



Schalltechnische Auswirkungen auf die Verkehrslärmimmissionen durch eine zunehmende Elektrifizierung der Fahrzeugflotte

TEXT: L. Niemietz, A. Lobach, D. Kliesch

ZUSAMMENFASSUNG Zur Ermittlung der Emissionen von E-Pkw, und um die schalltechnischen Auswirkungen der Elektrifizierung der Pkw-Flotte bewerten zu können, erfolgten Luftschallmessungen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Pegel von E-Autos gerade bei niedrigen Geschwindigkeiten erwartungsgemäß geringer ausfallen als bei konventionell angetriebenen Pkw. Die Parametrisierung des Emissionsverhaltens in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit entsprechend der RLS-19 [1] kann hier auch auf E-Pkw übertragen werden. Hierbei zeigt sich, dass E-Pkw ein niedrigeres Grundgeräuschniveau aufweisen. Durch den größeren Exponenten $C_{W,E-Pkw}$ steigen die Emissionen der E-Pkw stärker mit zunehmender Geschwindigkeit, sodass bei hohen Geschwindigkeiten die E-Pkw ein vergleichbares Emissionsverhalten aufweisen wie konventionell angetriebene Pkw.

Mit den Erkenntnissen lassen sich nun auch Emissionen in Anlehnung an die RLS-19 für Fahrzeugflotten mit Berücksichtigung von variablen E-Pkw-Anteilen berechnen. Im Straßenverkehr ergibt sich ohne Berücksichtigung der Lkw bei niedrigen Geschwindigkeiten (etwa 30 km/h) bereits bei Anteilen von 40 % E-Pkw eine Reduktion der Emissionen der Straßen von rund 1,3 dB, während bei hohen Anteilen (≥ 80 %) Differenzen von über 4 dB erreicht werden können. Bereits ab 50 km/h

Acoustic effects on traffic noise emissions due to increasing electrification of the vehicle fleet

ABSTRACT Airborne sound measurements were carried out to determine the emissions of electric cars and to assess the acoustic impact of the electrification of a given composition of conventional and electric cars. The results show that, as expected, the noise levels of electric cars are lower than those of conventionally powered cars, especially at low speeds. The parameterization of emission behavior as a function of speed in accordance with RLS-19 [1] can also be applied to electric cars. This shows that electric cars have a lower basic noise level. Due to the larger exponent $C_{W,E-Pkw}$, the emissions of electric cars increase more sharply with increasing speed, so that at high speeds, electric cars have a comparable emission behavior to conventionally powered cars. With these findings, emissions can now also be calculated for vehicle fleets based on RLS-19, taking into account variable proportions of electric cars. In road traffic, without taking trucks into account, at low speeds (approximately 30 km/h), a 40 % share of electric cars already results in a reduction in road emissions of around 1.3 dB, while at high shares (≥ 80 %),

reduziert sich die Pegelminderung bei einem Anteil von 40 % E-Pkw auf unter 1,8 dB. Bei 80 % E-Pkw ergibt sich eine Minderung um 3 dB. Unter Einbeziehung der Lkw entsprechend den Standard-Ansätzen der RLS-19 für Pkw verringert sich die durch E-Pkw erzielbare Pegelminderung. Bei 30 km/h ergibt sich bei den oben genannten Anteilen von 40 % E-Pkw am Pkw-Aufkommen eine Minderung um 0,9 dB, bei einem Anteil von 80 % ergibt sich eine Minderung von 2 dB.

Insgesamt ist daher durch die zunehmende Elektrifizierung der Pkw-Fahrzeugflotte im innerstädtischen Raum zwar mit einer Reduktion der Verkehrslärmimmissionen zu rechnen, der Effekt wird aber vergleichsweise gering sein.

Einführung

Durch die voranschreitende Elektrifizierung der Fahrzeuge entsteht landläufig die Meinung, dass zukünftig Verkehrslärmimmissionen im Vergleich zum heutigen Zustand deutlich gemindert werden. Insbesondere bei Wettbewerbsverfahren im Nahbereich stark frequentierter Straßen hört man häufig den Satz: „Mit den E-Autos hat sich das Problem doch ohnehin erledigt“. Untersuchungen zu den tatsächlichen Auswirkungen der Elektromobilität auf den innerstädtischen Verkehrslärm liegen jedoch nicht vor.

Die Ermittlung der Verkehrslärmimmissionen durch Straßenverkehr erfolgt nach dem normativen Verfahren der RLS-19 [1]. Um schalltechnische Aussagen im Hinblick auf die letztendlichen Effekte einer zunehmenden Elektromobilität treffen zu können, erfolgten durch Peutz Consult systematische Luftschallmessungen zur Ermittlung der Emissionen, die durch E-Pkw in Abhängigkeit der Geschwindigkeit erzeugt werden. Ziel ist es, die Schallemissionen von E-Pkw messtechnisch zu erfassen und anhand der Systematik der RLS-19 zu parametrisieren. Anschließend werden die prognostizierten Emissionen der E-Pkw mit den Emissionen der in der RLS-19 berücksichtigten konventionell angetriebenen Pkw verglichen. Die hier dargestellten Ergebnisse beruhen auf einer in Zusammenarbeit mit der Peutz Consult GmbH durchgeführten Abschlussarbeit [2].

