

Verkehrsgläusche militärischer Fahrzeuge beim Fahren im Gelände

Karl-Wilhelm Hirsch

Cervus Consult, hirsch@cervus.de

Einleitung



Abbildung 1 LKW in schwerem Gelände

Schallimmissionsprognosen für den öffentlichen Verkehr werden in Deutschland nach der RLS-19 [1] erstellt. Dort werden Vorbeifahrten von PKW, LKW, schweren LKW und Motorrädern auf typischen Straßenoberflächen berücksichtigt. Militärische Fahrzeuge im öffentlichen Straßennetz lassen sich sachgerecht diesen Gruppen zuordnen. Etwaige Besonderheiten, z. B. Kettenfahrzeuge, spielen nur in sehr seltenen Fällen eine Rolle und können dann über eine einfache Gewichtung berücksichtigt werden.

Fahren militärische Fahrzeuge auf Übungsplatzanlagen von Truppenübungsplätzen oder Standortübungsplätzen, sind diese Szenarien nicht mehr mit dem Fahren auf Straßen zu vergleichen. Es wird über Feldwege, über geschotterte Wege, über Sandwege oder im tiefen Gelände gefahren. Besondere Geländestrecken weisen kurze, massive Steigungen auf, auf denen angehalten und angefahren wird. Bei dem vorgeschriebenen Einrichtungsverkehr auf diesen Strecken wirkt sich die massive Richtcharakteristik der Antriebsgeräusche von Panzern signifikant auf die Lärmbelastung in der Nachbarschaft aus. Bei einigen Übungen, bei denen beispielsweise die Motoren Zusatzaggregate antreiben, fahren die Fahrzeuge gar nicht. Die Antriebsgeräusche (Motor, Auspuff) spielen auf Übungsplätzen deshalb im Vergleich zu den auf der Straße dominierenden Abrollgeräuschen eine viel größere Rolle.



Abbildung 2 Kettenfahrzeug im Gelände

Die Vorstellung des detaillierten Modells zur Berechnung der Verkehrsgläusche beim Fahren im Gelände sprengt den Rahmen dieses Beitrags. Der Beitrag konzentriert sich deshalb auf die Problemanalyse und auf

die Grundsätze des Modellansatzes, die die RLS-19 so erweitern, dass das Fahren im Gelände kompatibel zu ihrem Konzept berücksichtigt werden kann. Dieses erweiterte Modell wird hier ‚Prognosemodell der Bundeswehr für Verkehrsgläusche, kurz ProMoBw-Verkehr‘, genannt.

Anwendungsbereich

ProMoBw-Verkehr soll für die Prognose des Verkehrslärms von Schießplätzen der Bundeswehr eingesetzt werden. Dieser Lärm ist nach TA Lärm [2] zusammen mit anderen Anlagengeräuschen zu beurteilen. Das Modell muss sowohl auf den Verkehr im Gelände als auch auf den Verkehr auf den Straßen, die dem Öffentlichen Straßen gleichzusetzenden sind, anwendbar sein. Es unterstützt die Akzeptanz und die Rechtssicherheit, wenn sich ProMoBw-Verkehr so eng wie möglich an die RLS-19 anlehnt.

Herausforderungen

1. Kompatibilität zur RLS 19

Das hier diskutierte Rechenverfahren zur Prognose der Verkehrsgläusche beim Fahren im Gelände mit Fahrzeugen aller Art soll im Rahmen der Verwaltungsakustik anwendbar sein. Es darf den Konzepten der TA-Lärm und der RLS 19 nicht widersprechen und muss - wie die RLS 19 selbst - qualitätssicherbar sein. Das erscheint zunächst trivial; Die Forderung schränkt aber die Beschreibung physikalischer Aspekte ein, die man anders formuliert hätte, wenn man ‚disruptiv‘ sein könnte.

