

Ermittlung und Verbesserung der Präzision von softwareimplementierten Berechnungsverfahren mit normativ vereinbarten Ringversuchen

Wolfgang Probst¹, Bernd Jürgen Kunzmann²

¹ Datakustik GmbH, 82205 Gilching, E-Mail: wolfgang.probst@datakustik.de

² DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 10787 Berlin, E-Mail: bernd.kunzmann@din.de

Einleitung

Bei der Entwicklung und normativen Festlegung von Rechenverfahren steht deren Genauigkeit bzw. Richtigkeit im Vordergrund, wobei das Ziel eine möglichst geringe Abweichung zwischen berechneten und korrekt gemessenen Schalldruckpegeln für gegebene Szenarien ist. Für die Qualitätssicherung eines Berechnungsverfahrens im Hinblick auf die Anwendung mit verschiedenen Softwareimplementierungen ist eine hohe Präzision und somit eine möglichst geringe Streuung der für dasselbe Szenario unabhängig voneinander berechneten Pegel von Interesse. Mit Beispielen zur Berechnung für eine Windkraftanlage (VDI 4101 Blatt 2), für einen Hinterhof an einer Straße (RLS-19) und eine komplexe Situation mit einem gesamten Stadtmodell (Musterstadt QSDO) wird gezeigt, wie dieses Werkzeug „Ringversuch“ effektiv und erfolgreich zur Verbesserung der softwarebezogenen Festlegungen und zum Nachweis der erreichten Qualität eingesetzt werden kann. Weiter wird dargestellt, wie bei der Berechnung von Lärmkarten oder Lärmkonturen deren Unsicherheit aufgrund der gewählten Berechnungsparameter ermittelt werden kann.

Für Gutachter und Berater auf dem Gebiet des Schall-Immissionsschutzes, die sich trotz der immer komplexer werdenden algorithmischen Verfahren nicht einer „Black Box“ bei der Verwendung von professioneller Software ausliefern wollen, kann die Kenntnis dieser vielfältigen Möglichkeiten der Qualitätssicherung bei allen Aufgabenstellungen im Bereich des Schall-Immissionsschutzes von Nutzen sein.

Die Präsentation der Eingabedaten und Ergebnisse der Teilnehmer an Ringversuchen erfolgt stets und strikt anonym. Die Ringversuche werden wie folgt typisiert:

Ringversuch Typ A

Die Testaufgabe ist fest vorgegeben. Das Ergebnis ist bekannt. Die Berechnung von Teilnehmern im ersten Rechengang führt üblicherweise zu gleichen Ergebnissen.

Ringversuch Typ B

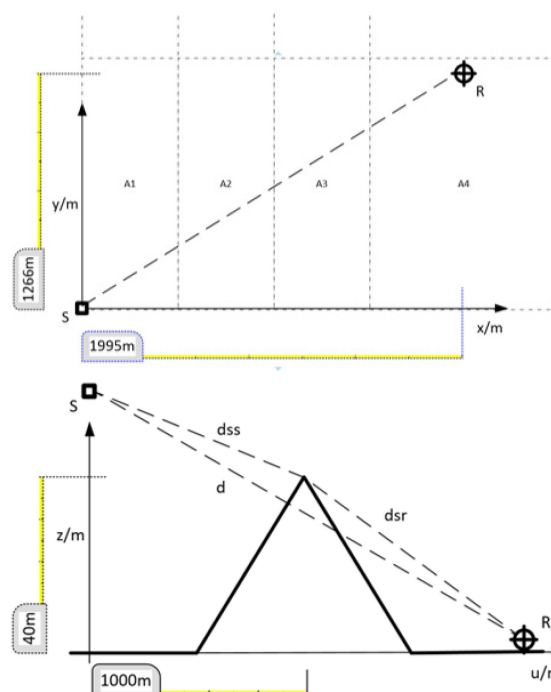
Die Testaufgabe ist vorgegeben. Das Ergebnis ist bekannt. Geringe Modifikationen zur Konkretisierung sind möglich. Die Berechnung von Teilnehmern führt üblicherweise zu nahezu gleichen Ergebnissen. Mehrere Rechengänge sind möglich.

