

# Zum Langzeitmittelungspegel bei Schießgeräuschen

Karl-Wilhelm Hirsch<sup>1</sup>, Berthold M. Vogelsang<sup>2</sup>, Philipp Tekampe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Cervus Consult, Willich, www.cervus.de, consult@cervus.de*

<sup>2</sup>*Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, Hannover, Germany, berthold.vogelsang@mu.niedersachsen.de*

## Einleitung

Der Langzeitmittelungspegel ist die grundlegende physikalisch-akustische Kenngröße in den Beurteilungsverfahren nach TA Lärm. Gegebenenfalls durch Zu- und Abschläge verziert, liefert er den Beurteilungspegel, der mit den Richtwerten der TA Lärm zu vergleichen ist. Der Langzeitmittelungspegel wird im Immissionsschutz in der Regel weder gemessen noch prognostiziert.

Bei der Messung begnügt man sich mit Kurzzeitmessungen, bei denen der erfahrene Akustiker günstige Schallausbreitungsbedingungen sicherstellt, die er häufig mit ‚Mitwind‘ bezeichnet. Er zieht 3 dB ab, um den Langzeitmittelungspegel aus dem Mittelwert seiner schallausbreitungsgünstigen Messung zu bestimmen.

Bei der Prognose nach der DIN ISO 9613-2 [1] ist das Ergebnis direkt ein Langzeitmittelungspegel, allerdings der für schallausbreitungsgünstige Bedingungen. Auch da wird zur Bestimmung des eigentlichen Langzeitmittelungspegels eine Korrektur abgezogen, nämlich das  $c_{met}$ . Bei Anlagen, mit Einwirkungsbereichen im Geltungsbereich der DIN ISO 9613-2 ist diese Vorgehensweise bewährt und anerkannt.

Bei Schießlärm versagt die Vorgehensweise häufig und häufig unmerklich, weil der Einwirkungsbereich von Schießgeräuschen weit über den Anwendungsbereich der Regelwerke hinausgeht. Auch bei der Messung nach VDI 3745 Blatt 1 [2] werden die normgerecht bestimmten ‚Beurteilungspegel‘ mit zunehmenden Abständen immer unsicherer.

Natürlich gibt es statistische Verfahren, um aus Stichproben Schätzungen für die Kennwerte der Grundgesamtheit abzuleiten. Diese Verfahren machen auch Aussagen zu den Unsicherheiten und Vertrauensbereichen. Eigentlich geht es im Folgenden um die Suche nach der Grundgesamtheit, die eigentlich schon nach einem Satz beendet scheint: Die Grundgesamtheit des Langzeitpegels einer Ausbreitungssituation sind alle Pegel, die während der ‚Langzeit‘ unter geforderten Randbedingungen vorkommen. Der letzte Satz hätte auch mit ‚vorkommen können‘ enden können. Tatsächlich hätte der Satz dann aber eine völlig andere Aussage. Im Lärmschutz benötigt man den Satz mit ‚kommen‘. Im Folgenden geht es aber zunächst um das ‚vorkommen können‘. Für diese Aussage lässt sich eine Grundgesamtheit - nämlich die so genannte Potentialverteilung - definieren.

## Die Langzeitmittelung- das langfristige Mittel

Es ist lohnenswert und wird an anderer Stelle geschehen, diesen Begriff allgemein und in der gebotenen Tiefe zu diskutieren. Dort werden Beurteilungszeiten und Betriebszeiten eine Rolle spielen und die Frage diskutiert, wie sich ein Langzeitmittelungspegel für eine Betriebssituation, die ausschließlich in den Sommermonaten zwischen 16 Uhr und 22 Uhr stattfindet, vom Langzeitmittelungspegel einer ganzjährig in der Tageszeit betriebenen Anlage unterscheidet. Im Folgenden wird zunächst die Definition des Langzeitpegels in der DIN ISO 9613-2 zugrunde gelegt.