2. ‚Schneller ist lauter‘

Die RLS-19 geht von einem sogenannten Ein-Quellen-Modell aus. Das heißt, das Fahrgeräusch, das sich im Wesentlichen aus Abroll-, Motor-, Auspuff- und Strömungsgeräusch zusammensetzt, wird formal zu einer Quelle zusammengefasst. Für diese Quelle stellt die RLS-19 für den typischen Betrieb auf öffentlichen Straßen eine Sammlung von Formeln zur Verfügung, die abhängig von Fahrzeugklassen und von der Situation eine qualitätssicherbare Prognose eines Immissionspegels liefern. Keine der Formeln nimmt für sich in Anspruch, einen physikalischen Hintergrund zu haben. Es ist ein technisches Modell, das seinen Zweck für den Anwendungsbereich erfüllt.

Im Gelände gilt aber nicht ‚schneller ist lauter‘, sondern ‚langsamer ist lauter‘. (Der Begriff ‚lauter‘ wird hier als umgangssprachliches Synonym für einen höheren Schallleistungspegel verwendet.) Ein Fahrzeug auf einer Hindernisstrecke im Gelände wird mit hoher Motorleistung nur langsam vorankommen. Abrollgeräusche spielen im Gelände bei den typischen Geschwindigkeiten sicher keine Rolle. In einem Immissionsort wird der Vorbeifahrtpegel also zunehmen je länger das Fahrzeug braucht.

Für die Fahrgeräusche aus dem Gelände ist es deshalb erforderlich, zumindest eine zweite Quelle einzuführen, mit der das ‚langsamer ist lauter‘ modelliert werden kann. Die erste Quelle für das ‚schneller ist lauter‘ also die Quelle der RLS 19 wird im Folgenden mit dem Abrollgeräusch und die Quelle ‚langsamer ist lauter‘ mit dem Antriebsgeräusch in Verbindung gebracht. Beides sind Ersatzquellen im Sinne eines technischen Modells.

3. Richtcharakteristik

Eine Vernachlässigung der Richtcharakteristik ist beim Fahren im Gelände nicht mehr sachgerecht. Dies gilt unbestreitbar bei Panzern, bei denen die Auspufföffnungen nach hinten gerichtet sind. Beispielsweise wird unter 90% Volllast nach hinten ein 11 dB höherer Pegel gemessen als nach vorne. Bei Teillast reduziert sich diese Exzentrizität des Richtwirkungsmaßes allerdings signifikant.

Man könnte auf den ersten Blick vermuten, dass sich bei einem Zweirichtungsverkehr der Einfluss der Richtcharakteristik herausmittelt. Das ist nicht so! In Richtung des Fahrwegs ist es bei dieser Exzentrizität immer lauter als zur Seite. Es kommt hinzu, dass Hindernisstrecken in den meisten Fällen nur in eine Richtung befahren werden. Dann ist die Richtcharakteristik signifikant.

4. Fahrwegbeschaffenheit

Die Beschaffenheit der Fahrwege im Gelände unterscheidet sich signifikant von der einer asphaltierten Straße. Sandwege, Feldwege und Fahrstrecken auf Schießbahnen, aber auch geschotterte Wege



Abbildung 3 Feldweg

sind typische Fahrwegoberflächen. Die ersten drei genannten reduzieren das Abrollgeräusch massiv. Geschotterte Straßen führen zu einem höheren Abrollgeräusch als bei einer asphaltierten Straße. Grundsätzlich ist die Berücksichtigung der Fahruntergrundes mit der RLS-19 eingeführten Korrektur zu beschreiben.

5. Fahrzeugklassen

Neben den in der RLS-19 eingeführten Fahrzeugklassen werden unter militärischen Aspekten noch eine besondere Klasse von Geländekraftwagen (GKW) und zwei Klassen für Kettenfahrzeuge, ‚leichte Kettenfahrzeuge‘ (SP) und ‚schwere Kettenfahrzeuge‘ (KP), benötigt. Alle militärischen Radfahrzeuge werden ihren entsprechenden zivilen Klassen zugeordnet.