Schallquellen am Fahrzeug

Die Geräuschemissionen eines Fahrzeugs entstehen durch das Zusammenwirken mehrerer physikalischer Prozesse, die sich in unterschiedliche Teilgeräuschquellen unterteilen lassen. Wesentliche Komponenten sind das Antriebsgeräusch, das Reifen-Fahrbahn-Geräusch sowie aerodynamische Geräusche bei hohen Geschwindigkeiten. Der Anteil dieser Quellen am Gesamtpegel hängt stark von der Fahrgeschwindigkeit, der Fahrbahnoberfläche, dem Fahrzeugtyp und den Betriebsbedingungen ab. Während das Reifen-Fahrbahn-Geräusch sowie die aerodynamischen Geräusche aufgrund der vergleichbaren Bauart der konventionell angetriebenen und elektrisch angetriebenen Pkw vergleichbar sind, kommt es gerade beim Antriebsgeräusch zu deutlichen Unterschieden. Insbesondere bei vergleichsweise niedrigen Geschwindigkeiten, wie sie in innerstädtischen Lagen vorliegen, ist der Anteil der Antriebsgeräusche mit immissionsrelevant, bei höheren Geschwindigkeiten wie sie außerhalb vorliegen, dominiert jedoch das Reifen-Fahrbahn-Geräusch.

differences of over 4 dB can be achieved. At speeds of 50 km/h and above, the noise reduction with a 40 % share of electric cars falls to below 1.8 dB. With an 80 % share of electric cars, the reduction is 3 dB. When Trucks are taken into account based on the standard approaches of the RLS-19, the achievable noise reduction is reduced even further, especially at higher speeds. At 30 km/h, the above-mentioned proportion of 40 % electric cars in the car fleet results in a reduction of 0.9 dB, while a proportion of 80 % results in a reduction of 2 dB. Overall, therefore, although the increasing electrification of the car fleet in inner-city areas is expected to reduce traffic noise emissions, the effect will be comparatively small.

Das Antriebsgeräusch elektrisch betriebener Fahrzeuge unterscheidet sich grundlegend von dem konventioneller Verbrennungsmotoren, da hier keine Zünd- und Abgasprozesse vorliegen. Die relevanten Schallquellen werden überwiegend durch elektromagnetische mechanische und strömungsbedingte Effekte im Antriebssystem hervorgerufen. Diese Geräuschquellen sind jedoch grundlegend leiser als die Emissionen der Hauptemittenten von Verbrennungsmotoren.

Aufgrund der geringen Grundgeräusche der E-Pkw schreibt die Verordnung (EU) 540/2014 [3] vor, dass neue Elektro- und Hybrid-Fahrzeuge mit einem Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS) ausgestattet sein müssen. Das System soll andere Verkehrsteilnehmende frühzeitig auf das Fahrzeug aufmerksam machen und so die Verkehrssicherheit, insbesondere für Fußgänger und seh- oder hörbehinderte Personen, verbessern. Das AVAS erzeugt bei Geschwindigkeiten bis mindestens 20 km/h ein künstliches Geräusch. Herstellern steht es frei, das AVAS auch bei höheren Geschwindigkeiten einzusetzen. Herstellerabhängig erfolgt hier der Einsatz bei typischerweise bis zu 20 km/h oder 30 km/h. Der Schalldruckpegel des AVAS muss gemäß Richtlinie [3] in einem Abstand von 2 m zwischen 56 dB(A) und 75 dB(A) betragen. Demnach ergibt sich aus der Richtlinie eine erhebliche Schwankung der Geräuscentwicklung aufgrund des AVAS von knapp 20 dB. Bei niedrigen Geschwindigkeiten kann das AVAS daher im Hinblick auf den oberen Bereich der zulässigen Spanne vergleichbare Emissionen erzeugen wie konventionell angetriebene Fahrzeuge.

Berechnungsansätze der RLS-19

Die Ermittlung der Verkehrslärmimmissionen durch den Straßenverkehr im Rahmen von zum Beispiel Bebauungsplanverfahren, Bauanträgen oder Planfeststellungsverfahren erfolgt in Deutschland normativ über die Richtlinie für Lärmschutz an Straßen (RLS-19 [1]). Messungen der Verkehrslärmimmissionen sind in der Regel unüblich und dienen lediglich dem Vergleich mit den berechneten Immissionen.

Die RLS-19 unterteilt die Verkehre in drei Fahrzeuggruppen, Pkw, Lkw1 (Lkw ohne Anhänger und Busse) und Lkw2 (Lkw mit Anhänger und Sattelzüge). Motorräder (Krad) werden wie Lkw2 behandelt. In den Berechnungen wird hier das durchschnittliche tägliche Verkehrsaufkommen (DTV) sowie die prozentualen Anteile der genannten Fahrzeuggruppen getrennt für den Tages- und Nachtzeitraum berücksichtigt.