*Zitat: (gekürzt): Nach diesem Verfahren wird der äquivalente A-bewertete Dauerschallpegel ... unter schallausbreitungsgünstigen Witterungsbedingungen vorausberechnet. Diese Bedingungen gelten für die Mitwindausbreitung nach ISO 1996-2 ... oder gleichwertig für Schallausbreitung bei gut entwickelter Inversion ... Nach diesem Verfahren wird ebenfalls das langfristige Mittel des A-bewerteten Schalldruckpegels nach ISO 1996-1 und ISO 1996-2 vorausberechnet. Das langfristige Mittel ... beinhaltet eine breite Palette von Witterungsbedingungen.*

Um der oben zitierten Langzeitmittelung (das *langfristige Mittel*) nahezukommen, muss über alle Ausbreitungsbedingungen ‚gemittelt‘ werden, die wenigstens ausbreitungsgünstig im Verständnis der Norm also entweder Mitwindbedingungen oder *gut entwickelter* Inversionswetterlagen entsprechen. Beide Bedingungen führen zu der Interpretation, dass – im Bild von Strahlenmodellen formuliert – Schallstrahlen nach unten gebrochen werden, also einen positiven Krümmungsradius aufweisen. Im Folgenden wird deshalb angenommen, dass sich die Aufteilung in ‚ausbreitungsgünstig‘ und ‚ausbreitungsgünstig‘ in der Welt der Strahlenmodelle in positiven und negativen Krümmungsradien manifestiert.

Neben der Brechung der Schallstrahlen gibt es weitere Phänomene, die die Schallausbreitung im Freien beeinflussen. Der Entwurf der Richtlinie VDI 4101 [3] nennt diese Phänomene. Dazu gehören beispielsweise die Luftabsorption, die Bodenreflexion und die Schirmung. Da die VDI 4101 modellunabhängig formuliert, klassiert sie die Phänomene zunächst textlich: Die Luftabsorption kann danach z. B. ‚stark‘, ‚mittel‘ oder ‚schwach‘ sein. Was das konkret in einem Modell der Schallausbreitung bedeutet, sagt die VDI 4101 nicht und kann sie auch nicht festlegen, weil das Verfahren zur konkreten Berechnung eine Eigenschaft des Anwendungsszenariums ist und des darauf abgestimmten Modells ist. Die konkrete Umsetzung ist damit ein Element der Modellbildung selbst.

Im Verständnis des Entwurfs der VDI 4101 ist die Grundgesamtheit der Immissionspegel einer Schallausbreitungssituation, also die Verteilung der Pegel, die sich aus der Kombination aller Klassen aller Phänomene bei gleichzeitiger Variation des Phänomens innerhalb jeder Klasse selbst. Es ist offensichtlich, dass dies eine nicht tatsächlich vorkommende Pegelverteilung sein kann, weil sie alle Klassen-Kombinationen gleichhäufig betrachtet und nicht berücksichtigt, dass Kombinationen in einer konkreten Situation gar nicht vorkommen müssen. Eine so abgeleitete Grundgesamtheit zeigt aber wenigstens das Potential einer Ausbreitungssituation, bestimmte Pegel mit entsprechender Häufigkeit zu liefern. Es ist also eine Potentialverteilung und keine Realverteilung.

## Einwurf

*Warum benötigt man eine Verteilung, um Langzeitmittelungspegel oder Beurteilungspegel zu bestimmen? Im Regelfall kann man doch die Langzeitmittelwerte der Schallausbreitungsbedingungen einsetzen und bekommt dann den Langzeitmittelungspegel der Schallausbreitungssituation. Es wird also unterstellt, dass mittlere Ausbreitungsbedingungen auch mittlere Pegel liefern.*

Diese Vorgehensweise ist auch in erster Näherung ein Trugschluss. Hier nur ein Beispiel: Eine stark-brechende und eine schwach-brechende Atmosphäre liefern in größeren Abständen in der Regel ähnliche Pegel. Bei einer schwach-brechenden Atmosphäre wird zwar weniger akustische Energie auf bodennahe Schichten konzentriert als bei stark-brechender Atmosphäre. Dafür sind aber mehr Bodenreflexionen bei stark-brechender Atmosphäre erforderlich, um den Immissionsort zu erreichen; Deren Energieverluste kompensieren die höhere Konzentration bei starker Brechung. Tatsächlich liefern mittlere Krümmungsradien die höchsten Pegel bei sonst gleichen Randbedingungen.

