

Numerische Simulation der Wirksamkeit verschiedener Schallschutzbarrieren unter Windeinfluss

Reinhard Blumrich, Dietrich Heimann

DLR, Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, D-82234 Weßling.

Einführung

Schallschutzbarrieren beeinflussen nicht nur die Schallausbreitung, sondern auch das Windfeld. Windgradienten können derart verschärft werden, dass z.B. bei Schallausbreitung in Windrichtung die Wirksamkeit der Barriere durch eine verstärkte Abwärtsbrechung der Schallwellen reduziert wird. Dieser so genannte RESWING-Effekt (REfraction by Screen-induced WIND speed Gradients) wurde 1999 von Salomons diskutiert.¹ Die Verschlechterung der Wirksamkeit hängt u.a. von der Form und Beschaffenheit der Schallschutzbarriere ab.

Mit einem System von Simulationsmodellen kann die Auswirkung der Schallschutzbarriere auf das Windfeld einerseits und die Schallausbreitung in dem modifizierten Windfeld andererseits berechnet werden. Mit Hilfe dieser konsistenten Modellierung kann man nun die Wirksamkeit einer Barriere simulieren. Es werden beispielhaft verschiedene, idealisierte Schallschutzbarrieren diskutiert, deren Einfluss auf das Windfeld dargestellt und deren Wirksamkeit verglichen.²

Berechnungen

In Abbildung 1 sind die hier diskutierten, idealisierten Schallschutzbarrieren schematisch dargestellt. Die Höhe der Schirme beträgt einheitlich 3 m. Neben dem Standardschirm A wurden abgeknickte (B, C) und durchbrochene Profile (D, E, F, G) betrachtet. Das Profil F wurde von Salomons als „ventilierter“ Schirm vorgeschlagen, dessen Durchlass eine Verschärfung des vertikalen Windgradienten vermeiden sollte.

Die Simulationen der Strömung und der Schallausbreitung wurden mit Hilfe einer numerischen Integration der Euler-Gleichungen, getrennt für Strömung und Schall, durchgeführt.³ Dieses Modell-System ermöglicht eine Berücksichtigung der vollen dreidimensionalen Inhomogenität der Atmosphäre.

Als Anfangsbedingung für die Strömungssimulation wird ein logarithmisches Windprofil mit einer Windgeschwindigkeit von 5 m/s in 10 m Höhe angenommen. Der Schallschutzschirm wird daraufhin sukzessive „eingebledet“, d.h. die Permeabilität für Luft wird kontinuierlich von 100 % auf 0 % reduziert. Das Simulationsgebiet umfasst einen 100 x 20 m großen Querschnitt (Maschenweite: 25 cm, Schirm 20 m vom Einströmrand entfernt). Bis zum Erreichen eines stationären Zustands werden die Gleichungen über 25 s integriert.

Das akustische Modell übernimmt die vom Strömungsmodell berechneten meteorologischen Parameter. Atmosphärische Absorption und Turbulenz werden vernachlässigt. Alle Oberflächen werden als total reflektierend angenommen. Die idealisierte Schallquelle befindet sich 6,5 m vor dem Schirm 50 cm über dem Boden. Dies entspricht der Geometrie einer RQ12-Straße nach RLS-90.⁴ Die Quelle

emittiert ein konstantes Spektrum (100 - 1000 Hz). Das Simulationsgebiet umfasst 100 x 25 m² (Maschenweite: 2,5 cm). Alle akustischen Ergebnisse werden als unbewertete Schallpegel ausgegeben.



Abb. 1: Profile der sieben verschiedenen, jeweils 3 m hohen Schallschutzschirme. Die Schallquelle befindet sich jeweils links vom Schirm.

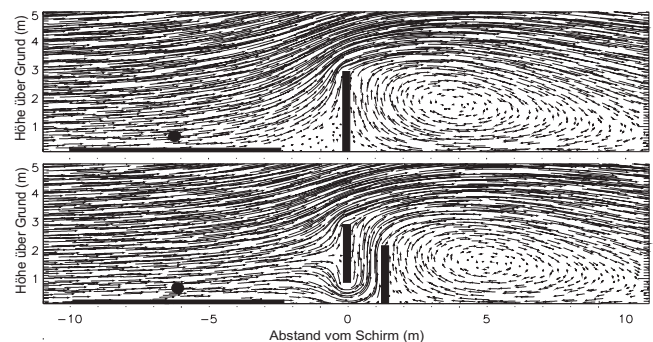


Abb. 2: Strömungssimulation für die Schirmprofile A und F (ungestörte Strömung: 5 m/s in 10 m Höhe, Punkt: Schallquelle über einer Straße). Gezeigt ist ein Ausschnitt des Modellgebiets.

