

# Messung und Prognose von Immissionspegeln an ausgewählten Orten in der Umgebung einer Standortschießanlage

Jürgen Zangers<sup>1</sup>, Mattias Trimpop<sup>2</sup>, Bernd Wiedemann<sup>3</sup>, Joachim Vogel<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institut für Lärmschutz, 40489 Düsseldorf, E-Mail: zangers@ifl-acoustics.de

<sup>2</sup> Institut für Lärmschutz, 40489 Düsseldorf, E-Mail: trimpop@ifl-acoustics.de

<sup>3</sup> BAIUDBw GS II 2, 53123 Bonn, E-Mail: berndwiedemann@bundeswehr.org

<sup>4</sup> BAIUDBw KompZ BauMgmt S K 5, 70045 Stuttgart, E-Mail: Joachim.Vogel@Bundeswehr.org

## Einleitung

In der Planungsphase für den Neu- oder Umbau von Standortschießanlagen ist eine Messung, die den späteren Bauzustand repräsentiert, nicht möglich. Vom Bundesministerium der Verteidigung wurde zur Abschätzung der akustischen Auswirkung von baulichen Veränderungen an Standortschießanlagen die Prognosesoftware PROPPER<sup>®</sup> entwickelt. PROPPER<sup>®</sup> steht als Werkzeug für die Berechnung der Schallausbreitung von Schießgeräuschen von Handfeuerwaffen der Bundeswehr für die Bauplanung zur Verfügung und ist als Referenzmodell bei der Öffentlich Rechtlichen Aufsicht der Bundeswehr eingeführt.

Zur Validierung des gesamten PROPPER<sup>®</sup>-Verfahrens wurden (gesteuerte) Immissionsmessungen in der Nachbarschaft einer Standortschießanlage der Bundeswehr durchgeführt. Dabei wurden die Anforderungen der VDI 3745 Blatt 1 [1] (Mitwind-Bedingung, Messkette, usw.) weitest möglich beachtet. Darüber hinaus wurden auch die relevanten Wettergrößen während der Messungen mittels SODAR/RAS höhenabhängig erfasst.

Die gesamte Standortschießanlage wurde mit allen maßgeblichen Bauteilen in ein digitales Modell zur Berechnung der Ersatzschallquelle mittels RANGER überführt.

Die mit dem RANGER ermittelten Ersatzschallquellen waren Ausgangspunkt für die Berechnungen der Immissionspegel mit dem Programmmodul PROPAGATER. Der Vergleich zwischen Prognosewerten und Messwerten zeigt eine gute Übereinstimmung von Messung und berechneter Prognose.

## Das Prognoseprogramm

PROPPER<sup>®</sup> ist eine Programmsuite, die aus den Modulen PROPPER<sup>®</sup>-SKETCHUP, PROPPER<sup>®</sup>-RANGER und PROPPER<sup>®</sup>-PROPAGATER besteht.

### PROPPER<sup>®</sup>-SKETCHUP

ist ein im umfangreichen Maße für die Erfordernisse von PROPPER<sup>®</sup> angepasstes (Digitalisierungs- und Visualisierungs-Tool) SKETCHUP von GOOGLE<sup>®</sup>, das lizenzfrei in der Version 7.1 verwendet wird. Mit diesem Tool werden die Aufbauten, beispielsweise der Geschosssfang, Seitenwände, Höhenblenden und sonstige Bauteile dreidimensional generiert und für die weitere Verwendung im RANGER aufbereitet. Insbesondere werden jeder Fläche eines Bauteils bestimmte akustische Eigenschaften zugewiesen.

### PROPPER<sup>®</sup>-RANGER

ist dazu ausgelegt, die Schallausbreitung innerhalb einer komplexen Schießanlage und letztendlich eine Ersatzschallquelle für diese Anlage zu berechnen. Mit Hilfe eines dreidimensionalen Strahlenverfolgungsalgorithmus wird die Schallausbreitung von der eigentlichen Schallquelle (hier der Mündungsknall einer Handfeuerwaffe) durch die Ausbreitung von „Zelten“ als Träger der akustischen Energie in der geometrisch und akustisch komplexen Schießanlagen- bzw. Schießstandgeometrie abgebildet. Der RANGER verfolgt diese Zelte bis zum Verlassen des Schießstandes und ermittelt dabei den Ort, die Richtung und die akustische Energie eines jeden Zeltes.

Einzelheiten dazu wurden auf der DAGA 2004 [2]/[3], 2005 [4] und 2007 [5] vorgestellt.