Wie populär diese Vorgehensweise ist, mag folgende Anmerkung verdeutlichen. Eine Prognose nach DIN ISO 9613-2 für den Langzeitmittelungspegel wird in den meisten Fällen für einen mittleren Wert der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und der Luftkennimpedanz gemacht. Es sei der Leserin bzw. dem Leser überlassen, für

Phänomen		CRM	HAR	ISO/ISA
Boden	Landwirtschaft	200 kPa s/m bis 600 200 kPa s/m	Bodenindex 3 bis 5	Galle 0,8 bis 1
Temperatur	übers Jahr	270 K bis 300 K		
rel. Luftfeuchtigkeit	übers Jahr	30% bis 90%		
Brechung	Mitwind/ Inversion	1 km bis 30 km	c-Profil lin 0,05 bis 0,25 c-Profil log 0 bis 0,02 Turbulenz $2,5 \cdot 10^{-6}$ bis $10^{-5}$	---
Umkehrschicht	übers Jahr	60 m bis 240 m	---	---
Quellhöhe		0,7 m bis 1,3 m		
Empfängerhöhe		0,7 m bis 1,3 m		
Schirmung	Modell	SALOMON/PIERCE	---	---
	Wandhöhe	4,8 m bis 5,2 m		
	Wandabstand	14,5 m bis 15,5 m		
Quellenart	Rosa Rauschen	63 Hz bis 8 kHz		
	Schuss	Weber-Radius 0,5 m		

Tabelle 1 der verwendeten Variationen der Eingangsparameter der Schallausbreitungsmodelle für die Berechnung der Potentialverteilungen

diese Werte eine sachgerechte Verteilung einzusetzen und die sich ergebende Pegelverteilung nach der Ausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-2 unter sonst konstanten Randbedingungen, ihren energetischen Mittelwert und die Standardabweichung zu analysieren. In größeren Abständen wird man für übliche Geräuschquellen-spektren schnell die Diskussion über Zehntel Dezibel aufgeben.

## Schallausbreitungsmodelle

Der Entwurf der VDI 4101 bietet einen Rahmen zur Berechnung von Potentialverteilungen. Die Richtlinie gibt auch vor, wie Verteilungen angegeben werden: durch ihre Perzentile und auch durch den energetischen Mittelwert der Pegel. Die Berechnung der Immissionspegel aber ist die Aufgabe von Schallausbreitungsmodellen. In diesen Schallausbreitungsmodellen werden die Ausbreitungsphänomene modelliert, häufig unterschiedlich, mit mehr oder weniger physikalischem Anspruch und für jeweils spezifische Anwendungsbereiche.

Bei der Vorstellung von Potentialverteilungen werden hier 4 Modelle, das Kreisstrahlenmodell (CRM), Harmonoise P2P (HAR) [4], DIN ISO 9613-2 (ISO), und DIN ISO 9613-2 alternativ (ISA) berücksichtigt. Die Modelle werden auf zwei Ausbreitungsszenarien angewendet (1) „Industriegeräusch“, als Musterbeispiel für die Anwendung der DIN ISO 9613-2 für freie Schallausbreitung und „Schuss“ als typische Szenario mit Schirmung für Schießgeräusche aus einem Schießstand“.

