

# Maßgebliche Immissionsorte bei großflächigen Anlagen mit vielen Teilanlagen am Beispiel eines Schießplatzes

Karl-Wilhelm Hirsch, Frank Hammelmann

Cervus Consult, [consult@cervus.de](mailto:consult@cervus.de)

## Einleitung

Der „maßgebliche Immissionsort“ ist ein entscheidendes Element im Beurteilungsverfahren der TA Lärm [2]. Es ist der „Ort im Einwirkungsbereich der Anlage, in dem eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte am ehesten zu erwarten ist. Es ist derjenige Ort, für den die Geräuschbeurteilung vorgenommen wird.“ (Zitat TA Lärm 2.3). Der maßgebliche Immissionsort steht damit repräsentativ für die gesamte Nachbarschaft, die nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz [1] vor erheblichen Belästigungen zu schützen ist. Nach TA Lärm kann es nur einen geben.

Erst im Anhang A.1.2 legt die TA Lärm fest, wie der Betrieb einer Anlage bei der Festlegung der maßgeblichen Immissionsorte zu würdigen ist. Sie nutzt den Begriff ‚Betriebsart‘, um zu beschreiben, dass eine Anlage unterschiedlich genutzt werden kann und dann für jede Nutzung – eben für jede Betriebsart – unterschiedliche, für diese Betriebsart spezifischen maßgebliche Immissionsorte geben kann. Sie überlässt es dann im Anhang A.1.2 den zuständigen Behörden, die maßgeblichen Immissionsorte festzulegen.

Bei einem Steinbruch, der die Betriebsarten ‚Gewinnungssprengung‘ und ‚Schotter-Abverkauf‘ haben möge, wird das noch gehen, die beiden Betriebsart-spezifischen Immissionsorte zu bestimmen. Bei einem Schießplatz, auf dem typisch eine Vielzahl von Teilanlagen angetroffen werden, z. B. Feuerpositionen, Schießstände, Übungsräume für Rad- und Kettenfahrzeuge usw., wird es bereits komplex. Berücksichtigt man dann noch den sich täglich ändernde Mischbetrieb aller Teilanlagen mit ihren teilweise stark gerichteten Quellen, wird das Konzept des ‚maßgeblichen Immissionsortes‘ gesprengt. Der eine Ort wird sich also u. U. täglich ändern.

Besteht die Anlage beispielsweise aus einem Schießstand im Norden und einem im Süden, ist wohl zu erwarten, dass je nach Aufteilung des Schießbetriebs zwischen den Schießständen der maßgebliche Immissionsort entweder im Norden oder im Süden liegt. Der Beitrag zeigt zunächst, dass diese Erwartung nicht zutrifft, und beschreibt dann einen ermessensfreien Weg, einen Satz von Immissionsorten zu ermitteln, für den für einen beliebigen Mischbetrieb der Teilanlagen gilt: Wenn der Richtwert in keinem dieser Orte überschritten wird, wird er nirgendwo in der Nachbarschaft überschritten. Diese Immissionsorte sind deshalb auch die maßgeblichen Immissionsorte im Lärmmanagement eines Schießplatzes. Das Verfahren könnte allgemein auch auf andere großflächige Anlagen mit unterschiedlichen Geräuschquellen angewendet werden.