Bei der Modellierung der physikalischen Phänomene werden die Besonderheiten der Schießgeräusche, ihre ausgeprägte Richtcharakteristik und ihre Impulshaftigkeit berücksichtigt. Letztere ist insbes. bei der Beugungsberechnung maßgeblich. Das Beugungs-Modell im RANGER basiert auf dem Ersatzschallquellen-Modell für Kantenbeugung von Impulsschall von Svensson [6].

Der RANGER erfüllt die Testaufgabe nach DIN EN ISO 17201-3 [7] als ‚sophisticated model‘ zur Berechnung der Ersatzschallquelle nach dieser Norm oberhalb von 100 Hz und damit für den immissionswirksamen Frequenzbereich des Mündungsknalls.

### Anmerkung:

Für 200 Hz führt das RANGER-Modell (im Vergleich zum Referenzmodell der o.g. Norm) im Durchschnitt zu einer Überschätzung von 0,8 dB bei einer mittleren Standardabweichung von 4,6 dB. Die Referenzwerte der Testaufgabe wurden mit einer ‚Boundary-Element-Methode‘ (BEM) ermittelt. Diese Methode prognostiziert die Feldgrößen des Schalls, hier den Schalldruck. Die Standardabweichung in der Größenordnung von 5 dB ist eine Konsequenz von lokalen Interferenzen im Schalldruck, die bei einem Energiemodell, wie es der RANGER verwendet, nicht auftreten können.

### PROPPER<sup>®</sup>-PROPAGATER

ist dazu ausgelegt, die Schallausbreitung außerhalb der Schießanlage bei gegebener Atmosphäre (3D-Windvektorfeld, 3D-Skalarfelder für die Temperatur und Luftfeuchtigkeit) zu berechnen. Er unterliegt dabei nicht den Abstands- und Signalbeschränkungen der DIN ISO 9613-2 [8]. Insbesondere setzt er auch keinen konstanten (5 km) Krümmungsradius der Schallstrahlen voraus.

Ausgangspunkt für die Berechnungen mit dem PROPAGATER ist die mit dem RANGER berechnete Ersatzschallquelle.

Die Ausbreitung der Zelte der Ersatzschallquelle und die schließlich an den Immissionsorten ermittelte akustische Energie hängen von der vorgegebenen Atmosphäre ab und von den akustischen Eigenschaften des "Bodens", an dem die Zelte ggf. reflektiert werden. Das zugrunde liegende Modell basiert auf dem Konzept des "Wellenfront Ray-Tracing" von Pierce [9] für die Ausbreitung in der Atmosphäre sowie dem „Wempfen-Modell“ [10] für die Bodenreflexion.

Ein Immissionsort ist dabei ein quadratischer Bereich vorgegebener Seitenlänge, der auf dem (waagerechten, ebenen) Boden liegt. PROPAGATER prognostiziert die akustische Energie am Immissionsort als Summe der Energien aller Zelte, die diesen quadratischen Bereich treffen.

Für den Vergleich mit gemessenen Werten nach VDI 3745 Blatt 1 [1] wird der Schalldruckpegel  $L_{AFmax}$  pauschal aus dem unbewerteten Schallleistungspegel  $L_E$  (der sich unmittelbar aus dem Eintrag der akustischen Energie am Immissionsort ergibt) durch einen Aufschlag von 9 dB (gem. DIN EN ISO 17201-3 [7] Gl. (6)) und der Berücksichtigung der A-Bewertung für die Hauptfrequenz der Waffe abgeschätzt.

### Standortschießanlage

Die hier betrachtete Standortschießanlage besteht insgesamt aus 3 parallelen A-Ständen und 4 links davon erkennbaren D-Ständen. Der für die Messung verwendete A-Stand ist der linke Stand (Absicherungsgrad 4). Der Stand rechts neben den drei A-Ständen ist ein nicht mehr genutzter Stand vom Typ C.



Abbildung 1: Luftbild der Standortschießanlage

Die gesamte Standortschießanlage ist (mittels PROPPER®-SKETCHUP) mit allen maßgeblichen Bauteilen in ein digitales Modell zur Berechnung der Ersatzschallquelle mit dem RANGER überführt worden. Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis.