Es ist bei der Klassierung der Fahrzeuge zu beachten, dass sie sehr breit angelegt ist. Die Klasse PKW umfasst sowohl einen Kleinwagen als auch einen schweren SUV. Die Klasse ‚leichte Kettenfahrzeuge‘ erfasst Fahrzeuge bis 45 t. Die Klasse ‚schwere Kettenfahrzeuge‘ solche ab 45 t. Auch diese Klassen umfassen jeweils viele unterschiedliche Kettenfahrzeuge. Eine detailliertere Klassierung, wie z. B. bei Flugzeugen in der AzB [4], wäre im Sinne der RLS-19 nicht angemessen.

ProMoBw-Verkehr

Emissionsmodell

Die Hauptaufgabe bei der Entwicklung eines Berechnungsmodells für den Verkehrslärm, das sowohl für den öffentlichen Straßenverkehr als auch für das Fahren im Gelände anwendbar ist, besteht in der sachgerechten Trennung der Quellen für das Abrollgeräusch und für das Antriebsgeräusch, Definition s. o. Diese Trennung muss zu einem Modell führen, das für die Fahrzeugklassen und die Situationen der RLS-19 zu vergleichbaren (soll heißen zu nicht signifikant unterschiedlichen) Ergebnissen führt.

In ProMoBw-Verkehr wird jedes Fahrzeug durch einen Grundwert gekennzeichnet, der sowohl die Quellstärke des Antriebsgeräuschmodells als auch des Abrollgeräuschmodells festgelegt. Dieser Grundwert ist bedeutungsgleich zum Grundwert des Schalleistungspegel nach Gleichung (6) der RLS-19 für eine Geschwindigkeit von 0 km/h. Er wird im Folgenden wie in der RLS-19 mit A_{FK} gekennzeichnet. Der Index FK kennzeichnet die Fahrzeugklasse.

Mit zunehmender Geschwindigkeit v_{kmh} erhöht sich der Schalleistungspegel L_W in der RLS-19 nach Gleichung (6), die hier als Gl. 1 in vereinfachter Notation eingeführt wird.

$$L_W = A_{FK} + 10 \lg \left[1 + \left(\frac{v_{kmh}}{B} \right)^c \right] \quad \text{Gl. 1}$$

In ProMoBw-Verkehr sind (in Abweichung von der RLS-19) B und C Konstanten nach Gl. 2 und Gl. 3.

$$B \equiv 10 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad \text{Gl. 2}$$

$$C \equiv 3 \quad \text{Gl. 3}$$

Im Zwei-Quellen-Modell ProMoBw-Verkehr wird angenommen, dass bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h die Beiträge der Antriebsgeräusche und der Abrollgeräusche gleich groß sind. Mit dieser empirischen Annahme lassen sich die spezifischen Quellstärken des Antriebsgeräusches und des Abrollgeräusches bestimmen oder – wenn man so will – das Antriebsgeräusch aus der Quelle der RLS-19 herausrechnen.

Nach Gl. 1 und den Setzungen in Gl. 2 und Gl. 3 beträgt die Schalleistung bei 30 km/h,

$$\begin{aligned} L_W &= A + 10 \lg \left[1 + \left(\frac{30 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{10 \frac{\text{km}}{\text{h}}} \right)^3 \right] \text{ dB} = 10 \lg [28] \text{ dB} \quad \text{Gl. 4} \\ &= A + 14,47 \text{ dB} \cong A + 15 \text{ dB} \end{aligned}$$

Anmerkung

In der RLS-19 wird mit den dort festgelegten Parametern A, B, C für den PKW die Korrektur zu 14,49 dB bestimmt.

In ProMoBw-Verkehr wird die Korrektur auf 15 dB festgesetzt. Daraus folgt die Aufteilung in Antriebsgeräusch und Abrollgeräusch nach Gl. 5.

$$\begin{aligned} L_{W,An} \left(30 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) &= L_{W,Ro} \left(30 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) \\ &= A_{FK} + 12 \text{ dB} \quad \text{Gl. 5} \end{aligned}$$

Anmerkung

In der vorstehenden Gleichung und allen folgenden wird der Index Ro zur Kennzeichnung einer Kenngröße des Abrollgeräusches und der Index An zur Kennzeichnung des Antriebsgeräusches verwendet.