Die Eingangsparameter und ihr jeweiliger Variationsbereich sind in Tabelle 1 für vier Ausbreitungsmodelle angegeben in Anlehnung an [3] für eine unspezifizierte schallausbreitungsgünstige Situation angegeben. Das CRM versteht den Krümmungsradius direkt und beschreibt die Bodenreflexionen über den Strömungswiderstand; Die Umkehrschicht berücksichtigt, dass ab einer bestimmten Strahlhöhe die Strahlen nicht mehr den Erdboden erreichen können, unabhängig vom Krümmungsradius. HAR benötigt Eingaben zum linearen und logarithmischen Koeffizienten des Schallgeschwindigkeitsprofils und eine Vorgabe einer Turbulenz; der Boden wird über einen Index festgelegt. ISO berücksichtigt ein gleiches G für alle drei Bereiche. ISA kennt keine wetter- oder bodenbedingten Parameter. Alle Modelle berücksichtigen die Temperatur und Luftfeuchtigkeit bei der Berechnung der Absorption; Das CRM auch noch bei der Bestimmung der Luftkennimpedanz. In [5] wurde bereits ähnlich verfahren. Abbildung 1 und Abbildung 3 stellen die Abstandabhängigkeit der Überschreitungszentile 1 und 99 (gelb) und 95, 90, 70 (Blautöne), 50 (Magenta) und 30, 20, 10, 5 (Grüntöne) als Differenz zum  $L_{eq}$  für das Szenario „Industriegeräusch“ („Schuss“) dar. Eingetragen ist ebenfalls die nach Abbildung 1 der VDI 2720 [6] zu erwartende Spannweite der Immissionspegel bei Mitwindschallausbreitung.

Abbildung 2 bzw. Abbildung 4 zeigen die rekonstruierte Potentialverteilung für die beiden Szenarien im Abstand von 800 m. Eingetragen sind die 99er (grün) und 1er (gelb) Perzentile, das 50er Überschreitungszentil (Cyan) und der  $L_{eq}$  (rot). Rekonstruiert deshalb, weil die Potentialverteilungen als Perzentile im 10er Abstand von der Software SoundWeather geladen und dargestellt werden.

tragen sind die 99er (grün) und 1er (gelb) Perzentile, das 50er Überschreitungszentil (Cyan) und der  $L_{eq}$  (rot). Rekonstruiert deshalb, weil die Potentialverteilungen als Perzentile im 10er Abstand von der Software SoundWeather geladen und dargestellt werden.

## Interpretation der Ergebnisse

Zunächst zeigen ISO und ISA, dass die Variation der Temperatur und Luftfeuchtigkeit signifikant zur Breite der Potentialverteilung beiträgt. Die Spreizung der Perzentile im Nahbereich dokumentiert beim CRM und HAR den signifikanten Beitrag der Bodendämpfung zur Schwankungsbreite der Pegel, die die Pegelbestimmung dort unsicherer macht als in größeren Abständen.

Ein entscheidendes Ergebnis ist die Breite der Potentialverteilung beim Schießen in einem Schießstand, bei dem der Mündungsknall durch Blenden und Wälle geschirmt ist. Das 50er Perzentil liegt 7 dB unterhalb des  $L_{eq}$ . Meistens ist der Pegel in der Nachbarschaft von Schießanlagen also deutlich niedriger als der Langzeitmittelwert. Die Potentialverteilung erklärt mühelos die Erfahrung, dass es bei Schießlärm selten, aber eben dann massiv zu lauten, beschwerdeträchtigen Schießtagen kommt.

Weitere Interpretationen müssen an dieser Stelle dem Leser überlassen bleiben.

## Epilog

In der Einleitung wurde unterschieden zwischen Pegel die ‚vorkommen‘ (Realverteilung) und ‚vorkommen können‘ (Potentialverteilung). Es ist nun klar, dass sich eine Realverteilung mit lokalen Randbedingungen (lokales Wetter) auf die zugehörige Potentialverteilung zurückführen lässt. Viele grundsätzliche Eigenschaften der Schallausbreitungssituation lassen sich bereits in der Potentialverteilung erkennen, verstehen und im Lärmschutz berücksichtigen.

