

# Verkehrsgeräusche beim Fahren im Gelände

TEXT: Karl-Wilhelm Hirsch

**ZUSAMMENFASSUNG** Das Fahren im Gelände, zum Beispiel auf Wald- und Feldwegen, in Offroad-Parks oder auf Übungsplätzen der Bundeswehr, gehört häufig zu den anlagenbezogenen Verkehrsgeräuschen, die bei der Ermittlung der Geräuschbelastung nach TA Lärm zu berücksichtigen sind. Die „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen“ (RLS-19), die für Schallimmissionsprognosen der Verkehrsgeräusche des öffentlichen Verkehrsnetzes heranzuziehen sind, lassen sich nicht ohne Weiteres auf das Fahren im Gelände anwenden. Das hat mehrere Gründe. Die RLS-19 kennen nur eine Quelle, die mit zunehmender Geschwindigkeit „lauter“ wird. Im Gelände verhält es sich anders: weil die Antriebsgeräusche pegelbestimmend sind und der Vorbeifahrtpegel mit zunehmender Geschwindigkeit sinkt. Die RLS-19 kennen eine ungerichtete Quelle. Bei schweren militärischen Fahrzeugen sind die Auspuffgeräusche aber gerichtet, bei einem Panzer beispielsweise beträgt der Unterschied zwischen vorne und hinten 11 dB. Es müssen im Gelände mehr Fahrzeugklassen und mehr Fahrwegbeschaffenheiten berücksichtigt werden. Der Beitrag stellt das Modell „ProMoBw-Verkehr“ vor. Es führt eine Quelltrennung in Abroll- und Antriebsgeräusch ein. Es berücksichtigt die Richtcharakteristik über das Kalkül der Exzentrizität, die Differenz des Quellpegels nach vorne und hinten. Als Ausbreitungsmodell wird das Schema der DIN ISO 9613-2 verwendet, allerdings mit Parametern, die von der Fahrzeugklasse abhängen. Dennoch orientiert sich ProMoBw-Verkehr eng an den RLS-19 und liefert in deren nativem Anwendungsbereich Prognosen, die um weniger als +0,5 dB abweichen.

## 1. Einleitung

Für das Fahren im Gelände, beispielsweise das Fahren in sogenannten Offroad-Parks oder das Fahren auf Übungsplätzen der Bundeswehr, ist es erforderlich, Schallimmissionsprognosen bei der Errichtung beziehungsweise beim Betrieb zu ermitteln. Beides sind Anlagen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) [1]. Zumindest die Schießplätze der Bundeswehr sind genehmigungspflichtige Anlagen nach der 4. BImSchV [3]). Die Schallimmissionsprognosen müssen Beurteilungspegel liefern, die geeignet sind, mit den Richtwertsystemen der TA Lärm [2] verglichen zu werden, um das Ausmaß der lärmakustischen Beeinträchtigung durch den Betrieb der Anlage bewerten zu können. Diese Verkehrsgeräusche gehören nicht zum Anwendungsbereich der RLS-19 [5]. Ihr Berechnungsverfahren lässt sich auch nicht ohne Weiteres auf das Fahren im Gelände übertragen, weil hier andere Geräuschquellen und natürlich andere

## Traffic noise from Off-roading

**ABSTRACT** Off-roading, for example driving on forest or rural roads, on offroad parks or military training grounds, are often facility-related noise that must be considered when assessing noise exposure according to TA Lärm. The RLS-19, which is to be used for the prediction of traffic noise on the public transport network, cannot simply be applied to off-road driving. There are several reasons for this. The RLS-19 uses only one source, which becomes 'louder' with increasing speed. For Off-roading, this is the other way around, because the drive noise from engine and exhauster dominates the emission level; hence, the levels of a vehicle pass-by decreases with increasing speed. The source of the RLS-19 has no directionality. In heavy military vehicles, however, the exhaust noise is highly directed, for a tank for example, the difference between the source strength to the front and to the rear reaches 11 dB under full load. And for sure, more vehicle classes and more road conditions must be introduced to consider tracked vehicles and to describe the ground, respectively. The article presents the model 'ProMoBw-Verkehr'. It introduces source separation in rolling and engine noise, and it considers the directivity of the engine noise. Like RLS-19, the DIN ISO 9613-2 scheme is used as propagation model, but with parameters which depend on the vehicle class. Nevertheless, ProMoBw-Verkehr is closely oriented towards the RLS-19 and provides results for the native scope of the RLS-19 that deviate less than +0,5 dB.

Fahrwegeigenschaften eine Rolle spielen, die die RLS-19 nicht abbilden.

Der vorliegende Beitrag erläutert zunächst die Besonderheiten, die bei der Beschreibung der Verkehrsgeräusche beim Fahren im Gelände berücksichtigt werden müssen. Daraus wird ein Verkehrsgeräuschmodell entwickelt, das sich eng an den RLS-19 orientiert, aber allen zusätzlichen Herausforderungen gerecht wird. Es kann allgemein auf das Fahren im Gelände angewendet werden.

Dieses Modell wird im Folgenden als „ProMoBw-Verkehr“ eingeführt. Es gehört zu den Modellen der Bundeswehr, um für das Lärmmanagement auf Schießplätzen die anlagenbezogenen Geräusche zu beurteilen. Zu der Familie von ProMoBw (Prognose Modelle der Bundeswehr) gehört auch ProMoBw-Schießen, das Modell für die Prognose von Schießgeräuschen von Schießplätzen, auf die die Lärmmanagementrichtlinie der Bundeswehr [6] für Schießgeräusche von Rohr Waffen mit einem Kaliber ab

20 mm beziehungsweise einem Sprengmittelumsatz ab 50 g TNT-Äquivalent nicht angewendet wird.

## 2. Das Fahren im Gelände

Das Fahren im Gelände im Sinne dieses Beitrags liegt immer dann vor, wenn Kraftfahrzeuge beispielsweise Feldwege, Waldwege, geschotterte Wege oder Sandwege befahren oder wenn sie ohne vorgezeichnete Wege über nicht befestigtem Untergrund fahren. Dazu gehören auch besondere Geländestrecken auf Testgeländen, Offroad-Parks oder eben auf Übungsplätzen, die abschnittsweise Hindernisse anbieten und auf denen das sichere Bewegen eines Fahrzeugs im Gelände geübt werden kann.

In der Regel sind diese Fahrzeuge für Geländefahrten konzipiert oder zumindest geeignet. Die Kettenfahrzeuge der Bundeswehr sind in diesem Zusammenhang ein gutes Beispiel für Fahrzeuge, die sich in Übungsszenarien typisch im Gelände bewegen.

Die Fahrgeschwindigkeiten sind signifikant kleiner als auf asphaltierten Straßen. Dennoch bewegen sich die Fahrzeuge auch auf asphaltierten Zuwegungen, dann auch mit Geschwindigkeiten, die dem Verkehr auf Öffentlichen Straßen nahekommen. Das gilt insbesondere für Truppenübungsplätze, die häufig über sogenannte Panzerringstraßen verfügen, die an der Platzgrenze entlanglaufen und einer potenziell betroffenen Nachbarschaft nahekommen. Auf diesen Straßen fährt der gesamte Fahrzeugpark der Bundeswehr.

Die **Bilder 1 bis 4** vermitteln einen Eindruck für den Einsatz von Fahrzeugen im Gelände.

