschaffenheiten, unterschiedlicher Hindernisse (Häuser, Wände, Wälder etc.) und Wetterbedingungen. Die Genauigkeit innerhalb von 1 km wird als gut und innerhalb von 3 km als akzeptabel angegeben. Die Luftabsorption basiert auf der ISO 9613-2. Für den Bodeneffekt werden sphärische Reflexionskoeffizienten bei der Strahlverfolgung verwendet. Reflexionen werden mithilfe von Spiegelquellen und Fresnel-Zonen

berechnet. Abschirmung wird durch eine Kombination von geometrischen Betrachtung und Streuung umgesetzt. [6; 7]

Details ISO 9613-2

Die ISO-Norm beschreibt ein empirisches Ausbreitungsmodell für Immissionsberechnungen mit bodennahen Schallquellen (Straßen-, Schienen-, Industrie-, aber kein Fluglärm). Für Entfernungen kleiner 1 km zwischen Quelle und Empfänger wird eine geschätzte Genauigkeit von ± 3 dB angegeben, wobei das Modell in der Praxis auch bei größeren Entfernungen angewandt wird. Die meteorologischen Bedingungen sind so gewählt, dass sie günstig für die Schallausbreitung sind. Dies kann entweder ein sogenanntes Mit-Wind-Szenario sein (Wind von der Quelle zum Empfänger, unabhängig von der Richtung) oder eine Temperaturinversion (die in der Regel nachts vorherrscht). Die Annahmen sollen den ungünstigsten Fall für potenziell Betroffene abdecken. Eine detaillierte Beschreibung einschließlich Genauigkeitsbetrachtung und Validierung des Ausbreitungsmodells befindet sich in [6; 8].

Erweiterte Methodik

Um alle in einem System-Design-Tool verfügbare Daten einer Beschallungsanlage zu verwenden, wurden die vorhandenen Implementationen der Berechnungsvorschriften der Nord2000 [7] und ISO 9613-2 [8] um komplexe Addition erweitert und sind nun in der Lage, Kohärenzeffekte zu berücksichtigen. Die Systemdaten eines Beschallungssystems werden beim Importieren einer System-Design-Tool-Datei übertragen. Dabei wird eine Transformation von Relativkoordinaten in ein globales Koordinatensystem durchgeführt. Ein Array besteht aus mehreren einzelnen Lautsprechern mit relativer Anordnung und Ausrichtung sowie jeweils eines Delays (definierte Signalverzögerung). Die einzelnen Lautsprecher wiederum, wie z. B. ein Line-Array-Element, ein Subwoofer oder ein sonstiger Einzellautsprecher, werden mit Punktschallquellen und einer dreidimensionalen komplexwertigen Richtcharakteristik („Ballon“ mit einer Auflösung von bis zu 2°) und ihren jeweiligen Filtereinstellungen abgebildet.

Es wird die Schallausbreitung von jeder Einzelquelle l der betrachteten Beschallungsanlage zu einem Empfänger berechnet:

$$L_l = L_{w,l} + D_l - A_l$$

Die Teilpegel L_l beim Empfänger werden nun unter Berücksichtigung der relativen Phase kom-

plex addiert:

$$L = 10 \lg \sum_l 10^{\frac{L_l}{10}} e^{-i(k r_l + \varphi_l)}$$

- k Wellenzahl
 r_l Ausbreitungsweg zwischen Schallquelle l und Empfänger
 φ_l Phasenverschiebung aufgrund von Lautsprecheransteuerung (Delay) und Richtcharakteristik
 L_l Teilpegel einer Einzelschallquelle am Empfänger

Eine Evaluierung und Validierung des erweiterten Modells anhand von Schallmessungen ist in [5] zu finden.

