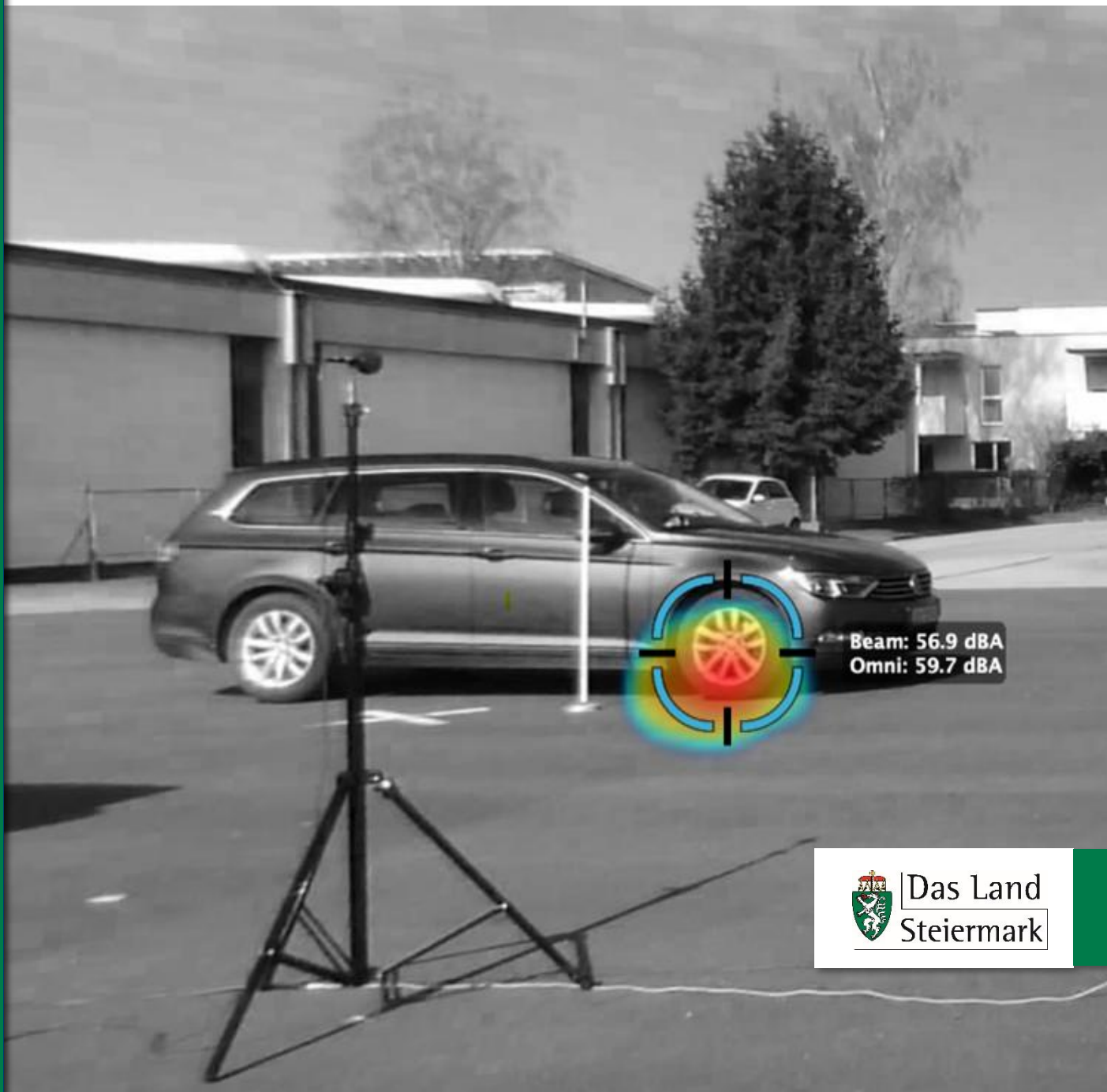


ABT15 – Referat Lärm- und Strahlenschutz

Schalltechnische Untersuchung

Maximalpegel vom PKW bei beschleunigten Abfahrten



Das Land
Steiermark

Impressum

Für Layout und Inhalt verantwortlich:

Abteilung 15 – Energie, Wohnbau, Technik

Referat Referat Lärm- und Strahlenschutz

Landhausgasse 7, 5. Stock, 8010 Graz

Telefon: +43 (316) 877 3776

E-Mail: laerm-strahlen@stmk.gv.at

Autor:

Ing. Marco Perdacher

Mitwirkender:

Günter Adler

Titelbild

© Land Steiermark

Herausgeber

Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Abteilung 15 – Energie, Wohnbau, Technik

