



In der TA Lärm wird die VDI 3745 Blatt 1 herangezogen, um die Beurteilungspegel für Schießlärm zu ermitteln. Die veraltete Norm birgt einige Herausforderungen bei der Anwendung auf moderne Schießstände  
Foto: PantherMedia / Mishella

## VDI 3745 Blatt 1: Ein Regelwerk auf dem Stand der Technik der 1980er Jahre

*Karl-Wilhelm Hirsch, Janine Pfeffer, Peter Friedsam, Joachim Vogel*

**ZUSAMMENFASSUNG** In der TA Lärm wird die VDI 3745 Blatt 1 herangezogen, um die Beurteilungspegel für Schießlärm zu ermitteln. Die dort niedergelegten Vorschriften berücksichtigen den Stand der Technik am Ende der 1980er Jahre. Das gilt sowohl für die akustischen Messtechniken als auch für den Erkenntnisstand bei der Beschreibung und dem Verständnis von Schießgeräuschen und der Schallausbreitung durch die bewegte Atmosphäre. Der große Aufwand, der durch die strenge Anwendung der Richtlinie entsteht, lässt sich unter Berücksichtigung der heute einsetzbaren Messtechniken und Messverfahren und unter Berücksichtigung des heutigen Wissens über Schießgeräusche massiv reduzieren. Dieser Beitrag diskutiert die Herausforderung der Anwendung der VDI 3745 Blatt 1 auf moderne Schießstände. Die problematischen Aspekte werden systematisch vorgestellt und mit einem Lösungsvorschlag versehen. Dort, wo in der gültigen VDI 3745 Blatt 1 Vorschriften fehlen – beispielsweise bei der Auswertung automatisierter Messungen, schlägt der Beitrag eine qualitätssicherbare Vorgehensweise vor. Insgesamt kommt der Beitrag zu dem Schluss, dass eine grundlegende Überarbeitung der VDI 3745 Blatt 1 erforderlich ist, um die Richtlinie auf den heutigen Stand der Technik zu bringen.

### VDI 3745 Blatt 1: A guideline based on the state of the art of the 1980s

**ABSTRACT** In Germany, the impact of noise is predicted and assessed applying the framework of the so-called TA Lärm. According to this regulation, the measurement procedures of the guideline VDI 3745 Blatt 1 must be used to evaluate the relevant assessment levels of shooting noise. In few words, the guideline prescribes to measure three sets of measurement series under independent weather conditions for each weapon-ammunition combination in all relevant receiver sites. Each set must match the well-defined downwind condition and certain statistical rules on the number of shots needed. If the receiver sites are close to an installation without sound abatement measures the receiver levels are high enough to archive results that fully match the prescription in the guideline. However, if the relevant receiver sites are farer away or the shooting ranges providing modern and effective sound abatement measures some or all shots in a series can be not audible or cannot be analyzed because their receiver levels are close to the background noise. Such situations, which occur more frequently around for example modern military shooting ranges or sets that violate one or more rules in the guideline. This paper discusses the challenge of applying VDI 3745 Blatt 1 to modern shooting ranges. It proposes reasonable procedure to evaluate reliable results for assessment levels in the sense of the guideline. Rules are given on how to deal with incomplete measurement sets and on how to use sets that do not fully match the downwind condition.

## 1 Einleitung

### 1.1 Einführung

Nach dem BImSchG [1] bzw. der TA Lärm [2] ist die Richtlinie VDI 3745 [3] das zentrale Regelwerk in der Verwaltungsakustik für die Ermittlung von Beurteilungspegeln bei Schießlärm. Das Blatt 1 der VDI 3745 ist für alle genehmigungsbedürftigen Schießplätze, siehe [4], auf denen mit Handwaffen mit Kaliber kleiner 20 mm geschossen wird, bindend. Ihre Regeln gelten sowohl für zivile Anlagen, für sportliches, jagdliches und polizeiliches Schießen, als auch für militärische Anlagen. Die VDI 3745 Blatt 1 ist also bei der Beurteilung von Schießlärm von Standortschießanlagen, Standortübungsplätzen und Truppenübungsplätzen anzuwenden, solange es um das Schießen mit Rohrwaffen mit einem Kaliber  $< 20$  mm und nach allgemeinem Verständnis – auch um Sprengungen mit weniger als 50 g TNT-Äquivalenz geht.<sup>1, 2)</sup>

Die Bundeswehr hat deshalb in enger Zusammenarbeit mit der LAI (Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionschutz) einen Leitfaden (Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen – LeitGeStand [6]) entwickelt, der alle heutigen Erkenntnisse zum Schießlärm nutzt, um hinreichend zuverlässige Prognosen über die Zusatzbelastung durch den Betrieb der Schießanlagen abzuleiten. Der LeitGeStand ist heute die anerkannte Grundlage der Schallimmissionsbeurteilung in der Planungsphase und führt zu einer vorläufigen Genehmigung des Betriebs einer neugebauten oder umgebauten Standortschießanlage.<sup>3)</sup>

Der vorliegende Beitrag diskutiert zunächst die grundsätzlichen Herausforderungen, die sich bei der Anwendung der Richtlinie beim Einsatz fortschrittlicher Messtechnik bei Messungen in der Nachbarschaft moderner Schießanlagen ergeben. Danach werden Methoden und Vorgehensweisen vorgestellt, die im Licht der massiven Erkenntnisfortschritte auf dem Gebiet der Beschreibung von Waffenknallen als akustische Quellen und beim Verständnis der Schallausbreitung begründet werden.

## 2 Die 30 Jahre alte VDI 3745 Blatt 1

### 2.1 Stand der Technik Ende der 1980er Jahre

Die VDI 3745 Blatt 1 stammt aus dem Mai 1993. Daher beschreibt das Blatt auch den Stand der Technik zum Ende der 1980er Jahre. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisfortschritte bei der Beschreibung von Waffenknallen, ihrer Entstehung und Ausbreitung unter gegebenen Wetterbedingungen und im Hinblick auf heutige, moderne automatisierte Messtechnik und Auswertung würde man die Richtlinie in weiten Teilen wohl nicht mehr so formulieren. Im Folgenden werden Aspekte aufgezählt, die zu Problemen bei der Anwendung führen.

### 2.2 Hinreichende Anzahl der Schüsse einer Messserie

#### 2.2.1 Problemstellung

Die Richtlinie spiegelt in ihren Festlegungen zur notwendigen und hinreichenden Anzahl der Schüsse den messtechnischen Aufwand von Messserien im Freien Ende der 1980er Jahre wider. Es kamen Handschallpegelmesser mit händischer Niederschrift der Pegel zum Einsatz. Die Auswertung erfolgte messbegleitend. Anhand der Spannweite der Pegel wurde direkt entschieden, ob weitere Schüsse notwendig sind, um die Kriterien der VDI 3745 Blatt 1 zu erfüllen. Dieser Vorgang

wiederholte sich für jede Emissionssituation – Kombination aus Waffe, Munition, Schießort und Anschlagshöhe – in allen Immissionsorten nacheinander.

Heute misst man in der Regel automatisch an allen Immissionsorten gleichzeitig und wertet erst im Nachgang aus. Die Schussanzahl wird von vorneherein so hoch angesetzt, dass die Pegelserie im Sinne der VDI 3745 Blatt 1 regelkonform ausgewertet werden können. Man könnte nach Regelwerk nur die Pegel in die Auswertung aufnehmen, bis – wie bei einer händischen Messung – das Spannweitenkriterium erfüllt ist. In der Regel wird allerdings die gesamte Messserie berücksichtigt.

#### 2.2.2 Lösungsvorschlag

Die Anzahl der Schüsse wird grundsätzlich auf 20 festgelegt. Dieser Stichprobenumfang ist nach der gültigen Richtlinie, vgl. **Tabelle 1**, hinreichend, wenn die Spannweite der Pegel 12 dB nicht überschreitet. Modelluntersuchungen [7] zeigen, dass für einen typischen Abstand von 500 m eine größere Spannweite als 10 dB in der Regel nicht zu erwarten ist. Sollte die Spannweite von 12 dB überschritten werden, geschieht das mit großer Wahrscheinlichkeit am unteren Rand der Pegelverteilung. Wie in Kapitel 4.5 gezeigt wird, kommt es vor, dass einzelne Schüsse einer Serie ‚nicht hörbar‘ oder ‚nicht auswertbar‘ sind, weil sie sich kaum aus dem Hintergrundpegel abheben. In diesen Fällen ist das Kriterium Spannweite nicht zu ermitteln, weil der niedrigste Pegelwert einer Serie nicht bestimmt werden kann. Das Kriterium Spannweite ist also nicht, oder nicht allein, ein Maß für eine gültige Messserie.