Ringversuch Typ C

Die Testaufgabe ist vorgegeben. Das Ergebnis ist nicht bekannt. Modifikationen zum Ausräumen möglicher „Unstetigkeiten“ sind vorgesehen. Die Berechnung von Teilnehmern führt üblicherweise zu Ergebnissen mit einer gewissen Spanne. Mehrere Rechengänge und Detailprüfungen sind möglich.

1 Ringversuch A – Windkraftanlage

Die Testaufgabe zu einer Windkraftanlage ist in Abbildung 1 veranschaulicht. Die Eingabewerte und die Ergebnisse sind den Tabellen 1, 2 und 3 zu entnehmen.



Legende

- A1 bis A4: Flächen 1 bis 4
- R Immissionspunkt
- S Emissionspunkt (Windkraftanlage)
- d Abstand von der Quelle zum Aufpunkt (Immissionspunkt) in m
- d_{ss} Abstand von der Quelle zur (ersten) Beugungskante in m
- d_{sr} Abstand von der (ersten) Beugungskante zum Aufpunkt (Immissionspunkt) in m
- x Abstand in x -Richtung in m
- y Abstand in y -Richtung in m
- z Abstand in z -Richtung in m
- u Abstand in u -Richtung in m

Abbildung 1: Testaufgabe zur Schallausbreitung mit abschirmender Geländekante und Schnitt durch das Gelände in der vertikalen u - z -Ebene EV (entlang der direkten Schallausbreitung S–R) [Quelle E VDI 4101 Blatt 2]

Tabelle 1: A-bewertete immissionswirksame Schalleistungspegel der Quelle S (f Mittenfrequenz)

f	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{WA, Oktave}$	dB	86,4	92,4	98,7	100,7	98,9	93,8	88,2	71,6

Quelle E VDI 4101 Blatt 2

Tabelle 2: Dämpfung aufgrund von Luftabsorption (ermittelt an den „exakten“ Frequenzen, aufgetragen über den „nominellen“ Mittenfrequenzen f) (auf drei Stellen gerundet)

f	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
α	dB/km	0,122	0,411	1,043	1,928	3,658	9,664	32,770	116,882

Quelle E VDI 4101 Blatt 2

Tabelle 3: Spektrale Ergebnisse (auf zwei Stellen gerundet)

f	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{WA, Oktav}$	dB	86,40	92,49	98,70	100,70	98,90	93,80	88,20	71,60
α_{atm}	dB/km	0,12	0,41	1,04	1,93	3,66	9,66	32,77	116,88
A_{atm}	dB	0,29	0,97	2,47	4,56	8,64	22,84	77,45	276,25
A_{gr}	dB	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00	-3,00
A_{div}	dB	78,47	78,47	78,47	78,47	78,47	78,47	78,47	78,47
A_{bar}	dB	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77
$L_{A/T}(DW)$	dB	5,87	11,19	15,99	15,90	10,01	-9,28	-69,50	-284,89
									20,25

Quelle E VDI 4101 Blatt 2

Details sind E VDI 4101 Blatt 2 zu entnehmen.

2 Ringversuch Typ B zu RLS-19/Test-20 (beispielhaft)

Beispielhaft wird hier der Ringversuch zur Testaufgabe K4 „Hinterhof an einer Straße“ herausgegriffen.

Die Testaufgabe K4 ist in Tabelle 4 und Abbildung 2 veranschaulicht. Die Ergebnisse sind den Tabellen 5 bis 7 zu entnehmen. In den Tabellen sind auszugsweise nur Ergebnisse von zwei Teilnehmenden am Ringversuch angeben.

Tabelle 4: Eingabedaten Gelände und Bebauung

	x m	y m	z m
Geländehöhe Z			100,0
Anfang Fahrstreifen	20,0	20,0	100,0
Ende Fahrstreifen	280,0	20,0	100,0
Gebäude A, Ecke SW	230,0	30,0	130,0
Gebäude A, Ecke SO	330,0	30,0	130,0
Gebäude A, Ecke NO	330,0	70,0	130,0
Gebäude A, Ecke NW	230,0	70,0	130,0
Gebäude B, Ecke SW/A	70,0	30,0	130,0
Gebäude B, Ecke SO/A	210,0	30,0	130,0
Gebäude B, Ecke SO/I	210,0	70,0	130,0
Gebäude B, Ecke SW/I	110,0	70,0	130,0
Gebäude B, Ecke NW/I	110,0	190,0	130,0
Gebäude B, Ecke NO/I	210,0	190,0	130,0
Gebäude B, Ecke NO/A	210,0	230,0	130,0
Gebäude B, Ecke NW/A	70,0	230,0	130,0
Immissionsort IO	110,05	160,0	102,8
$L'_W = 90,00$ dB			