Das Berechnungsverfahren der RLS-19 basiert auf einer zweistufigen Berechnung. Im Ersten Schritt erfolgt die Ermittlung der

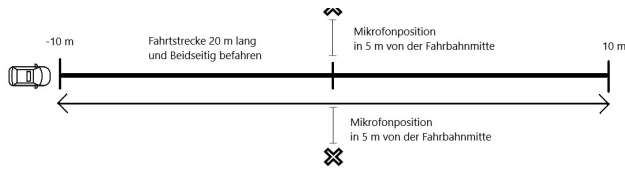


Bild 1 Messaufbau mit Kennzeichnung der Messstrecke von 20 m zuzüglich der Fahrzeuglänge sowie der exemplarischen Lage der Messmikrofone hier bei einem Abstand von 5 m. Die Messungen in 7,5 m Abstand erfolgten analog. *Grafik: Peutz Consult*

Schallemissionen, der abgestrahlten Schallleistung und im zweiten Schritt erfolgt die Schallausbreitungsberechnung, also die Ermittlung des resultierenden Beurteilungspegels am Immissionsort unter Berücksichtigung von Minderungen, wie zum Beispiel Hindernisse, Dämpfung im Ausbreitungsweg und zusätzlichen Reflexionen.

Der energieäquivalente Schallleistungspegel $L_{W0,FzG}(v_{FzG})$ wird in der RLS-19 in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit v sowie der Fahrzeuggruppe FzG (Pkw, Lkw1 oder Lkw2) beschrieben. Der geschwindigkeitsabhängige Emissionsansatz gemäß RLS-19 lautet:

$$L_{W0,FzG}(v_{FzG}) = A_{w,FzG} + 10 \times \lg \left[1 + \left(\frac{v_{FzG}}{B_{w,FzG}} \right)^{C_{w,FzG}} \right] [\text{dB(A)}] \quad (1)$$

$A_{w,FzG}$ steht dabei für den Basisemissionspegel [dB(A)] der jeweiligen Fahrzeuggruppe. Er beschreibt das allgemeine Grundgeräuschniveau eines Fahrzeugs bei niedrigen Geschwindigkeiten, also vor allem den Anteil des Antriebsgeräusches. Ein höherer A-Wert bedeutet, dass die Fahrzeuggruppe insgesamt lauter ist. $B_{w,FzG}$ ist der Geschwindigkeitsparameter [km/h]. Er legt fest, ab welcher Geschwindigkeit der Geräuschpegel über den Basisemissionspegel hinaus zunimmt. Dieser Wert kennzeichnet den Bereich, in dem der Beitrag durch das Reifen-/Fahrbahn-Geräusch äquivalent zum Basisemissionspegel ist. $C_{w,FzG}$ ist der Steigungsexponent (dimensionslos). Er beschreibt, wie stark sich der Emissionspegel mit zunehmender Geschwindigkeit erhöht. Ein größerer C-Wert steht für eine stärkere Zunahme und damit einer größeren Abhängigkeit des Schallleistungspegels von der Geschwindigkeit. Für die Fahrzeuggruppe Pkw (konventionell) betragen die genannten Emissionsparameter in der RLS-19: $A_{w,FzG} = 88 \text{ dB(A)}$, $B_{w,FzG} = 20 \text{ km/h}$ und $C_{w,FzG} = 3,06$. Neben den Emissionsparametern gibt es in der RLS-19 zusätzliche Korrekturterme zur Berücksichtigung der Straßenoberfläche, der Steigung/Gefälle oder für den erhöhten Störeinfluss im Nahbereich von lichtzeichenge-regelten Knotenpunkten oder Kreisverkehren. Auf diese wird im Weiteren nicht im Detail eingegangen.

Tabelle 1 Übersicht der in der Messung verwendeten E-Pkw.

Fahrzeug	Plattform	Gewicht [kg]	Reifen	Akkugröße [kWh]	Länge [m]
Renault Zoe	Renault Clio IV	1577	195/55 R16	52	4,1
Audi Q4 e-tron	MEB-Modular E-Antriebs-Baukasten (VW-Konzern)	2145	255/40 R21	77	4,9
Tesla Model Y	-	1778	255/40 R20	82	5,1
Cupra Born	MEB-Modular E-Antriebs-Baukasten (VW-Konzern)	1736	215/55 R18	62	4,3
Hyundai Kona	Hyundai K3 (Multi-Energieträger)	1795	205/60 R16	64	4,4
Volvo Polestar 2	CMA -Compact ModularArchitecture (Volvo)	2082	245/40 R20	70	4,6
Skoda Elroq	MEB-Modular E-Antriebs-Baukasten (VW-Konzern)	1949	235/45 R20	82	4,5

Die berechneten Emissionen $L_{W0}(v_{FzG})$ beziehen sich auf ein einzelnes Fahrzeug. Für die Bildung eines längenbezogenen Schallleistungspegels der Straßen $L'_{W}(N,v)$ [dB(A)] mit einer Frequentierung von N Fahrzeugen je Stunde wird in der RLS-19 eine Normierung auf 1 m und 1 h vorgenommen:

$$L'_{W}(N,v_{FzG}) = L_{W,0} + 10 \cdot \log_{10}(N) - 10 \log_{10} \left(\frac{1}{1000 \cdot v_{FzG}} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{h}} \right) [\text{dB(A)}] \quad (2)$$

Die Emissionsparameter der RLS-19 wurden ausschließlich auf Basis von Verbrennerfahrzeugen ermittelt. Für elektrisch betriebene Pkw liegen bislang keine eigenständigen Emissionsparameter $A_{w,FzG}$, $B_{w,FzG}$ und $C_{w,FzG}$ vor. Auf Grundlage von Luftschallmessungen sollen diese Parameter für E-Pkw im Weiteren ermittelt werden.