### 2.3 Immissionsort – Messort

#### 2.3.1 Problemstellung

Die Anwendung der VDI 3745 Blatt 1 im Kontext der TALärm erfordert die Messung der Immissionspegel einer Emissionssituation in dem zu der Situation gehörenden „maßgeblichen Immissionsort“. In [8] wird gezeigt, dass bei der Festlegung des maßgeblichen Immissionsortes nach TA Lärm der Einwirkungsbereich jeder Emissionssituation bekannt sein muss. Ohne das Messergebnis und ohne Prognoseverfahren lässt sich dieser aber nicht regelungskonform nach TA Lärm bestimmen.

Bei einer Messung nach VDI 3745 Blatt 1 werden deshalb in der Praxis mehrere Immissionsorte für eine Schießanlage nach Augenschein und Expertise festgelegt und es wird erwartet, dass für jede Emissionssituation der Immissionsort dabei ist, der tatsächlich für die Emissionssituation maßgeblich ist. Dabei ist erhebliche Erfahrung und Vorwissen notwendig, weil durch die starke Richtcharakteristik des Knalls, in Verbindung mit Reflexionen an den Aufbauten auf einem Schießstand, nicht die nächsten Orte zur Quelle die höchsten Pegel aufweisen.

1) Beim Schießen mit Rohrwaffen und bei großen Sprengstoffmengen gilt die Lärmmanagementrichtlinie der Bundeswehr. Dazu mehr im Aufsatz „Schießlärm“ [5].

2) Durch die Anwendung der VDI 3745 Blatt werden Beurteilungspegel aus Messungen bestimmt. Eine Messung der Immissionspegel ist nur bei existierenden Anlagen möglich. Bei der Planung von neuen Anlagen, bei der Planung von Erweiterungen oder von Schallschutzmaßnahmen auf den Anlagen kann sie nicht angewendet werden.

### 2.3.2 Lösungsvorschlag

Die Nutzung eines Vorwissens und der Erfahrung einer Messstelle ist keine qualitätssicherbare Vorgehensweise. Die Auswahl der Messorte sollte deshalb regelbasiert sein. In [8] wird zumindest der Versuch gemacht, Regeln zur Auswahl der Immissionsorte und damit der Messorte aufzustellen. Dieser Weg ist rechtsicher und grundsätzlich abwägsfrei, auch wenn er Unsicherheiten nicht vermeiden kann.

Als Konsequenz der Problemstellung, aber auch bei einer regelbasierten Auswahl der Immissionsorte, muss eine größere Anzahl von Messorten bei einer Messung nach VDI 3745 Blatt 1 berücksichtigt werden. Im Nachgang, also nach Bestimmung der Beurteilungspegel für eine Emissionssituation, geht nur das Ergebnis des Messortes ein, in dem die höchsten Pegel bestimmt werden. Es zeigt sich regelmäßig, dass an Orten gemessen wurde, die für keine Emissionssituation maßgeblich sind. Dies ist unvermeidbar.

Ohne eine gleichzeitige Messung der Schussserien in allen Immissionsorten mit automatisierter Auswertung kann dieser Vorgabe nicht Rechnung getragen werden. Es sind deshalb Regeln für die automatisierte Auswertung erforderlich, die die VDI 3745 Blatt 1 nicht vorhält. Diese Regeln sollten vorschreiben, wie aus einer Messserie aus 20 Schuss bzw. aus Wiederholungsmessungen der maßgebliche Einzelschusspegel  $L_{mk}$  einer Emissionssituation  $k$  zu bestimmen ist.

Diesen Regeln wird hier eigens Kapitel 5 gewidmet. Die Beschreibung der Vorgehensweise wird dort vorgestellt, begründet und von Beispielen aus der Praxis begleitet. Entscheidender Aspekt dieser Regeln ist, dass sie numerisch qualitätssicherbar umsetzbar sind, also keine weiteren Abwägungen oder Entscheidungen bedürfen, um das Ergebnis zu liefern. Die Regeln müssen mit unvollständigen Messserien, mit Messserien, die auch Schüsse enthalten, die die Mitwindbedingung der VDI 3745 Blatt 1 nicht streng erfüllen, und auch mit Messserien umgehen können, die ausschließlich ‚unhörbare‘ oder ‚nicht auswertbare‘ Pegel enthalten.

## 2.4 Emissionssituationen – Auswahl der Waffen und Munition

### 2.4.1 Problemstellung

Nach VDI 3745 Blatt 1 muss jede Emissionssituation, die im bestimmungsgemäßen Betrieb des Schießplatzes vorkommt, vermessen werden. Bei einer zivilen Anlage ergibt sich wegen der Vielzahl unterschiedlicher Waffen, bei militärischen Anlagen und wegen der Vielzahl der Schießorte jeweils eine lange Liste von Messaufgaben. Ende der 1980er Jahre war dieses Vorgehen unvermeidlich, da entscheidende Kenntnisse über den Einfluss der Treibladung auf die Quellstärke und beispielsweise Kaliber, Geschwindigkeit und Lauflänge auf die Richtcharakteristik fehlten.

### 2.4.2 Lösungsvorschlag

Auf Schießplätzen kommen Waffen in unterschiedlichen Bauformen, Kaliber und Munition zum Einsatz. Der Einsatz ist im Allgemeinen schießstandspezifisch. Die große Vielfalt von Waffen und damit die große Vielfalt von Schießgeräuschquellen wird durch eine Klassierung so gegliedert, dass der Aufwand bei der Messung sachgerecht minimiert wird. Dazu stehen validierte Quellmodelle für Waffenkalle zur Verfügung, die angewendet werden können, um die Liste der zu messenden Waffen-/Munitionskombinationen massiv zu reduzieren.

Den größten Einfluss auf die Quellstärke des Mündungsknalls einer Handfeuerwaffe (ohne Schalldämpfer) hat die Treibladungsmasse der verwendeten Munition. Die Treibladungsmasse ist in erster Näherung ein Maß für die zum Einsatz kommende Energie. Der Anteil, der davon in Schallenergie umgesetzt wird (pyroakustischer Wirkungsgrad) ist nahezu konstant. Die akustische Energie des Mündungsknalls ist deshalb in erster Näherung proportional zur Treibladungsenergie, vgl. DIN EN ISO 17201-2 [9].

Dieser Zusammenhang ist die Grundlage für die Klassierung der Waffen: Waffen/Munition werden anhand der beim Schuss

**Tabelle 1** Klassierung der Waffen nach dem Quellpegel des Mündungsknall

Klasse Kürzel	Treibladungsmasse g	Energiepegel dB	Zuschlag dB	Typischer Vertreter Kaliber/Treibladungsmasse
W1	bis 0,5	132	-10	Kleinkaliber nach 10.18 4.BImSchV
W2	0,5 – 1,0	135	-7	Hornet 0,55 g
W3	1,0 – 2,0	138	-4	.223 Remington, Flinte12/70
W4	2,1 – 5,0	142	0	.243 Winchester, Flinte 12/76
W5	5,1 – 10,0	145	+3	.300 Winchester Magnum
W6	über 10	149	+7	.50 BMG
G		142	0	G 36, G 27
MG		143	+1	MG 3
P		138	-4	P 8
MP		138	-4	MP 2

**Tabelle 2** Klassierung der Richtcharakteristik

Kürzel	Schusswaffe	Exzentrizität
Ex1	Gewehre	11 dB
Ex2	Pistolen	18 dB
Ex3	Maschinenpistolen	16 dB
Ex4	Flinten	14 dB

**Tabelle 3** Koeffizienten der Richtcharakteristik nach DIN EN ISO 17201-2 für die Exzentrizitäten

1	2	3	4	5	6
1	$\epsilon_{dir}$	dB	11	14	16
2	$a_0$	dB	-1,60	-2,50	-3,00
3	$a_1$	dB	5,50	7,00	8,00
4	$c_1$	1	1,066	1,254	1,340
5	$c_2$	1	0,317	0,455	0,545
6	$c_3$	1	0,065	0,116	0,157
7	$c_4$	1	0,010	0,023	0,035
8	$c_5$	1	0,001	0,004	0,006
9	$c_6$	1	0,000	0,000	0,001

eingesetzten Treibladungsmasse klassiert. Dieser Klassierungsmaßstab erlaubt die Einordnung jeder Waffe mit der eingesetzten Munition. (Tabelle 1)

Die Zeilen 3 bis 8 in Tabelle 1 klassieren nicht militärische Waffen. Die Zeilen 9 bis 12 sind dem LeitGeStand entnommen. Die Klasse W4 ist sozusagen die Referenzklasse für Gewehre. Zu ihr werden in Spalte 4 Zuschläge festgelegt.