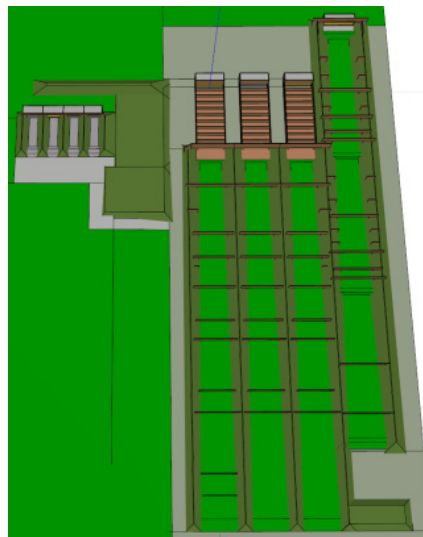


Abbildung 2: Digitales 3D Modell der Standortschießanlage

### Emissions-situationen

Exemplarisch werden hier drei Emissions-situationen betrachtet: Ein Schießen auf dem linken A-Stand mit einer Waffe Wfe-1 auf der 150 m Position in der Anschlagart liegend und ein Schießen von der 20 m Position mit einer weiteren Waffe Wfe-2 in der Anschlagart stehend sowie ein Schießen auf dem 2. D-Stand von links mit einer weiteren Waffe Wfe-3 auf der 25 m Position in der Anschlagart liegend. Dabei wurden für jede Emissions-situation jeweils 4 Stichproben mit je 12 Schuss in ca. 10 s Intervallen gemessen.

### Immissions-situationen

Exemplarisch werden hier 6 Immissionsorte betrachtet. Die folgende Abbildung skizziert die Lage der Immissionsorte (schwarze Punkte mit Immissionsort-Bezeichnung) sowie die Lage der Emissionsorte (rote Punkte). Die Winkel- und Entfernungsangaben im Messpunktnamen beziehen sich auf die Mitte der Zielgeländeblende (Z10) des linken A-Standes.

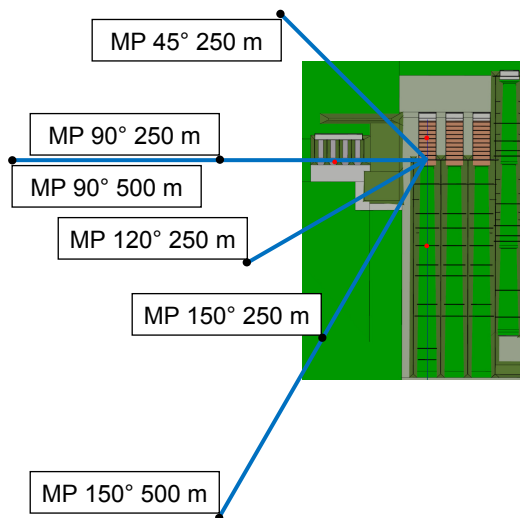


Abbildung 3: Lage der Immissions- und Emissionsorte

### Messungen

Für jeden der in obiger Abbildung skizzierten Immissionsorte wurde versucht, für jede Emissionssituation 4 (wettermäßig) unabhängige (gesteuerte) Messungen unter Mitwind-Bedingung gem. VDI 3745 Blatt 1 [1] durchzuführen (Stichproben). Dies gelang aufgrund der Wetter-Verhältnisse nicht immer. Die folgenden Tabellen dokumentieren die ausgewählten Stichproben (bei verschiedenem Wetter) je Immissionsort. Dabei bedeutet MW: Messung unter Mitwind-Bedingung, QW: Messung bei Querwind.

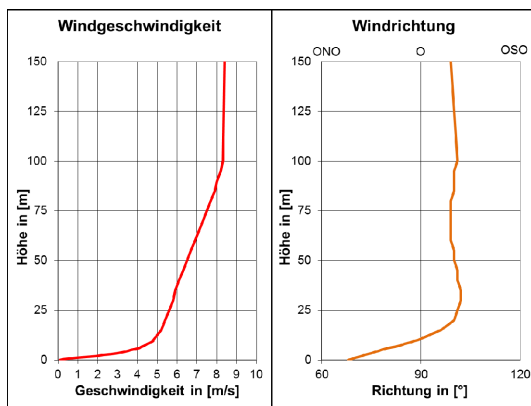
**Tabelle 1:** Ausgewählte Stichproben je Immissionsort und Emissionssituation auf dem A-Stand

Emissions-Situation A-Stand	Messpunkt MP			
	45° 250 m	90° 250 m	90° 500 m	120° 250 m
Wfe-1 150 m	0 MW 1 QW	3 MW 0 QW	3 MW 0 QW	3 MW 0 QW
Wfe-2 20 m	0 MW 4 QW	3 MW 0 QW	3 MW 0 QW	4 MW 0 QW