Durchführung der Messungen

Die Messungen erfolgten an zwei verschiedenen Standorten auf einer geraden, asphaltierten Messstrecke mit einer Länge von 20 m + Fahrzeuglänge. Der verwendete Fahrbelag entsprach einem dichten Asphalt und ist repräsentativ für typische innerstädtische Beläge. Die erste Messung erfolgte auf einer neu errichteten innerstädtischen öffentlichen Straße mit entsprechend neuem Asphalt. Die zweite Messung erfolgte auf einem derzeit ungenutzten Industrieareal, dementsprechend mit einer älteren Fahrbahn. Bei der Wahl der Messstrecke wurde darauf geachtet, dass sich keine Schadstellen im Asphalt befinden. Untersucht wurden ausschließlich E-Pkw. Dabei wurde die Strecke mittig und mit möglichst konstanter Geschwindigkeit von 20, 30 und 50 km/h durchfahren. Bei der zweiten Messung außerhalb der öffentlichen Verkehrsfläche war zudem eine Messung mit 70 km/h möglich. Zur Erhöhung der statistischen Aussage wurden pro Geschwindigkeit jeweils fünf Durchfahrten je Fahrzeug durchgeführt. Die Messmikrofone befanden sich beidseitig der Fahrbahn in 7,5 m beziehungsweise 5 m horizontalem Abstand, in einer Höhe von 1,2 m. Als Messgeräte kamen kalibrierte Präzisionsschallpegelmesser Brüel & Kjær Typ 2250 (Serie 145) zum Einsatz, die der Genauigkeitsklasse 1 gemäß DIN EN 61672-1 entsprechen. Die Messungen und die Auswertung erfolgen in Anlehnung an die im Entwurf der DIN 38458-1:2025-11 [4] dargestellten Grundlagen (**Bild 1**).

Die messtechnisch erfassten Fahrzeuge können **Tabelle 1** entnommen werden. Für jede Durchfahrt wurde der Zeitpunkt des Ein- und Austritts in den Messbereich händisch am Messgerät markiert. Hierdurch kann die Auswertung auf den oben genann-

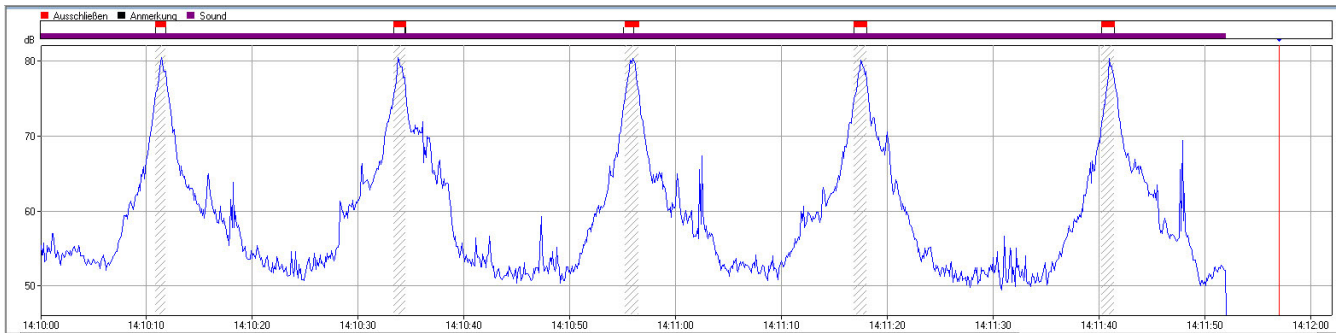


Bild 2 Zeitverlauf des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegels während fünf Vorbeifahrten des Cupra Born bei 70 km/h. Grafik: Peutz Consult

ten Messabschnitt (20 m + Fahrzeuglänge) beschränkt und die Durchfahrtsgeschwindigkeit ermittelt werden.

In **Bild 2** ist exemplarisch der zeitliche Verlauf von fünf Durchfahrten des Cupra Born bei 70 km/h dargestellt. Der Zeitbereich innerhalb der Messstrecke (20 m + Fahrzeuglänge) ist in der Kopfzeile Rot markiert und im Pegelschrieb als Schraffur dargestellt.

Auf Grundlage der messtechnisch erfassten Schalldruckpegel erfolgt die Umrechnung des energieäquivalenten Dauerschallpegels L'_{Aeq} der einzelnen Vorbeifahrten in den längenbezogenen Schalleistungspegel $L'_{WAeq,1h}$.