Mündungsknalle sind stark gerichtet. Die akustische Energie wird in wesentlichen Anteilen in Schussrichtung abgestrahlt. Entgegen der Schussrichtung ist dieser Anteil signifikant kleiner. Nach LeitGeStand wird zur pauschalen Beschreibung der Richtcharakteristik die so genannte Exzentrizität angegeben, die Differenz zwischen den Pegeln in Schussrichtung und entgegen der Schussrichtung.<sup>4, 5)</sup> (Tabelle 2)

Der Vorteil bei der Messung nach Maßgabe dieser Klassierung ist eine massive Reduzierung der Emissionssituationen, bei der Fülle der möglichen Waffen. Man benötigt ein Gewehr, eine Pistole und eine Flinte als Waffen/Munition als maßgebliche Vertreter ihrer Gruppe. Alle anderen Waffen kann man nach Maßgabe von Tabelle 1 mit einer Unsicherheit von 3 dB bzw. 4 dB je nach Klassenbreite abschätzen. Sinnvollerweise nutzt man einen Vertreter der höheren Klassen, um bei der Messung möglichst hohe Pegel erwarten zu können.

## 2.5 Emissionssituationen – Quellorte

Bei zivilen Schießanlagen ist die Anzahl der möglichen Emissionsorte überschaubar. Dort gibt es in der Regel auf Kurz- und Langständen feste Schützenstände. Beim Trap- und Skeetschießen wird aus eng nebeneinander liegenden Schützenstellungen allerdings in einem großen Winkelbereich geschossen, mit der Folge, dass für jeden Quellort Emissionssituationen gemessen werden müssen, die sich in der Schießrichtung unterscheiden.

Bei militärischen Schießplätzen, beispielsweise Standortschießanlage, sieht das anders aus. Dort hat schon der kurze Schießstand (Typ D) mindestens 4 Schützenpositionen (2 Schießbahnen in 2 Schießzonen in der Sprache des LeitGeStand). Beim Langstand (Typ A) sind es schon es schon 7 Zonen mal 6 Bahnen. Eine Standortschießanlage hat beispielsweise 2 A-Stände und 4 D-Stände, was eine eher kleine Anlage ist. Das macht dann immerhin 100 Emissionsorte. Zur Erleichterung kann man feststellen: Nicht in allen Emissionsorten werden alle Waffen geschossen.

Die VDI 3745 Blatt 1 erwähnt ausdrücklich in Kapitel 4.1 die Anschlagsart als Einflussgröße bei einer Emissionssituation. Dieser Hinweis ist wichtig, denn er widerspricht der Vermutung, dass es wohl kaum einen Unterschied macht, ob der Schütze liegt, kniet oder steht. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass alle Schießstände in der Regel wegen der Schießsicherheit so ausgelegt sind, dass eine direkte Sichtverbindung zwischen Emissionsort und Immissionsort ausgeschlossen ist. Die Immissionen stammen deshalb fast ausschließlich von geschirmten Ausbreitungspfaden. Ob ein Schütze steht oder liegt, also der Waffenknall in 1,6 m oder in 0,2 m abgegeben wird, ist signifikant bei der Beugung über Seitenwände/-wänden. Falls jede Anschlagsart möglich ist, das ist zumindest bei militärischen Schießständen der Fall, verdreifacht sich die Anzahl der Emissionsorte.

Es ergibt sich also eine lange Liste von Emissionssituationen, wenn man streng nach VDI 3745 Blatt 1 vorgeht. Eine Herausforderung, der man in der Praxis nicht gerecht werden kann.

### 2.5.1 Lösungsvorschlag

Im LeitGeStand wird diese Liste der Emissionsorte durch eine Klassierung der Emissionsorte in Zonen massiv eingekürzt. Nach Maßgabe der Entfernung zwischen dem Schützen und dem Ziel (Zielentfernung) werden (Abstands)Zonen gebildet. Der Einfluss der Schießbahn auf dem Schießstand erfolgt durch eine waffenunspecifische Korrektur, die für den jeweiligen Schießstandtyp einmal festgestellt wurde. Auch der Anschlag wird klassiert. Es bleiben immer noch 21 Emissionsorte auf einem A-Stand und 6 auf einem D-Stand.

Auch auf zivilen Schießständen ist das die sachgerechte Vorgehensweise. Auch hier sollte der Einfluss der Schießbahn auf einem Schießstand durch eine waffenunspecifische Korrektur berücksichtigt werden und als maßgeblicher Emissionsort grundsätzlich die Mitte des Schützenstands festgelegt werden.

3) Der zuständige Arbeitskreis des NALS entwickelt zurzeit das Blatt 2 der VDI 3745. Dieses Blatt, das sich mit der Vorhersage von Schießgeräuschen beschäftigt, wurde bereits im Blatt 1 angekündigt. Inzwischen sind die Erkenntnisse so weit fortgeschritten, dass der Arbeitskreis ein Vorhersageschema auf der Grundlage des LeitGeStand entwickelt.

4) Die Richtcharakteristik wird in der DIN EN ISO 17201-2 durch die Koeffizienten  $c_i$  einer Cosinus-Entwicklung angegeben. Der Zusammenhang zwischen diesen Koeffizienten und der Exzentrizität ist in folgender Tabelle für die eingeführten Werte der Exzentrizität angegeben. (Tabelle 3)

5) Die spektrale Energieverteilung eines Mündungsknalls hängt von der Quellenergie selbst ab. Das Weber-Modell (s. DIN EN ISO 17201-2 [9]) erlaubt die Bestimmung des Fourier-Spektrums anhand der Vorgabe des Weber-Radius, der wiederum direkt mit der Quellenergie des Mündungsknalls verbunden ist. Bei einer fortschrittlichen automatischen Analyse kann dieses Vorwissen dazu genutzt werden, durch Korrelationstechniken, Mündungsknalle von Fremdgeräuschen zu unterscheiden. Bei der Prognose von Schießgeräuschen kann dieses Vorwissen eingesetzt werden, um das sachgerechte Oktavspektrum bei einer Prognoserechnung zu berücksichtigen.

**Tabelle 4 (Teil 1)** Tabelle der Messwerte für drei Messserien bei einem Gewehrschuss auf einer Standortschießanlage mit baulichem Schallschutz, Abstand Emissionsort zum Messpunkt ca. 750 m, nm = nicht messbar bzw. auswertbar; nh = nicht hörbar

Schuss	Immission Uhrzeit	LAFmax dB	LASEL dB	LCSEL dB	LCpeak dB	Mitwind	v m/s	r ∞
<b>Erste Messserie</b>								
1	04:27:28	49,6	44,8	56,7	70,5	nein	1	203
2	04:27:47	52,9	47,7	56,3	71,6	ja	1	201
3	04:28:08	53,9	49,4	56,2	71,7	ja	1,1	198
4	04:28:28	52,5	46,7	55,4	73,3	ja	1,1	197
5	04:28:48	51	46,5	55,7	73,2	ja	1,2	197
6	04:29:08	48,3	44,4	55,5	69,5	ja	1,2	195
7	04:29:28	nh	nh	nh	nh	ja	1,3	193
8	04:29:48	50,3	47,4	56,5	70,4	ja	1,3	193
9	04:30:08	nm	nm	nm	nm	ja	1,4	190
10	04:30:27	nm	nm	nm	nm	ja	1,4	190
11	04:30:47	51,2	48,4	56,9	72,1	ja	1,4	190
12	04:31:08	49,1	44,7	55,9	69,6	ja	1,4	190
13	04:31:27	nm	nm	nm	nm	ja	1,4	190
14	04:31:47	nm	nm	nm	nm	ja	1,3	192
15	04:32:08	50	45,9	56,4	72,9	ja	1,2	193
16	04:32:31	nm	nm	nm	nm	ja	1,2	192
17	04:32:53	50,1	45,3	53,8	70,6	ja	1,2	194
18	04:33:12	46,5	43,6	54,5	65	ja	1,1	196
19	04:33:33	50,9	45,7	54,8	70,3	ja	1,1	197
20	04:34:01	nm	nm	nm	nm	nein		204

Bei Wurftaubenschießständen ist die mittlere Station der maßgebliche Emissionsort. Der Winkelbereich kann durch 4 Schießrichtungen erfasst werden. Dann ergibt sich für Kurz- und Langstände jeweils ein Emissionsort, für jeden Wurftaubenstand ein Emissionsort mit vier Schießrichtungen.