## Literaturhinweise

- [1] DIN ISO 9613-2: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien. Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren. Berlin: Beuth Verlag
- [2] VDI 3745 Blatt 1: Beurteilung von Schießgeräuschimmissionen
- [3] VDI 4101 Schallausbreitung im Freien unter Berücksichtigung meteorologischer und topographischer Bedingungen — Teil 1: Phänomene und Verfahren, Entwurf 2015
- [4] „Harmonoise.“, Technical Report HAR 22TRO20222 TN001.doc 20-02-2002 WP2 team
- [5] 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
- [6] VDI 2720 Blatt: Schallschutz durch Abschirmung im Freien

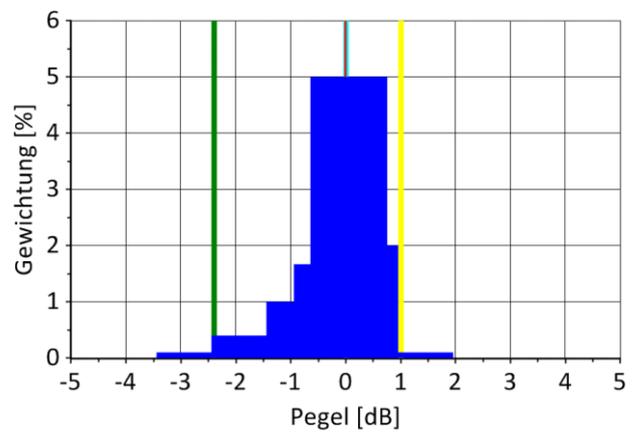
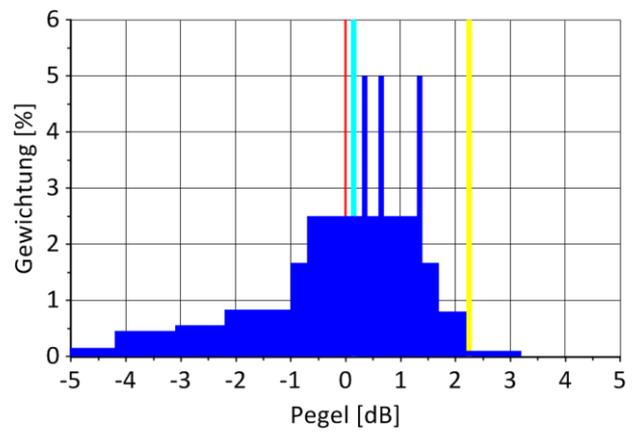
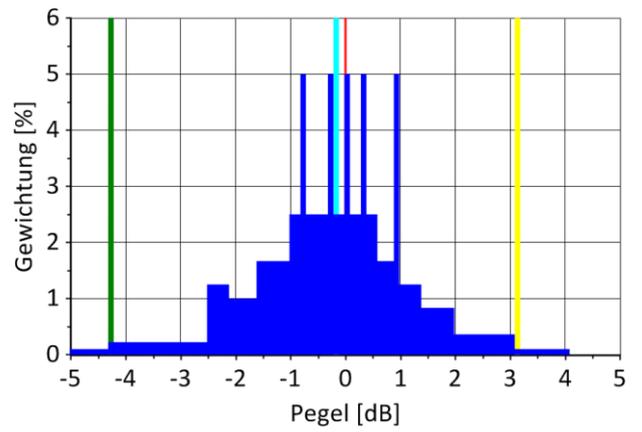
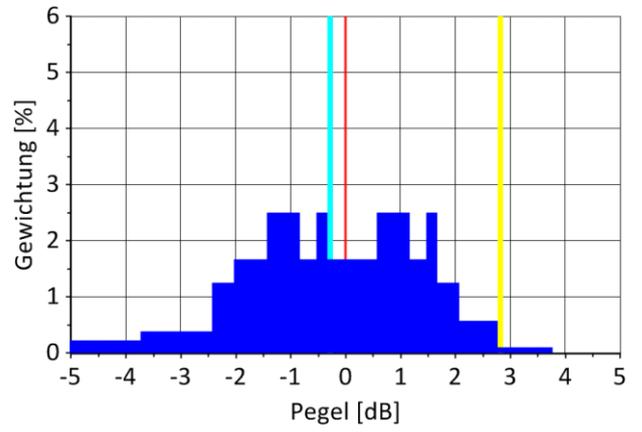
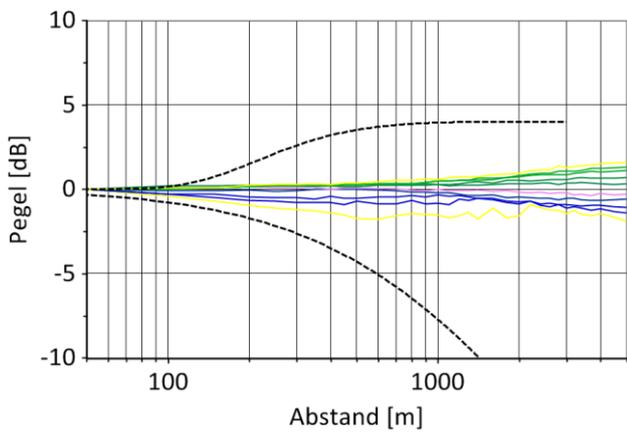
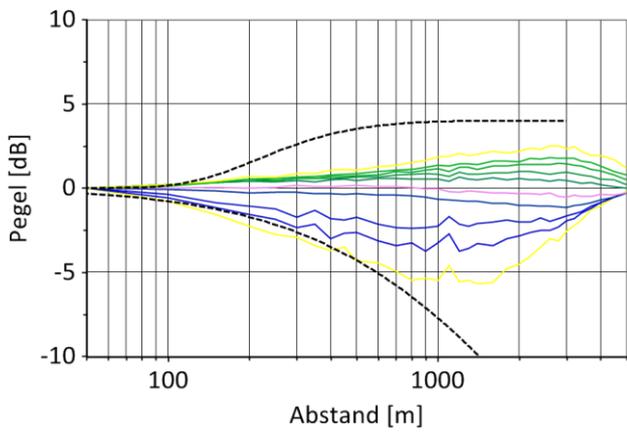
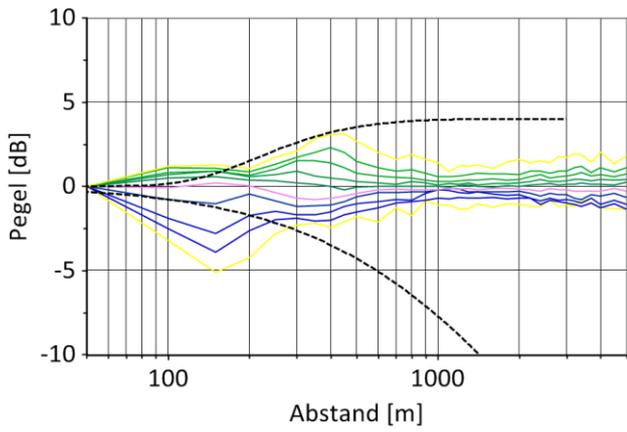
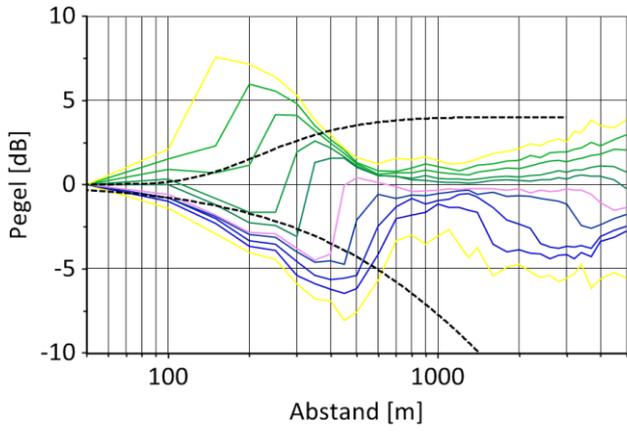


