

# Eine 3D-Ersatzschallquelle für komplexe Schießstände

Jürgen Zangers<sup>1</sup>, Karl-Wilhelm Hirsch<sup>1</sup>

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

## Einleitung

Schießanlagen für Handfeuerwaffen sind häufig durch viele, ausbreitungswirksame Aufbauten geprägt. Vielfachreflexionen vom Boden, den Sicherheitsblenden, den Seitenwänden, sowie von einem komplexen Geschossfang können entscheidend für die Lärmbelastung im Außenbereich sein. Darüber hinaus wird häufig mit Waffen geschossen, die eine ausgeprägte Richtcharakteristik aufweisen.

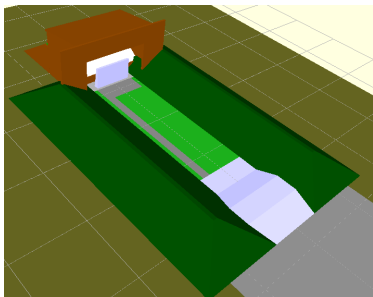
Übliche Schallprognoseprogramme verwenden dennoch eine ungerichtete Punktschallquelle als Ersatzschallquelle für Schießstände.

Um für empfindliche Gebiete in der Nachbarschaft spezifische bauliche Schallschutzmaßnahmen im Schießstand entwickeln zu können, ist es aber entscheidend, den 3D-Schallweg der Reflexionen zu kennen.

## Modellierung eines Schießstandes

Um ein 3D-ray-tracing innerhalb des Schießstandes durchführen zu können, ist es erforderlich, die sich dort befindenden akustisch relevanten Objekte als Körper (3D) zu modellieren. Diese Objekte verfügen zudem über flächenspezifische akustische Eigenschaften – wie z. B. Absorptions- und Streukoeffizienten.

Ein Beispiel für einen so modellierten Schießstand zeigt Abbildung 1.

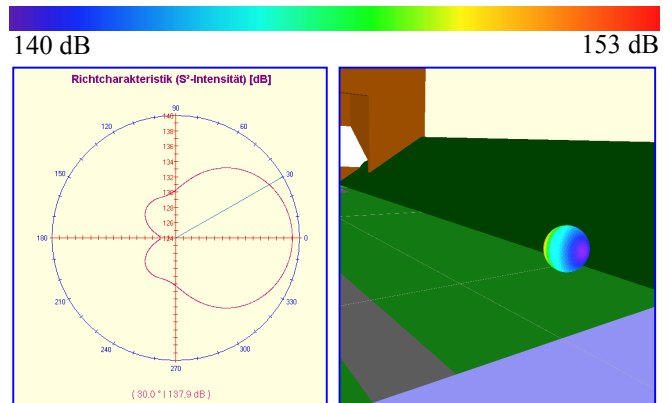


**Abbildung 1:** dreidimensional modellierter einfacher Schießstand mit Seitenwänden, erhöhter Stellungsfläche und Geschossfang

## Kugelschallquelle mit Richtcharakteristik

Die alleinige Kenntnis der 3D-Schallwege reicht bei Waffen mit ausgeprägter Richtcharakteristik nicht aus. Hierbei müssen auch die richtungsspezifischen Energien berücksichtigt werden. Dies geschieht hier mittels einer triangulierten Kugelschallquelle, deren Flächenenergiedichten gemäß der Richtcharakteristik der Waffe berechnet werden.

Die Abbildung 2 zeigt das Ergebnis einer so berechneten Kugelschallquelle mit der Richtcharakteristik einer Waffe.