## 2.6 Emissionssituationen – Maßgebliche Auswahl

Im zivilen Bereich muss man neben einem Gewehr auch eine Pistole und eine Flinte vermessen, weil die Richtcharakteristiken eine Rolle spielen. Wenn alle drei Waffenarten auf einem Schießstand geschossen werden, bleiben dennoch nur 3 Emissionssituationen je Schießstand übrig. Das gilt für die Kugelstände. Bei einem Wurftaubenschießstand sind es noch vier Emissionssituationen wegen der Abdeckung der Raumwinkelbereichs der Schießrichtungen.

Diese Auswahl ist nach VDI 3745 Blatt 1 durchaus zulässig. In Kapitel 4.1 letzter Satz heißt es: „In begründeten Fällen kann jedoch eine Auswahl erfolgen.“ Das ist im obigen Kapitel geschehen und wohl begründet.

Bei militärischen Anlagen lässt sich die Zahl der Emissionssituationen nicht so weit reduzieren. Ein Blick in die Schießvorschriften der Bundeswehr zeigt aber, dass die Zonen auf den

Schießständen nicht mit allen Waffen genutzt werden. Hier bleiben durchaus ca. 20 Emissionssituationen übrig. Der Aufwand ist dementsprechend erheblich höher.

## 2.7 Bauliche Schallschutzmaßnahmen auf modernen Schießständen

### 2.7.1 Problemstellung

Eine einfache Abschätzung der in der Nachbarschaft eines Schießplatzes, welcher einen bedarfsorientierten Betrieb zulässt, zu erwartenden Maximalpegel  $L_{AFmax}$  wird zeigen, warum das so ist. Beim Schießlärm gilt eine einfache Regel:

$$\begin{aligned} \text{Maximal erlaubte Schussanzahl} \\ &\approx 10^{(\text{Richtwert} - L_{AFmax} - 9 \text{ dB} + 16 \text{ dB} - 47 \text{ dB}) / 10} \\ &= 10^{(\text{Richtwert} - 40 \text{ dB} - L_{AFmax}) / 10} \end{aligned}$$

In der obigen Formel stammen die  $-9 \text{ dB}$  aus der Umrechnung des  $L_{AFmax}$  in den  $L_{Aeq}$ , die  $+16 \text{ dB}$  sind der Impulszuschlag nach VDI 3745 Blatt 1 und die  $-47 \text{ dB}$  aus dem Bezug des Einzelereignisses auf die Dauer der Beurteilungszeit.

Zu einem  $L_{AFmax}$  von  $70 \text{ dB}$  gehört bei einem Richtwert von  $60 \text{ dB}$  (Dorf-Kern-Mischgebiet) eine Anzahl von 1 000. Bei ei-

**Tabelle 4 (Teil 2)** Tabelle der Messwerte für drei Messserien bei einem Gewehrschuss auf einer Standortschießanlage mit baulichem Schallschutz<sup>z</sup>, Abstand Emissionsort zum Messpunkt ca. 750 m, nm = nicht messbar bzw. auswertbar; nh = nicht hörbar

Schuss	Immission Uhrzeit	LAFmax dB	LASEL dB	LCSEL dB	LCpeak dB	Mitwind	v m/s	r °
<b>Zweite Messserie (am Tag danach)</b>								
1	01:21:13	nh	nh	nh	nh	ja	2,2	201
2	01:21:33	nm	nm	nm	nm	ja	2,2	197
3	01:21:52	56,6	51,1	66,5	80,5	ja	2,2	195
4	01:22:13	54,1	48,4	64,8	78,9	ja	2,3	192
5	01:22:33	nm	nm	nm	nm	ja	2,4	190
6	01:22:52	nm	nm	nm	nm	ja	2,4	189
7	01:23:12	49,5	46,4	57,7	70,4	ja	2,5	184
8	01:23:32	nm	nm	nm	nm	ja	2,6	183
9	01:23:52	nm	nm	nm	nm	ja	2,7	181
10	01:24:12	53,6	49,7	61,3	74,5	ja	2,6	180
11	01:25:33	43,8	41,6	61,2	73,4	ja	2,8	176
12	01:25:52	nm	nm	nm	nm	ja	2,9	174
13	01:26:13	nm	nm	nm	nm	ja	3	174
14	01:26:34	nm	nm	nm	nm	ja	2,9	177
15	01:26:52	nm	nm	nm	nm	ja	2,9	174
16	01:29:48	47,9	43,9	61,1	72,7	ja	2,5	181
17	01:30:07	nm	nm	nm	nm	ja	2,5	182
18	01:30:27	48,4	43,9	64,6	75,2	ja	2,6	181
19	01:30:48	nm	nm	nm	nm	ja	2,5	182
20	01:31:08	45,8	41,6	56,5	69,8	ja	2,4	182

nen reinen Wohngebiet sind das nur noch 100. Nachts lauten die erlaubten Schusszahlen 31 bzw. 5.

Man lernt aus der Abschätzung, dass bei Schießanlagen mit sachgerechter wirtschaftlicher Perspektive bei ‚lauten‘ Emissionssituationen, mit Pegel unter 70 dB zu rechnen ist. Laute Emissionssituationen sind typischerweise großkalibrige Gewehre. Bei leiseren Emissionssituationen liegt der Pegel dann bei typisch unter 60 dB. Moderne Schießstände, insbesondere militärische Schießplätze, zeichnen sich durch massive bauliche Schallschutzmaßnahmen aus, die die Immissionspegel richtungsabhängig um bis zu 15 dB verringern können. Man sollte mit Maximalpegeln zwischen 40 dB und 50 dB rechnen. Schießgeräusche konkurrieren dann mit Pkw-Vorbeifahrten, Rasenmähern und spielenden Kindern und letztlich sogar mit den tags hohen Hintergrundpegeln in den Immissionsorten.

Der Wechsel hin zu Ersatz-Messorten ist häufig eine schlechte Idee. Die Zielgröße ist ein Maximalpegel, der stärker von lokalen Gegebenheiten abhängt als ein Mittelungspegel. Die Messung nachts durchzuführen ist hingegen eine gute Idee, aber auch da

gibt es ‚widrige Umstände‘: z.B. häufige Schwachwindlagen, Übergänge zu Inversionswetterlagen etc.

Es ist also nicht mehr so, dass man im Schrieb des LAF den ‚Lattenzaun‘ der Schussgeräusche direkt sieht und schon mit Lineal und Bleistift die Auswertung machen kann. Bei allen Schießplätzen gilt immer mehr: Je besser der bauliche Schallschutz ist, umso schwieriger wird die Messung.<sup>6)</sup>

## 2.7.2 Lösungsvorschlag

Die Problemstellung formuliert eine wachsende und unvermeidbare Herausforderung. Man kann dem Problem eher gerecht werden, wenn es für die automatisierte Auswertung zumindest eine qualitätssicherbare, regelbasierte Vorgehensweise gibt, s. Kapitel 5.

## 2.8 Mitwindbedingung

### 2.8.1 Problemstellung

Die VDI 3745 Blatt 1 legt klare Kriterien für den Nachweis einer Mitwind-Ausbreitungsbedingung fest. Die VDI geht davon aus, dass schallausbreitungsgünstige Bedingungen vorlie-

<sup>6)</sup> Im vorliegenden Beitrag stammen einige Beispiel von einer massiv gedämmten militärischen Anlage.