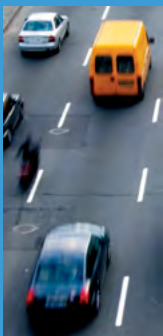
Wahl der Norm

Die Wahl, nach welcher Norm eine Schallausbreitungsberechnung durchgeführt werden soll, hängt entweder von der jeweiligen zuständigen Behörde ab, welche die Anforderungen an eine Prognose stellt, oder von der Fragestellung selbst. Bei ISO 9613-2 werden meteorologische Bedingungen angenommen, die günstig für die Schallausbreitung sind. Dies betrifft vor allem

die Windrichtung: unabhängig von der Lage des Empfängers zur Quelle wird stets von einer Mit-Windsituation ausgegangen, auch wenn sich zwei oder mehr Empfänger auf gegenüberliegenden Seiten zur Quelle befinden. Dies hat den Vorteil, dass bei dauerhaft vorhandenen Geräuschquellen (z. B. Straßenverkehr oder Industrie) für alle Betroffene eine für sie (eigentlich) ungünstige Wettersituation berücksichtigt wird. Dadurch wird ein potentiell unterschätzen der Lärmsituation durch die Prognose vermieden. Aufgrund dieser Festlegung werden keine Angaben zum Wind benötigt.

Nord2000 ist fortschrittlicher und berücksichtigt die verschiedenen akustischen Effekte genauer. Beispielsweise werden für die akustische Beschaffenheit des Bodens zwei Parameter verwendet. Es können unterschiedliche Windsituationen berechnet werden: eine bestimmte Windrichtung und Stärke, Windstille sowie Mit-Wind mit einer bestimmten Windstärke. Auch kann der vertikale Temperaturgradient angepasst werden, der eine Änderung der Temperatur mit der Höhe berücksichtigt. Diese aufwendigeren Rechenregeln erfordern allerdings auch mehr Rechenzeit.

Akustikbüro
 Schwarzenberger und Burkhart



**Beratung und Planung
 Messen von Schall und Erschütterungen
 Gutachten**

Bauakustik, Raumakustik
 Beschallungstechnik
 Schall-Immissionsschutz
 Erschütterungsschutz
 Thermische Bauphysik

Öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige
 VMPA - Schallschutzprüfstelle
 Messstelle § 29 BImSchG für Geräusche und Erschütterungen
 Beratende Ingenieure
 Verantwortliche Sachverständige nach § 2 Absatz 1 der ZVEiV
 Akkreditiertes Prüflaboratorium gemäß DIN EN ISO/IEC 17025: 2005
 Wir arbeiten mit dem Qualitätsmanagement nach ISO 9001: 2008

Hindenburgstraße 34 a
 82343 Pöcking am Starnberger See
 Tel 08157 / 93 35 -0, Fax -99
 anfrage@akustikbuero.com
 www.akustikbuero.com

**Schallschutz
 Wärmeschutz
 Bauphysik**



NVS

Geräusch- und Schwingungssimulator
 von Acousticork

Beschleunigen Sie Ihre Schallplanung mit diesem neuen NVS-Tool.

Entdecken Sie den besten Weg zur Berechnung des Geräusch- und Schwingungsverhaltens. Neben dem Produktdatenblatt stehen Ihnen jetzt auch technische Zeichnungen im .dwg- und PDF-Format sowie akustische Prüfberichte zur Verfügung.



Mit dem **NVS-Tool** können Sie die beste Unterlage und den passenden Estrich für Ihr Bauvorhaben auswählen und die entsprechende Leistung simulieren.