## 3. Herausforderungen bei der Modellbildung

### 3.1 Kompatibilität zu den RLS-19

Das hier diskutierte Rechenverfahren zur Prognose der Verkehrsgeräusche beim Fahren im Gelände mit Fahrzeugen aller Art soll im Rahmen der Verwaltungsakustik anwendbar sein. Zu seiner Akzeptanz im Rahmen von Schallschutzgutachten und damit zur Rechtssicherheit darf es den Konzepten der TA Lärm und den RLS-19 nicht widersprechen und muss – wie die RLS-19 selbst – qualitätssicher sein. Das erscheint zunächst trivial; die Forderung schränkt aber die Beschreibung physikalischer Aspekte ein, die man anders formuliert hätte, wenn man „disruptiv“ sein könnte.

Die Kompatibilität bedeutet einerseits, die Art und Weise, wie die RLS-19 ihr Emissionsmodell formulieren, grundsätzlich zu übernehmen. Es bedeutet andererseits, dass die Pegelprognosen von ProMoBw-Verkehr nicht signifikant von den Prognosen der RLS-19 abweichen, wenn es sich um Verkehrssituationen handelt, die im technischen Sinn zum Anwendungsbereich der RLS-19 gehören. Der Verkehr auf Panzerringstraßen beispielsweise ist eine solche Verkehrssituation (Anmerkung: Die Verkehrsgeräusche auf einer Panzerringstraße sind Anlagengeräusche im Sinne des BImSchG §3, Abs. 5, und werden nach TA Lärm zusammen mit den anderen Anlagengeräuschen beurteilt.).

Die RLS-19 werden unter vielen Aspekten die wesentliche Erkenntnisquelle sein.

### 3.2 Akustisches Ersatzmodell

Die RLS-19 gehen 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,



**Bild 1** Einsatz im Landschaftsbau. Foto: Daimler Truck



**Bild 2** Fahrt in einem Offroad-Park. Foto: PantherMedia/alexkoral



**Bild 3** Lkw auf einer Geländestrecke. Foto: Bundeswehr/Kastenber



**Bild 4** Kettenfahrzeug im Übungsraum. Foto: Bundeswehr/Merzig & Laymann

wobei die Strömungsgeräusche bei den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten im Regelfall vernachlässigbar sind. Für diese Quelle stellen die RLS-19 für den typischen Betrieb auf öffentlichen Straßen eine Sammlung von Formeln zur Verfügung, die abhängig von Fahrzeugklassen und situationsabhängig eine qualitätssicherbare Prognose eines Immissionspegels liefern. Es ist ein einfaches technisches Modell, das seinen Zweck für den Anwendungsbereich des akustischen Immissionsschutzes erfüllt.

Im Gelände sind hingegen die Randbedingungen für die Anwendung des Ein-Quellen-Modells der RLS-19 nicht erfüllt. Ein Fahrzeug auf einer Hindernisstrecke im Gelände bewegt sich im Regelfall mit geringer Geschwindigkeit aber mit hoher Motorleistung. Abrollgeräusche spielen hingegen im Gelände bei den typischen Geschwindigkeiten eher keine Rolle. In einem Immissionssort 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. Beides sind Ersatzquellen im Sinne eines technischen Modells.

### 3.3 Fahrwegbeschaffenheit

Die Beschaffenheit der Fahrwege im Gelände unterscheidet sich massiv von der einer asphaltierten Straße. Sandwege, Feldwege, Fahrstrecken auf Schießbahnen, aber auch geschotterte Wege sind typische Fahrwegoberflächen. Die ersten drei genannten reduzieren das Abrollgeräusch deutlich. Geschotterte Straßen führen dagegen zu einem höheren Abrollgeräusch als bei einer asphaltierten Straße.

Die RLS-19 beschreiben die Fahrwegbeschaffenheit mit dem Parameter Straßendeckschichttypkorrektur. Diese Korrekturen werden amtlich festgestellt. Ergänzungen der jeweils in den Tabellen 4a und 4b der RLS-19 formulierten Liste der Deckschichten können für typische Straßendeckschichten ergänzt werden. Die Beschaffenheit der Fahrwege im Gelände muss deshalb modelliert werden.

### 3.4 Fahrzeugklassen

Die RLS-19 kennen drei Fahrzeuggruppen: Pkw, Lkw1 und Lkw2. Dies ist eine auf die – wohl zurzeit – am öffentlichen Straßenverkehr teilnehmenden Fahrzeugflotte ausgerichtete Klassierung der Fahrzeuge. Im Gelände setzt sich die Fahrzeugflotte anders zusammen. So wird zum Beispiel der Anteil der SUV deutlich höher sein. Die Bereifung wird auch im Mittel eine andere sein.

Unter militärischen Aspekten decken die Fahrzeuggruppen die Kettenfahrzeuge nicht ab. Hier ist es unabdingbar weitere Fahrzeuggruppen (beziehungsweise Fahrzeugklassen in der Sprache von ProMoBw-Verkehr) einzuführen.

### 3.5. 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 um 11 dB höherer Pegel gemessen als nach vorne. Bei Teillast reduziert sich diese Differenz der Richtwirkungsmaße, die im Folgenden „Exzentrizität“ genannt wird, signifikant.

Man könnte auf den ersten Blick vermuten, dass sich bei einem Zweirichtungsverkehr der Einfluss der Richtcharakteris-

tik 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 offensichtlich signifikant (Anmerkung: Bei der baulichen und verkehrlichen Planung von Hindernisstrecken liefert die Richtcharakteristik einen wichtigen Aspekt zur Lärm-minderung.).

## 4. ProMoBw-Verkehr

### 4.1 Emissionsmodell

#### 4.1.1 Quellstärke

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. 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 führen, wenn sie auf einem Wegenetz fahren, für das die RLS-19 im öffentlichen Verkehr anwendbar wären.

In ProMoBw-Verkehr wird jedes Fahrzeug durch einen Grundwert gekennzeichnet, der sowohl die Quellstärke für das Antriebsgeräusch als für das Abrollgeräusch festgelegt. Dieser Grundwert ist bedeutungsgleich zum Grundwert des Schallleistungspegels nach Gleichung (6) der RLS-19 für eine Geschwindigkeit von 0 km/h. Er wird im Folgenden wie in den RLS-19 mit  $A_{FK}$  gekennzeichnet. Der Index FK kennzeichnet die Fahrzeugklasse. Offensichtlich ist der Grundwert die Schallleistung des Fahrzeugs im Leerlauf.

Mit zunehmender Geschwindigkeit  $v_{kmh}$  (höchstzulässige Geschwindigkeit auf einem Straßenabschnitt) erhöht sich der Schallleistungspegel  $L_w$  in den RLS-19 nach Gleichung (6), die hier als Gleichung 1 in geänderter Notation wiederholt wird.

$$L_{w,FK}(v_{kmh}) = A_{FK} + 10 \lg \left[ 1 + \left( \frac{v_{kmh}}{B_{FK}} \right)^{C_{FK}} \right] \quad (1)$$

Im Folgenden werden Setzungen eingeführt und Annahmen getroffen, die erst zusammen im nächsten Abschnitt diskutiert und begründet werden.