**Tabelle 4 (Teil 3)** Tabelle der Messwerte für drei Messserien bei einem Gewehrschuss auf einer Standortschießanlage mit baulichem Schallschutz, Abstand Emissionsort zum Messpunkt ca. 750 m, nm = nicht messbar bzw. auswertbar; nh = nicht hörbar

Schuss	Immission Uhrzeit	LAFmax dB	LASEL dB	LCSEL dB	LCpeak dB	Mitwind	v m/s	r ∞
<b>Dritte Messserie (am zweiten Tag danach)</b>								
1	01:21:13	nh	nh	nh	nh	ja	2,2	201
2	01:21:33	nh	nh	nh	nh	ja	2,2	197
3	01:21:52	nh	nh	nh	nh	ja	2,2	195
4	01:22:13	nh	nh	nh	nh	ja	2,3	192
5	01:22:33	nm	nm	nm	nm	ja	2,4	190
6	01:22:52	nh	nm	nm	nm	ja	2,4	189
7	01:23:12	nh	nh	nh	nh	ja	2,5	184
8	01:23:32	nh	nm	nm	nm	ja	2,6	183
9	01:23:52	nh	nm	nm	nm	ja	2,7	181
10	01:24:12	nh	nh	nh	nh	ja	2,6	180
11	01:25:33	nm	nm	nm	nm	ja	2,8	176
12	01:25:52	nm	nm	nm	nm	ja	2,9	174
13	01:26:13	nh	nm	nm	nm	ja	3,0	174
14	01:26:34	nm	nm	nm	nm	ja	2,9	177
15	01:26:52	nh	nm	nm	nm	ja	2,9	174
16	01:29:48	nh	nh	nh	nh	ja	2,5	181
17	01:30:07	nh	nh	nh	nh	ja	2,5	182
18	01:30:27	nh	nh	nh	nh	ja	2,6	181
19	01:30:48	nh	nh	nh	nh	ja	2,4	181
20	01:31:08	nh	nh	nh	nh	ja	2,4	182

gen, wenn diese Kriterien erfüllt sind. Das Regelwerk erlaubt grundsätzlich auch die Messung bei einer Inversionswetterlage, ohne allerdings klare Prüfbedingungen zu formulieren, deutet aber an, dass die Kenntnis des Wind- und Temperaturprofils hinreichend ist. Als Ort der Windmessung gibt die VDI 3745 Blatt 1 ohne Begründung einen Ort in der Nähe des Immissionsortes vor und verlangt eine Messhöhe von mindestens 5 m.

Eine Messserie ist nur dann regelungskonform, wenn in der Erhebungszeit tatsächlich Mitwind vom Emissionsort zum Messort herrscht. Die VDI 3745 Blatt 1 legt dazu klare Prüfkriterien für den Wind vor:

- Richtung:  $\pm 60^\circ$  der momentanen Windrichtung oder  $\pm 45^\circ$  des 5-Minuten-Mittelwerts der Windrichtungskegel um die Verbindungslinie Quellenmittelpunkt zum Messort
- Geschwindigkeit: Die Windgeschwindigkeit muss mindestens 1 m/s betragen
- Messort: In der Nähe des Messorts in mindestens 5 m Höhe

Da man im Regelfall – wie oben begründet in alle Richtungen Messorte zu erwarten hat, muss man also mindestens 12-mal ins Feld, 4-mal für die Mitwindbedingungen und 3-mal für die 3 unabhängigen Messserien.

## 2.8.2 Lösungsvorschlag

Die ‚Mitwindsituation‘ in der VDI 3745 Blatt 1 ist ein klares Prüfkriterium für eine ausbreitungsgünstige Wettersituation. Dabei soll die Windmessung in der Nähe des Messortes stattfinden. Es ist gerade diese Bedingung, die den Aufwand nach oben treibt, weil sie bei mehreren gleichzeitig zu messenden Immissionsorten entsprechend viele Windmessungen erfordern würde.

Günstige Schallausbreitungsbedingungen ... (Zitat aus dem Regelwerk) „liegen bei Mitwind bzw. Inversion vor und können durch eine Referenzschallquelle überprüft werden.“ In den 1990er Jahren war es tatsächlich eine aufwendige Aufgabe Inversion nachzuweisen. Messungen unter Mitwindbedingungen sind deshalb die Regel in der heutigen Praxis.

Messungen bei kontrollierter Inversion erweitern aber die Optionen zur Durchführung von regelkonformen Wiederholungsmessungen deutlich. Inversionen führen in alle Richtungen um die Quelle zu günstigen Schallausbreitungsbedingungen. Liegt eine Inversionswetterlage vor, kann man in allen Messorten gleichzeitig messen.

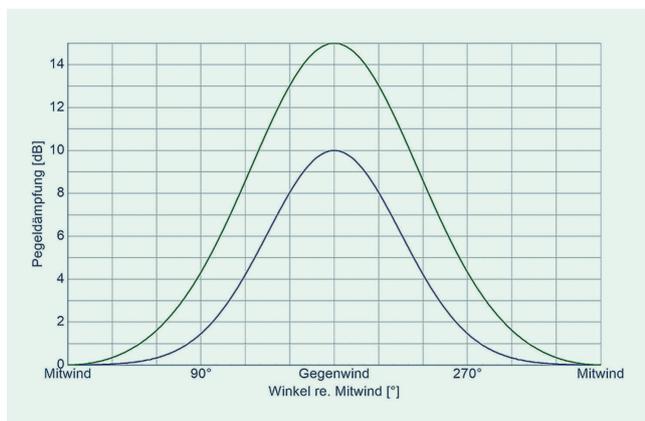
Inversionen treten nachts auf, wenn bei wolkenfreiem Himmel die Temperatur des Bodens stark fällt, die Luftschichten darüber

aber noch wärmer bleiben. Ignoriert man, dass sich die Schützen gegebenenfalls ‚die Nacht um die Ohren schlagen‘, bieten diese Messungen einen noch niedrigeren Hintergrundpegel und weniger Fremdgeräusche. Auch Windgeräusche am Mikrofon treten nicht auf, weil Inversionswetterlagen typisch schwachwindig sind.<sup>7)</sup>

Die Planung einer Messung nach VDI 3745 Blatt 1 während einer Inversion (natürlich auch einer Mitwind-Messung) profitiert massiv von einer zuverlässigen Wettervorhersage. Im Vergleich zu den 1990er Jahren hat sich jedoch viel geändert. Die Wettermodelle wurden feinmaschiger und gehen weiter in die Zukunft. Selbst wenn diese Modelle schon damals hinreichend zuverlässige Prognosen berechnet hätten, für den Akustiker waren sie nicht zugänglich. Heute ist das völlig anders: Der Deutschen Wetterdienst (DWD) stellt die aktuellen Daten des Wettermodells mit einer Maschenweite von 2 km mal 2 km frei zugänglich und kostenfrei über sein OpenData Forum für jedermann im Internet zur Verfügung (unter <https://opendata.dwd.de/weather/nwp/>, Formatbeschreibung siehe [10]). In den alle 3 Stunden aktualisierten Vorhersagen sind stündliche Prognosen für die nächsten 48 Stunden enthalten. Dort ist alles vorhanden, was die Prognose der Schallausbreitungsbedingung benötigt: Die zu erwartende Temperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung von Bodenwerten bis zu hohen Schichten, die Feuchtigkeit in Bodennähe und die Niederschlagserswartung. Die Vorhersagen des Wind- und das Temperaturprofils sind wertvolle Hilfsgrößen bei der Planung einer Messung.<sup>8)</sup>

Es stellt sich insgesamt die Frage, ob die Aussagen des Wettermodells des DWD zum Zeitpunkt der Messung nicht die bessere Option zum Nachweis einer Mitwindsituation sind, als die eigene Windmessung nahe dem Messort. Bei den typisch zu erwartenden Abständen zwischen Emissionsort und Messort ist die Windmessung nur ein Abtastwert entlang des Schallweges, immer auch beeinflusst durch lokale Gegebenheiten.