Abbildung 1 Abstandsabhängigkeit der Perzentile  
 Szenario: Industrieräusch, freie Schallausbreitung  
 von oben nach unten CRM, HAR, ISO, ISA

Abbildung 2 Rekonstruierte Potentialverteilung in 800 m Abstand  
 Szenario: Industrieräusch, freie Schallausbreitung  
 von oben nach unten CRM, HAR, ISO, ISA

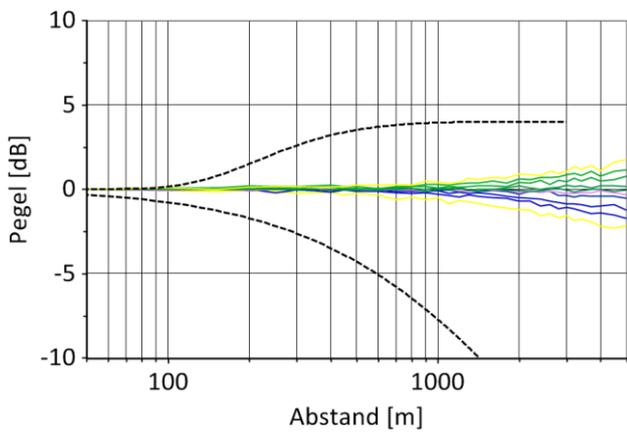
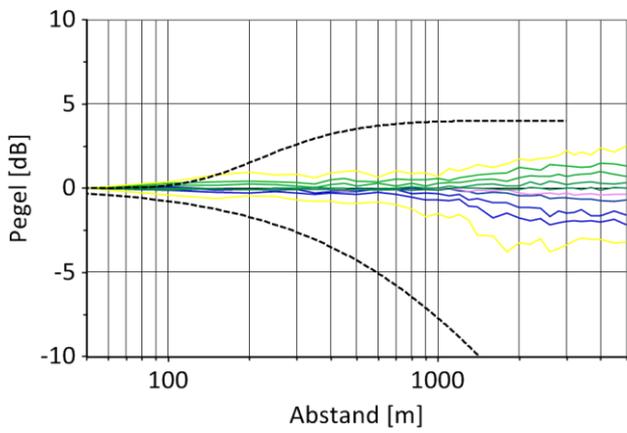
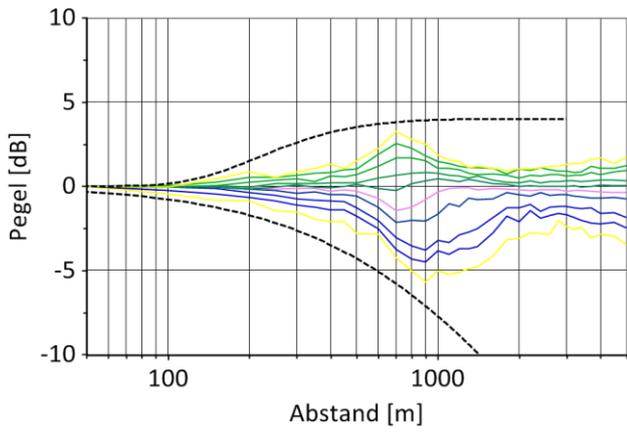
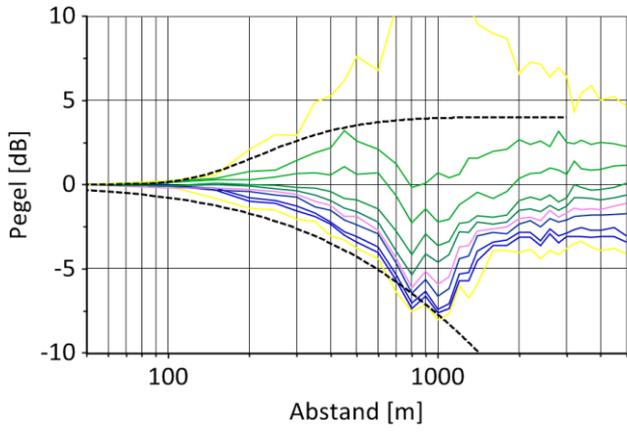


Abbildung 3 Abstandsabhängigkeit der Perzentile  
 Szenario: Gewehrschuss im Schießstand, geschirmt  
 von oben nach unten CRM, HAR, ISO, ISA