In ProMoBw-Verkehr ist die Schalleistung des Antriebsgeräusches geschwindigkeitsunabhängig. Es wird unterstellt, dass Fahrzeuge in dem Bereich, in dem das Antriebsgeräusch signifikant zum Gesamtgeräusch beiträgt, mit derselben Motorleistung betrieben werden können.

Für die Schalleistung des Antriebsgeräusches gilt Gl. 6.

$$L_{W,An} = A_{FK} + 12 \text{ dB} \quad \text{für alle } v_{kmh} \quad \text{Gl. 6}$$

Die Schalleistung des Antriebsgeräusches wird allerdings vom Gelände abhängen, s.u.

Anmerkung

Bei höheren Geschwindigkeiten wird mehr Antriebsleistung erforderlich und der Schalleistungspegel wird steigen. Dieser Effekt spielt aber schon ab typisch 40 km/h keine signifikante Rolle, weil das Abrollgeräusch pegelbestimmend ist.

Für die Schalleistung des Abrollgeräusches gilt Gl. 7 für $v \geq 30 \text{ km/h}$ und Gl. 8 $v < 30 \text{ km/h}$.

$$L_{W,Ro} = 10 \lg \left[10^{\frac{1}{10} \left\{ A_{FK} + 10 \lg \left[1 + \left(\frac{v_{kmh}}{B} \right)^c \right] \right\}} - 10^{\frac{1}{10} \{ A_{FK} + 12 \text{ dB} \}} \right] \text{ dB} \quad \text{Gl. 7}$$

$$L_{W,Ro} = 0 \text{ dB} \quad \text{Gl. 8}$$

Die Setzung für Geschwindigkeiten kleiner 30 km/h auf 0 dB ist willkürlich. Sie sorgt dafür, dass das Abrollgeräusch in diesem Geschwindigkeitsbereich keine Rolle spielt.

Bei dieser Vorgehensweise wird die Kompatibilität zur RLS-19 verletzt. Bei Geschwindigkeiten (nach Maßgabe der RLS-19 ist das die Höchstzulässige Geschwindigkeit!) von weniger als 30 km/h ergeben sich in ProMoBw-Verkehr signifikant höhere Vorbeifahrtpegel.

Gl. 6 bzw. Gl. 7 und Gl. 8 stellen das Emissionsmodell von ProMoBw-Verkehr dar.

1	2	4	5	6
Klasse	Faktor	A_{FK}	$L_{W,An}$	ϵ_{An}
Code	[1]	dBA	dBA	dB
PKW	1	80,0	92,0	0
GKW	3	84,8	96,8	0
LKW	9	89,5	101,5	0
Sp	80	99,0	111,0	-11
Kp	300	104,8	116,8	-11

Tabelle 1

Parameter des Emissionsmodells von ProMoBw-Verkehr für die Fahrzeugklassen

ϵ_{An} ist die Exzentrizität der Richtcharakteristik, die Differenz zwischen dem Pegel nach vorn und nach hinten. Die Ableitung des Richtmaßes erfolgt wie in [6]

Qualitätssicherung

Für die RLS-19 sind in [3] Testaufgaben für die Qualitätssicherung ihrer Umsetzung in Rechenprogramme definiert, an denen sich auch ProMoBw-Verkehr 'messen' lassen muss. Tabelle 2 dokumentiert diesen Vergleich für die Fahrzeugklasse PKW für das Emissionsmodell. Für die Geschwindigkeiten 30, 50, 100 und 130 km/h sind in Test-20 Ergebnisse für die Schalleistung (Spalte 3), den längenbezogenen Schallleistungspegel für die Stunde (Spalte 4) bzw. Sekunde (Spalte 5) angegeben. In den Spalten 6 bis 8 sind Ergebnisse angegeben, die für die Näherungen mit Gl. 2 und Gl. 3 erreicht werden. Der Vergleich (Spalten 3 mit 6, 4 mit 7 und 5 mit 8) liefert im Mittel Abweichungen von 0,5 dB zu höheren Werten.