**Akustischer
 Testbericht**



**Trittschallminderungs
 Rechner**



Materialstärkenselektor



www.amorimcorkcomposites.com

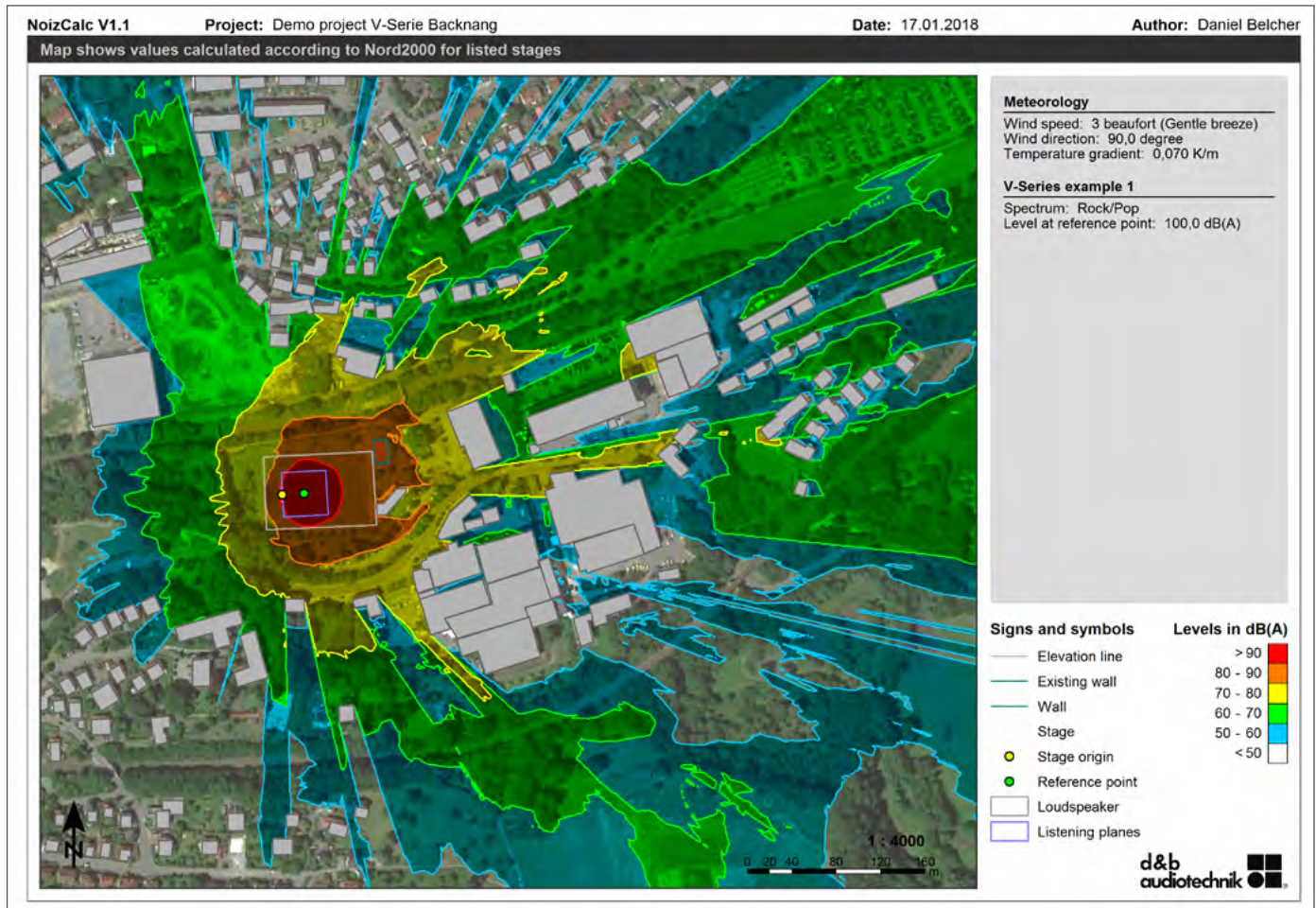


Abb. 3a: Berechnungsergebnisse zweier unterschiedlicher Windszenarien, jeweils mit 5 km/h, Westwind

Szenarien anstelle Jahresmittel

Während der Planung einer Open-Air-Veranstaltung ist es essentiell, die Wetterbedingungen zu berücksichtigen. Obwohl für Behörden in der Regel der ungünstigste Fall maßgeblich ist, kann es hilfreich sein, eine Simulation mit der wahrscheinlich vorherrschenden Wettersituation durchzuführen, bei der die Windrichtung eine entscheidende Rolle spielt. Dies kann den Organisatoren helfen, Position und Ausrichtung einer Bühne so zu wählen, dass die Lärmbelastung der Nachbarschaft möglichst gering gehalten wird. In den Abbildungen 3a und 3b ist ein Vergleich zweier Windszenarien zu sehen: Bei „Gegenwind“ zur Abstrahlrichtung der Beschallungsanlage (= Ostwind, Abb. 3b) fallen die Pegel bei kurzer Distanz nach Osten hin ab.