In ProMoBw-Verkehr wird abweichend von den RLS-19  $v_{kmh}$  als mittlere Geschwindigkeit auf einem Fahrweg-Teilstück festgelegt. Die Parameter B und C werden für alle Fahrzeugklassen nach Gleichung 2 und Gleichung 3 als Konstanten definiert.

$$B_{FK} = B \equiv 10 \text{ km/h} \quad (2)$$

$$C_{FK} = C \equiv 3 \quad (3)$$

Im Emissionsmodell von ProMoBw-Verkehr wird angenommen, dass bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h die Beiträge der Antriebsgeräusche und der Abrollgeräusche gleich groß sind. In ProMoBw-Verkehr gilt 30 km/h für alle Fahrzeugklassen.

Mit dieser Annahme lässt 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 Gleichung 1 und den Setzungen in Gleichung 2 und Gleichung 3 beträgt die Schalleistungskorrektur bei 30 km/h:

$$L_{W,FK} = A_{FK} + 10 \lg \left[ 1 + \left( \frac{30 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{10 \frac{\text{km}}{\text{h}}} \right)^3 \right] \text{ dB} = A_{FK} + \quad (4)$$

$$+ 14,47 \text{ dB} \cong A_{FK} + 15 \text{ dB}$$

(Anmerkung: In den RLS-19 wird mit den dort festgelegten Parametern A, B, C für den Pkw die Korrektur zu 14,49 dB.)

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

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

(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 auf asphaltierten Straßen in jedem Geschwindigkeitsbereich mit der gleichen Motorleistung betrieben werden, und zwar mit der Antriebsleistung, die bei 30 km/h erforderlich ist. Die Schalleistung des Antriebsgeräusches wird allerdings vom Gelände abhängen. Dafür wird unten eine Korrektur eingefügt.

Für die Schalleistung des Antriebsgeräusches gilt Gleichung 6.

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

(Anmerkung: Bei höheren Geschwindigkeiten wird mehr Antriebsleistung erforderlich und der Schalleistungspegel wird entgegen der Annahme einer konstanten Schalleistung 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 Gleichung 7 für  $v \geq 30 \text{ km/h}$  und Gleichung 8 für  $v < 30 \text{ km/h}$ .

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

$$v_{\text{kmh}} \geq 30 \text{ km/h} \quad (7)$$

$$L_{W,Ro} = 0 \text{ dB } v_{\text{kmh}} < 30 \text{ km/h} \quad (8)$$

Gleichung 6 beziehungsweise Gleichung 7 und Gleichung 8 stellen das Modell für die Quellstärke im Emissionsmodell von ProMoBw-Verkehr dar. Die Parameter für die behandelten Fahrzeugklassen sind in **Tabelle 1** angegeben.

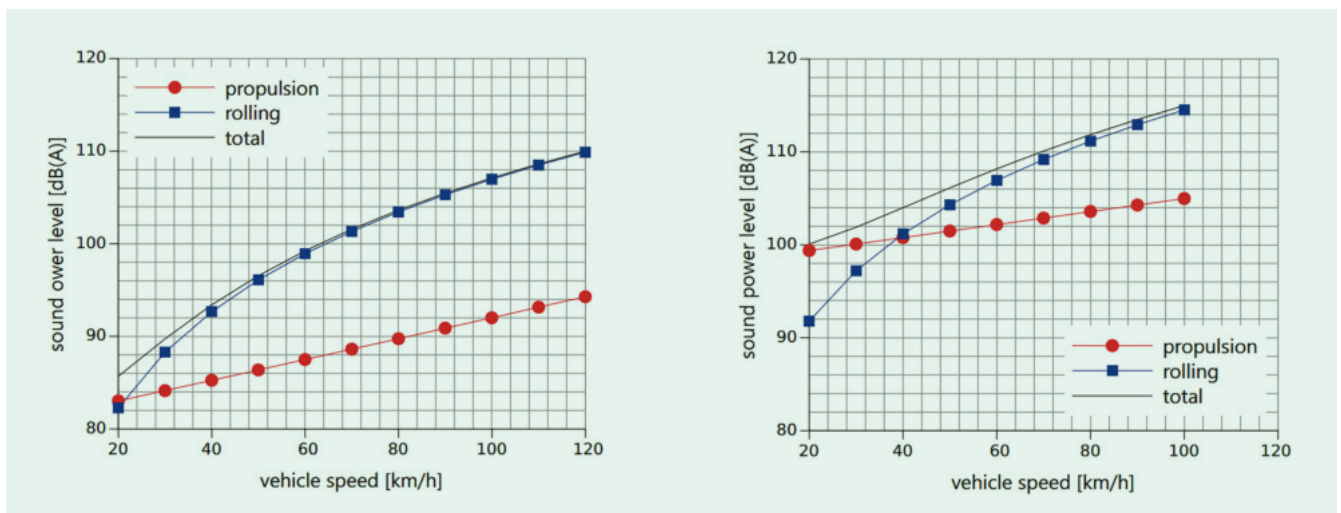
#### 4.1.2 Diskussion der Setzungen und Annahmen in ProMoBw-Verkehr

ProMoBw-Verkehr ist ein einfaches technisches Modell. In einem solchen Modell sollten keine Parameter und Berechnungsweisen eingeführt werden, deren Einstellungen ein Vorwissen voraussetzen, das im Regelfall nicht vorhanden ist und deren Einfluss auf das Prognoseergebnis signifikant geringer ist als andere Phänomene.

Die Annahme, dass die Beiträge des Abrollgeräusches und des Antriebsgeräusches zum Schalleistungspegel gerade bei 30 km/h gleich groß sind, lässt sich anhand von **Bild 5** belegen. Für Pkw liegt der Übergangspunkt bei rund 22 km/h, bei Lkw bei etwa 38 km/h. Der Wert von 30 km/h bietet sich als sachgerechter Mittelwert für ein einfaches technisches Modell an, zumal dieser

**Tabelle 1** Parameter des Emissionsmodells von ProMoBw-Verkehr für die Fahrzeugklassen.

Klasse	Faktor	$A_{FK}$	$L_{W,An}$	$\epsilon_{An}$
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



**Bild 5** Beiträge des Abrollgeräusches (blau) und des Antriebsgeräusches (rot) zum gesamten Schalleistungspegel (schwarz) des Verkehrsgerausches für Pkw (links) und für Lkw (rechts) nach [8]. Grafiken: Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

Wert im Diagramm I der RLS-19 den Bereich konstanten längenbezogenen Schallleistungspegel begrenzt (Anmerkung: In der Literatur werden ähnliche Vergleiche der Beiträge häufig nach Maßgabe von Immissionspegeln angegeben. Häufig liegen dort die Übergangspunkte signifikant höher, weil bei dem Vergleich dann auch die unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen, beispielsweise die Bodenreflexion, eingehen.)

Diese Setzungen für  $B_{FK}$  und  $C_{FK}$  in Gleichung 2 und Gleichung 3 sind auf den ersten Blick eine unzulässige Vereinfachung, weil dadurch die Feinanpassung der Fahrzeugklassen durch zwei weitere Parameter verloren geht. Infolge dieser Vereinfachungen ändern sich auch die Grundwerte der Fahrzeugklassen in ProMoBw-Verkehr massiv im Vergleich zu den RLS-19. Es wird sich unten aber zeigen, dass diese Vereinfachungen trotzdem zu einem Emissionsmodell führen, das die Geschwindigkeitsabhängigkeit des längenbezogenen Schallleistungspegel der RLS-19 für Pkw im Geschwindigkeitsbereich ab 30 km/h mit Abweichungen von weniger als 0,5 dB reproduziert (Bild 6).