Auswertung

Die gemessenen energieäquivalenten Schalldruckpegel L_{pAeq} für die einzelnen Durchfahrten müssen in fahrzeugspezifische, auf 1 m und 1 h bezogene längenbezogene Schalleistungspegel $L'_{WA,1h}$ umgerechnet werden, um den am Messmikrofon gemessenen Pegel in 5 m Abstand auf die tatsächlich abgestrahlte Schalleistung des Fahrzeugs zurückzurechnen.

Der am Messmikrofon erfasste Schalldruckpegel steht über die Schallausbreitung in direktem Zusammenhang mit der abgestrahlten Schalleistung der Quelle. Für eine punktförmig abstrahlende Quelle ergibt sich bei kugelförmiger Ausbreitung:

$$L_W = L_p + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi r_{eff}^2}{1m^2} \right) - 10 \cdot \log_{10}(Q) \quad [dB(A)] \quad (3)$$

Die Formel beschreibt, wie aus dem gemessenen Schalldruckpegel $L_p(t)$ [dB] einer Durchfahrt die emittierte Schalleistung L_W einer Durchfahrt ermittelt werden kann. Dabei beschreibt r_{eff} den effektiven Abstand zwischen Fahrzeug und Mikrofon, und Q den Richtfaktor der Quelle. Analog zur RLS-19 wird für eine Halbraumabstrahlung (reflektierender Boden) $Q = 2$ angesetzt.

Um die gemessenen Schalleistungspegel mit den Bezugsbedingungen der RLS-19 (1 m Fahrweg, 1 h) vergleichbar zu machen, wird ein zusätzlicher Normierungsterm $\Delta_{Bezug}(v_{FzG})$ eingeführt. Dieser berücksichtigt, dass eine reale Vorbeifahrt nur über eine sehr kurze Zeit erfolgt, während die RLS-19 auf eine Bezugszeit von einer Stunde normiert ist.

Durch diese Umrechnung erhält man den zurückgerechneten Referenz-Schalleistungspegel für ein W_{ref} -Element von 1 m bezogen auf die Beurteilungszeit von 1 h ($1 \frac{m}{h}$):

$$L_W = L_p + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi r_{eff}^2}{1m^2} \right) - 10 \cdot \log_{10}(Q) + \Delta_{Bezug}(v_{FzG}) \quad [dB(A)] \quad (4)$$

mit

$$\Delta_{Bezug}(v_{FzG}) = + 10 \cdot \log_{10} \cdot \left(\frac{1}{1000 \times v_{FzG}} \cdot 1 \frac{m}{h} \right) \quad (v_{FzG} \text{ in km/h}) \quad (5)$$

Da die Schallintensität während der gesamten Vorbeifahrt mit dem Quadrat des Abstands abnimmt, wird zur Vereinfachung ein energieäquivalenter Abstand r_{eff} über die folgende Beziehung bestimmt:

$$r(t) = \sqrt{x(t)^2 + y^2} \quad (6)$$

Wobei $x(t)$ die Position des Fahrzeugs entlang der Fahrtrichtung und y der seitliche Abstand des Mikrofons (hier 7,5 beziehungsweise 5 m) ist. Für den Abstand r_{eff} bei dem der gleiche energieäquivalente Pegel, wie der reale zeitlich variable Abstand $r(t)$ für die Dauer der Durchfahrt der Messstrecke vorliegt, gilt die folgende Formel:

$$\frac{1}{r_{eff}^2} = \frac{1}{x_1 - x_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{x^2 + y^2} dx \quad (7)$$

wobei x_1 bis x_2 die Länge des ausgewerteten Fahrabschnitts (Messfenster + Fahrzeuglänge) beschreibt. Daraus folgt:

$$r_{eff} = \sqrt{\frac{(x_1 - x_2) \cdot y}{\tan^{-1} \left(\frac{x_2}{y} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{x_1}{y} \right)}} \quad (8)$$

Bei einer typischen Länge der Pkw von rund 4,5 m und einem Abstand des Messmikrofones von 5 m zu $r_{eff} \approx 7,3$ m beziehungsweise $r_{eff} \approx 9,5$ m für einen Messabstand von $r = 7,5$ m. Mit N Anzahl der Fahrzeuge pro Stunde und v_{FzG} als mittlere Geschwindigkeit in ergibt sich der längenbezogene Schalleistungspegel:

$$L'_W(N, v_{FzG}) = L_{Weq}(v_{FzG}) + 10 \cdot \log_{10}[N] + 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{1000 \times v_{FzG}} \cdot 1 \frac{m}{h} \right] \quad (9)$$