Tiefe Frequenzen

In den letzten Jahren haben sich tiefe Frequenzen als zunehmendes Problem trotz Einhaltung A-bewerteter Grenzwerte herausgestellt. Bei der Frequenzbewertung des Typs A wird der Tiefton stark unterdrückt, so dass selbst eine starke Anhebung in diesem Bereich den A-Gesamtpegel

kaum verändert. Der Fortschritt der Beschallungstechnik, durch stetig verbesserte angepasste Lautsprechersysteme, ermöglicht heute wesentlich mehr Schallleistung im tieffrequenten Bereich abzustrahlen.

Was Konzertbesucher erfreut, kann Anwohnern leider zum Ärgernis werden: Einerseits sind tiefe Frequenzen am wenigsten von der Luftabsorption betroffen, d. h. sie breiten sich im Freien am weitesten aus und andererseits dringen tiefe Frequenzen auch stärker durch Hausfassaden. Besonders nachts und in den ruhigeren Abendstunden kann das durchdringende „Wummern“ auf Dauer als äußerst störend empfunden werden. Bei der Beschallungstechnik gab es diesbezüglich interessante Entwicklungen in den vergangenen Jahrzehnten. Schon allein um den gesamten Publikumsbereich hinreichend gleichmäßig zu beschallen ist eine gezielte Richtwirkung vonnöten. Die Schallabstrahlung wird gebündelt, so dass die Schallleistung bei den Zuhörern ankommt und nicht wo anders hin vergeudet wird. Im Hoch- und Mittelton-Bereich werden präzise ausgelegte Schallführungen, auch Hörner genannt, eingesetzt und zusammen mit einer gezielten