In der Nacht der Messung gibt es die Möglichkeit, den Nachweis für das Vorliegen einer Inversionswetterlage indirekt zu führen. In der Meteorologie und auch in der Luftreinhaltung nach TA Luft wird der Zustand der Atmosphäre in Klassen eingeteilt. Bei Windgeschwindigkeiten von kleiner 2 m/s und einem Bedeckungsgrad von weniger als einem Viertel, ist davon auszugehen, dass sich nachts, eigentlich eine Stunde nach Sonnenuntergang bzw. eine Stunde vor Sonnenaufgang (um eine sichere Zeitspanne vorzuziehen), mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Inversion ausbildet hat.



**Bild 1** Gewichtungsfunktion der Pegeldämpfung für  $\{Q = 5 \text{ dB}; \Theta = 45^\circ\}$  (Blau) und  $\{Q = 7,5 \text{ dB}; \Theta = 22,5^\circ\}$  (Grün) Grafik: Autor

## 2.9 Korrekturen bei Nicht-Einhaltung der Mitwindbedingung

### 2.9.1 Problemstellung

Es gibt Ausbreitungssituationen, in denen schallausbreitungsgünstige Bedingungen so selten sind, dass regelkonforme Messserien nur mit großem Aufwand und langen Wartezeiten zu erhalten sind. In Flusstälern und in Tälern der Mittelgebirge oder der Alpen folgt der Wind zum Beispiel dem Talverlauf. Querwinde sind sehr selten. Liegen Immissionsorte im Hang, die Anlage aber im Tal, wird es aufwendig. Auch innerhalb einer Messserie können die (gemessenen) Windbedingungen sich so schnell ändern, dass einige Einzelmessungen die Bedingung erfüllen, andere nicht.

Nach heutigen Erkenntnissen lassen sich Pegel, die nicht unter Mitwindbedingungen gemessen wurden, in erster Näherung in Mitwindpegel umrechnen. Dazu kann man die Erkenntnisse verwenden, die bei der Berechnung des  $C_{\text{met}}$  der DIN ISO 9613-2 [11] vorgeschlagen sind.

Ein Ansatz dazu stammt von Kurze und Schirmmacher [12], der von Hirsch und Vogelsang [13] bei der Ableitung eines qualitätssicherbaren Verfahrens zur Bestimmung des  $C_{\text{met}}$  der DIN ISO 9613-2 verwendet wird. Bei diesem Verfahren wird eine Gewichtungsfunktion nach [14] verwendet, um den Immissionspegel in Abhängigkeit von der Differenz der Ausbreitungsrichtung zur Windrichtung zu beschreiben (siehe **Gleichung 1**).<sup>9)</sup>

$$G(\varphi) = Q(1 - \cos(\varphi - \Theta \sin(\varphi)))$$

In **Bild 1** ist  $\varphi$  der Winkel relativ zur Mitwindrichtung;  $Q$  bzw.  $\Theta$  sind jeweils festzulegende Konstanten. Der ‚Pegel‘  $Q$  kennzeichnet die Pegeldifferenz zwischen Mitwind-Pegel ( $\varphi = 0^\circ$ ) und Gegenwind-Pegel ( $\varphi = 180^\circ$ ). Mit dem Winkel  $\Theta$  lässt sich die Breite des Gegenwind- bzw. Mitwindfensters festlegen. **Bild 1** stellt die Funktion für zwei gebräuchliche Wertepaare  $\{Q = 5 \text{ dB}; \Theta = 45^\circ\}$  (Blau) und  $\{Q = 7,5 \text{ dB}; \Theta = 22,5^\circ\}$  (Grün) dar. Zur Festlegung der Wertepaare  $Q$  und  $\Theta$ , vergleiche auch [15] und [16].

Mit Hilfe dieses Ansatzes ist es möglich, auch Messungen nach VDI 3745 Blatt 1 im Hinblick auf die Windrichtung zu korrigieren. Dafür wird hier ein  $Q = 7 \text{ dB}$  und ein  $\Theta = 25^\circ$  vorgeschlagen und verwendet. Man entnimmt **Bild 1**, dass bei Messungen unter Mitwindbedingung  $\pm 45^\circ$  ein Pegel um maximal 1 dB bei  $\pm 60^\circ$  um maximal 2 dB korrigiert wird.

## 3 Regeln zur automatisierten Auswertung von Pegelserien

### 3.1 Unvollständige Messserien

In Kapitel 4.5 wurde ausgeführt, dass bei modernen bedarfsdeckenden Schießplätzen A-bewertete Maximalpegel im Bereich

7) Es ist empfehlenswert, solche Messungen in der Nachbarschaft anzukündigen, um Beschwerden vorzubeugen.

8) Das Auslesen des Wettermodells erfordert allerdings die tiefe Kenntnis des Datenformats auf dem DWD Server. Cervus Consult nutzt die Abfragen bei der Vorhersage des Schallwetters. Stellt diesen Dienst aber auch für solche Zwecke zur Verfügung. (Zurzeit Anfrage an den Autor erforderlich.)

9) Im Folgenden werden bewusst andere Symbole eingeführt als sie häufig in einschlägigen Schriften eher unklar verwendet werden.

40 dB bis 50 dB zu erwarten sind. Unterstellt man eine Spannweite von 12 dB in der Messserie wird man mit Einzelpegeln von 35 dB oder niedriger rechnen müssen. Bei Messungen von Pegeln in der Nähe des Hintergrundgeräuschpegels sagt die VDI 3745 Blatt 1, dass die Differenz zwischen dem  $L_{AFmax}$  und dem dort windinduzierten Geräuschpegel am Mikrophon mindestens 10 dB betragen muss Kapitel 4.2, 5. Absatz. Es ist also sehr wahrscheinlich, dass Pegel für einzelne Schüsse in einer Messserie als ‚nicht auswertbar‘ oder als ‚ungültig‘ zu kennzeichnen sind. Solche Messserien werden im Folgenden als „unvollständig“ bezeichnet. Unvollständige Messserien sind eher die Regel als die Ausnahme. Dies belegen einschlägige Messberichte der Immissionsmessstelle der Bundeswehr hinreichend.

Für unvollständige Messserien gibt die VDI 3745 Blatt 1 keine Handlungshilfen. Vielmehr versagt schon das Konzept ‚Spannweite‘ zur Steuerung der Messung, weil der ‚kleinste  $L_{AFmax}$ -Wert‘ nicht ermittelt werden kann. Dies wurde oben schon angemerkt. Es ist unter dem Aspekt der Qualitätssicherung unumgänglich, hierfür Regeln einzuführen, die dieser Herausforderung sachgerecht begegnen.<sup>10)</sup>

10) Die häufig beobachtete Vorgehensweise, solche ‚ungültigen‘ Messwerte in der Auswertung beispielsweise bei der Mittelwertbildung wegzulassen oder gar weitere Schüsse aufzunehmen, um eine vollständige Messreihe zu erhalten, ist grundsätzlich falsch. Denn es ist nur die Auswertung ungültig oder nicht möglich. Die Aussage der Messung bleibt: Der Schuss war im Immissionsort so leise, dass er nicht hörbar war oder sich weniger als 10 dB aus dem Hintergrundpegel abhob. Solche Ergebnisse müssen Einfluss auf die Mittelwertbildung haben, sonst wird der Mittelwert zu größeren Pegeln hin verfälscht.

11) Es gibt einen Königsweg. Heute werden bei den Messungen nach VDI 3745 Blatt 1 die entscheidenden Kenngrößen aufgezeichnet und später ausgewertet. Es ist also möglich, die Werte der Kenngrößen für das Zeitfenster zu bestimmen in dem der Schuss zu erwarten ist. Diese Werte wären kleiner und böten eine bessere und niedrigere Schätzung der nicht als Schuss konkret auswertbaren Ereignisse. Von einigen Messstellen wird auch so verfahren. Nach dieser Vorgehensweise kommen unvollständige Messungen erst gar nicht vor

### 3.2 Auswertung unvollständiger Messreihen

Je näher sich der Mittelwert einer Messserie am Hintergrundpegel bewegt, umso häufiger wird es vorkommen, dass Einzelmessungen mit niedrigen Pegeln nicht mehr zuverlässig auswertbar sind. In Messberichten werden solche Messergebnisse durch einen Statuseintrag gekennzeichnet. In dem Beispiel in **Tabelle 4** bedeutet „nm“ nicht messbar, „nh“ nicht hörbar. Laut Messbericht wird als nicht hörbar eingestuft, wenn in der Tonaufzeichnung während der bekannten Eintreffzeit des Schusses kein Knall erkennbar ist.