In Spalte 9 und Spalte 10 sind die Ergebnisse für das Emissionsmodell für das Antriebs- und das Abrollgeräusch, ihre energetische Summe in Spalte 11 angegeben. Spalte 11 ist mit Spalte 5 zu vergleichen. Es folgt wieder, dass die Abweichung in der Größenordnung von 0,5 dB liegen.

Abbildung 4 stellt diesen Vergleich graphisch für den längenbezogenen Schallleistungspegel des Antriebsgeräusches (Blau), des Abrollgeräusches (Rot) und der Summe (Ocker) dar. Unterhalb von 25 km/h dominiert das Antriebsgeräusch, ab ca. 50 km/h das Abrollgeräusch. Als Rauten (Violett) sind die Werte von Test-20 eingetragen.

Modell PKW															
A		80		dBA		Parameter der Approximation der Berechnung des Grundwertes der RLS19									
B		10		km/h											
C		3		[1]											
$L_{W,Antrieb}$		92		dBA		Schalleistung des Antriebsgeräusches									
$D_{adr,Gelände}$		-10		dB		Korrekturwert Gelände									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Geschwindigkeit		Test-20, Version 2.1 zur RLS19 Tabelle 1 Grundwert			Ergebnisse nach Approximation der Grundwerte nach RLS19			ProMoBw Modell Straße				ProMoBw Modell Gelände			
v		$L_{W,0}$	$L'_{W,h}$	$L'_{W,s}$	$L_{W,0}$	$L'_{W,h}$	$L'_{W,s}$	$L_{W,Antrieb}$	$L_{W,Rollen}$	$L_{W,ProMoBw}$	$L_{W,h,ProMoBw}$	$L_{W,Antrieb}$	$L_{W,Rollen}$	$L_{W,ProMoBw}$	$L_{W,h,ProMoBw}$
km/h	m/s	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA	dBA
0,0	0,00							97,00	0,00	97,00	61,44	97,00	0,00	97,00	61,44
3,6	1,00							92,00	20,00	92,00	56,44	92,00	10,00	92,00	56,44
10,0	2,78	nicht angegeben			nicht anwendbar			87,56	45,00	87,56	52,00	87,56	35,00	87,56	52,00
20,0	5,56							84,55	70,00	84,70	49,14	84,55	60,00	84,57	49,00
30,0	8,33	94,49	49,72	85,28	94,47	49,70	85,26	82,79	81,64	85,26	49,70	82,79	71,64	83,11	47,55
40,0	11,11	nicht angegeben			98,13	52,11	87,67	81,54	86,46	87,67	52,11	81,54	76,46	82,72	47,15
50,0	13,89	100,43	53,44	89,00	101,00	54,01	89,58	80,57	88,99	89,58	54,01	80,57	78,99	82,87	47,30
60,0	16,67				103,36	55,58	91,15	79,78	90,82	91,15	55,58	79,78	80,82	83,34	47,78
70,0	19,44				105,37	56,91	92,48	79,11	92,27	92,48	56,91	79,11	82,27	83,98	48,42
80,0	22,22	nicht angegeben			107,10	58,07	93,63	78,53	93,50	93,63	58,07	78,53	83,50	84,70	49,14
90,0	25,00				108,63	59,09	94,65	78,02	94,56	94,65	59,09	78,02	84,56	85,43	49,87
100,0	27,78	109,42	59,42	94,98	110,00	60,00	95,57	77,56	95,50	95,57	60,00	77,56	85,50	86,15	50,58
110,0	30,56	nicht angegeben			111,25	60,83	96,39	77,15	96,34	96,39	60,83	77,15	86,34	86,84	51,27
120,0	33,33				112,38	61,59	97,15	76,77	97,11	97,15	61,59	76,77	87,11	87,49	51,93
130,0	36,11	112,89	61,75	97,31	113,42	62,28	97,84	76,42	97,81	97,84	62,28	76,42	87,81	88,12	52,55

Tabelle 2 Ergebnisse der Emissionsmodellen von RLS-19 und ProMoBw-Verkehr im Vergleich zu den Testaufgaben nach Test-20