Tab. 1: Maximalwert $(\partial u/\partial z)_{\max}$ des vertikalen Windgradienten und Querschnittsfläche q_2 mit $\partial u/\partial z > 2 \text{ s}^{-1}$ (beides für $z > 3 \text{ m}$) ermittelt. Der jeweils größte Wert ist fett gedruckt.

	A	B	C	D	E	F	G
$(\partial u/\partial z)_{\max} / \text{s}^{-1}$	7,22	6,41	7,47	6,46	6,57	6,31	6,80
q_2 / m^2	3,31	2,94	2,37	1,62	2,56	2,50	2,25

Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Strömungssimulation exemplarisch für die Schirmprofile A und F. In beiden Fällen bildet sich im Nachlauf des Schirms ein Wirbel aus. Im Falle des Schirms F wird durch den Nebenstrom durch die Schirmwand hindurch das Maximum des vertikalen Windgradienten $(\partial u/\partial z)_{\max}$ oberhalb des Schirms um 12,6 % vermindert. Es ist der niedrigste Maximumwert des vertikalen Windgradienten aller hier betrachteter Schirme. Der höchste Wert wird für das Schirmprofil C simuliert.

Zur Bewertung des Windeinflusses der verschiedenen Schirme wird die Teilfläche q_2 des Simulationsquerschnitts oberhalb des Schirms ($z > 3 \text{ m}$) ermittelt, innerhalb der der vertikale Gradient der Windgeschwindigkeit $\partial u/\partial z$ den Wert 2 s^{-1} überschreitet. Die Querschnittsfläche q_2 verringert sich bei Schirm F gegenüber A um 24,5 %. Sie ist beim Schirm A maximal und beim Schirm D minimal (s. Tab. 1).

Abbildung 3 zeigt die Abschattung der verschiedenen Schallschutzschirme in einer Höhe von 5 m über Grund (4,5 m oberhalb der Quelle) für den Fall ohne Wind. Die Schwankungen im Abstand über 30 m ergeben sich aus den verbliebenen Interferenzmustern im simulierten Frequenzband (Überlagerung der direkten und am Boden reflektierten Welle hinter dem Schirm). Die schirmabhängige Streuung der Dämpfung beträgt etwa 3 dB. Das Abschirmmaß nach RLS-90 passt in die Schwankungsbreite der simulierten Werte. Als der über weite Entfernungsbereiche wirksamste Schirm erweist sich das Profil C. Aber auch das Standardprofil A und das Profil G schirmen den Schall recht effektiv ab. Die bezüglich einer Minimierung der vertikalen Windgradienten gestalteten Profile (D, F) hingegen schirmen relativ schlecht ab.

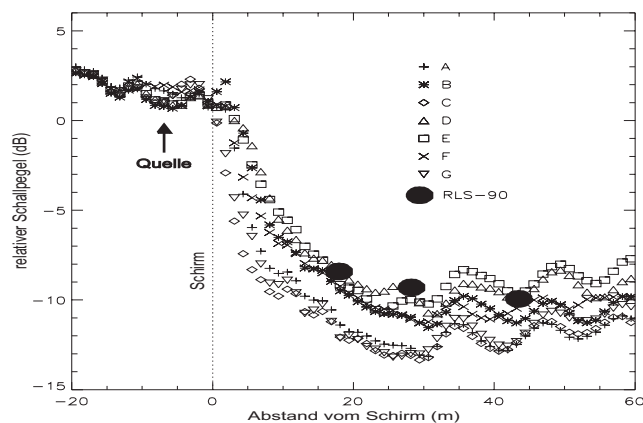


Abb. 3: Berechneter relativer Schallpegel in 5 m Höhe (dB, mit Schirm relativ zu ohne Schirm, kein Wind) für die Schirmprofile A - F. Die schwarzen Punkte geben das entsprechende Abschirmmaß nach RLS-90 an.

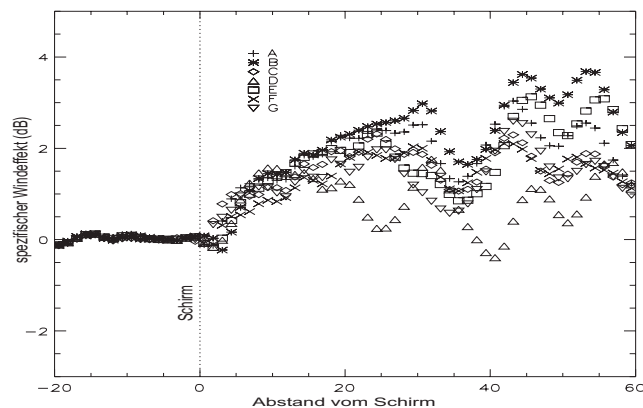


Abb. 4: Spezifischer Windeffekt SWE (siehe Text) der verschiedenen Schirmprofile (A-G). Die Werte beziehen sich auf eine Höhe von 5 m über Grund.