Bei der Schätzung des Mittelwerts einer mit solchen Einzelmessungen behafteten Messreihe, können diese Einzelmessungen bei der Auswertung nicht weggelassen werden. Ein ‚nicht messbar‘ beinhaltet nicht die Aussage, dass das Ereignis nicht stattgefunden hat, sondern, dass der Pegel im Immissionsort unter der Nachweis- oder Hörbarkeitsgrenze liegt. Es liegt die Vermutung nahe, dass der tatsächliche Pegel dieses Ereignisses, wenn man das Hintergrundgeräusch eliminieren könnte, kleiner wäre als der Pegel des kleinsten noch auswertbaren Einzelgeräusches.

Ein erster Ansatz solche Messserien zu vervollständigen ist, alle nicht auswertbaren Pegel durch den kleinsten der gültigen Werte zu ersetzen. Der dann aus der vervollständigte Messserie ermittelte Mittelwert wird zwar größer sein als der ‚wahre‘ Wert, aber immer noch signifikant kleiner als der Mittelwert der auswertbaren Pegel. Im Sinne des Immissionsschutzes ist das eine sichere Abschätzung, weil sie zu höheren Pegeln führt und damit in letzter Konsequenz zu einem höheren Lärm-schutz.<sup>11)</sup>

Die hier als Beispiel verwendete Messung stammt aus einem jüngerem Messbericht der Immissionsmessstelle der Bundeswehr für eine Genehmigungsmessung einer Standortschießanlage nach Maßgabe des LeitGeStand. **Tabelle 4** dokumentiert das Ergebnis für eine einzige Emissionssituation in einem einzigen Immissionsort für drei meteorologisch unabhängige Messserien, die die Mitwindbedingung erfüllen. Der Messbericht enthält davon deutlich mehr als 100. Die Messungen

**Tabelle 5** Auswertung der Messung nach Tabelle 4 nach den aufgestellten Regeln

Auswertung	Bezug	Kenngröße	$L_{AFmax}$ dB		
			Serie 1	Serie 2	Serie 3
Messdaten	Messserien	arithmetisches Mittel energetisches Mittel	50,5 50,9	50,0 51,9	nm nm
	Emissionssituation	arithmetisches Mittel energetisches Mittel			50,3 51,4
Messdaten mit Ersatz der fehlenden Pegel	Messserien	arithmetisches Mittel energetisches Mittel	49,2 49,9	46,4 48,9	46,4 48,9
	Emissionssituation	arithmetisches Mittel energetisches Mittel			47,5 49,3
Messdaten mit Ersatz der fehlenden Pegel und meteorologischer Korrektur	Meteorologische Korrektur		1,0	0,6	4,4
	Messserien	arithmetisches Mittel energetisches Mittel	50,2 50,9	47,0 49,4	47,0 49,4
	Emissionssituation	arithmetisches Mittel energetisches Mittel			48,3 50,0

wurden grundsätzlich nachts durchgeführt. Nur in 5 Kombination aus Emissionssituation/Immissionsort konnten tatsächlich nach VDI 3745 Blatt 1 regelkonforme Ergebnisse angege- ben werden.

**Tabelle 4** enthält für jeden Schuss die laufende Nummer (Spalte 1), die Ereigniszeit (2), den  $L_{AFmax}$  (3), eine Aussage, ob die Mitwindbedingung erfüllt ist (7), die momentane Windrichtung (8) und Windgeschwindigkeit (9). Die Spalten 4 bis 6 dokumentieren weitere Einzelpegel, die Zusatzkriterien liefern, die über ihre Differenzen untereinander und zum  $L_{AFmax}$  als Belege dafür herangezogen werden können, ob tatsächlich ein Knallereignis ausgewertet wurde. (**Tabelle 4**)

Es ist hilfreich, neben dem Status auch die Pegel anzugeben, die während der Zeit des Eintreffens der Signale gemessen wurden. Diese Pegel repräsentieren den Messwert, auch wenn er nicht direkt einem Schießgeräusch zugeordnet werden kann, und können in die Messreihe eingehen. Diese Pegel können den tatsächlichen Pegel nicht unterschätzen, sondern werden ihn grundsätzlich überschätzen.

Diese Pegel liegen im Messbericht nicht vor. Dennoch kann ein Schätzwert für die fehlenden Pegel angegeben werden. Unter der Hypothese, dass ‚nicht messbare Pegel‘ hätten gemessen werden können, wenn sie groß genug wären, kann der ‚wahre‘ Pegel nur kleiner sein als der kleinste tatsächlich gemessene Pegel der Messreihe.

Deshalb kann in einem ersten pauschalen Ansatz ein ‚nicht messbarer‘ Pegel eines Einzelereignisses durch den kleinsten Pegel der Messreihe ersetzt werden. Diese Schätzmethode überschätzt den Pegel und führt deshalb auch zu einer Überschätzung des Mittelwertes der Messreihe.

Das gleiche Schätzverfahren wird bei der Bestimmung des mittleren Pegels aus den 3 Messserien angewendet. Falls eine Messserie keine auswertbaren Pegel aufweist, wie im Beispiel der 3. Messserie, aber Statureinträge ‚nicht hörbar‘ oder ‚nicht messbar‘ enthält, und gleichzeitig die Messserie unter Mitwind oder Inversion stattgefunden hat, ist davon auszugehen, dass der tatsächliche Messwert unterhalb der Nachweisgrenze liegt. Deshalb ist es sachgerecht, dafür den kleinsten Wert aus anderen, für diese Situation gültigen Serien, einzusetzen.

Für das Beispiel in **Tabelle 4** werden in **Tabelle 5** die Auswertungen nach den verschiedenen Verfahren verglichen. Die Zeilen 4 bis 7 enthalten die Auswertung allein auf der Basis der Rohdaten. Die nicht vorhandenen Pegel werden bei der Mittelwertbildung weggelassen, genauso wie die 3. Messserie bei der Bildung des maßgeblichen Werts für die Emissionssituation. (**Tabelle 5**)

In den Zeilen 8 bis 11 erfolgt die Auswertung unter Anwendung der Regel, dass fehlende Pegel in den Serien und die fehlende Serie selbst durch den kleinsten gültigen Wert in der Serie bzw. der gültigen Serien ersetzt werden. Das energetische Mittel für die Emissionssituation ist nun 2,1 dB kleiner. Bei Auswertung allein der ‚Rohdaten‘ der Serien erfolgt eine Überschätzung.

In den Zeilen 12 bis 16 wird bei der Auswertung zusätzlich zu den Ersetzungen auch die meteorologische Korrektur nach **Bild 1** berücksichtigt. Die Angabe der meteorologischen Korrektur in Zeile 12 zeigt, dass die Messserie gerade so die Mitwindbedingung der VDI 3745 Blatt 1 erfüllt hat. Es wird eine Korrektur von 1,0 dB erforderlich. Bei Messserie 2 sind das nur 0,6 dB. Die Messserie 3 erfolgte bei Querwind. Ihre Pegel hät-

ten deshalb eine Korrektur von 4,4 dB erhalten. Diese Serie enthält aber gar keine Pegel und wird durch die Serie mit dem kleinsten Pegel ersetzt. Das Ergebnis dieser Auswertung liefert wieder höhere Pegel, weil die meteorologische Korrektur in jedem Fall positiv ist.

### 3.3 Zusammenfassung der Regeln

1. Wenn für einen einzelnen Schuss kein Pegel ausgewertet werden kann, sollte dieser Umstand in der Messwerttabelle schusspezifisch angegeben werden.
2. Bei der Auswertung unvollständiger Messserien werden alle fehlenden Pegel durch den kleinsten Wert der auswertbaren Pegel ersetzt.
3. Die Mittelwertbildung über eine Messserie erfolgt stets über alle abgegebenen Schüsse. Das Weglassen von Schüssen ist nur erlaubt, falls ein Fremdgeräusch das Auswerten verhindert.
4. Bei der Mittelwertbildung zwischen den Messserien wird eine Messserie, die unter regelkonformen Bedingungen aufgenommen wurden, durch den kleinsten Serienmittelwert der Serien mit auswertbarem Pegel ersetzt.
5. Die Bedingung „Inversion“ ist in der Zeitspanne 1 Stunde nach Sonnenuntergang und vor Sonnenaufgang erfüllt und damit eine regelkonforme günstige Ausbreitungssituation, falls der 10-minütige Mittelwert der Windgeschwindigkeit kleiner 1 m/s und der Bedeckungsgrad weniger als  $\frac{1}{4}$  ist.