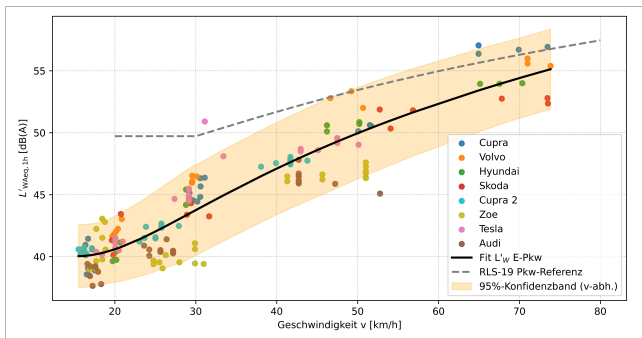


Bild 3 Darstellung der aus der Messung ermittelten längenbezogenen Schalleistungspegel $L'_{WA,eq,1h}$ mit der angefitzten Emissionsfunktion $L'_{W,E-Pkw}(v_{E-Pkw})$ für E-Pkw. Das orangene Band zeigt das 95 % Konfidenzintervall. Grafik: Peutz Consult

Tabelle 2 Ergebnisse der nicht-linearen Ausgleichsrechnung der Emissionsfunktion für E-Pkw.

Parameter	Bezeichnung	Einheit	Ergebnis
$A_{W,E-Pkw}$	Basisemissionspegel	dB	80
$B_{W,E-Pkw}$	Geschwindigkeitsparameter	km/h	20
$C_{W,E-Pkw}$	Exponent	-	4,1

Ergebnisse

Die gemessenen längenbezogenen Schalleistungspegel $L'_{WA,eq,1h}$ je Vorbeifahrt und Geschwindigkeit sind in **Bild 3** dargestellt.

Wie Bild 3 zu entnehmen ist, liegen insbesondere bei niedrigen Geschwindigkeiten die ermittelten längenbezogenen Schalleistungspegel $L'_{WA,1h}$ unter den Emissionsansätzen der RLS-19. Trotz der zusätzlichen Emissionen durch das AVAS liegen bei 20 km/h die gemessenen Emissionen der E-Pkw deutlich unter den Ansätzen der RLS-19. Besonders auffällig ist hier jedoch der Renault Zoe, bei dem sich zum Teil bei 20 km/h mit AVAS ein höherer längenbezogener Schalleistungspegel ergibt, als bei 30 km/h ohne AVAS (hellgrüne Punkte in Bild 3). Ursächlich ist hier zum einen, dass das Geräusch des AVAS beim Zoe besonders prägnant ist und zum anderen aus den Messdaten heraus offensichtlich einseitig verbaut ist. Im Hinblick auf die geringe Statistik erfolgte keine Auswertung hinsichtlich der schalltechnischen Auswirkungen der Breite der Fahrzeugreifen.

Ermittlung der Emissionsparameter gemäß RLS-19 für E-Pkw

Zur Beschreibung der gemessenen Abhängigkeit der Schallemission der E-Pkw von der Fahrgeschwindigkeit wird die in der RLS-19 definierte Parametrisierung verwendet (vgl. Formel (1)):

$$L_{W,eq,E-Pkw}(v_{E-Pkw}) = A_{E-Pkw} + 10 \cdot \log_{10} \left[1 + \left(\frac{v_{E-Pkw}}{B_{E-Pkw}} \right)^{C_{E-Pkw}} \right] \text{ [dB(A)]} \quad (10)$$

Die Parameter A , B und C der Emissionsfunktion werden mittels einer Regressionsberechnung nach dem Verfahren der kleinsten Quadrate ermittelt.

Der resultierende Regressionsfit zeigt eine mittlere Abweichung von 1,9 dB über alle Geschwindigkeitsstufen und bildet

den Verlauf der Messdaten gut ab (vgl. Bild 3). Das Bestimmtheitsmaß R^2 der Regressionsberechnung liegt bei 0,93.

Vergleich der Emissionsparameter

Wie in Tabelle 2 zu erkennen ist, ergibt sich im Vergleich zu den RLS-19-Parametern für Pkw eine Reduktion von rund 8 dB des Basisemissionspegels von $A_{W,Pkw} = 88 \text{ dB(A)}$ auf $A_{W,E-Pkw} = 80 \text{ dB(A)}$. Insbesondere bei niedrigen Geschwindigkeiten, bei welchen die anteiligen Pegel aus den geschwindigkeitsabhängigen Anteilen noch sehr gering sind ($v_{E-Pkw} < B_{W,E-Pkw}$), ist demnach eine deutliche Reduktion der Fahrgeräusche der E-Pkw im Vergleich zum konventionellen Pkw zu erwarten.

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass durch den Parameter $B_{W,E-Pkw} = 20 \text{ km/h}$ der Anteil der geschwindigkeitsabhängigen Geräuschkomponenten gleichzeitig einsetzt, wie bei den konventionellen Pkw der RLS-19 mit $B_{W,Pkw} = 20 \text{ km/h}$. Da bei hohen Geschwindigkeiten die Emissionen der E-Pkw und der konventionell angetriebenen Pkw vergleichbar sind, muss bei den E-Pkw der geschwindigkeitsabhängige Anteil stärker zunehmen als bei den konventionellen Pkw in der RSL-19. Dies wird deutlich im Exponent $C_{W,E-Pkw} = 4,1$ der größer ist als der Exponent der RLS-19 für Pkw von $C_{W,Pkw} = 3,07$.