Landhausgasse 7

8010 Graz

Telefon: +43/ (0)316/877-2931

Fax: +43/ (0)316/877-4569

E-Mail: abteilung15@stmk.gv.at

Inhaltsverzeichnis

0. Vorwort	3
1. Einleitung	5
2. Grundlagen	6
2.1. Außengeräusche von Personenkraftwagen.....	6
2.2. Begriffsbestimmungen	7
2.3. Beurteilungsgrundlagen	8
3. Messmethode	10
3.1. Messung mittels akustischer Kamera	10
3.2. Richtungscharakteristik der Schallabstrahlung am Fahrzeug	13
3.4. Messung der Maximalpegel ($L_{AF,max}$).....	15
3.5. Verwendete Fahrzeugflotte und Zulassungsstatistik in Österreich.....	16
4. Ergebnisse	18
4.1 Messergebnisse und Bestimmung des mittleren Maximalpegels	18
4.2 Bestimmung der maximalen Schalleistung ($L_{W,Amax}$).....	18
5. Diskussion der Ergebnisse	20
6. Zusammenfassung	22
Abbildungsverzeichnis	23
Tabellenverzeichnis	23
Literaturverzeichnis	23

0. Vorwort

Schallemissionen aus Park- und Zufahrtsverkehr können insbesondere in unmittelbarer Nachbarschaft von Wohnbereichen zu Nutzungskonflikten führen. Kurzfristige Einzelereignisse wie beschleunigte Fahrzeugabfahrten spielen dabei in Genehmigungs- und Beschwerdeverfahren häufig eine wesentliche Rolle. Die daraus resultierenden Immissionen können über notwendige Maßnahmen wie Lärmschutzwände und im Einzelfall sogar über die Genehmigungsfähigkeit eines Projekts entscheiden. Für Genehmigungsbehörden, Gerichte, Planungsbüros und Sachverständige sind daher belastbare, zeitgemäße und gut anwendbare Emissionsansätze von zentraler Bedeutung.

Die Abteilung 15 – Energie, Wohnbau, Technik des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung stellt als unabhängige, faktenbasierte Umweltkontroll- und Informationsstelle eine aktualisierte Grundlage für das kurzfristige Einzelereignis „beschleunigte PKW-Abfahrt“ bereit. Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Fachbereichs Schall- und Erschütterungstechnik, die an dieser Arbeit beteiligt waren.

Die Untersuchung setzt die bisherigen Aktivitäten des steirischen Lärmschutzes bei der Entwicklung von Beurteilungsgrundlagen fort [16, 17]. Gleichzeitig knüpft sie an die Tradition der Parkplatzlärmstudie des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (6. Auflage, 2007) [1] an, die seit vielen Jahren den Stand der Technik für Schallimmissionsprognosen von Park- und Zufahrtsverkehr darstellt. Diese Studie bildete den methodischen Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit. Zugleich ist zu berücksichtigen, dass die dort erhobenen Emissionsdaten einen Fahrzeugbestand widerspiegeln, der inzwischen deutlich überholt ist. Aktuelle Publikationen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt weisen darauf hin, dass die empfohlenen Ansätze mittlerweile tendenziell zu hoch angesetzt werden [14].

Zentrales Ergebnis der vorliegenden Untersuchung ist, dass der bisher verwendete maßgebliche Maximalpegel für beschleunigte Fahrzeugabfahrten zu konservativ ist. Während bislang gemäß der Parkplatzlärmstudie ein Schalleistungspegel $L_{w,Amax}$ von 92,5 dB anzusetzen ist, ergibt sich aus den durchgeführten Messungen nunmehr ein empfohlener Schalleistungspegel von $L_{w,Amax} = 89,5$ dB. Dieser Ansatz ist für typische Park- und Zufahrtsflächen konzipiert und lässt sich unmittelbar in Prognosen und behördliche Verfahren integrieren.

Technologische Entwicklungen verändern zunehmend das Emissionsverhalten des Straßenverkehrs. Insbesondere die fortschreitende Elektrifizierung des Fahrzeugbestands führt zu veränderten Geräuschcharakteristika. Die Untersuchung bestätigt, dass Elektrofahrzeuge bei beschleunigten Abfahrten niedrigere Emissionen aufweisen als konventionell angetriebene PKW. Für den strategischen Lärmschutz in urbanen Gebieten bergen diese Erkenntnisse großes Potenzial für eine langfristige Senkung der Immissionen aus dem Straßenverkehr.

Die Studie liefert eine belastbare und aktuelle Grundlage für den Einsatz in Verwaltungsverfahren sowie für die Planung und Beurteilung von Projekten im Bereich des Park- und Zufahrtsverkehrs. Sie trägt zur Weiterentwicklung moderner Beurteilungsstandards

im institutionellen Lärmschutz bei und unterstreicht zugleich die Bedeutung einer kontinuierlichen Anpassung und regelmäßigen Überprüfung von Emissionsansätzen. Der Fachbereich Schall- und Erschütterungstechnik in der Abteilung 15 des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung wird daher auch künftig zum Ausbau praxisnaher Beurteilungsgrundlagen im Immissionsschutz beitragen.