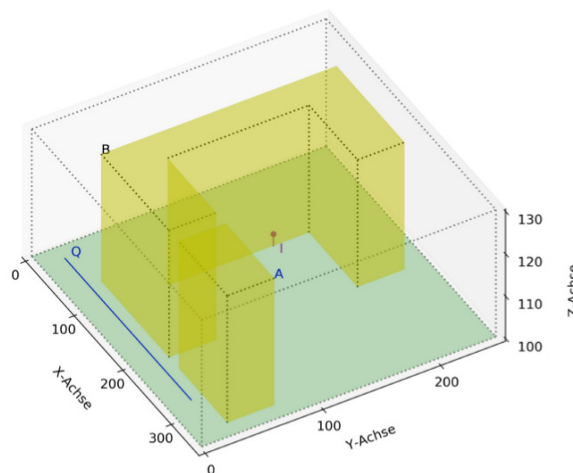


Abbildung 2: Testaufgabe K4 - Hinterhof an einer Straße, Quelle E DIN/TR 8999-1

Tabelle 5: Ergebnisse des Ringversuchs bei $s/l=2$ (Auszug)

Aufgabe Version 1.4 ($s/l=2$)	L_r von A an I [dB]	L_r von B an I [dB]	...	$L_{r,max}$ an I [dB]	$L_{r,min}$ an I [dB]	Spanne I [dB]
...
K4	43,62	43,39	...	43,62	43,39	0,23
...

Tabelle 6: Ergebnisse des Ringversuchs ($s/l=20$ oder feiner) (Auszug)

Aufgabe Version 1.4 ($s/l=20$ oder feiner)	L_r von A an I [dB]	L_r von B an I [dB]	...	$L_{r,max}$ an I [dB]	$L_{r,min}$ an I [dB]	Spanne I [dB]
...
K4	43,62	43,63	...	43,63	43,62	0,01
...

Tabelle 7: Ergebnisse des Ringversuchs (Auszug)

Aufgabe Version 1.4	Beschreibung	L_r an I Test 20 [dB]	Toleranzen L_r an I nach Test 20 [dB]
...
K4	Hinterhof an Straße	43,63	43,4 bis 43,6
...

3 Ringversuch Typ C zur Musterstadt QSDO (Nr. 1; 2013)

Es handelt sich um eine komplexe Testaufgabe zur Prüfung qualitätsgesicherter Berechnung einer Lärmkarte anhand einer Großstadt.

QS steht für **Qualitätssicherung** und **DO** steht für **Dortmund**. Dabei ist zu beachten, dass das Gelände der Musterstadt QSDO in gewisser Weise aus rechtlichen Gründen verzerrt wurde.

Das aktuelle Projekt umfasst 118298 Gebäude und 1978 km Straßen. Die Grenze dieser Musterstadt umschließt etwa

292 km² und eine rechteckige Fläche von ca. 6 km × 5 km. In einem inneren Bereich dieser Fläche wurden 400 Empfangspunkte in Übereinstimmung mit den Anforderungen der DIN 45687 verteilt (siehe Abbildung 3). Ausschnitte aus der Musterstadt sind beispielhaft in den Abbildungen 5 und 6 gezeigt.



Abbildung 3: Ausschnitt aus dem inneren Bereich der Musterstadt mit 100 Einzelpunkten des 400-Punkte-Kollektivs [Quelle 4. Dokumentation]

Die Berechnung erfolgt nach RLS-90 und Triangulation. Der Einsatz von Beschleunigungsschaltern war vorgesehen. Den Teilnehmern am Ringversuch wurde ein zip-File „TestCity DO“ zugänglich gemacht, der die in Abbildung 4 aufgeführten Dateien beinhaltet:

- Name
- Buildings.dbf Roads.dbf
 - Buildings.shp Roads.shp
 - Buildings.shx Roads.shx
 - NoiseBarriers.dbf TerrainLines.dbf
 - NoiseBarriers.shp TerrainLines.shp
 - NoiseBarriers.shx TerrainLines.shx
 - Receivers.dbf TestCityDO.qsi
 - Receivers.shp
 - Receivers.shx