## Diskussion der Herausforderungen

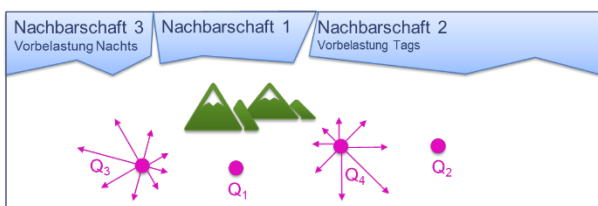


Abbildung 1 Eine beschränkt verallgemeinerte Situation

Abbildung 1 skizziert exemplarisch die Aufgabe, der sich die zuständige Behörde nach A.1.2 stellen muss. Die Anlage hat vier Teilanlagen mit jeweils unterschiedlichen Quellen.  $Q1$  und  $Q2$  seien ungerichtete Rauschquellen,  $Q3$  und  $Q4$  sind gerichtete Quellen. Sie liegen in einem teilweise abschirmenden Gelände vor drei unterschiedlichen Nachbarschaften mit spezifischen Richtwerten. Die Nachbarschaft 2 ist ‚tags‘, die Nachbarschaft 3 ‚nachts‘ vorbelastet. Um die Aufgabe einfacher zu machen, wird nur eine Betriebsart vorgegeben:  $Q1$  und  $Q2$  haben den gleichen Schallleistungspegel,  $Q1(Q2)$  wird nachts 3(1) Stunden und tags 8(5) Stunden betrieben. Auch  $Q3$  und  $Q4$  haben den gleichen Energiepegel (!) und die gleiche Richtcharakteristik. In  $Q4$  wird halb so oft geschossen wie in  $Q3$ . Natürlich liegen für tags und nachts verschiedene Langzeit-Windrosen vor. Das  $C_{met}$  unterscheidet sich tags und nachts und damit auch die maßgeblichen Immissionsorte für die beiden Beurteilungszeiten.

Aus Vorwissen ist hier kein Vorschlag für die Lage des maßgeblichen Immissionsortes abzuleiten. Aber man kann die Beurteilungspegel berechnen. Die einzige Strategie – der Königsweg –, die sicher zum Ziel führt, ist die regelkonforme Berechnung des Pegels nach DIN ISO 9613 [3] in der gesamten Nachbarschaft. Gäbe es keine Geländeschirmung würde die Berechnung auf den Rändern der Nachbarschaften genügen, so aber muss die Fläche berücksichtigt werden, weil Orte auf den Rändern stärker abgeschirmt sein können als irgendwo in der Fläche. Die Orte mit dem jeweils höchsten Beurteilungspegel tags bzw. nachts sind die maßgeblichen Immissionsorte dieser Betriebsart.

### Anmerkung

Wie die Behörde, die dieser Strategie wohl in der Praxis nicht folgen kann, die maßgeblichen Immissionsorte festlegt, sei dahingestellt. Offensichtlich kommt die Entscheidung ohne einen erheblichen Ermessensspielraum nicht aus. Ein Ermessen konterkariert aber alle Bemühungen der Qualitätssicherung.

## Ausgedehnte Anlagen mit vielen Quellen

Schießplätze sind neben großen Industrieanlagen der Fall mit größter Komplexität. Auf einer Fülle von Teilanlagen (Größenordnung 100), auf denen eine Vielzahl von unterschiedlichen Waffen und Munition eingesetzt werden, mit unterschiedlicher Energiepegeln und Richtcharakteristik und das Fahren mit schwerstem Gerät in großen Übungsräumen sind eher die Regel als die Ausnahme. Die Anlagenfläche reicht von einigen Quadratkilometern bis zu 250 km<sup>2</sup>. Die Nachbarschaften reihen sich entlang einer Anlagenkante, die durchaus 100 km lang sein kann. Der tägliche Mischbetrieb der Teilanlagen wiederholt sich praktisch nie. Es ergibt sich eine lange Liste von Betriebsarten, um es mit der TA Lärm zu sagen.

Der ‚Königsweg‘ ist in der Praxis viel zu aufwendig. Es muss eine andere Strategie gefunden werden, die auf einem ermessensfreien Weg zu einer Liste von maßgeblichen Immissionsorten, die für alle Betriebsarten zu einer Abschätzung des maßgeblichen Beurteilungspegels führt. Die Bestimmung der

Immissionsorte wird von Unsicherheiten begleitet sein, die aber angebbare sein müssen. Ein solcher Weg wird im Folgenden skizziert.

#### Anmerkung

*Es ist aus vielen Gründen nicht sachgerecht, den Betrieb einer Teilanlage isoliert zu betrachten und den Betrieb der anderen Teilanlagen als Vorbelastung zu berücksichtigen. Nur ein Grund: Der Betrieb der Teilanlagen ist nicht unabhängig voneinander. Sie sind – zumindest bei Schießplätzen - durch die Schießsicherheit gegenseitig beschränkend verbunden.*

### Definitionen

#### Vorbemerkung

Dier folgenden Definitionen in diesem Beitrag lehnen sich an [4] an. Ein vollständiger Satz von einschlägigen Definitionen erfolgt an anderer Stelle.

#### Quelle

Eine Quelle ist hier eine Punktschallquelle mit gegebener Quellstärke und Richtcharakteristik in einem gegebenen Ort auf der Anlage. Der Betrieb der Quelle wird als Folge von Ereignissen (s. [5]) beschrieben. Das macht den Betrieb zählbar, z. B. als Anzahl von Schüssen oder als Anzahl von Betriebsminuten bei Dauerschallquellen. Der Betrieb jeder Quelle  $Q_i$  lässt sich also durch die Anzahl  $N_{Q_i}$  kennzeichnen.