Dipl.-Ing. Dr. Florian Lackner

Fachbereichsleiter
FB Schall- und Erschütterungstechnik
Referat Lärm- und Strahlenschutz
Abteilung 15 – Energie, Wohnbau, Technik
Amt der Steiermärkischen Landesregierung

1. Einleitung

Schallpegelspitzen, die bei beschleunigten Abfahrten von Personenkraftwagen (PKWs) entstehen, stellen eine wesentliche Quelle der verkehrsbedingten Lärmbelastung dar, insbesondere in städtischen Gebieten. Diese kurzen, aber intensiven Geräuschspitzen werden von Anwohnern häufig als besonders störend empfunden und tragen maßgeblich zur wahrgenommenen Lärmbelastung bei. Eine wesentliche Referenz für die Untersuchung von Schallpegelspitzen bei beschleunigten Abfahrten von PKWs ist die Parkplatzlärmstudie (6. überarbeitete Auflage) des bayrischen Landesamtes für Umwelt [1].

Die dazugehörigen Messungen der mittleren Maximalpegel von beschleunigten Abfahrten stammen aus dem Jahr 1986 und werden in der 3. vollständig überarbeiteten Auflage der Parkplatzlärmstudie des bayrischen Landesamtes für Umwelt erläutert [2].

In der damaligen Untersuchung wurden Fahrzeuge aus den Baujahren 1971 bis 1985 berücksichtigt, weshalb die in den 80er Jahren durchgeführten Messungen nur noch eine begrenzte Aussagekraft für die heutige Fahrzeuglandschaft haben.

Die Fahrzeugtechnologie hat sich seitdem erheblich weiterentwickelt, insbesondere durch den Einsatz von leiseren Verbrennungsmotoren und die zunehmende Verbreitung von Elektrofahrzeugen. Trotz dieser technologischen Fortschritte in der Fahrzeugtechnik, gibt es bislang kaum aktuelle Untersuchungen der auftretenden Schallpegelspitzen bei beschleunigten Abfahrten im Kontext der heutigen Fahrzeuggenerationen. Angesichts dieser Entwicklungen ist es zwingend notwendig die Schallpegelspitzen bei beschleunigten PKW-Abfahrten unter moderneren Bedingungen neu zu untersuchen. Nur so lässt sich ein genaues Bild der heutigen Lärmsituation gewinnen, welche den aktuellen Gegebenheiten gerecht wird.

Das Ziel dieser Untersuchung besteht darin, die Schallpegelspitzen mit Fahrzeugen neueren Baujahrs zu ermitteln und darüber hinaus aus den gewonnenen Messdaten einen maximalen Schalleistungspegelwert zu bestimmen, der die Auswirkungen moderner Fahrzeugtechnologien auf die Lärmemissionen berücksichtigt.

2. Grundlagen

2.1. Außengeräusche von Personenkraftwagen

Die zwei wesentlichen Schallquellen des Fahrgeräusches von Personenkraftwagen, welche für die Messung von beschleunigten Abfahrten relevant sind, lauten:

- Antriebsgeräusche (Motor, Getriebe, AVAS)
- Reifengeräusche

Windgeräusche an Fahrzeugen haben erst bei höheren Geschwindigkeiten einen wesentlichen Einfluss. Erst ab 80 bis 100 km/h werden Antriebs- und Reifengeräusche von Windgeräuschen maskiert [3], siehe Referenz [3], S.268 und S.270.

Reifengeräusche dominieren größtenteils zwischen 30 und 130 km/h, je nach Antriebstechnologie auch schon bei niedrigeren Geschwindigkeiten [3].

Bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, welche niedrigere Fahrgeschwindigkeiten und eine höhere Motorbelastung aufweisen, dominieren die Antriebsgeräusche.

Die Verordnung (EU) Nr.540/2014 [13] legt unter anderem die technischen Anforderungen für die EU-Typengenehmigung von allen neuen Fahrzeugen hinsichtlich ihres Geräuschpegels fest. Für Personenkraftwagen werden Grenzwerte für Standgeräusche und Fahrgeräusche festgelegt. Im Anhang VIII werden auch Vorschriften für ein akustisches Warnsystem von geräuscharmen Fahrzeugen festgelegt.

In der „Delegierte Verordnung (EU) 2017/1576“ [12] zur Änderung der Verordnung (EU) Nr.540/2014 wurden die Anforderungen eines akustischen Warnsystems (AVAS steht für **A**coustic **V**ehicle **A**ltering **S**ystem) für geräuscharme Fahrzeuge überarbeitet. Dies sah man als notwendig an, nachdem bei der 168. Sitzung des Weltforums für die Harmonisierung der Regelungen für Kraftfahrzeuge der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE), die UN-Regelung 138 über die Genehmigung geräuscharmer Straßenfahrzeuge verabschiedet worden war. In der UN-Regelung 138 [10] werden einheitliche Bestimmungen für geräuscharme Straßenfahrzeuge definiert. Für geräuscharme Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotor werden unter anderem Höchst- und Mindestwerte des Schalldruckpegels in einem Abstand von 2 m festgelegt. Diese Geräusche sollen durch ein akustisches Warnsystem erzeugt werden und bei Geschwindigkeiten von bis zu 20 km/h hörbar sein.