Abbildung 4: Inhalt des zip-File „TestCity DO“

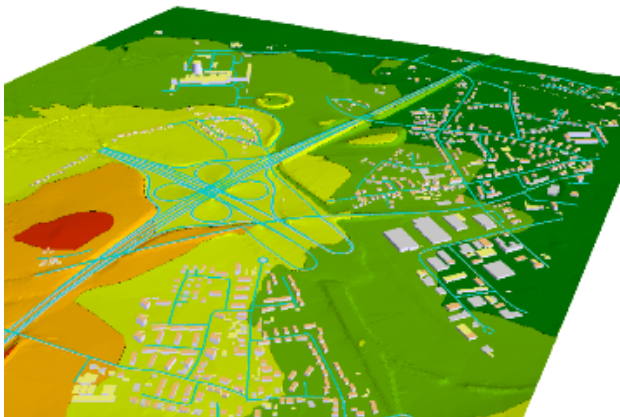


Abbildung 5: Ausschnitt aus der Musterstadt QSDO [Quelle 4. Dokumentation]

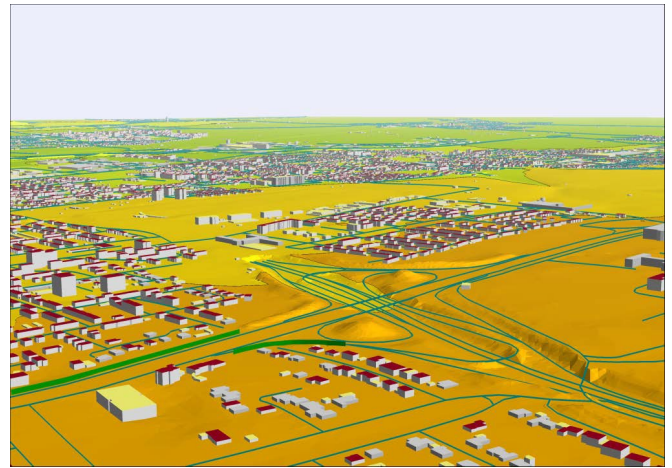


Abbildung 6: Ausschnitt 2 aus der Musterstadt QSDO [Quelle 4. Dokumentation]

Die statistische Auswertung der Ergebnisse ist in den Tabellen 8 und 9 veranschaulicht.

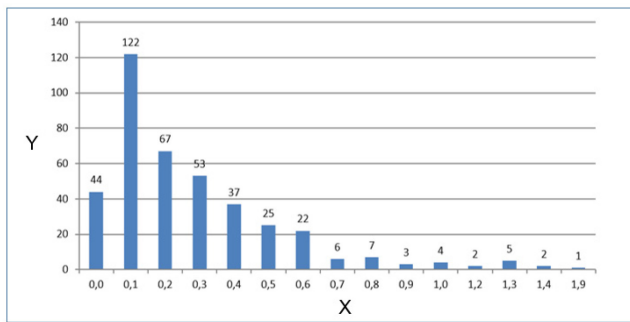
Tabelle 8: Auszug aus der Kalkulationstabelle für 400 Immissionspunkt (beispielhaft für 4 Teilnehmer am Ringversuch)

lfd. Imm.-Punkt (IP) Nr.	Beurteilungspegel tags dB				Spanne dB
	von A_Test	von B_Test	von C_Test	von D_Test	
IP_001	51,65	52,16	51,87	51,76	0,51
IP_002	55,36	55,41	55,36	55,28	0,13
IP_003	63,90	63,89	63,88	63,85	0,05
IP_004	72,26	72,28	72,28	72,22	0,06
...
IP_397	55,63	56,59	56,05	56,06	0,96
IP_398	54,25	54,37	54,22	54,24	0,15
IP_399	51,47	52,02	51,77	51,60	0,55
IP_400	65,44	65,25	65,25	65,24	0,20