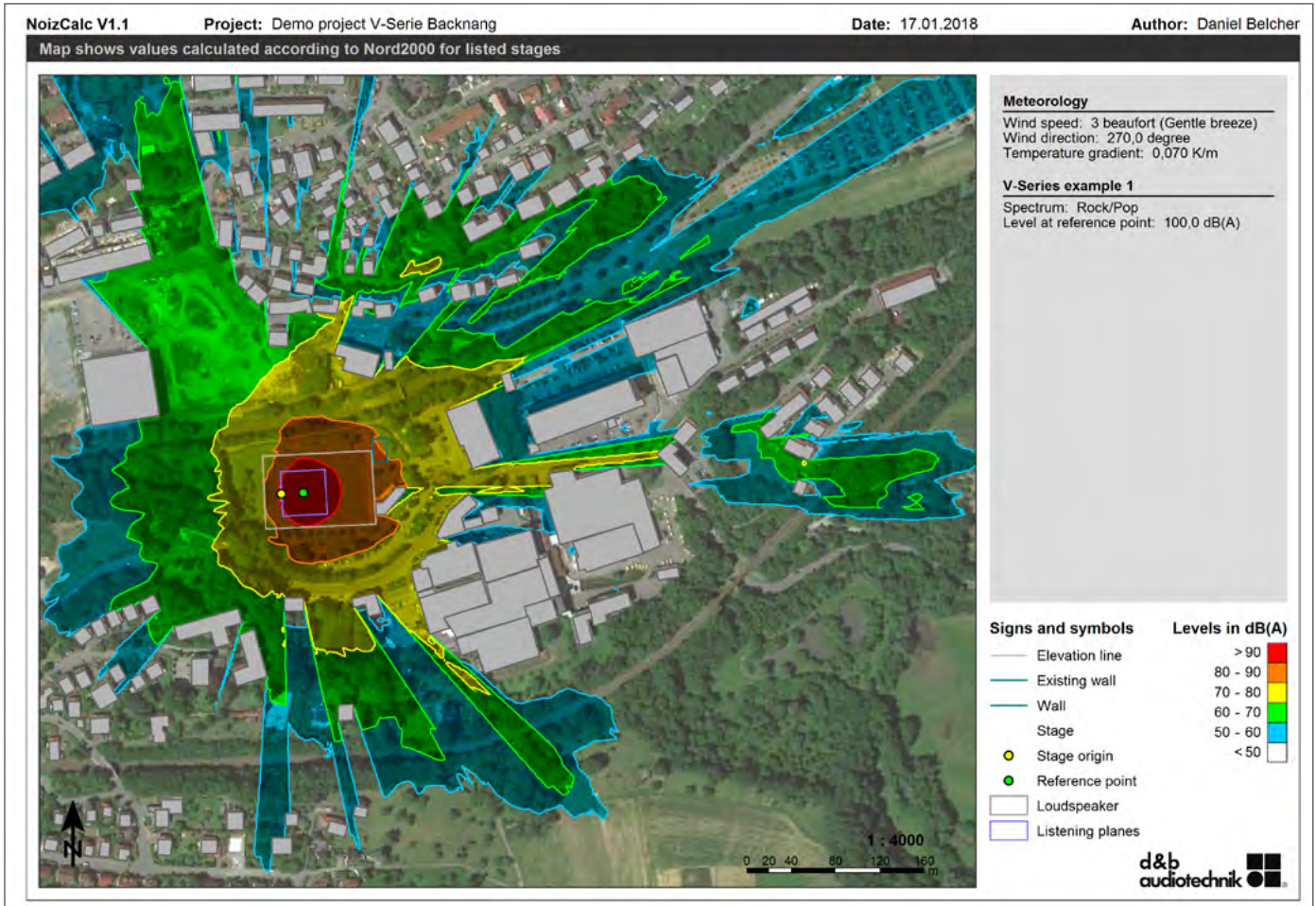


Abb. 3b: Berechnungsergebnisse zweier unterschiedlicher Windszenarien, jeweils mit 5 km/h, Ostwind

Anordnung wird ein gewünschtes Abstrahlverhalten erreicht. Bei tiefen Frequenzen werden die Wellenlängen allerdings so groß, dass sich deren Schallwellen schlichtweg um das eigene Lautsprechergehäuse beugen. Klassische Subwoofer sind weitgehend omnidirektional. Heutzutage wird der Begriff auch zur Abgrenzung zu gerichteten Subwoofern benutzt. Durch geeignete Konstruktion oder Anordnung ist ein gerichtetes Abstrahlverhalten mit einer Reduktion von etwa 12-20 dB nach hinten möglich – also bis zu einem Hundertstel der Schallintensität die nach vorne abgegeben wird. Durch eine gleichmäßige Anordnung von Subwoofern in einer Reihe vor der Bühne zu einem sogenannten Subwoofer-Array, kann nicht nur eine homogene Bassverteilung im Publikum erzielt werden, sondern es ermöglicht eine Bündelung der tiefen Frequenzen nach vorne, sodass auch zur Seite die Leakage gering ausfallen kann.

Um dem Problem störender tiefer Frequenzen zu entgegen werden vielerorts neben A-Grenzwerten weitere Anforderungen gestellt. Teilweise wird die C-Bewertung verwendet, welche tiefe Frequenzen nahezu vollständig berücksichtigt

(z. B. in Amsterdam). Neben ihrer direkten Anwendung wird auch eine C-A-Differenz als Indikator für die Bass-Menge herangezogen (z. B. in Basel). Andernorts werden Grenzwerte für bestimmte Terzbänder im Bass vorgegeben (z. B. für 80 Hz in USA, oder 63 Hz und 125 Hz in UK). Gegenwärtig wird die DIN 45680 „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft“ überarbeitet [9]. Auch berücksichtigen die Programme zur Simulation und Prognose der Schallimmissionen diesen Umstand und ermöglichen mindestens eine Darstellung der C-Werte.