Die Messungen der E-Pkw konnten nur bis 50 beziehungsweise 70 km/h erfolgen. Aus den Messungen wird jedoch bereits ersichtlich, dass sich die Emissionen der E-Pkw und der konventionell angetriebenen Pkw bei höheren Geschwindigkeiten angleichen.

Modellberechnungen zu verschiedenen E-Pkw-Anteilen

Im Folgenden wird auf Grundlage der abgeleiteten Emissionsparameter für E-Pkw berechnet, wie sich ein variabler Anteil an E-Pkw in Abhängigkeit der Geschwindigkeit auf das Gesamtemissionsniveau des Straßenverkehrs auswirkt.

Die Modellierung der Verkehrsszenarien für verschiedene Anteile von E-Pkw am gesamten Pkw-Aufkommen erfolgt auf Grundlage der Emissionsberechnung der RLS-19 in Verbindung mit den ermittelten Emissionsparametern für E-Pkw. Der fahrzeugspezifische Emissionspegel $L_{WA,eq,1h}(v)$ wird für E-Pkw und konventionelle Pkw getrennt gemäß der geschwindigkeitsabhängigen Emissionsfunktion (1) berechnet.

In einem ersten Schritt erfolgt die Berechnung ohne die Berücksichtigung von Lkw. Für die Beschreibung gemischter Fahrzeugflotten bestehend aus E-Pkw und konventionell angetriebenen Pkw wird der Emissionspegel analog zur Berücksichtigung von Lkw in der RLS-19 auf Quellenebene energetisch gemittelt. Diese Beziehung ergänzt die zuvor eingeführten Formeln und lautet:

$$L_{WA,eq,Mix}(v,s) = 10 \cdot \log_{10} \left(s \cdot 10^{\left(\frac{L_{WA,eq,E-Pkw}(v)}{10} \right)} + (1-s) \cdot 10^{\left(\frac{L_{WA,eq,Pkw}(v)}{10} \right)} \right) \quad (11)$$

Wobei s den Anteil der E-Pkw an den gesamten Pkw beschreibt ($0 \leq s \leq 1$).

Die Modellberechnungen werden für verschiedene Anteile an E-Pkw für die Geschwindigkeiten $v = 20 \dots 100 \text{ km/h}$ in 10-km/h-Schritten durchgeführt. Grundlage bilden die in Kapitel 4 bestimmten Parameter für E-Pkw.

Für jedes Geschwindigkeitsszenario wird $L_{WAeq,Mix}$ und als Referenz $L_{WAeq,Pkw}$ gemäß (1) in Abhängigkeit der E-Pkw im Flottenanteil berechnet.

Ergebnis der Variantenbetrachtung

Die Modellierung zeigt je nach Geschwindigkeit eine deutliche Abhängigkeit der Schallemissionen vom Anteil der E-Pkw. Insbesondere bei niedrigen Geschwindigkeiten sinkt das Gesamtemissionsniveau mit steigendem Anteil der E-Pkw.

Die längenbezogenen Schallleistungspegel für verschiedene E-Pkw-Anteile sind in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit in **Bild 4** dargestellt.

Diese Ergebnisse bestätigen den in Kapitel 4 beschriebenen Übergang von antriebsdominierten Geräuschanteilen bei niedrigen Geschwindigkeiten hin zu reifen- und fahrbahndominierten Emissionen bei höheren Geschwindigkeiten. Die berechneten Werte zeigen, dass der akustische Vorteil der E-Pkw im Wesentlichen im innerstädtischen Verkehr und bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten auftritt. In den Mischszenarien ergibt sich ein gleichmäßiger Rückgang des Emissionspegels $L_{WAeq,Mix}$ mit steigendem Anteil s an Elektrofahrzeugen.

Für niedrige Geschwindigkeiten (30 km/h) ergibt sich zum Beispiel bereits bei moderaten Anteilen von 40 % E-Pkw eine Reduktion der Emissionen von rund 1,3 dB, während bei hohen Anteilen ($\geq 80\%$) Differenzen von über 4 dB erreicht werden können. Bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten von etwa 20 km/h können sogar noch größere Minderungen erzielt werden. Während diese niedrigen Geschwindigkeiten im innerstädtischen Verkehr eher selten vorkommen, könnte dies dennoch relevant sein, zum Beispiel bei der Bewertung von großen Kundenparkplätzen. Bereits ab 50 km/h reduziert sich die Pegelminderung bei einem Anteil von 40 % E-Pkw auf unter 1,8 dB. Bei 80 % E-Pkw ergibt sich eine Minderung um 3 dB, wobei hier die Wirkung der Lkw außer Acht gelassen wird, die gerade auf Straßen mit Geschwindigkeiten oberhalb von 50 km/h nicht mehr zu vernachlässigen sind.

Unter zusätzlicher Berücksichtigung von Lkw mit einem Anteil von 3 % Lkw1 und 4 % Lkw2 entsprechend der Standard-Annäherung der RLS-19 für Gemeindestraße kommt es zu einer deutlich geringeren Pegelminderung durch einen Anteil von E-Pkw, siehe **Bild 5**. Bei 30 km/h ergibt sich bei den oben genannten Anteilen von 40 % E-Pkw am Pkw-Aufkommen eine Minderung um 0,9 dB, bei 80 % E-Pkw um 2 dB. Durch das Grundgeräusch der Lkw ergeben sich bei 50 km/h vergleichbare Pegelminderungen wie bei 30 km/h.