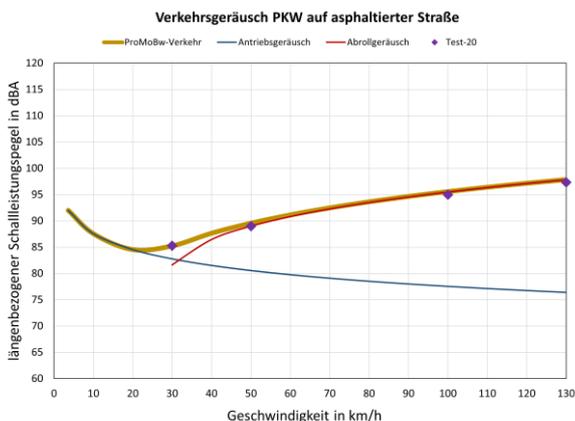


Abbildung 4 ProMoBw-Verkehr und Ergebnisse nach Test-20
Erläuterung siehe Text

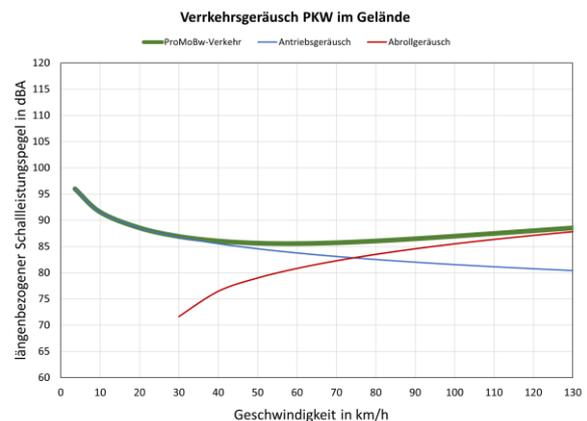


Abbildung 5 ProMoBw-Verkehr für Fahrten im Gelände
Erläuterung siehe Text

Einfluss des Geländes

1 Klasse	2 Beschreibung	3	4
		$D_{Weg,Ro}$ dB	$D_{Weg,An}$ dB
Asphalt	Normaler Asphalt (RLS-90)	0	0
Flüsterasphalt	Geräuschreduzierter Asphalt (RLS-90)	-3	0
Schotter	Mit Schotter befestigter Weg auf einem Schießplatz	4	0
Feldweg	Unbefestigte Wege (auch für Land- und Forstwirtschaft)	-6	0
Schießbahnspur	Fahrspur für Ketten- und Radfahrzeuge auf Schießbahnen	-8	0
Gelände	Typisch ebenes oder leicht konturiertes Gelände von Überäumen	-10	4
Schweres Gelände	Tiefes Gelände mit Hindernissen	-10	8

Tabelle 3 Klassierung für den Verkehrsweg für Fahrzeuge in ProMoBw-Verkehr

In der RLS-19 wird die Beschaffenheit des Fahrweges durch eine Straßendeckschichtkorrektur berücksichtigt, falls eine andere Deckschicht als nicht geriffelter Asphalt vorliegt. In ProMoBw-Verkehr wird auf die detaillierten Vorgaben für andere Deckschichten nach Tabelle 4 der RLS-19 verzichtet. Hier wird eine Fahrwegkorrektur $D_{Weg,Ro}$ mit grundsätzlich gleicher Bedeutung eingeführt. Allerdings sind die Unsicherheiten signifikant größer als in der RLS-19 und deshalb nicht direkt vergleichbar.

Die in Tabelle 3 angegebenen Werte für die Fahrwegkorrekturen für verschiedene Beschaffenheiten der Fahrwege sind Anhaltswerte als Startwerte des Modells. Die Beschaffenheit der Fahrwege wird kaum in so engeren Grenzen klassiert werden können, wie die Deckschicht im Öffentlichen Straßennetz. Es kann bei weitergehendem Vorwissen sachgerecht sein, für jeden Weg die Korrekturen spezifisch anzupassen.

Anmerkung

Die Beibehaltung der Vorgehensweise nach der RLS-19 ist grundsätzlich kompatibel zu ProMoBw-Verkehr. Die Werte der RLS-19 sollten verwendet werden, wenn das Vorwissen ausreicht.