Schlussfolgerung und Ausblick

Toningenieure nutzen für die präzise Auslegung einer Beschallungsanlage ein effizientes System-Design-Tool. Durch die Möglichkeit, diese Daten in ein Schallimmissionsberechnungsprogramm zu importieren, wird nicht nur die erneute und grobe Quellenmodellierung erspart, sondern auch sichergestellt, dass die spezifischen Eigenschaften und Einstellungen des konfigurierten Beschallungssystems vollständig und ohne Reibungsverluste übernommen werden. Die Erwei-



Daniel Belcher
d&b audiotechnik
GmbH, R+D,
Backnang



Dr. Elena Shabalina
d&b audiotechnik
GmbH, R+D,
Backnang

terung der Ausbreitungsrechnung um komplexe Addition ist eine zwangsläufige Konsequenz, um die Schallabstrahlung eines Beschallungssystems korrekt abzubilden.

Die vorgestellte Methode wurde sowohl in SoundPLAN Software [10] als auch in dem frei verfügbaren Software Tool (NoizCalc [11]) implementiert. Das für Forschungszwecke entwickelte Tool ermöglicht

- den Import eines vollständigen Datensatzes eines Beschallungssystems von d&b audiotechnik samt Richtcharakteristik, Filter und Delays (ArrayCalc Datei [12]),
- den Import von Google-Earth- Daten für ein Geländemodell,
- einen Editor zur Modellierung von Gebäuden, akustischen Bodenbeschaffenheiten etc. und
- die Schallausbreitungsberechnung nach einer der beiden Normen Nord2000 oder ISO 9613-2.

Die vorgestellte Methode wird durch Vergleiche mit Messungen bei Open-Air-Veranstaltungen validiert. Es werden weitergehende Erfahrungen mit verschiedenen Anwendungsfällen gesammelt. Diese Implementation ermöglicht darüber hinaus auch die Möglichkeit, die Ausbreitungsmodelle genauer zu testen, weil damit präzise Daten von Schallquellen beachtlicher Lautstärke vorliegen. Letztendlich ist das Ziel eine Verbesserung für alle, sowohl für das Publikum bei einer Veranstaltung als auch für die Nachbarn, die nicht gestört werden möchten.

Literatur

- [1] EASE - <http://ease.afmg.eu/>.
- [2] ODEON - <http://www.odeon.dk/intl/german.html>.
- [3] CATT-Acoustic - <https://www.catt.se/>.
- [4] Feistel, S.: Modeling the radiation of modern sound reinforcement systems in high resolution. Dissertation, Berlin, Logos-Verlag, 2014.
- [5] Christner, M.; Schaal, J.; Zollitsch, D.; Zuleeg, R.; Shabalina, E.: Consideration of complex loudspeaker setups, including phase effects, in the frame of environmental noise predictions on the basis of the ISO 9613-2 and Nord2000. Internoise 2013, Innsbruck Austria.
- [6] Attenborough, K.; Li, K.M.; Horoshenkov, K.: Predicting Outdoor Sound. Taylor&Francis (2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX 14 4RN), 2007.
- [7] Nord2000, A General Nordic Sound Propagation Model and Applications (Group Nor-

dic Noise, 31 December 2001).

- [8] ISO 9613-2, Attenuation of sound during propagation outdoors - part 2: General method of calculation (1996).
- [9] DIN 45680 (Entwurf): Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschmissionen (2013-09)
- [10] SoundPLANnoise, SoundPLAN GmbH
- [11] NoizCalc, d&b audiotechnik GmbH, <http://www.dbaudio.com>.
- [12] ArrayCalc, d&b audiotechnik GmbH, <http://www.dbaudio.com>. ■