Seit dem 1. Juli 2021 gilt in der EU die Vorschrift, dass neue zugelassene Hybrid- und reine Elektroautos mit einem AVAS ausgerüstet sein müssen. Aus diesem Grund wurden bei dieser Arbeit nur jene Hybrid- und reine Elektroautos berücksichtigt, welche über ein akustisches Warnsystem verfügen.

Die in dieser Arbeit untersuchten Außengeräusche von Personenkraftwagen beziehen sich auf beschleunigte Abfahrten, wie sie häufig bei Parkplätzen auftreten. In der 6. überarbeiteten Parkplatzlärmstudie wurde festgestellt, dass eine Vorbeifahrtsgeschwindigkeit von 30 km/h auf Parkplätzen als zu hoch einzustufen ist. Aus diesem Grund wurden bei dieser Untersuchung die Fahrzeuge vom Stand aus beschleunigt, wobei die Geschwindigkeit von 25 km/h während der Messzeit nicht überschritten worden ist.

2.2. Begriffsbestimmungen

An dieser Stelle werden einige grundlegende akustische Kenngrößen aufgeführt, die zum Verständnis dieser Arbeit beitragen:

$L_{AF,max}$:

höchster Wert des AF-bewerteten Schalldruckpegels, der während der Vorbeifahrt eines Fahrzeuges am Messort beobachtet wird.

A_{div} :

ist die Dämpfung, infolge Pegelminderung mit der Entfernung, in dB.

D_c :

Die Richtwirkungskorrektur D_c in Verbindung mit dem Schalleistungspegel L_w beschreibt eine immissionsrelevante, richtungsabhängige Emission, die sich aus reflektierenden Strukturen in der Nähe der Schallquelle ergibt, welche den für die Abstrahlung verfügbaren Raumwinkel verringern.

Mittlerer Maximalpegel:

Der mittlere Maximalpegel ist der energetische Mittelwert der Maximalpegel der Einzelereignisse.

Zeitbewertung:

Die Zeitbewertung erfolgt bei zeitlich schwankenden Schallpegeln zur Mittelung des Messwertes. Folgende genormte Zeitbewertung wurde in der vorliegenden Arbeit verwendet: (F) Fast: Bewertungszeit von 125 Millisekunden.

Frequenzbewertung:

A- bewerteter Filter, der den Frequenzgang des menschlichen Gehörs berücksichtigt und somit die Messwerte dem menschlichen Hörempfinden anpasst. Die Frequenzbewertung ist ein frequenzabhängiger Abzug bzw. Zuschlag von ermittelten Pegeln und wird bewerteter Schalldruckpegel genannt.

Maximaler Schalleistungspegel $L_{W,Amax}$:

Der maximale Schalleistungspegel $L_{W,Amax}$ entspricht dem A-bewerteten zehnfachen dekadischen Logarithmus des Verhältnisses, der von der zu untersuchenden Quelle abgestrahlten maximalen Schalleistung zur Bezugsschalleistung. Er wird in dB angegeben und beschreibt die abgegebene akustische Leistung in Watt.

2.3. Beurteilungsgrundlagen

Sowohl die 6. überarbeitete Auflage [1] als auch die 3. vollständig überarbeitete Auflage [2] der bayrischen Parkplatzlärmstudie bilden häufig die zentrale Grundlage zur Beurteilung von Parkplatzlärm und damit verbunden auch die Beurteilung von beschleunigten Abfahrten von Personenkraftwagen.

Die damals zur Bestimmung des mittleren Maximalpegels von beschleunigten Abfahrten verwendeten Fahrzeuge sind in Tabelle 1 aufgelistet [2].

Tab. 1: Liste der gemessenen Personenkraftwagen vom 23./24. August 1986, reproduziert von Referenz [2].

Fahrzeug	Baujahr/Motorisierung
VW Käfer	1971 / 1500 ccm (50 PS)
VW Golf D	1978 / 1500 ccm (50 PS)
VW Golf GLS	1978 / 1500 ccm (70 PS)
Audi 80 GLS	1980 1600 ccm (85 PS)
BMW 323 i	1980 / 2300 ccm (143 PS)
Mitsubishi Colt GLX	1980 / 1400 ccm (70 PS)
Peugeot 305 SR	1980 / 1500 ccm (75 PS)
VW Bus	1980 / 2000 ccm (70 PS)
BMW 524 td	1983 / 2400 ccm (115 PS)
Ford Sierra L	1983 / 1600 ccm (75 PS)
Daimler Benz 200	1984 / 2000 ccm (109 PS)
Ford Escort GL	1984 / 1300 ccm (73 PS)
Opel Kadett	1984 / 1300 ccm (60 PS)
Citroen 2 CV	1985 / 600 ccm (28 PS)
Daimler Benz 190 E	1985 / 1900 ccm (122 PS)

VW Golf C	1985 / 1200 ccm (55 PS)
VW Passat D	1985 / 1500 ccm (55 PS)

In Tabelle 1 sieht man, dass die gemessenen Fahrzeuge aus den Baujahren 1971 bis 1985 stammten. Von den 17 genannten Fahrzeugen hatten drei Fahrzeuge einen Dieselmotor, dies entspricht einem Anteil von ca. 18%.