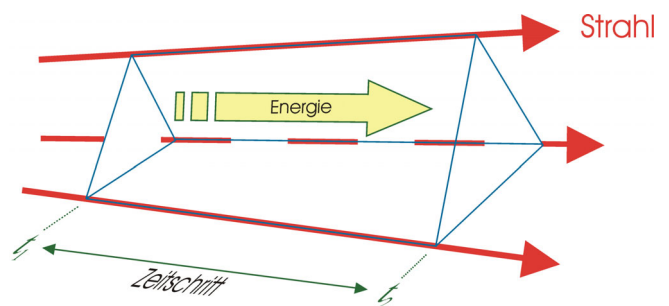


**Abbildung 2:** Richtcharakteristik einer Waffe und daraus berechnete Kugelschallquelle mit Richtcharakteristik

## Strahlausbreitungsrechnung

Bei der Berechnung der Schallausbreitung wird das auf der DAGA 2004/2005 [1] vorgestellte Konzept der 3D-Propagation von „Zelten“ als Träger der akustischen Energie angewandt. Da innerhalb eines Schießstandes die lokalen 3D-Wettergrößen als  $f(x, y, z)$  [1] gewöhnlich nicht bekannt sind, wird eine ruhende, ortsunabhängige Atmosphäre angenommen. Ausgangspunkt ist die triangulierte Kugelschallquelle. Jeder Gitterpunkt wird geradlinig (mit einer geeigneten Schrittweite) propagiert. Je drei benachbarte Strahlen bilden die Kanten eines Zeltes; die Punkte gleicher Propagationszeit bilden die Ecken von zwei Dreiecken. Diese Dreiecke zusammen mit ihren Verbindungslinien bilden die geometrischen Eigenschaften eines Zeltes. Weitere Eigenschaften sind die Nachbarschaftsbeziehungen, beinhalten Energie und viele weitere für die Berechnung notwendige Parameter. Diese Dreieckspaare werden dann propagiert (und mit ihnen die Zelte). Bei dieser Propagation wird in jedem Schritt eine vollständige 3D-Kollisionsdetektion der Zelte mit den Objekten des Schießstandes durchgeführt. Darüber hinaus wird auch die Luftabsorption berücksichtigt und die Energie der Zelte entsprechend verringert.

Abbildung 3 zeigt das Prinzip.



**Abbildung 3:** Zelt als Träger der akustischen Energie

## Dynamische Strahlaufteilung und Reflexion

Kollisionsdetektion, dynamische Strahlaufteilung (im folgenden „Splitting“ genannt) und Reflexionsverfahren sind eng miteinander verknüpft. Kollidiert ein Zelt mit einem Objekt des Schießstandes wird geprüft, ob das Zelt in einem gewissen Sinne  $< \lambda$  (betrachtete Wellenlänge) ist. Ist das Zelt  $< \lambda$  wird es nicht gesplittet. Ist es  $> \lambda$ , dann wird gesplittet, falls die Teile des Zeltes, die mit Objekten des Schießstandes kollidieren  $> \lambda$  sind; ansonsten nicht. Dieses Verfahren verhindert, dass physikalisch unsinnig (und numerisch nicht beherrschbar) kleine Zelte entstehen. Gesplittet wird in der Art und Weise, dass die Mittelpunkte der Seiten der zeltbegrenzenden Dreiecke zusammen mit den Eckpunkten dieser Dreiecke die Eckpunkte von 4 neuen Dreieckspaaren (und somit 4 neuen Zelten) bilden (vgl. Abbildung 4).

Die geometrische Lage des Mittelpunktstrahls (Strahl, der durch die Schwerpunkte der Dreieckspaare verläuft – gelber Strahl in Abbildung 4) bestimmt, ob ein Zelt reflektiert wird oder nicht. Trifft der Mittelpunktstrahl ein Schießstand-Objekt, wird das Zelt (komplett) reflektiert. Geht der Mittelpunktstrahl vorbei, wird auch das Zelt weiter propagiert. Bei der Reflexion werden flächenspezifische Absorptions- und Streukoeffizienten berücksichtigt und die Energie der Zelte entsprechend verringert. Durch das oben beschriebene Splittingverfahren ist gewährleistet, dass Zelte, die reflektiert werden, aber das Objekt (an dem sie reflektiert werden) nicht vollständig treffen nicht wesentlich größer als  $\lambda$  sind.

Die Abbildung 4 zeigt die oben beschriebenen Prozesse. Das (große) Zelt würde im nächsten Propagationsschritt mit einer Begrenzungsblende des Geschosfangs kollidieren. Das Zelt ist (deutlich)  $> \lambda$  und wird zweimal gemäß obigem Verfahren gesplittet. Der Mittelpunktstrahl (gelb) trifft kein Objekt und somit wird das gesplittete (kleine) Zelt weiter propagiert (in den Geschosfang hinein).