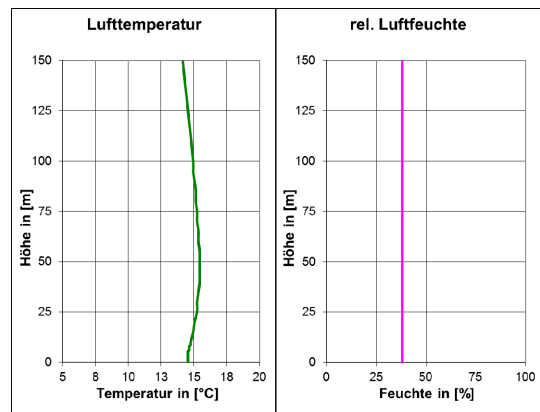
**Tabelle 2:** Ausgewählte Stichproben je Immissionsort und Emissionssituation auf dem D-Stand

Emissions-Situation D-Stand	Messpunkt MP			
	90° 250 m	90° 500 m	150° 250 m	150° 500 m
Wfe-3 25 m	4 MW 0 QW	3 MW 0 QW	0 MW 4 QW	0 MW 2 QW

Für jede Messung wurden zeitgleich die relevanten Wettergrößen mittels SODAR/RAS höhenabhängig erfasst. Die beiden folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft für eine Stichprobe den gemessenen Höhenverlauf der Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie der Lufttemperatur und der rel. Luftfeuchte, wobei für letztere nur ein Messwert in 5 m Höhe vorlag und dieser konstant fortgesetzt wurde.



**Abbildung 4:** Höhenverlauf der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung (beispielhaft für eine Stichprobe)



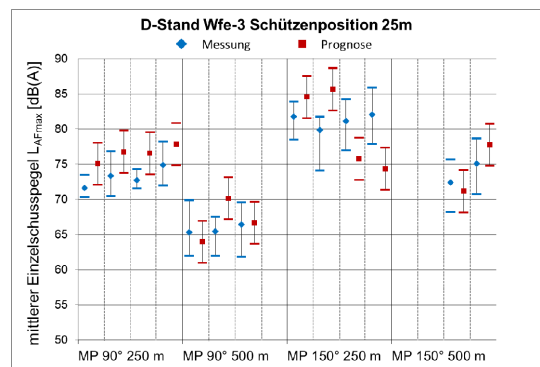
**Abbildung 5:** Höhenverlauf der Lufttemperatur und der rel. Luftfeuchte (beispielhaft für eine Stichprobe)

### Vergleich zwischen Messung und Prognose

Für jede der 3 Emissionssituationen (Wfe-1, Wfe-2, Wfe-3) wurde je eine Ersatzschallquelle berechnet. Für das jeweilige Wetter bei den realisierten Messungen gem. Tabelle 1 und Tabelle 2 wurden die Immissionspegel an den entsprechenden Immissionsorten berechnet.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Gegenüberstellung der Mess- und Prognosewerte für die einzelnen Stichproben in den jeweiligen Immissionsorten für die Waffe Wfe-3. Für die Messwerte wurde dabei jeweils über die 12 abgegebenen Schüsse je ausgewählter Stichprobe gemittelt.

Die Streubreiten ergeben sich dabei für die Messwerte aus den minimal und maximal gemessenen Werten. Für die Prognosewerte ergeben sich die Streubreiten als +/- 3 dB für die Grundunsicherheit des Verfahrens.



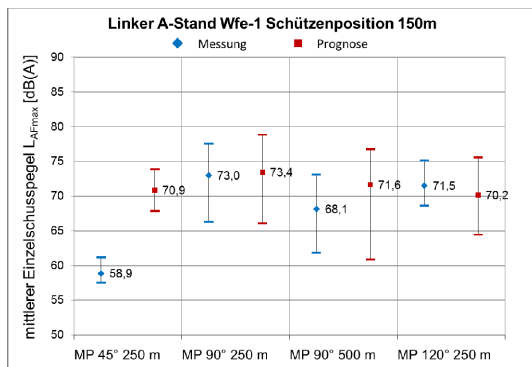
**Abbildung 6:** Vergleich von Mess- und Prognosewerten für die Waffe Wfe-3 für ausgewählte Stichproben an den verschiedenen Immissionsorten

Über die ausgewählten Stichproben wurden dann sowohl die Prognosewerte als auch die Messwerte gemäß den Vorgaben der VDI 3745 Blatt 1 [1] gemittelt. Die folgenden 3 Abbildungen zeigen jeweils die Gegenüberstellung der so gemittelten Stichproben (mittlere Einzelschusspegel) und der Prognosewerte.