In der dritten überarbeiteten Auflage, der Parkplatzlärmstudie des bayrischen Landesamtes für Umwelt [2] wird im Kapitel 3.4 sowie Kapitel 4.1 erläutert, wie der mittlere Maximalpegel von beschleunigten Abfahrten ermittelt und der daraus resultierende Schalleistungspegel berechnet worden ist.

Der damals ermittelte mittlere Maximalpegel, der beschleunigten Abfahrten von PKWs ist in Tabelle 2 aufgelistet.

Tab. 2: Liste der mittleren Maximalpegel in 7,5 m Entfernung in dB, reproduziert von Referenz [2].

	Vorbeifahrt dB(A)	beschleunigte Abfahrt dB(A)	Türen- / Kofferraum- schließen dB(A)
PKW	-	67	71
Motorrad	-	73	-
Omnibus	84	84	-
LKW	85	87	-

Der ermittelte mittlere Maximalpegel von beschleunigten PKWs betrug **67 dB(A)** in 7,5 m Entfernung. Dieser Wert wurde bis zur letzten Auflage der 6. überarbeiteten Parkplatzlärmstudie aus dem Jahr 2007 übernommen und findet sich im Kapitel 8.1 wieder.

3. Messmethode

Die bei der Erstellung der Parkplatzlärmstudie eingesetzte Messmethode wird in der 3. vollständig überarbeiteten Parkplatzlärmstudie beschrieben.

Für die Messungen von beschleunigten Abfahrten wurde ein Mikrofon 7,5 m seitlich und ein weiteres Mikrofon 7,5 m hinter dem Fahrzeug aufgestellt. Es wurde mit der Zeitbewertung „fast“ gemessen. Aufgezeichnet wurde mit einem Pegelschreiber mit einer Schreibgeschwindigkeit von 250 mm/s und einen Papiervorschub von 1 mm/s. Die Maximalwerte wurden dann von den einzelnen Messungen abgelesen und gemittelt.

Da diese Messungen nahezu 40 Jahre alt sind und sowohl die Messtechnologie als auch die Fahrzeugtechnik seither erhebliche Fortschritte gemacht haben, ist eine Überprüfung der Mikrofonpositionen und der Messmethodik erforderlich.

3.1. Messung mittels akustischer Kamera

Als Vorevaluierung wurden mithilfe einer akustischen Kamera die Bereiche mit den höchsten Schallintensitäten während einer beschleunigten Abfahrt eines dieselbetriebenen Fahrzeugs identifiziert.

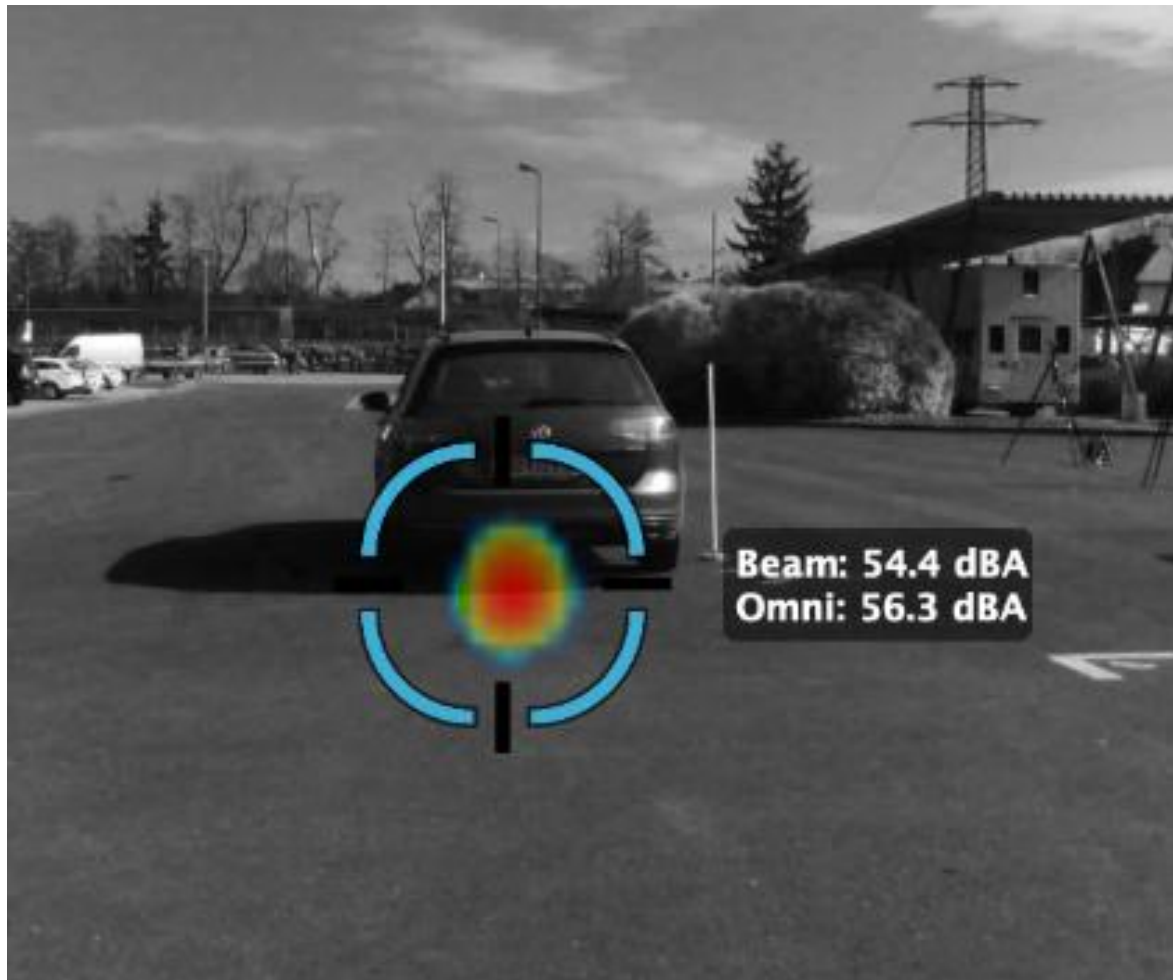
Anhand der Abbildung 1 lässt sich erkennen, dass im seitlichen Bereich des Fahrzeuges die höchsten Schallintensitäten im Bereich des Vorderades zu finden sind. Hier werden die Motorgeräusche wenig bzw. nur geringfügig vom Innenkotflügel gedämpft.