Für Lkw zeigt Bild 7, dass die längenbezogenen Schallleistungspegel im Vergleich zu den RLS-19 um 2 bis 3 dB höher liegen. Diese Überschreitung ist aber hier sachgerecht, weil Fahr-

zeuge, die für das Fahren im Gelände ausgelegt sind, im Mittel grobstolliger bereift sind und höhere Abrollgeräusche erzeugen und – zumindest bei militärischen Fahrzeugen – im Mittel der Fahrzeugflotte die Lkw mehr Achsen haben als die Lkw der typischen Fahrzeugflotte des öffentlichen Verkehrs.

Dagegen liegt der Vorteil dieser Vereinfachungen auf der Hand: Die Fahrzeugklassen unterscheiden sich nur durch den Grundwert. Bei der Einführung von neuen Fahrzeugklassen muss lediglich die Frage beantwortet werden, um welchen Faktor die neue Klasse lauter ist als die des Pkw.

Die Setzung des Schallleistungspegel des Abrollgeräusches für Geschwindigkeiten kleiner 30 km/h auf 0 dB ist willkürlich. Sie sorgt dafür, dass das Abrollgeräusch in diesem Geschwindigkeitsbereich keine Rolle spielt. Die RLS-19 gehen für diesen Geschwindigkeitsbereich ähnlich vor: Sie geben einen konstanten längenbezogenen Schallleistungspegel vor, siehe Diagramm I in den RLS-19.

### 4.1.3 Vergleich Quellstärkemodell ProMoBw-Verkehr und RLS-19

Für die RLS-19 sind normative (vom Normensetzer herausgegebene) Testaufgaben definiert [7]. Solche Testaufgaben geben für festgelegte Randbedingungen die nach dem Regelwerk richtigen Ergebnisse. Hier können die Testaufgaben genutzt werden, um ProMoBw-Verkehr mit den RLS-19 zu vergleichen.

Bild 6 (Pkw) und Bild 7 (Lkw) zeigen dazu den längenbezogenen Schallleistungspegel über die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit beim Fahren auf Standardasphalt. Die Linie in Blau ist das Antriebsgeräusch, die Linie in Rot das Abrollgeräusch und die Linie in Ocker das ProMoBw-Modell. Die als Rauten (Lkw1) beziehungsweise Quadrate (Lkw2) markierten Werte sind die Ergebnisse der Testaufgaben der RLS-19 für die als höchstzulässige Geschwindigkeit definierten Geschwindigkeiten (Anmerkung: Die Nutzung der Testaufgaben für den Vergleich der RLS-19 mit ProMoBw-Verkehr wird in [4] näher erläutert.)

Für Pkw liefert das ProMoBw-Modell geringfügig höhere Pegel. Der Lkw in ProMoBw-Verkehr übersteigt den Wert sowohl für Lkw1 als auch Lkw2 der RLS-19. Lediglich bei 30 km/h hat der Lkw2 einen höheren Pegel. Die signifikant höheren Schallleistungspegel in ProMoBw-Verkehr folgen der Annahme, dass geländetaugliche Lkw eine angepasste Bereifung haben, die im Straßenverkehr zu höheren Pegeln führt als der Mittelwert der Klasse in den RLS-19. Für den Fuhrpark der Bundeswehr kommt hinzu, dass im Mittel die Fahrzeuge schwerer sind und mehr Achsen haben.

Die Kurven des Rollgeräusches sind unterhalb von 30 km/h nicht angegeben. Es wird aber aus ihren Verläufen deutlich, dass auch bei einer sinnfälligen Extrapolation diese Geräusche keine signifikante Rolle spielen würden.

### 4.1.4 Richtwirkung

Das Antriebsgeräusch ist bei einigen Fahrzeugklassen signifikant gerichtet. Zur Beschreibung der Richtwirkung wird die Exzentrizität  $\epsilon$  definiert.  $\epsilon$  ist die Differenz zwischen dem Quellpegel in Fahrtrichtung und dem Quellpegel entgegen der Fahrtrichtung, vergleiche [10]. Die Exzentrizität ist in Spalte 5 der Tabelle 1 angegeben (Anmerkung: Dies ist ein pauschaler und stark vereinfachender Ansatz. Die Richtwirkung wird auch beispielsweise vom Lastzustand des Antriebs abhängen. Eine Berücksichtigung wäre zwar formal leicht möglich und die sachgerecht

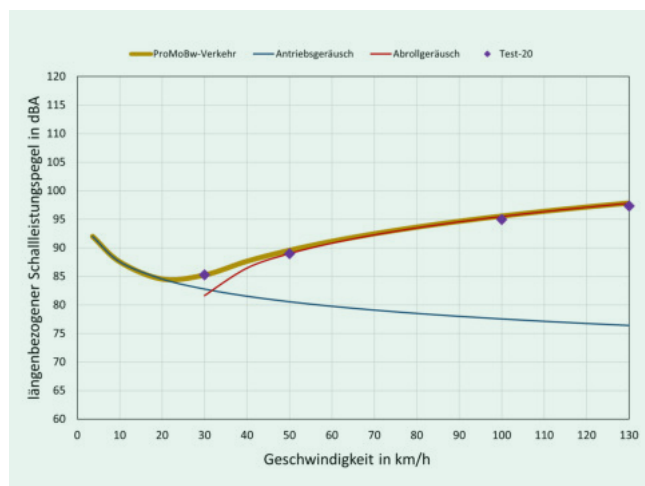


Bild 6 Verkehrsgeräusch Pkw auf asphaltierter Straße. Vergleich der Quellstärkenmodelle von ProMoBw-Verkehr und RLS-19 (eigene Darstellung).

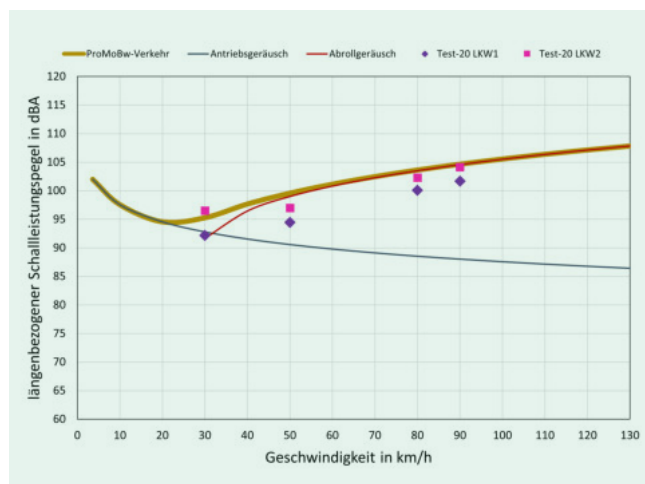


Bild 7 Verkehrsgeräusch Lkw auf asphaltierter Straße. Vergleich der Quellstärkenmodelle von ProMoBw-Verkehr und RLS-19 (eigene Darstellung).

ten Parameter für jede Fahrzeugklasse spezifisch zu ermitteln. Dies hätte aber einen großen Aufwand zur Folge.