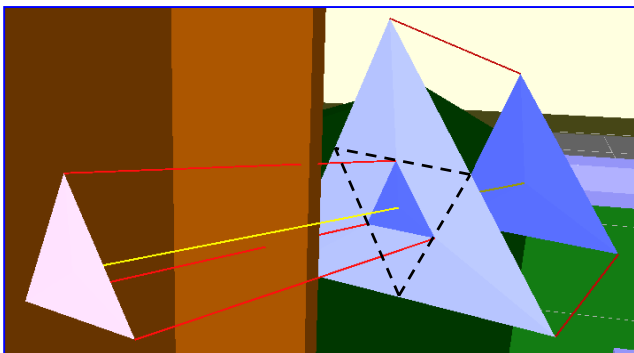


Abbildung 4: Kollision eines Zeltes mit einer Begrenzungsblende des Geschosfangs

## 3D-Ersatzschallquelle

Um den Schießstand wird ein Quader gelegt, der den Schießstand vollständig enthält. Im Laufe der oben beschriebenen Propagation, werden die Zelte irgendwann diesen Quader verlassen. Zu dem Zeitpunkt, zu dem ihr Mittelpunktstrahl den Quader verlässt, werden sie nicht weiter propagiert, sondern mit ihrer Eigenzeit (die Zeit, zu der sie den Quader verlassen), ihrer Energiedichte und ihrer Ausbreitungsrichtung „eingefroren“. Die Gesamtheit aller dieser Zelte bildet die 3D-Ersatzschallquelle des Schießstandes.

Abbildung 5 zeigt die berechnete Ersatzschallquelle für einen einfachen Schießstand. Man sieht den Zustand der Zelte beim Verlassen des Begrenzungsquaders (transparente graue Box) mit ihren Begrenzungs-dreiecken (hellblau sind die - in Ausbreitungsrichtung - vorderen Dreiecke, dunkelblau die hinteren) und Begrenzungsstrahlen (rot).

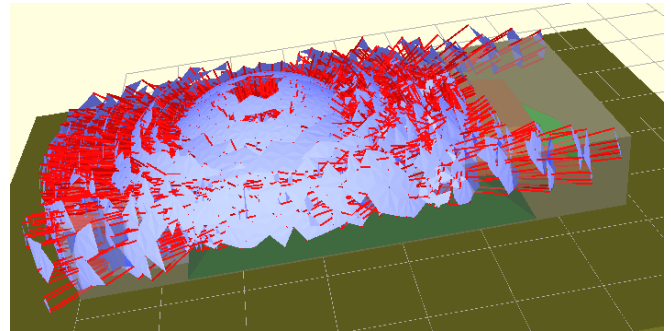


Abbildung 5: Die Ersatzschallquelle eines einfachen Schießstandes zusammen mit dem umgebenden Quader

## Ankoppelung an die Freifeldausbreitung

Wie bereits weiter oben erwähnt, wurde auf der DAGA 2004/2005 [1] das Freifeld-Ausbreitungsprogramm „Propagater“ vorgestellt. Ausgehend von der oben beschriebenen Ersatzschallquelle kann die weitere Schallausbreitung in einer Atmosphäre mit ortsabhängigen Wetterparametern mittels dieses Programms berechnet werden.

Die Abbildung 6 zeigt eine berechnete Pegelkarte.

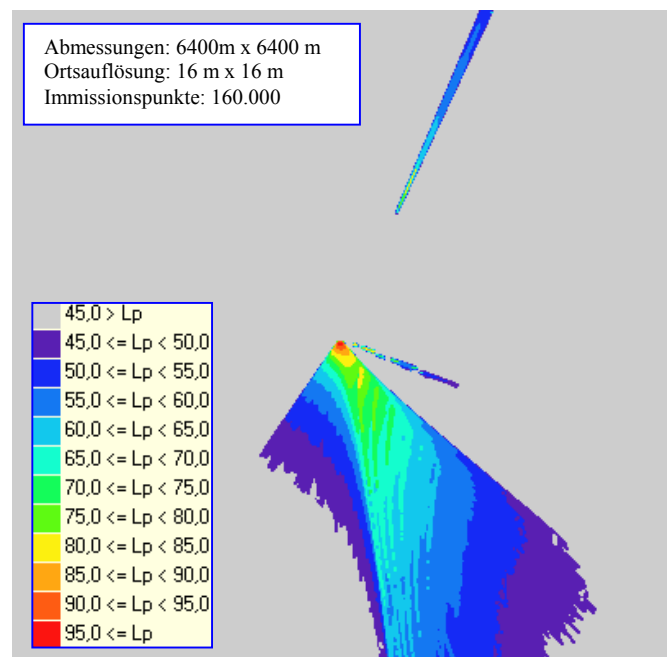


Abbildung 6: Pegelkarte für die Ersatzschallquelle eines einfachen Schießstandes. Schützenposition: 20 m; stehend; mittlere Schießbahn; Westwind; Windkl. 2; Stabilitätskl. 2

## Literatur

[1] Zangers, J., Hirsch, K.H., Ray-Tracing in a 3-D Wind Field for Prediction Purposes of Shooting Noise, Part II, DAGA 2004

Diese Untersuchungen wurden vom Bundesministerium der Verteidigung gefördert.