Abb. 1: Ausschnitt während einer beschleunigten Abfahrt mithilfe einer akustischen Kamera (Beifahrerseite)



Aus Abbildung 2 lässt sich erkennen, dass im hinteren Bereich des Fahrzeuges die höchsten Schallintensitäten im Bereich des Auspuffes zu finden sind.

Abb. 2: Ausschnitt während einer beschleunigten Abfahrt mithilfe einer akustischen Kamera (Rückseite).



3.2. Richtungscharakteristik der Schallabstrahlung am Fahrzeug

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, wie sich die Richtungscharakteristik der Schallabstrahlung am Fahrzeug während einer beschleunigten Abfahrt verhält. Dazu wurde eine Dachkonstruktion mit drei Messmikrofonen auf ein Autodach montiert. Abbildung 3 zeigt die Dachkonstruktionen, auf denen die drei Messmikrofone angebracht sind.

Abb. 3: Dachkonstruktionen mit den drei Messmikrofonen auf ein Fahrzeug befestigt.



Die Messmikrofone wurden so montiert, dass die Mikrofonhöhe 1,5 m und der Abstand zum Fahrzeug 2 m betrug. Zunächst wurden Schallpegelmessungen von beschleunigten Abfahrten mit verschiedenen Fahrweisen und Schallpegelmessungen am Stand mit variierender Motordrehzahl durchgeführt. Dabei war ein Messmikrofon mittig in 2 m Entfernung vor dem Fahrzeug positioniert, ein weiteres 2 m seitlich auf der Beifahrerseite in Höhe des Vorderrads, und ein drittes Messmikrofon mittig in 2 m Entfernung hinter dem Fahrzeug.

Anschließend wurden weitere Schallpegelmessungen mit folgenden Messmikrofonpositionen durchgeführt: Anstatt mittig vor dem Fahrzeug wurde ein Messmikrofon 2 m seitlich auf der Fahrerseite im Bereich des Vorderrads positioniert, ein weiteres 2 m seitlich auf der Beifahrerseite im Bereich des Vorderrads und ein drittes Messmikrofon mittig in 2 m Entfernung hinter dem Fahrzeug.

Die Messungen wurden mit einem Messgerät der Genauigkeitsklasse 1 durchgeführt. Dabei wurden alle Messkanäle zeitsynchron aufgezeichnet und anschließend ausgewertet. Die Abtastrate bei den Messungen betrug 50 ms.