#### Betriebszustand

Der Betriebszustand einer Anlage lässt sich durch die Angabe der Anzahl  $N_{Q_i}$  vollständig beschreiben. Die  $N_{Q_i}$  lassen sich als Vektor  $\underline{N}$  mit den Komponenten  $N_{Q_i}$  auffassen.

#### „Native maßgebliche Immissionsorte“

In der Liste der möglichen  $\underline{N}$  treten die hervor, bei denen nur eine einzige Quelle in Betrieb ist. Für diese Betriebszustände lassen sich aufwandsarm und streng regelkonform die zugehörigen maßgeblichen Immissionsorte  $nIO_i$  bestimmen. Mit einigem Unbehagen bei der Wortwahl werden diese Betriebszustände ‚native‘ Betriebszustände und die zugehörigen maßgeblichen Immissionsorte im Folgenden ‚native‘ Immissionsorte genannt.

#### Belastungszahl

Die Anzahl  $N_{Q_i}$ , bei der der Beurteilungspegel in dem nativen Immissionsort den Richtwert gerade noch nicht überschreitet, heißt Belastungszahl  $B_{Q_i}$ . Betreibt man die Quelle mit ihrer Belastungszahl wird Auslastung  $A$ , s. u., der Anlage gerade Vollauslastung ( $A = 100\%$ ) in ihrem nativen Immissionsort erreicht.

#### Konflikt, Auslastung

Der Konflikt  $K$  ist allgemein die Differenz des Beurteilungspegels zum Richtwert. Die Auslastung  $A$  ist die korrespondierende Angabe des Konflikts in Prozent nach Gl. 1.

$$A = 100 \cdot 10^{K/10} [\%] \quad \text{Gl. 1}$$

Einem Konflikt von 0 dB (-3 dB) entspricht also einer Auslastung von 100 % ( $\approx 50\%$ ).

#### Auslastungszahl

Der Kehrwert der Belastungszahl ist die ‚Auslastungszahl‘. Die Auslastungszahl  $a_{Q_i, nIO_i}$  gibt beispielsweise an, wieviel Prozent der einmalige Betrieb (1 Minute oder 1 Schuss) der Quelle  $Q_i$  im Immissionsort  $nIO_i$  zur Auslastung beiträgt.

## Konzept für die Beurteilung komplexer Anlagen

Mit den oben eingeführten Begriffen lässt sich die Vorgehensweise beschreiben, das Konzept des maßgeblichen Immissionsortes auch auf große Anlagen mit vielen Quellen anzuwenden.

Werden alle Quellen der Anlage betrieben, tragen sie auch anteilig zur Auslastung in den nativen Immissionsorten der jeweils anderen bei. Diese Beiträge lassen sich ebenfalls durch Auslastungszahlen bemessen. Die Auslastungszahl  $a_{Q_i, nIO_j}$  gibt's also an, mit wieviel Prozent ein Ereignis von  $Q_i$  zur Auslastung in  $nIO_j$  beiträgt.

Für die Auslastung in  $nIO_j$  gilt dann

$$A_{nIO_j} = \sum_i a_{Q_i, nIO_j} N_{Q_i} \quad \text{Gl. 2}$$

Man kann diese Summenbildung für alle Immissionsorte übersichtlich mit einer Matrixgleichung, Gl. 3, darstellen. Durch Multiplikation des Vektors  $\underline{N}$  der Anzahl der Ereignisse der Quellen mit der Matrix der Auslastungszahlen  $\underline{a}$  entsteht der Vektor der Auslastungen  $\underline{A}$  in den nativen maßgeblichen Immissionsorten, Gl. 4.

$$\begin{bmatrix} A_{nIO_1} \\ A_{nIO_2} \\ A_{nIO_n} \\ \underline{L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{Q_1, nIO_1} & a_{Q_2, nIO_1} & a_{Q_3, nIO_1} \\ a_{Q_1, nIO_2} & a_{Q_2, nIO_2} & a_{Q_3, nIO_2} \\ a_{Q_1, nIO_3} & a_{Q_2, nIO_3} & a_{Q_3, nIO_3} \\ \underline{L} & \underline{L} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_{Q_1} \\ N_{Q_2} \\ N_{Q_3} \\ \underline{L} \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 3}$$

$$\underline{A} = \underline{a} \underline{N} \quad \text{Gl. 4}$$

Der Vektor  $\underline{N}$  kennzeichnet den Betriebszustand. Der Vektor der  $\underline{A}$  kennzeichnet die Auslastung. Die Matrix  $\underline{a}$  beschreibt anlagenspezifisch die Wirkung des Betriebs auf die Lärmbelastung der Nachbarschaft.