Gleichung 9 berechnet die Richtwirkungskorrektur  $D_{L,An}$  für das Antriebsgeräusch über eine Cosinus-Entwicklung. Der Winkel  $\alpha$  ist  $0^\circ$  in Fahrtrichtung und  $180^\circ$  entgegen der Fahrtrichtung. Das  $a_0$  hängt ebenfalls nach Gleichung 10 von der Exzentrizität ab.

$$D_{L,An} = a_0 + \epsilon \cos(\alpha) \tag{9}$$

$$a_0 = 10 \lg \left[ \frac{\frac{\epsilon \ln(10)}{2 \cdot 10}}{\sinh \left( \frac{\epsilon \ln(10)}{2 \cdot 10} \right)} \right] \tag{10}$$

(Anmerkung 1: Das  $a_0$  sorgt dafür, dass durch die Anwendung der Richtwirkungskorrektur, die hier als Dezibelwert eingeführt ist, die Quellenergie insgesamt nicht verändert wird. Anmerkung 2: Die Richtwirkung wird bei Panzern im Wesentlichen durch den nach hinten ausgasenden Auspuff bestimmt.)

#### 4.1.5 Einfluss des Geländes

In den RLS-19 wird die Beschaffenheit des Fahrweges durch eine Straßendeckschichtkorrektur berücksichtigt, falls eine andere Deckschicht als nicht geriffelter Asphalt vorliegt. In den Tabellen 4a und 4b wird diese Korrektur in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse und von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit für eine zunächst abgeschlossene Deckschichtenliste angegeben. Ergänzungen sind nur durch den Regelsetzer selbst möglich. Deckschichten, die im Gelände vorkommen, sind also nicht in den RLS-19 abgebildet.

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 dieser Werte signifikant größer als in den RLS-19 und deshalb nicht direkt vergleichbar. Es wird zudem zwischen einer Korrektur für das Antriebsgeräusch und das Abrollgeräusch unterschieden.

Das Abrollgeräusch wird im Gelände häufig deutlich geringer. Das gilt massiv für das Fahren in schwerem Gelände, zum Beispiel

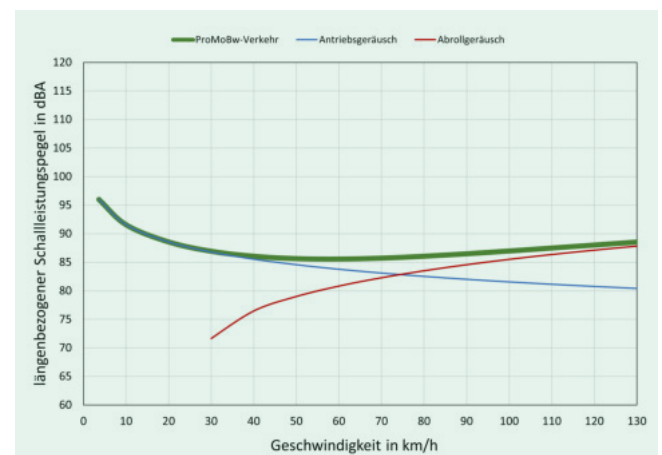
**Tabelle 2** Klassierung für den Verkehrsweg für Fahrzeuge in ProMoBw-Verkehr.

Klasse	Beschreibung	$D_{Weg,Ro}$ dB	$D_{Weg,An}$ dB
Asphalt	Normaler Asphalt (RLS-19)	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 Übräumen	-10	4
Schweres Gelände	Tiefes Gelände mit Hindernissen	-10	8

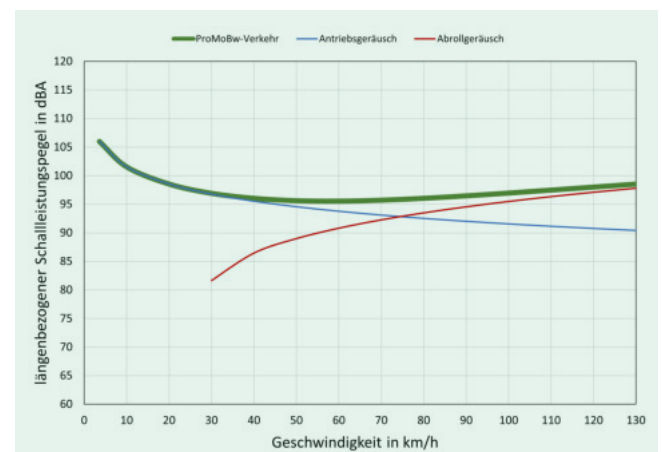
beim Fahren im tiefen Sand auf einer Geländestrecke. Es kann aber auch höher werden, auf Schotterwegen oder über Split. In **Tabelle 2** werden für das  $D_{weg,Ro}$  in Spalte 3 Anhaltswerte für die Fahrwegkorrekturen für verschiedene Beschaffenheiten der Fahrwege angegeben. Die Beschaffenheit der Fahrwege wird kaum in engeren Grenzen klassiert werden können als die Deckschicht im Öffentlichen Straßennetz. Es kann bei weitergehendem Vorwissen sachgerecht für jeden Weg im Gelände angepasst werden (Anmerkung: Die Beibehaltung der Vorgehensweise nach den 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 2 noch eine Spalte für das  $D_{weg,An}$ , eine Korrektur für das Antriebsmodell. Diese Korrektur ist für ein Fahrzeug der Klasse „schwere Kettenfahrzeuge“ validiert. Für die anderen Beschaffenheiten sind die Werte in Spalte 4 Anhaltswerte, wie oben.

**Bild 8** zeigt das Emissionsmodell für Pkw bei Fahrten im Gelände. Im Gelände überwiegt bis zu Geschwindigkeiten von 80 km/h und damit für alle realistischen Geschwindigkeiten das Antriebsgeräusch. Das gleiche gilt für das Fahren mit Lkw in **Bild 9**.



**Bild 8** Verkehrsgeschwindigkeit Pkw im Gelände. Emissionsmodell von ProMoBw-Verkehr.  $D_{weg,Ro} = -10$  dB,  $D_{weg,An} = 4$  dB (eigene Darstellung).



**Bild 9** Verkehrsgeschwindigkeit Lkw im Gelände. Emissionsmodell von ProMoBw-Verkehr.  $D_{weg,Ro} = -10$  dB,  $D_{weg,An} = 4$  dB (eigene Darstellung).

### 4.1.6 Modellgleichungen des Emissionsmodells

Die Schalleistungen können in den längenbezogenen Schallleistungspegel umgerechnet werden. Dazu wird die Geschwindigkeit

in Meter pro Sekunde  $v_{ms} = \frac{1\,000}{3\,600} v_{kmh}$  eingeführt.

Der maßgebliche längenbezogenen Schallleistungspegel wird in ProMoBw-Verkehr einschließlich der Korrekturen durch den Verkehrsweg und durch die Richtwirkung festgelegt.

Der längenbezogenen Schallleistungspegel des Antriebsgeräusches ist in Gleichung 11 angegeben. Die Gleichung enthält neben der durch den Verkehrsweg bestimmte Korrektur auch die Richtwirkungskorrektur. Der längenbezogenen Schallleistungspegel des Abrollgeräusches ist abhängig von dem Winkel  $\alpha$  (relativ zur Fahrtrichtung) der Schallabstrahlung.

Der längenbezogene Schallleistungspegel des Abrollgeräusches ist in Gleichung 12 angegeben. Die Gleichung enthält die durch den Verkehrsweg bestimmte Korrektur.

$$L'_{W,An}(\alpha) = L_{W,An} - 10 \lg \left( \frac{v_{ms}}{v_0} \right) \text{dB} + D_{Weg,An} + D_{l,An}(\alpha) \quad (11)$$

$$L'_{W,Ro} = L_{W,Ro} - 10 \lg \left( \frac{v_{ms}}{v_0} \right) \text{dB} + D_{Weg,Ro} \quad (12)$$

mit  $v_0 = 1 \text{ m/s}$

Die längenbezogenen Schallleistungspegel des Abrollgeräusches und Antriebsgeräusches können nicht addiert werden, da jeweils spezifische Parameter für das Ausbreitungsmodell gelten.