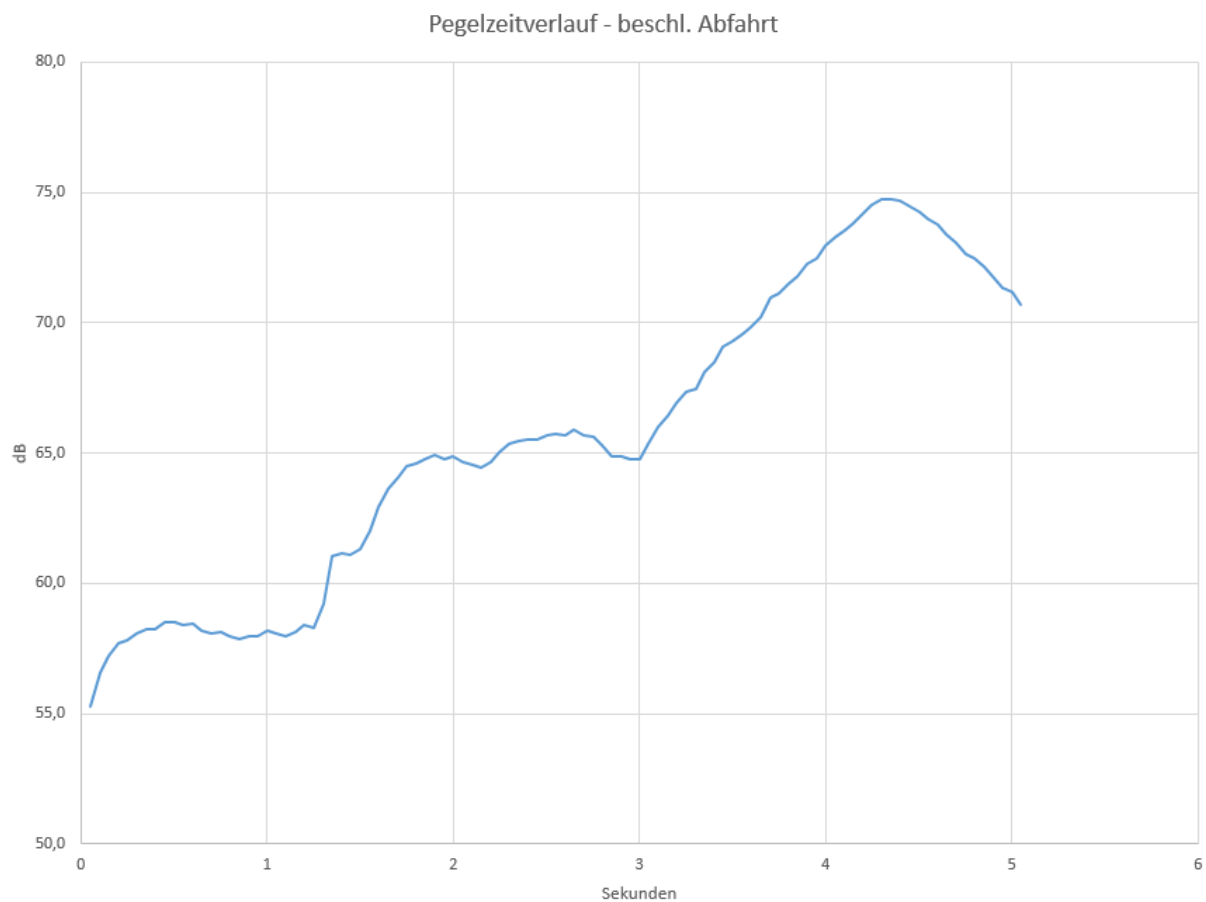
Gemessen wurde ein Dieselfahrzeug mit 88 kW und 1600 ccm. Die höchsten $L_{AF,max}$ wurden vor bzw. seitlich (Beifahrerseite) vom Fahrzeug gemessen. Der Messunterschied zwischen der Fahrerseite und der Beifahrerseite lag im Bereich von Zehntelwerten. Das Verhältnis der $L_{AF,max}$ - Werte war im Standlauf mit variierender Drehzahl und bei beschleunigten Abfahrten in etwa gleich. Es wurde bestätigt, dass die Antriebsgeräusche bei beschleunigten Abfahrten am stärksten ausgeprägt sind und dass sich die Richtungscharakteristik der Schallabstrahlung des Fahrzeugs zwischen Standlauf mit variierender Drehzahl und beschleunigter Abfahrt nicht signifikant verändert.

3.3. Pegelzeitverlauf

Bei Analyse der Pegelzeitverläufe der im Kapitel 3.2 beschriebene Messungen zeigt sich, dass die Höhe der Schalldruckpegelwerte stark von der Motordrehzahl abhängig sind und die höchsten Schalldruckpegelwerte je nach Fahrweise und Fahrzeugtyp im letzten Drittel, der im Kapitel 3.4 beschriebenen Messstrecke auftreten.

In Abbildung 4 ist der Pegelzeitverlauf einer beschleunigten Abfahrt dargestellt, gemessen am Fahrzeug in 2 m Abstand rechts vor dem Fahrzeug (siehe Abbildung 3).