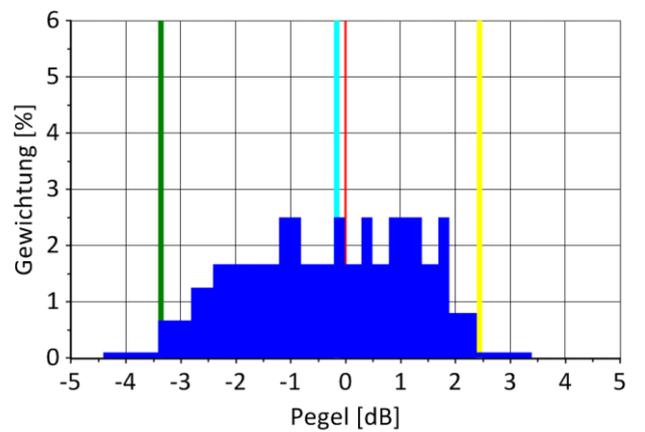
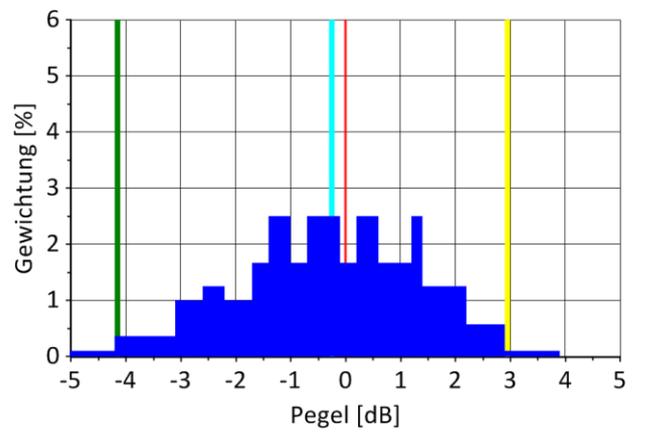
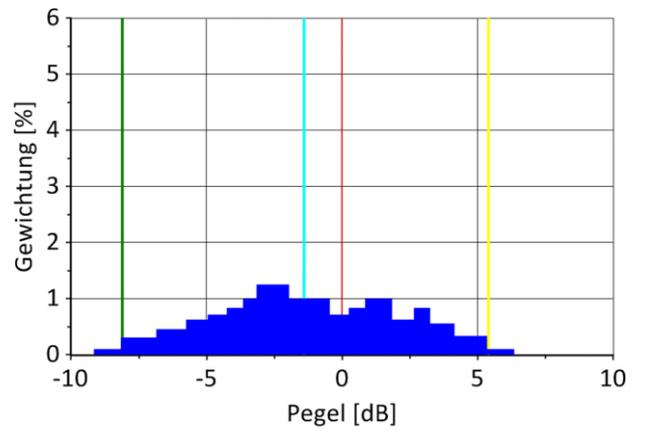
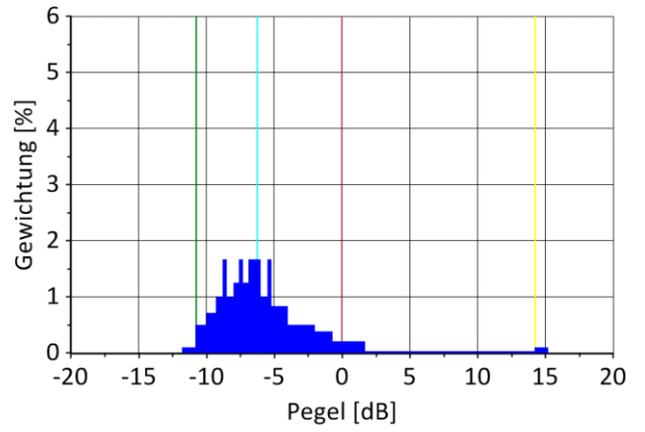


Abbildung 4 Rekonstruierte Potentialverteilung in 800 m Abstand  
 Szenario: Gewehrschuss im Schießstand, geschirmt  
 von oben nach unten CRM, HAR, ISO, ISA