## 4.2 Ausbreitungsmodell

### 4.2.1 P2P-Modell

Die Ausbreitungsrechnung in ProMoBw erfolgt nach den Regeln der DIN ISO 9613-2, alternatives Verfahren. Das Schema dieses Regelwerks legt die Berechnung der Schallausbreitung für eine Punktquelle fest (P2P-Modell).

Etwaige abweichende Regeln von der DIN ISO 9613 in den RLS-19 werden in ProMoBw-Verkehr nicht übernommen. Dies ist erforderlich und auch TA-Lärm-konform. Verkehrsgeräusche sind hier Anlagengeräusche und sind auch so zu behandeln. Ver-

kehrsgeräusche müssen unter den gleichen Langzeitbedingungen, mit der gleichen Schirmrechnung (Geländeschirmung), mit der gleichen meteorologischen Korrektur und denselben Richtwerten betrachtet werden, sonst passen die Ergebnisse nicht zusammen und können nicht addiert werden.

Die RLS-19 rechnen das Abschirmmaß für alle Fahrzeuge mit ihrer Gleichung 15.

$$D_z = 101 \text{ g} [3 + 80 z K_w] \text{ dB} \quad (\text{Abschirmmaß nach RLS-19, Gleichung 15})$$

$$D_z = 10 \lg \left[ 3 + \frac{20}{\lambda} z K_w \right] \text{ dB}$$

(Abschirmmaß nach DIN ISO 9613-2, Gleichung 14)

Dies entspricht der Gleichung 14 der DIN ISO 9613-2 für Einfach-Beugung mit einer Wellenlänge von 0,25 m, also einer Frequenz von 1 360 Hz. ( $340 \text{ ms}^{-1}/0,25 \text{ m}$ ). Hier wird zwischen Antriebsgeräusch und Abrollgeräusch unterschieden und Fahrzeuge eingeführt, deren maßgebliche Frequenzen signifikant anders sind.

Verkehrsgeräusche beim Betrieb im Gelände entstehen entlang eines Weges oder innerhalb einer Übungsfläche. Sowohl für den Weg als auch für die Übungsfläche ist die Fahrwegbeschaffenheit durch die Zuweisung zu einer Klasse nach Tabelle 2 erforderlich (Anmerkung: Beispiele für einen Weg sind die Zuwegungen zu Übungsplatzanlagen, Schießstrecken, Hindernisstrecken oder Fahrspuren auf Schießbahnen und Offroad Parks. Beispiele für eine Übungsfläche sind Fahrschulgelände, Übräume für Manöver oder Pionierübungen.).

Rechenpunkte für das P2P-Modell werden durch eine Segmentierung des Weges beziehungsweise der Fläche bestimmt. Der Rechenpunkt der Ersatzpunktquellen ist jeweils die geometrische Mitte des Segments.

Für das Antriebsgeräusch und das Abrollgeräusch ist jeweils eine eigene Ausbreitungsrechnung durchzuführen. Wesentliche Ursache ist die unterschiedliche Quellhöhe, die zu anderen Ausprägungen der Bodenreflexion und der Abschirmung führt.

Für die Parameter des P2P-Modells für die Fahrzeugklassen gilt **Tabelle 3**.

Der Immissionspegel in einem Immissionsort ergibt sich aus der energetischen Summe des Antriebs- und des Abrollgeräusches.

**Tabelle 3** Tabelle der Parameter zur Ausbreitungsrechnung in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse.

Klasse <sup>1)</sup>	$h_{q,An}$ <sup>2)</sup>	$h_{q,Ro}$ <sup>3)</sup>	$\alpha_{An}$ <sup>4)</sup>	$\alpha_{Ro}$ <sup>5)</sup>	$\lambda_{An}$ <sup>6)</sup>	$\lambda_{Ro}$ <sup>7)</sup>
Code	m	m	dBA/km	dBA/km	m	m
Pkw	1,0	0,5	5	5	0,25	0,25
Gkw	1,0	0,5	5	5	0,25	0,25
Lkw	1,0	0,5	5	5	0,25	0,25
Sp	2,0	0,5	3	5	0,50	0,50
Kp	2,0	0,5	3	5	0,50	0,50

<sup>1)</sup> = Code der Klasse der Fahrzeugart.

<sup>2)</sup> = Quellhöhe des Antriebsgeräusches.

<sup>3)</sup> = Quellhöhe des Abrollgeräusches.

<sup>4)</sup> = Koeffizient der Luftabsorption des Antriebsgeräusches.

<sup>5)</sup> = Koeffizient der Luftabsorption des Abrollgeräusches.

<sup>6)</sup> = Wellenlänge bei Schirmrechnung des Antriebsgeräusches.

<sup>7)</sup> = Wellenlänge bei Schirmrechnung des Abrollgeräusches.

## 4.2.2 Prognose für das einmalige Befahren eines Weges

### 4.2.2.1 Antriebsgeräusch

Wegen der Richtwirkung der Quelle ist die Prognose abhängig von der Richtung, in die auf dem Weg gefahren wird.

$D_{9613,An,i}$  beziehungsweise  $D_{9613,Ro,i}$  sind in den folgenden Gleichungen die Ausbreitungsdämpfungen, die sich nach DIN ISO 9613-2 für den Rechenpunkt ergeben.

Für die Rechenpunkte  $i$  gilt dann Gleichung 13.  $l_i$  ist die zum Rechenpunkt gehörende Teilstücklänge.

$$L_{Prognose,An,i} = L'_{W,An,i} + 10 \lg \left( \frac{1}{m} l_i \right) \text{ dB} - D_{9613,An,i} \quad (13)$$

Wird der Weg in beide Richtungen befahren gilt für die Rechenpunkte  $i$  Gleichung 14.

$$L_{Prognose,An,i} = 10 \lg \left[ \frac{10^{\frac{1}{10} L'_{W,An,i}} + 10^{\frac{1}{10} (-L'_{W,An,i})}}{2} \right] \text{ dB} + 10 \lg \left( \frac{1}{m} l_i \right) \text{ dB} - D_{9613,An,i} \quad (14)$$

In Gleichung 14 ist  ${}^{+e}L'_{W,An,i}$  der mit positiven und  ${}^{-e}L'_{W,An,i}$  der mit negativer Exzentrizität berechnete längenbezogene Schalleistungspegel nach den Gleichungen 9 und 11.