Fazit

Durch die Elektrifizierung der Pkw-Flotte ist insbesondere im innerstädtischen Raum mit geringeren Verkehrslärmimmissionen zu rechnen. Wie die Berechnungsergebnisse zeigen, kommt es hierbei jedoch bei typischen Geschwindigkeiten von 30 bis 50 km/h bei moderaten Ansätzen für den Anteil an E-Pkw eher zu geringen Pegelminderungen um rund 2 dB. Dies entspricht nicht einmal der Pegelminderung durch das Herabsenken der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 auf 30 km/h und weniger als einer halben Schallschutzklasse bei Fenstern. Unter zusätzlicher Berücksichtigung von Lkw liegen die Pegelminderungen noch niedriger. Insgesamt ist daher durch die Elektrifizierung im innerstädtischen Raum zwar mit einer Reduktion der Verkehrslärmimmissionen zu rechnen, der Effekt wird aber vergleichsweise

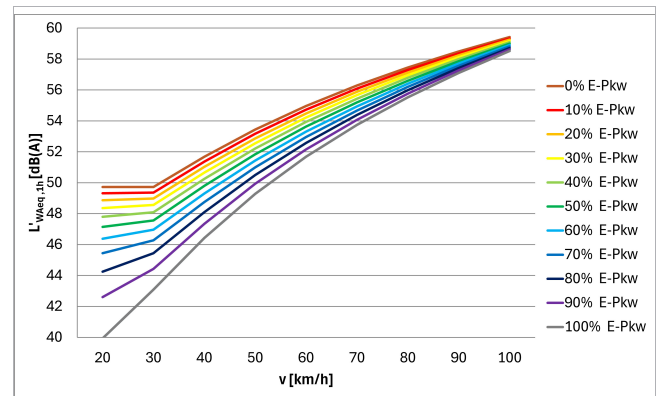


Bild 4 Darstellung der längenbezogenen Schallleistungspegel $L'_{WAeq,1h}$ in Abhängigkeit des Anteils an E-Pkw an den gesamten Pkw (keine Berücksichtigung von Lkw). Grafik: Peutz Consult

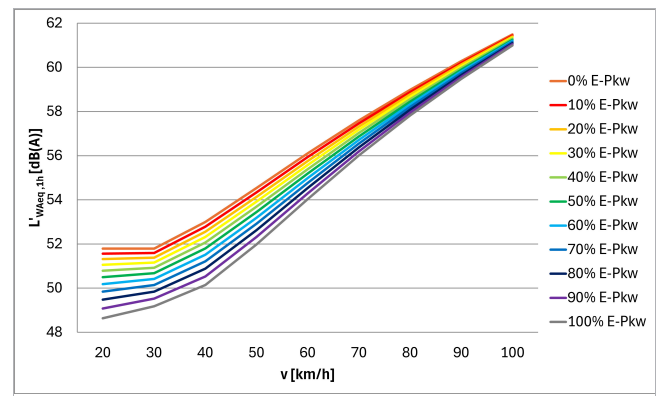


Bild 5 Darstellung der längenbezogenen Schallleistungspegel $L'_{WAeq,1h}$ in Abhängigkeit des Anteils an E-Pkw an den gesamten Pkw unter Berücksichtigung der Standard-Annäherung der RLS-19 für konventionelle Lkw1=3 % und Lkw2=4 % für Gemeindestraßen. Grafik: Peutz Consult

se gering ausfallen. Durchgeführte Studien [5] zeigen auch für E-Lkw bei 30 km/h etwa 10 dB geringere Emissionen. Dies hätte zusätzlich einen signifikanten Einfluss auf die Verkehrslärmimmissionen an Straßen. Insbesondere bei den E-Lkw ist jedoch kaum abzusehen, wann E-Lkw einen relevanten Anteil an der gesamten Kfz-Flotte erreichen. Stand heute stellen E-Lkw eine stark untergeordnete Rolle dar.

LITERATUR

- [1] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-19), Köln: FGSV-Verlag, 2019.
- [2] Lobach, A.: „Auswirkungen der Elektromobilität auf den Straßenverkehrslärm“; Abschlussarbeit 2025, unveröffentlicht.
- [3] „Verordnung (EU) Nr. 540/2014 über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Ersatz-Schalldämpferanlagen“, Europäische Union, Brüssel, 2014.
- [4] DIN 38458-1:2025-11 – Entwurf: „Geräuschemissionen straßengebundener Verteilerverkehr und Anlieferprozesse – Teil 1: Grundlagen und Messverfahren“; 2025.
- [5] Handbuch Geräuscharme Logistik, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IMLv, 2024.

Dr. rer. nat.
Lukas Niemietz
Alexander Lobach
 M.Sc.
David Kliesch
 alle Peutz Consult GmbH