Bei der Vorbereitung einer Messung nach VDI 3745 Blatt 1 sollte das Wettermodell des Deutschen Wetterdienstes (Windprofil, Temperaturprofil, Luftfeuchtigkeit) verwendet werden, um gegebenenfalls Inversionswetterlagen nachzuweisen und/oder die Mitwindbedingung zum Zeitpunkt der Messung im Bereich der Schallausbreitungspfade zu dokumentieren.

## 4 Überarbeitung der VDI 3745 Blatt 1

### 4.1 Aufwand

Die Beurteilung des Schießlärms eines Schießplatzes streng nach VDI 3745 Blatt 1 mit jeweils mindestens 3 meteorologisch unabhängigen, vollständigen Messserien je Emissionssituation und Immissionsort erfordert einen massiven Aufwand.

- Aufwand im Hinblick auf den notwendigen Zeitraum, über den sich eine Messung hinzieht, um alle Messungen unter den geforderten Mitwindbedingungen durchzuführen. Dies kann bei komplexen Schießplätzen Monate dauern, in denen sich Schützen und Messstelle in Bereitschaft halten müssen, um nach Maßgabe des Wetterberichts die noch fehlenden Messserien aufzunehmen. Dies führt insbesondere bei militärischen Anlagen zu einer unplanbaren Wartezeit, in der nach dem Ende der Errichtung oder des Umbaus, moderne Schießanlagen für die Ausbildung nicht rechtssicher genutzt werden können. Militärische Schießausbildung bzw. militärischer Übungsbetrieb erfordern aber langfristige Planbarkeit und sichere Bedarfsdeckung.
- Aufwand im Hinblick auf die Kosten, die vom Betreiber aufgebracht werden müssen. Zivile Schießplätze bzw. Schießstätten werden häufig von Vereinen betrieben, wie Schützenvereine, Sportvereine oder jagdliche Vereinigungen. Für diese Vereine insbesondere für kleine lokale Vereine ist es in der Regel eine große finanzielle Kraftanstrengung, die Mittel für ein komplexes Schallschutzgutachten aus Mitgliederbeiträgen bereitzustellen.

## 4.2 Verhältnismäßigkeit

Es stellt sich grundsätzlich die Frage, ob der durch die VDI 3745 Blatt 1 induzierte Aufwand tatsächlich erforderlich ist, um nachzuweisen, dass ein dann genehmigter Schießbetrieb keine Immissionen erzeugt, „die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen“ (Zitat BImSchG). Oder ob es unter Nutzung des heutigen Stands der Technik nicht möglich ist, Regeln aufzustellen, die mit signifikant geringerem Aufwand, die geforderte Aussagen mit vertretbarer und sicher abschätzbarer Unsicherheit ableiten kann. Im Grunde stellt sich also die Frage, ob der große Aufwand verhältnismäßig ist, oder ob es nicht aufwandsärmere Verfahren gibt, die das gleiche Ziel erreichen können.

## 4.3 Empfehlung

Die Folgerung hier ist: Die VDI 3745 Blatt 1 in der gültigen Fassung bildet nicht mehr den Stand der Technik ab. Sie sollte massiv unter Nutzung der Erkenntnisfortschritte überarbeitet werden. Auch unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit sollte nur so viel Mess- und Analyseaufwand gefordert werden, um eine verlässliche Beurteilungsgrundlage für den Schießbetrieb auf einem Schießplatz bereitzustellen. Bei der Neufassung sollte auch erwogen werden, die Konzepte eines Lärmmanagements allgemein aufzunehmen, die im Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen – LeitGeStand der Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) für militärische Schießplätze empfohlen wird. ■

## Literatur

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden
- [2] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm vom 26. August 1998. GMBI.
- [3] VDI 3745 Blatt 1, „Beurteilung von Schießgeräuschimmissionen“, Beuth Verlag, Mai 1993
- [4] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen) – 4. BImSchV, in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973, 3756).
- [5] Hirsch, K.-W.: „Schießlärm – Immissionsschutz auf Schießplätzen für Verwaltungsakustiker“, Bella Acustica – De Bello Acustico, dba 15, www.kwhirsch.de.
- [6] Schallimmissionsschutz an Schießständen, Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen -LeitGeStand-, Version 1.0, 2019, Herausgeber Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz

- [7] Hirsch, K.-W.; Vogelsang B. M.: „Auf der Suche nach einem „best practice model“ für die Schallausbreitung – oder wie vergleicht man Schallausbreitungsmodelle“, Fortschritte der Akustik, DAGA'2012, DEGA e.V., Darmstadt
- [8] Hirsch, K.-W.: „Einwirkungsbereich – Bedeutung und Nutzung des Konzepts der TA Lärm“, Bella Acustica – De Bello Acustico, dba 19, www.kwhirsch.de, Auszugsweise auch publiziert als Hirsch, K.-W.; Vogelsang B. M.: „Zum Einwirkungsbereich der TA Lärm“, Fortschritte der Akustik, DAGA'2021, DEGA e.V., Wien
- [9] DIN EN ISO 17201-2: Akustik – Geräusche von Schießplätzen – Teil 2 Schätzung der Quelldaten von Mündungsknallen (ISO/DIS 17201-2:2004)
- [10] Reinert, D.; Prill, F.; Frank, H.; Denhard, M.; Baldauf, M.; Schraff, C.; C. Gebhardt, Marsigli, C.; Zängl, G.: „DWD Database Reference for the Global and Regional ICON and ICON-EPS Forecasting System, Version 2,1,7 Deutscher Wetterdienst DWD
- [11] DIN ISO 9613-2: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, Berlin: Beuth, Oktober 1999
- [12] Kurze, U. J.; Schirmmayer, R.: „Meteorologische Korrektur in DIN ISO 9613-2“, Lärmbekämpfung 46(1999)2, S. 45–49
- [13] Hirsch, K.-W.; Vogelsang, B. M.: „C<sub>met</sub> – Der Weg zu einem präzisen Ergebnis“, Lärmbekämpfung, Zeitschrift für Akustik, Schallschutz und Schwingungstechnik. Heft 4, 2021
- [14] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: „TA Lärm 1998 – Empfehlungen des LANUV zu cmet“, 2012
- [15] „Lärm“, Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, [https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/41576/09\\_laerm.pdf?command=downloadContent&filename=09\\_laerm.pdf](https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/41576/09_laerm.pdf?command=downloadContent&filename=09_laerm.pdf)
- [16] Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie: „Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien: Allgemeine Berechnungsverfahren (ISO 9613:1996) DIN ISO 9613-2“, F.-Chr. Zacharias, [https://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlug/abt1/vreferate/2013/17\\_2013/grundlagen\\_schallprognose\\_iso9613-2.pdf](https://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlug/abt1/vreferate/2013/17_2013/grundlagen_schallprognose_iso9613-2.pdf), abgerufen am 14.02.2020



**Dr.-Ing. Karl-Wilhelm Hirsch**  
Freier Mitarbeiter der Cervus Consult GmbH-  
[hirsch@cervus.de](mailto:hirsch@cervus.de)

**Janine Pfeffer**  
Bundesministerium der Verteidigung  
BMVg IUD II 5, [JaninePfeffer@bmvg.bund.de](mailto:JaninePfeffer@bmvg.bund.de)

**Dr. rer. nat. Peter Friedsam**  
Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und  
Dienstleistungen  
BAIUBw GS II 2 ImMesStBw,  
[PeterFriedsam@bundeswehr.org](mailto:PeterFriedsam@bundeswehr.org)

**Joachim Vogel**  
Öffentlich-rechtliche Aussicht der Bundeswehr  
BAIUBw KompZBauMgmtSK5,  
[Joachim1Vogel@bundeswehr.org](mailto:Joachim1Vogel@bundeswehr.org)