Der Prognosepegel für das Antriebsgeräusch vom gesamten Weg ergibt sich nach Gleichung 15.

$$L_{Prognose,An} = 10 \lg \left[ \sum_i 10^{\frac{1}{10} L_{Prognose,An,i}} \right] \text{ dB} \quad (15)$$

### 4.2.2.2 Abrollgeräusch

Das Abrollgeräusch ist nicht richtungsabhängig. Für die Rechenpunkte  $i$  gilt Gleichung 16.

$$L_{Prognose,Ro,i} = L'_{W,Ro,i} + 10 \lg \left( \frac{1}{m} l_i \right) - D_{9613,Ro,i} \quad (16)$$

Für den gesamten Weg gilt Gleichung 17.

$$L_{Prognose,Ro} = 10 \lg \left[ \sum_i 10^{\frac{1}{10} L_{Prognose,Ro,i}} \right] \text{ dB} \quad (17)$$

### 4.2.2.2 Gesamtgeräusch

Der Prognosepegel des Gesamtgeräusches beim einmaligen Befahren eines Weges ist die energetische Summe der Prognosepegel des Antriebs- und des Abrollgeräusches. Der Pegel wird nach Gleichung 18 bestimmt.

$$L_{Prognose} = 10 \lg \left[ 10^{\frac{1}{10} L_{Prognose,An}} + 10^{\frac{1}{10} L_{Prognose,Ro}} \right] \text{ dB} \quad (18)$$

## 4.2.3 Prognose für das einminütige Befahren einer Fläche

### 4.2.3.1 Das Ereignis

In den RLS-19 ist der Parkplatz eine Fläche, der ein flächenbezogener Schalleistungspegel zugeordnet wird. Die zählbaren Ereignisse sind die Fahrzeugbewegungen je Parkstand und Stunde.

Diese Vorgehensweise lässt sich nicht auf das Fahren im Gelände übertragen. Bei der Nutzung eines Übungsraums auf einem Schießplatz der Bundeswehr fahren Fahrzeuge im Rahmen von Übungen „querfeldein“, halten an, nutzen ihre Werkzeuge, fahren weiter, womöglich nach einer Neueinschätzung der Lage. Die Betriebssituation ist unvorhersehbar. Das Ereignis, das zu dieser Betriebssituation gehört, ist das Befahren des Übungsraums mit einem Fahrzeug einer gegebenen Fahrzeugklasse und die Dauer des Befahrens. Im Lärmmanagement der Bundeswehr hat sich etabliert, das einminütige Fahren als abzählbares Ereignis zu verwenden, das bei der Prognose betrachtet wird. Zur Definition eines Ereignisses siehe [11] (Anmerkung: Das einstündige Fahren wäre auch eine Möglichkeit. Allerdings ist die Nutzung typisch feiner festgelegt und es käme zu Bruchteilen einer Stunde bei einer Häufigkeitsangabe. Die Anzahl der Nutzungsminuten ist praxisnäher.)

Der Ausgangspunkt der Prognose ist deshalb die Schallenergie  $L_{Q,m}$ , die innerhalb einer Minute wirksam wird. Es wird eine gleichverteilte Nutzung der Fläche vorausgesetzt. Auch die Fahrtrichtung ist gleichverteilt.  $D_{9613,An,i}$  beziehungsweise  $D_{9613,Ro,i}$  sind in den folgenden Gleichungen die Ausbreitungsdämpfungen, die sich nach DIN ISO 9613-2 für den Rechenpunkt der Flächensegmente ergeben.

### 4.2.3.2 Antriebsgeräusch

Der Schallenergiepegel des Antriebsgeräusches für das einminütige Befahren einer Fläche wird in der Pegelgleichung Gleichung 19 bestimmt.

$$L_{Q,m,An} = L_{W,An} + 10 \lg \left( \frac{1}{s} 60 \text{ s} \right) \text{ dB} \cong L_{W,An} + 18 \text{ dB} \quad (19)$$

Der Prognosepegel für die Teilfläche  $i$  folgt aus Gleichung 20. In Gleichung 20 ist  $G$  der Flächeninhalt der Fläche und  $g_i$  der Flächeninhalt der Teilfläche  $i$  (Die Summe der  $g_i$  ist  $G$ ).

$$L_{Prognose,An,i} = L_{Q,m,An} + 10 \lg \left( \frac{g_i}{G} \right) \text{ dB} + D_{Weg,An} - D_{9613,An,i} \quad (20)$$

Der Prognosepegel für das Antriebsgeräusch aus der gesamten Fläche ergibt sich nach Gleichung 21.

$$L_{Prognose,An} = 10 \lg \left[ \sum_i 10^{\frac{1}{10} L_{Prognose,An,i}} \right] \text{ dB} \quad (21)$$

### 4.2.3.3 Abrollgeräusch

Das Abrollgeräusch ist nur zu berücksichtigen, wenn die mittlere Geschwindigkeit beim Fahren in der Fläche mindestens 30 km/h beträgt (Anmerkung: Beim militärischem Übungsbetrieb mit Fahrzeugen in den Überräumen der Schießplätze wird diese Geschwindigkeit in der Regel nicht erreicht.)

Der Schallenergiepegel des Abrollgeräusches für das einminütige Befahren einer Fläche wird in Gleichung 22 bestimmt.

$$L_{Q,m,Ro} = L_{W,Ro} + 10 \lg \left( \frac{1}{s} 60 \text{ s} \right) \text{ dB} \cong L_{W,Ro} + 18 \text{ dB} \quad (22)$$

Der Prognosepegel für die Teilfläche  $i$  folgt aus Gleichung 23.

$$L_{Prognose,Ro,i} = L_{Q,m,Ro} + 10 \lg \left( \frac{g_i}{G} \right) \text{ dB} + D_{Weg,Ro} - D_{9613,Ro,i} \quad (23)$$

Der Prognosepegel für das Abrollgeräusch aus der gesamten Fläche ergibt sich nach Gleichung 24.

$$L_{\text{Prognose,Ro}} = 10 \lg \left[ \sum_i 10^{\frac{1}{10} L_{\text{Prognose,Ro},i}} \right] \text{ dB} \quad (24)$$

#### 4.2.3.4 Gesamtgeräusch

Der Prognosepegel des Gesamtgeräusches beim einminütigen Befahren einer Fläche ist die energetische Summe der Prognosepegel des Antriebs- und des Abrollgeräusches, falls das Abrollgeräusch zu berücksichtigen ist. Der Pegel wird dann nach Gleichung 25 bestimmt.

$$L_{\text{Prognose}} = 10 \lg \left[ 10^{\frac{1}{10} L_{\text{Prognose,An}}} + 10^{\frac{1}{10} L_{\text{Prognose,Ro}}} \right] \text{ dB} \quad (25)$$

Falls das Abrollgeräusch nicht berücksichtigt wird, gilt Gleichung 26.

$$L_{\text{Prognose}} = L_{\text{Prognose,An}} \quad (26)$$

## 5 Beispiele

Es werden drei einfache Beispiele anhand von Isolinien der mit ProMoBw-Verkehr berechneten Immissionspegel vorgestellt. Ziel ist es, für die Fahrt mit einem schweren Kettenfahrzeug den Unterschied zwischen einer Fahrt in schwerem Gelände und einer Fahrt auf einer typischen Schießbahn zu zeigen. Auch der Einfluss der Richtwirkung wird deutlich.

Im Beispiel nach **Bild 10** fährt ein schweres Kettenfahrzeug auf einer asphaltierten Strecke, die durch eine Passage mit schwerem Gelände unterbrochen wird.

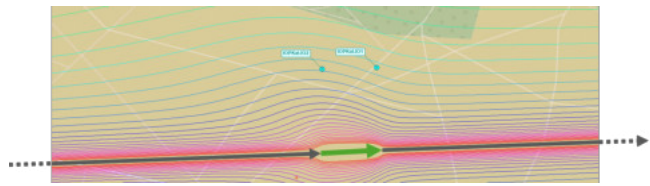
Die Immissionsorte liegen jeweils in 500 m Abstand oberhalb des Beginns und des Endes der Geländestrecke. Die Richtwirkung führt in IOPKat.IO1 zu einem um rund 1,7 dB höheren Immissionspegel als in IOPKat.IO2.