Aus der Liste der möglichen  $\underline{N}$  wurden bereits die nativen Betriebszustände herausgehoben, bei denen jeweils nur ein  $N_{Q_i} > 0$  ist. Es ist offensichtlich, dass sich Betriebszustände in ihrem Wesen nicht unterscheiden, wenn für sie Gl. 5 gilt.

$$\underline{N}_k = f \underline{N}_V \quad \text{Gl. 5}$$

Dabei ist  $f$  ein einfacher Faktor. Diese Betriebszustände haben notwendigerweise denselben maßgeblichen Immissionsort. In diesem Sinne ist  $N_V$  gerade der Betriebszustand, der hier als Repräsentant der Betriebsart eingeführt wird, der wie folgt festgelegt wird:

$$\begin{bmatrix} A_{nIO_1} \\ A_{nIO_2} \\ A_{nIO_n} \\ \underline{L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{Q_1, nIO_1} & a_{Q_2, nIO_1} & a_{Q_3, nIO_1} \\ a_{Q_1, nIO_2} & a_{Q_2, nIO_2} & a_{Q_3, nIO_2} \\ a_{Q_1, nIO_3} & a_{Q_2, nIO_3} & a_{Q_3, nIO_3} \\ \underline{L} & \underline{L} & \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{Q_1} B_{Q_1} \\ b_{Q_2} B_{Q_2} \\ b_{Q_3} B_{Q_3} \\ \underline{L} \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 6}$$

In Gl. 6 wird die Anzahl der Quellen  $N_{Q_i}$  durch das Produkt einer relativen Belastungszahl  $b_{Q_i}$  in Prozent mit der Belastungszahl  $B_{Q_i}$  ersetzt. Für die relativen Belastungszahlen gilt für  $\underline{N}_V$  als Nebenbedingung Gl. 7.

$$\sum_i b_{Q_i} = 100\% \quad \text{Gl. 7}$$

Die Repräsentanten der Betriebsarten unterscheiden sich also durch das Verhältnis der Nutzungen der Quellen. Wenn bei drei Quellen das Verhältnis der  $b_Q$  (60/30/10) für die Betriebsart gilt, ist (30/15/5) als Betriebszustand dieser Betriebsart aufzufassen.

$$\sum_i b_{Qi} \leq 100 \% \quad \text{Gl. 8}$$

Aus Gl. 7 wird die Managementbedingung in Gl. 8 mit der Behauptung abgeleitet, wenn Gl. 8 gilt, ist sichergestellt, dass in der Nachbarschaft nirgendwo der Richtwert überschritten wird.

Es ist zu betonen, dass das vorgestellte Konzept bis auf die Managementbedingung ermessensfrei und eindeutig ist. Es ist lediglich eine möglicherweise ungewohnte Darstellung des Konzeptes des maßgeblichen Immissionsortes der TA Lärm.

### Unsicherheit des Konzepts

Es ist nicht auszuschließen, ja sogar zu erwarten, dass es neben den nativen maßgeblichen Immissionsorte weitere Immissionsorte gibt, die in Abhängigkeit vom Betriebszustand maßgeblich werden; Orte also, in denen die Auslastung höher ist als 100 %, obwohl in keinem der nativen Immissionsorte eine Überschreitung angezeigt wird. Der oben skizzierte Weg ist also zunächst lediglich eine Näherung mit Unsicherheiten.

Es lässt sich allerdings prüfen und quantifizieren, wie groß diese Unsicherheiten ist, weil man die Ergebnisse dieses Weges mit den Ergebnissen des Königswegs vergleichen kann.

Der Vergleich muss für alle möglichen Betriebsarten  $\underline{N}_V$  gelten. Bei einer komplexen Anlage, beispielsweise für einen Schießplatz der Bundeswehr, lässt sich keine abschließend vollständige Liste der Betriebsarten angeben. Der Vergleich muss deshalb auf einer statistischen Analyse beruhen.