In Abbildung 4 ist der spezifische Windeffekt (SWE) der verschiedenen Schirmprofile wiederum für eine Bezugshöhe von 5 m über Grund dargestellt. Unter dem SWE wird hier der Zusatzeffekt auf die Schallimmission verstanden, der auf Grund der Wirkung des Schirms auf das Windfeld zustande kommt:

$$SWE = (WS - S) - (W - O)$$

- mit
- O Simulation ohne Schirm und ohne Wind
 - W Simulation ohne Schirm aber mit Wind
 - S Simulation mit Schirm aber ohne Wind
 - WS Simulation mit Schirm und mit Wind

Der SWE gibt also die Minderung der Schirmeffizienz auf Grund des schirminduzierten Windeffekts an. Er beträgt je nach Profil und Entfernung hinter dem Schirm zwischen 0 und knapp 4 dB. Als ungünstigster Schirm erweist sich das Profil B gefolgt von A. Diese Schirme verursachen über weite Bereiche hohe Gradienten im Windfeld. Ein geringer spezifischer Windeffekt von weniger als 1 dB wird durch das Profil D erreicht. Auch das Profil G schneidet hier gut ab. Die effektive Lärmschutzwirkung eines Schirmprofils bei Überströmung ergibt sich aus der akustischen Wirkung des Schirms und dem spezifischen Windeffekt. Es wird daher untersucht, welches Profil bei Windstille bzw. bei Überströmung die jeweils geringste Immission ergibt. Tabelle 2 gibt die Qualität der Profile für die Querschnittsfläche im Abstand von 5 - 60 m hinter dem Schirm und 1 - 8 m über Grund an. In beiden Fällen, ohne und mit Wind, erweist sich die Schirmart C in 57,1 % bzw. 52,2 % dieser Querschnittsfläche als die leiseste. Auch das energieäquivalente Flächenmittel der Schallimmission ist bei dieser Schirmart jeweils am geringsten. Im Falle einer Überströmung erweist sich aber auch das Profil G innerhalb von 29,5 % der Querschnittsfläche als das leiseste.

Tab. 2: Energieäquivalent gemittelter Schalldruckpegel L_m . Betrachtete Fläche: 5 - 60 m hinter dem Schirm in 1 - 8 m Höhe. Der Wert A1 gibt den prozentualen Anteil der Fläche an, in dem das betreffende Schirmprofil das leiseste ist.

		A	B	C	D	E	F	G
ohne Wind	L_m	49,0	50,8	47,7	51,8	51,7	50,4	48,3
	A1	26,0	0,5	57,1	-	-	-	16,5
mit Wind	L_m	49,9	51,7	48,6	52,3	52,4	50,9	49,0
	A1	17,8	0,2	52,5	-	-	-	29,5

Schluss

Der RESWING-Effekt ist ein typisches Beispiel für das Zusammenspiel von Hindernissen, Atmosphäre und Schallausbreitung. Während der Schirm durch Abschattung direkt auf das Schallfeld wirkt, beeinflusst er aber auch die Atmosphäre, welche wiederum selbst die Schallausbreitung modifiziert. Als Planungsinstrument können gekoppelte Strömungs- und Schallausbreitungsmodelle zur Untersuchung der Wirksamkeit der Schallschutzbarrieren herangezogen werden. Zur wirklichen Optimierung der Auslegung von Schallschutzeinrichtungen müssen selbstverständlich die örtliche Situation und eine Vielzahl der möglichen meteorologischen Zustände betrachtet werden.

- 1 E.M. Salomons „Reduction of the performance of a noise screen due to screen-induced wind-speed gradients. Numerical computations and wind-tunnel experiments“, J.Acoust.Soc.Am. **105**, 2287-2293 (1999).
- 2 Siehe auch: D. Heimann, R. Blumrich „Anwendungsbeispiele numerischer Schallausbreitungssimulationen mit konsistenter Berücksichtigung der Atmosphäre und des Bodens“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 3/2002, in Druck.
- 3 R. Blumrich, D. Heimann, „A linearized Eulerian (LE) sound propagation model for studies of complex meteorological effects“, submitted to J.Acoust.Soc.Am.
- 4 Der Bundesminister für Verkehr „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90“, 1990.