In **Bild 11** wird die Geländestrecke nach Norden ausgerichtet. Die Immissionsorte IOPKat.IO2 und IOPKat.IO3 liegen jeweils in Verlängerung der Geländestrecke in 100 m Abstand zu den Wendepunkten. Wegen der Richtcharakteristik der Antriebsgeräusche wird IOPKat.IO3 um etwa 5 dB weniger belastet als IOPKat.IO2. Bei der Planung von Geländestrecken ist deshalb die Durchfahrtrichtung von entscheidender Bedeutung für den Lärmschutz.

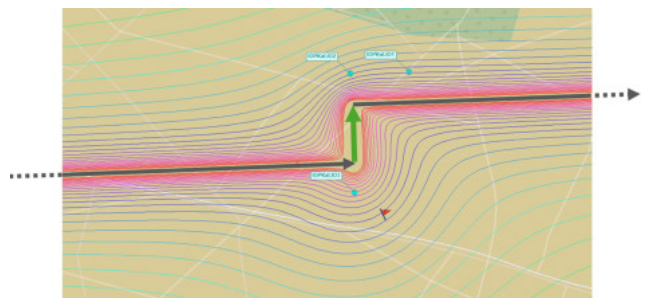
**Bild 12** zeigt das Feld der Isolinien für die gleiche Geometrie wie in Bild 10. Statt über eine schwere Geländestrecke fährt das schwere Kettenfahrzeug nun auf einer Schießbahn auf einem Truppenübungsplatz mit einer typischen Geschwindigkeit von 20 km/h. Die Fahrt über einen solchen Fahrweg ist geringfügig weniger belastend als das Fahren über Asphalt mit 50 km/h.

## 6 Fazit

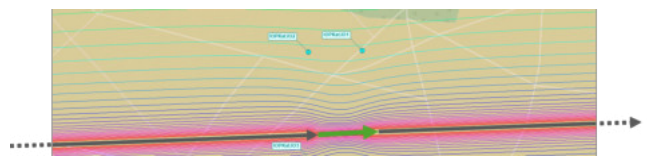
ProMoBw-Verkehr ist ein technisches Prognosemodell für Fahrgeräusche beim Fahren im Gelände für die Betrachtung dieser Geräuschquellenart im Rahmen der TA Lärm. Es orientiert sich so weit wie möglich an den RLS-19. Es beantwortet alle einleitend diskutierten Herausforderungen.



**Bild 10** Linien gleicher Immissionspegel in 1 dB Abstand für eine Vorbeifahrt eines schweren Kettenfahrzeugs von links nach rechts. Grau: asphaltierte Abschnitte,  $D_{\text{Weg,Ro}} = 0 \text{ dB}$ ,  $D_{\text{Weg,An}} = 0 \text{ dB}$ ,  $v = 50 \text{ km/h}$ . Grün: 200 m lange schwere Geländestrecke,  $D_{\text{Weg,Ro}} = -10 \text{ dB}$ ,  $D_{\text{Weg,An}} = 10 \text{ dB}$ ,  $v = 10 \text{ km/h}$  (eigene Darstellung).



**Bild 11** Linien gleicher Immissionspegel in 1 dB Abstand für eine Vorbeifahrt eines schweren Kettenfahrzeugs von links nach rechts. Grau: asphaltierte Abschnitte,  $D_{\text{Weg,Ro}} = 0 \text{ dB}$ ,  $D_{\text{Weg,An}} = 0 \text{ dB}$ ,  $v = 50 \text{ km/h}$ . Grün: 200 m lange schwere Geländestrecke,  $D_{\text{Weg,Ro}} = -10 \text{ dB}$ ,  $D_{\text{Weg,An}} = 10 \text{ dB}$ ,  $v = 10 \text{ km/h}$  (eigene Darstellung).



**Bild 12** Linien gleicher Immissionspegel in 1 dB Abstand für eine Vorbeifahrt eines schweren Kettenfahrzeugs von links nach rechts. Grau: asphaltierte Abschnitte,  $D_{\text{Weg,Ro}} = 0 \text{ dB}$ ,  $D_{\text{Weg,An}} = 0 \text{ dB}$ ,  $v = 50 \text{ km/h}$ . Grün: 200 m lange Strecke auf einer Schießbahn,  $D_{\text{Weg,Ro}} = -8 \text{ dB}$ ,  $D_{\text{Weg,An}} = 0 \text{ dB}$ ,  $v = 20 \text{ km/h}$  (eigene Darstellung).

Die Unsicherheiten der Prognosen werden weniger durch das Quellmodell oder das Ausbreitungsmodell bestimmt, sondern durch die Unsicherheiten des Vorwissens zur Beschreibung der Betriebssituation und hier insbesondere durch das unsichere Wissen über die Beschaffenheit des Geländes. Hinzu kommt, dass die Beschaffenheit in starkem Maße auch vom Wetter abhängen kann, insbesondere von der Durchfeuchtung des Weges. Im Gegensatz zu den Straßendeckschichtkorrekturen der RLS-19, die dort auf ein Zehntel Dezibel angegeben sind, sind die in ProMoBw-Verkehr angesetzten Anhaltswerte signifikant unsicher. ■

## DANKSAGUNG

Der Autor dankt Dr. Berthold Vogelsang für viele Anregungen und intensive Diskussionen und Edmund Mommertz für die sorgfältige Durchsicht des Manuskripts.



Dr.-Ing.  
**Karl-Wilhelm Hirsch**  
 Freier Mitarbeiter der Cervus Consult GmbH  
 hirsch@cervus.de  
 Foto: privat

#### 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 ist. Stand: Neugefasst durch Bek. v. 17.5.2013 | 1274, Geändert durch Art. 1 G v. 2.7.2013 | 1943, Berichtigung v. 7.10.2013 | 3753 ist berücksichtigt.
- [2] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm vom 26. August 1998. GMBI.
- [3] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – 4. BImSchV.
- [4] Hirsch, K.-W.: „Verkehrsgläusche militärischer Fahrzeuge beim Fahren im Gelände“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2025, Kopenhagen.
- [5] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, RLS-19, Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen e. V., Ausgabe 2019, FGSV Verlag, Köln.
- [6] „Richtlinie für das Lärmmanagement auf Schießplätzen (Lärmmanagementrichtlinie – LMR)“, Herausgeber Bundesministerium der Verteidigung.
- [7] Testaufgaben für die Überprüfung von Rechenprogrammen nach den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – Test-20, Version 2.1 vom 16.09.2021, <https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Verkehrstechnik/Unterseiten/test20.html?nn=1497198>, zuletzt abgerufen am 16.4.2025.
- [8] Heutschi, K.; Locher, B.; Gerber, M.: „sonRoad: Swiss implementation of the CONOSSOS-EU road traffic noise model IEMPA“, Acta Acustica united with Acustica 104(2018) 697-706.
- [9] Buchta, E.; Krahé, D.: „Zur Bestimmung des Mittelungspegels von schweren Lkw und Kettenfahrzeugen“ in Fortschritte der Akustik, DAGA 1992, S. 357.
- [10] Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen -LeitGeStand, Version 1.0, Herausgeber Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI).
- [11] Hirsch, K.-W.: „Von Ereignissen und ihren Pegeln – nicht nur bei Schießlärm“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2024, Hannover.