Neben dem Einfluss auf das Abrollgeräusch durch $D_{Weg,Ro}$ hat die Beschaffenheit des Fahrweges indirekt auch Einfluss auf das Antriebsgeräusch. Es ist davon auszugehen, dass im Gelände und insbesondere in schwerem Gelände eine signifikant höhere Motorleistung erforderlich sein wird als auf Feldwegen beispielsweise. Deshalb enthält Tabelle 3 noch eine Spalte für das $D_{Weg,An}$, eine Korrektur für das Antriebsmodell. Diese Korrektur ist für ein Fahrzeug der Klasse ‚schwere Kettenfahrzeuge‘ validiert.

Abbildung 5 zeigt das Emissionsmodell für PKW für Fahrten im Gelände. Im Gelände überwiegt bis zu Geschwindigkeiten von 80 km/h und damit für alle realistischen Geschwindigkeiten das Antriebsgeräusch.

Weitere Modellelemente von ProMoBw-Verkehr

In diesem Beitrag wird das Emissionsmodell von ProMoBw-Verkehr vorgestellt. Weitere Modellelemente, dazu gehört die Ausbreitungsrechnung, die Anwendung bei Einrichtungs- und Zweirichtungsverkehr auf Wegen und die Anwendung bei Verkehrsgeräuschen beim Befahren von Übungsräumen, werden folgen. Zurzeit ist das vollständige ProMoBw-Verkehr Modell in der Evaluierungsphase. Nach vorläufigen Ergebnissen ist davon auszugehen, dass der Verkehrslärm vom Übungsbetrieb eines Schießplatzes mit diesem Modell sachgerecht im Lärmmanagement berücksichtigt werden kann.

Schlussbemerkung: Kettenfahrzeuge im Öffentlichen Straßennetz

Für Kettenfahrzeuge im Öffentlichen Straßennetz wird ProMoBw-Verkehr nicht benötigt. Ihr Beitrag kann im Schema der RLS-19 direkt berechnet werden. Es wird hier der Methode in einer Untersuchung von Buchta und Krahé [5] gefolgt, die über Vorbeifahrt-Messungen von Fahrzeugen auf einer Panzerringstraße eines Truppenübungsplatzes berichten und die Unterschiede zwischen den Fahrzeugklassen als Faktoren relativ zur Klasse PKW angeben. Demnach ist der mittlere Vorbeifahrtpegel der LKW um den Faktor 9 höher als der Pegel eines PKW. Der Faktor für die Fahrzeugart leichtes Kettenfahrzeug (Sp) ist 80 und der Faktor für ein schweres Kettenfahrzeug (Kp) ist 300. Die Faktoren wurden im Vergleich zu [5] hier auf Ganzzahlen bzw. auf glatte 10er-Werte bzw. 100er-Werte sachgerecht angepasst.

Verweise

- [1] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, RLS-19, Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen e. V., Ausgabe 2019, FGSV Verlag, Köln
- [2] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm vom 26. August 1998. GMBI.
- [3] Testaufgaben für die Überprüfung von Rechenprogrammen nach den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – Test-20, Version 2.1 vom 16.09.2021, FGSV Verlag, Köln
- [4] Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB), Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2550)
- [5] Buchta, E.; Krahé, D.: „Zur Bestimmung des Mittelwertpegels von schweren LKW und Kettenfahrzeugen“ in Fortschritte der Akustik, DAGA 1992, S.357
- [6] Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen - LeitGeStand, Version 1.0, Herausgeber Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI)

Bildernachweis

- Abbildung 1 Genehmigung der Bundeswehr Bundeswehr/Kastenberg
Abbildung 2 Genehmigung der Bundeswehr Bundeswehr/Merzig&Laymann
Abbildung 3 Sammlung PixaBay
Lizenz: pixabay.com/de/service/license-summary
Abbildung 4 K.-W. Hirsch
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>
Abbildung 5 K.-W. Hirsch
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

Die Entwicklung von ProMoBw-Verkehr wird vom Bundesministerium der Verteidigung gefördert.