Bei dieser Analyse sind die möglichen  $\underline{N}_V$  die Grundgesamtheit, die über Stichproben mit einer festlegbaren Anzahl an Einzelfällen abzuprüfen sind. Dies lässt sich numerisch in einem einfachen Ansatz umsetzen.

Man erhält einen Einzelfall, in dem man die für jede Quelle eine Zufallszahl zwischen 0 und 1 bestimmt. Damit ist das Verhältnis der relativen Betriebszahlen bestimmt. Durch eine

Normierung kann man daraus die relativen Belastungszahlen nach Gl. 7 bestimmen.

Im Sinne der Managementbedingung liegt nun ein Betriebszustand vor, der gerade noch zu keiner Überschreitung der Richtwerte in der gesamten Nachbarschaft führt.

Dies lässt sich durch Anwendung des Königswegs prüfen. Für die Betriebszahlen jedes Einzelfalls wird in jedem Ort der Nachbarschaft der Beurteilungspegel bzw. der Konflikt bestimmt. Der Ort des größten Konflikts ist der maßgebliche Immissionsort dieser Betriebsart. Dieser Ort muss keiner der nativen maßgeblichen Immissionsorte sein. Diese spielen beim Königsweg keine Rolle.

Der größte Konflikt kann negativ oder positiv sein. Falls die Managementbedingung gilt, sollte er allerdings negativ sein. Denn dann ist sichergestellt, dass die Managementbedingung hinreichend ist, um die Anlage im Sinne der TA Lärm regelkonform zu betreiben.

Das Ergebnis des Vergleichs lässt sich anschaulich als Verteilung der Konflikte der Einzelfälle in den sich jeweils ergebenden maßgeblichen Immissionsorte darstellen.

### Beispiel

#### Die Anlage

Der Analyse wird an einem Beispiel erläutert. Abbildung 2 skizziert einen Schießplatz mit 7 Quellen, die in den eingezeichneten Teilanlagen betrieben werden. Dauergeräusche und Sprengungen sind ungerichtet. Die Mündungsknalle der Gewehrshüsse sind gerichtet. Die Schießrichtung auf den Feuerpositionen sind als Pfeile eingetragen. Zu schützende Nachbarschaft (N) befindet sich im Westen (N4: allgemeines Wohngebiet; N5: Mischgebiet) und im Norden (N2, N1, N3: Mischgebiet; N3 ist mit 55 dB in der Beurteilungszeit Tags vorbelastet). Es werden realistische Quellstärken und Richtcharakteristiken verwendet. Die meteorologische Korrektur  $C_{met}$  wird berücksichtigt.