Tabelle 9: Auszug aus der Kalkulationstabelle für 400 Immissionspunkte (beispielhaft für 4 Teilnehmer am Ringversuch)

lfd. Imm.-Punkt (IP) Nr.	Mittelwert dB	Betrag der Abweichung vom Mittelwert dB				maximale Abweichung vom Mittelwert dB
		dB				
		von A_Test	von B_Test	von C_Test	von D_Test	
IP_001	51,84	0,19	0,32	0,06	0,08	0,32
IP_002	55,33	0,03	0,08	0,06	0,05	0,08
IP_003	63,87	0,03	0,02	0,04	0,02	0,04
IP_004	72,24	0,02	0,04	0,04	0,02	0,04
...
IP_397	56,08	0,45	0,51	0,05	0,02	0,51
IP_398	54,20	0,05	0,17	0,28	0,04	0,28
IP_399	51,68	0,21	0,34	0,06	0,08	0,34
IP_400	65,30	0,14	0,02	0,05	0,06	0,14

Die Häufigkeitsverteilung der maximalen Abweichung vom arithmetischen Mittelwert ist in Abbildung 7 veranschaulicht.



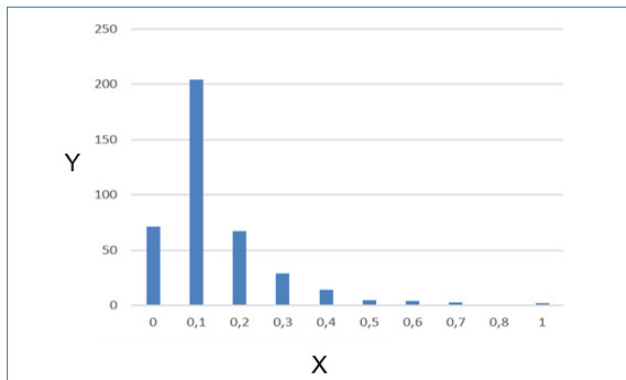
Legende

- X Betrag der maximalen Abweichung vom arithmetischen Mittelwert in dB
- Y Häufigkeit der maximalen Abweichung vom Mittelwert pro Klasse

Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der maximalen Abweichung vom arithmetischen Mittelwert (gerundet) [Quelle 4. Dokumentation]

4 Ringversuch Typ C zur Musterstadt QSDO (Nr. 2; 2018)

Den Teilnehmern am Ringversuch wurde wieder ein entsprechendes zip-File „TestCity DO“ mit Input-Files zugänglich gemacht. Die Berechnung erfolgte wieder nach RLS-90 und Triangulation. Der Einsatz von Beschleunigungsschaltern war vorgesehen. Nach der Auswertung der Ergebnisse zeigte sich die in Abbildung 8 dargestellte Häufigkeitsverteilung der maximalen Abweichung vom arithmetischen Mittelwert.



Legende

- X Betrag der maximalen Abweichung vom arithmetischen Mittelwert in dB
- Y Häufigkeit der maximalen Abweichung vom Mittelwert pro Klasse

Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung der maximalen Abweichung vom arithmetischen Mittelwert (gerundet)

Literatur

- [1] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, RLS-19, Ausgabe 2019, FGSV-Nr.: 052 inkl. Korrekturen, Stand: Februar 2020
- [2] DIN 45687:2006-05, Akustik – Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien – Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen (Die Veröffentlichung des fachlich überarbeiteten Entwurfes steht kurz bevor.)
- [3] E DIN/TR 8999-1: –, Akustik – Regelwerk-spezifische Ergänzungen zur Qualitätssicherung von Software für die Berechnung von Schall im Freien – Teil 1: RLS-19 (Die Veröffentlichung des Technischen Reports als Entwurf steht kurz bevor.)
- [4] E VDI 4101 Blatt 2:2020-04, Schallausbreitung im Freien unter Berücksichtigung meteorologischer und topographischer Bedingungen – Blatt 2: Windkraftanlagen
- [5] Dokumentation zur Qualitätssicherung von Software zur Geräuschimmissionsberechnung nach DIN 45687, 4. Dokumentation – Testaufgaben mit der Musterstadt QSDO – DIN_45687:2013-03.1 / Documentation for Software Quality Assurance for Noise Immission Calculation according to DIN 45687; 4th Documentation – Test cases with the test_city_QSDO – Test city QSDO, DIN_45687:2013-03.1 (de/en) (Die 4. Dokumentation ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur intern beim NALS verfügbar. Eine Neuauflage in Form eines Technischen Reports ist in Planung.)
- [6] Testaufgaben für die Überprüfung von Rechenprogrammen nach den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, Test-20, Version 1.4, 5. März 2021