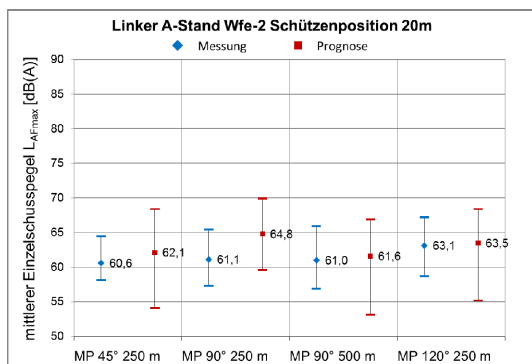
Anmerkung:

Die deutliche Diskrepanz zwischen Mess- und Prognosewert in der Abbildung 7 am Immissionsort MP 45° 250 m ist durch die örtlichen Gegebenheiten bedingt. Das Luftbild der Anlage in Abbildung 1 zeigt auf dem Ausbreitungsweg von

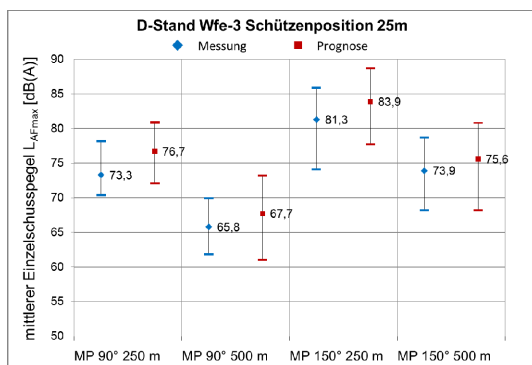
der 150 m Position auf dem A-Stand bis zum Immissionsort MP 45° 250 m praktisch auf der ganzen Strecke einen erheblichen Baumbewuchs sowie alte Anlagenbauwerke (im Gegensatz zur Ausbreitungsstrecke von der 20 m Position der Waffe Wfe-2). Dieser führt zu einer erheblichen Absorption, die im PROPAGATER-Modell nicht berücksichtigt wird. D. h., dass dieser Immissionsort für die Waffe Wfe-1 für eine Bewertung der Übereinstimmung von Mess- und Prognosewerten nur bedingt berücksichtigt werden kann.



**Abbildung 7:** Vergleich von (über die ausgewählten Stichproben gemittelten) Messwerten und Prognosewerten für die Waffe Wfe-1 an den verschiedenen Immissionsorten



**Abbildung 8:** Vergleich von (über die ausgewählten Stichproben gemittelten) Messwerten und Prognosewerten für die Waffe Wfe-2 an den verschiedenen Immissionsorten



**Abbildung 9:** Vergleich von (über die ausgewählten Stichproben gemittelten) Messwerten und Prognosewerten für die Waffe Wfe-3 an den verschiedenen Immissionsorten

## Zusammenfassung

Zur Validierung des gesamten PROPPER®-Verfahrens wurden (gesteuerte) Immissionsmessungen gem. VDI 3745 in der Nachbarschaft einer Standortschießanlage der Bundeswehr durchgeführt und mit dem Prognoseprogramm PROPPER® unter Berücksichtigung der realen Wetterverhältnisse und unter Beachtung der Mittelungsverfahren der VDI 3745 die entsprechenden Immissionspegel berechnet.

Es ist eine gute Übereinstimmung von Messung und Prognose festzustellen.

## Literatur

- [1] VDI 3745 Blatt 1: Beurteilung von Schießgeräuschimmissionen. Ausgabe: 1993
- [2] Hirsch, K.H., Zangers, J: Ray-Tracing in a 3-D Wind Field for Prediction Purposes of Shooting Noise, Part I, DAGA 2004
- [3] Zangers, J., Hirsch, K.H.: Ray-Tracing in a 3-D Wind Field for Prediction Purposes of Shooting Noise, Part II, DAGA 2004
- [4] Zangers, J., Hirsch, K.H.: Ray-Tracing in einem 3-D Wind-Vektor-Feld zur Vorhersage von Schießlärm, DAGA 2005
- [5] Zangers, J., Hirsch, K.H.: Eine 3D-Ersatzschallquelle für komplexe Schießstände, DAGA 2007
- [6] Svensson, U.P., Fred, R.I., Vanderkooy, J.: An analytic secondary source model of edge diffraction impulse response, J. Acoust. Soc. Am 106 (5), November 1999
- [7] DIN EN ISO 17201-3:2010-06: Akustik - Geräusche von Schießplätzen - Teil 3: Anleitung für die Berechnung der Schallausbreitung (ISO 17201-3:2010); Deutsche Fassung EN ISO 17201-3:2010
- [8] DIN ISO 9613-2:1999-10: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien
- [9] Pierce, A. D.: Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications, Acoustical Society of America, Woodbury, New York, 1989, 371 ff.
- [10] Wempen, J.: „Schallausbreitung über Erdboden“, Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, 1991

Diese Untersuchungen wurden vom Bundesministerium der Verteidigung gefördert.