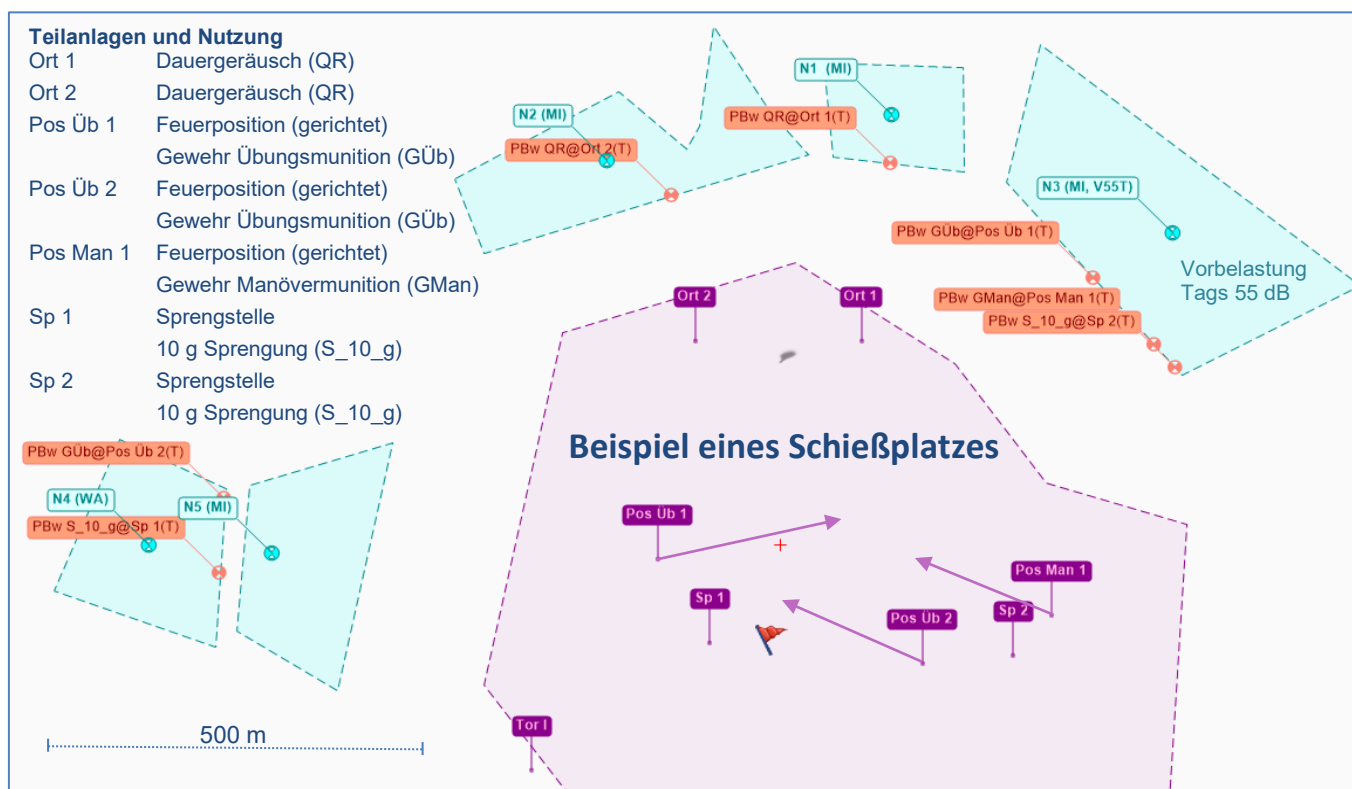


Abbildung 2 Skizze eines Schießplatzes mit Darstellung der Lage der Quellorte und der Nachbarschaft

## Ermittlung der nativen maßgeblichen Immissionsort

Die Ausbreitungsrechnung und die folgende Analyse wird mit der Bundeswehr-eigenen Software ShoMo durchgeführt, die die Konzepte von LeitGeStand [4] umsetzt und auf Schießplätze erweitert.

Bei der Berechnung der Immissionspegel zur Bestimmung der maßgeblichen Immissionsorte werden die Umrundungen der Nachbarschaften mit einer Auflösung von 20 m abgetastet. Dies ist hinreichend, weil keine Geländeschirmung zu berücksichtigen ist.

Es wird im Folgenden nur die Beurteilungszeit Tags behandelt. Die zugehörigen nativen maßgeblichen Immissionsorte der 7 Quellen sind in Abbildung 2 rot eingetragen. Ihre Bezeichnung ist in Abbildung 3 angegeben.

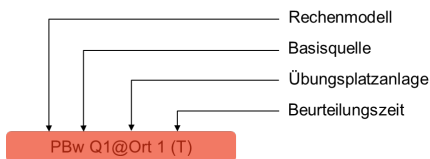


Abbildung 3 Kennzeichnung der maßgeblichen Immissionsorte

### Anmerkung

Die sich aus der Rechnung ergebenden Lage der maßgeblichen Immissionsorte hätte man mit aller Erfahrung und Vorwissen wohl nicht so bestimmt. Man betrachte beispielsweise GÜb@Pos Ü 2.

## Statistische Analyse

Für den Mischbetrieb des Schießplatzes wird eine Analyse der Unsicherheit der Managementbedingung nach Gl. 8 durchgeführt. Es wird eine Stichprobe von 5000 Betriebsarten untersucht, die jeweils die Gl. 7 für die nativen maßgeblichen Immissionsorte erfüllen. In der Stichprobe treten insgesamt 20 unterschiedliche maßgebliche Immissionsorte auf. Dazu gehören auch die nativen Immissionsorte GÜb@Pos Ü 1, GMan@Pos Man 1, QR@Ort 2 und S\_10\_g@Sp 2. Die anderen werden nicht wirksam.

Die mit Hilfe der nach Gl. 7 bestimmten Betriebszustände, die einer Vollaustattung einer Betriebsarten entsprechen, sollten in den tatsächlich maßgeblichen Immissionsorte keinen Konflikt größer 0 dB anzeigen, sondern eher negative Konflikte.

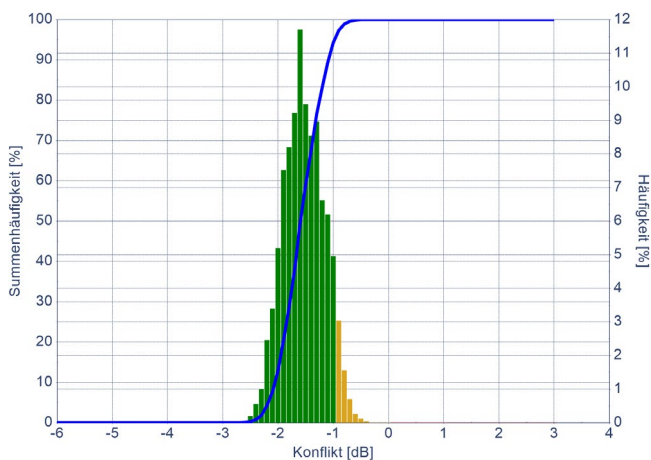


Abbildung 4 Verteilung des mittleren Konflikts über alle maßgeblichen Immissionsorte der Stichprobe von 5000 Belegungen; Summenkurve blau; Konflikte < -1 dB grün, Konflikte -1 dB bis 0 dB gelb

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der mittleren Konflikte in den 20 maßgeblichen Immissionsorte des Königswegs für die

Stichprobe. Die Verteilung wurde mit einer Klassenbreite von 0,1 dB ermittelt.

## Schlussfolgerung

Für den betrachteten Schießplatz mit den 7 verfügbaren Quellen ergibt sich für einen nach Gl. 8 überwachten Betrieb eine mittlere Unterschätzung von ca. 1,8 dB. Die Nicht-Überschreitung des Richtwertes in der gesamten Nachbarschaft ist sichergestellt. Die verbleibende Unsicherheit, dass bei anderen Betriebszustände dennoch eine Überschreitung zu beobachten ist, ist sicher ein ‚seltenes Ereignis‘, das die Gültigkeit der Aussage nicht schmälert.

Für diese Schießplatz kann man feststellen, dass ein Lärmmanagement nach Gl. 8 immanent eine Vorsorge enthält. Diese Vorsorge lässt sich mit Hilfe der statistischen Analyse sicherstellen und quantifizieren.

Die oben vorgestellte Methode wurde auch auf andere Anlagen angewandt. Es gibt sehr wohl Anlagen mit einer Nachbarschaft, in der in wenigen Stichproben eine Anzahl von maßgeblichen Immissionsorten ermittelt wurden, die einen Konflikt von > 0 dB aufwiesen. Bisher wurde aber nur eine Überschreitung von maximal 0,2 dB mit einer Häufigkeit von weniger als 2 % gesehen.

## Fazit

Das Konzept der Lärmbeurteilung mit ‚nativen maßgeblichen Immissionsorten‘ lässt sich auf jede Anlage übertragen. Der Vorteil dieses Konzepts ist die klare Trennung zwischen den Eigenschaften der Anlage (ausgedrückt durch die Matrix  $\underline{a}$ ) und ihrem Betrieb (ausgedrückt durch den Vektor  $\underline{N}$ ). Es ist ermessensfrei, wenn eine TA-Lärm-konforme Berechnung der Immissionspegel in der gesamten Nachbarschaft durchgeführt wird.

Das Konzept eröffnet bei einer komplexen Anlage die Möglichkeit, den Betrieb mit Blick auf den auf den Lärmschutz so zu beschränken, dass alle Richtwerte eingehalten werden. Die Beschränkung (und damit die immissionsrechtliche Genehmigung) muss lediglich die anlagenspezifische Matrix  $\underline{a}$  nach Gl. 6 enthalten und die Einhaltung der Managementbedingung nach Gl. 8 vorschreiben. Damit reduziert sich die Betriebsbeschreibung auf die Angabe von potenziellen Quellen auf den Teilanlagen. Die Angabe einer konkreten Nutzung ist überflüssig.

## Verweise

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG)
- [2] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm vom 26. August 1998. GMBL.
- [3] DIN ISO 9613-2: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien. Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren. Berlin: Beuth-Verlag, Oktober 1999
- [4] Schallimmissionsschutz an Schießständen, Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen -LeitGeStand-, Stand 02.03.2015, Herausgeber Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
- [5] Hirsch, K.-W.: „Von Ereignissen und ihren Pegeln - nicht nur bei Schießlärm“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2024, Hannover