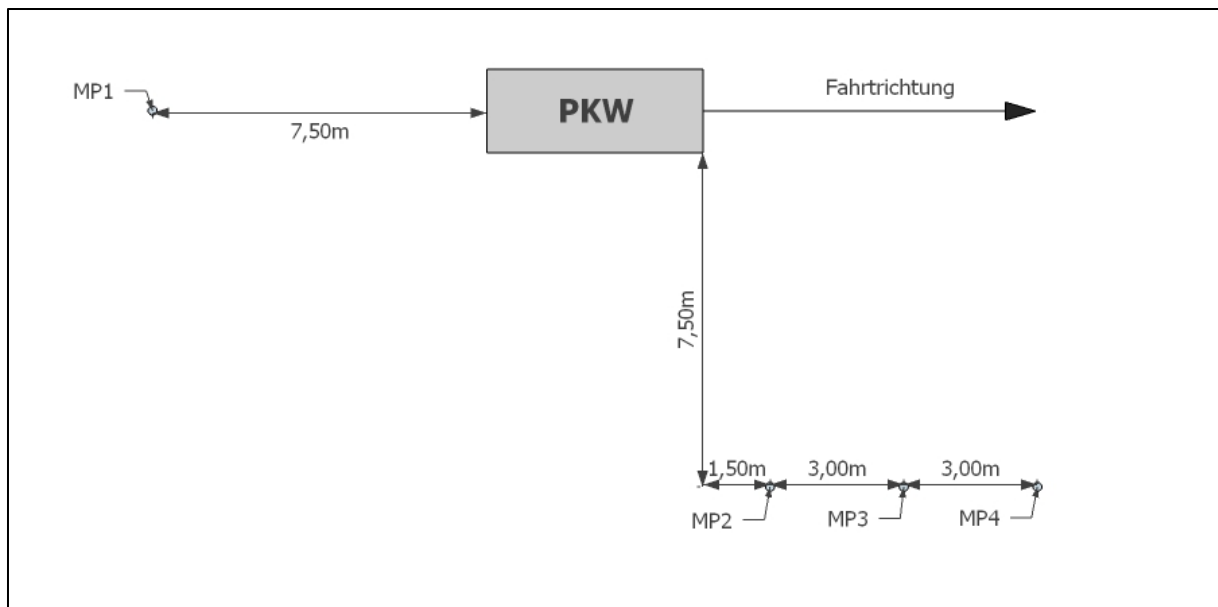
Abb. 4: Exemplarischer Pegelzeitverlauf einer beschleunigten Abfahrt gemessen in 2 m Abstand rechts vor dem Fahrzeug.



3.4. Messung der Maximalpegel ($L_{AF,max}$)

Basierend auf den vorherigen Auswertungen wurde die Messmethode aus der 3. Auflage der Bayerischen Parkplatzlärstudie um zwei zusätzliche Messpunkte erweitert. Die gewählte Anordnung der Messpunkte ist in der Abbildung 5 ersichtlich. Messpunkt 1 (MP1) und Messpunkt 2 (MP2) wurden wie in der 3. Auflage der Bayerischen Parkplatzlärstudie gewählt. Messpunkt 3 (MP3) und Messpunkt 4 (MP4) wurden mit einem Abstand von 3 m zum jeweils benachbarten Messpunkt festgelegt. Die Mikrofonhöhe betrug bei allen 4 Messpunkten 1,5 m.

Abb. 5: Skizze der Positionen der Messpunkte



Alle 4 Messkanäle wurden zeitsynchron mit einer Abtastrate von 50 ms aufgezeichnet. Die Messungen wurden mit einem Messgerät der Genauigkeitsklasse 1 durchgeführt. Die Maximalpegel ($L_{AF,max}$) der vier Messpunkte wurden bei jeder beschleunigten Abfahrt erfasst. Dabei zeigte sich, dass der höchste Maximalpegel am häufigsten an MP3 oder MP4 auftrat. Der höchste Maximalpegel jeder einzelnen Fahrt wurde dann für die Berechnung eines mittleren Maximalpegels herangezogen.

3.5. Verwendete Fahrzeugflotte und Zulassungsstatistik in Österreich

Die gemessenen Personenkraftwagen zur Bestimmung des mittleren Maximalpegels sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Tab. 3: Gemessene Fahrzeuge zur Bestimmung des mittleren Maximalpegels

Fahrzeug	Baujahr/Motorisierung
Renault Modus	2008 / 1200 ccm (75 PS)
Nissan Qashqai	2010 / 1600 ccm (117 PS)
Hyundai i30	2011 / 1400 ccm (105 PS)
Opel Meriva	2011 1400 ccm (100 PS)
Seat Leon	2012 / 1200 ccm (105 PS)
BMW X3	2013 / 2000 ccm (184 PS)
Opel Insignia	2014 / 2000 ccm (140 PS)
VW Golf	2015 / 1600 ccm (115 PS)
VW Passat	2016 / 1600 ccm (120 PS)
VW Passat	2017 / 1400 ccm (150 PS)
Ford Fiesta	2017 / 1500 ccm (86 PS)
Citroen C4	2017 / 1600 ccm (120 PS)
Fiat Tipo	2017 / 1600 ccm (120 PS)
Skoda Fabia	2019 / 1000 ccm (95 PS)
Renault Trafic	2022 / 2000 ccm (110 PS)
Opel Corsa-e	2022 / -ccm (77 PS)
VW Bus (T6)	2024 / 2000 ccm (150 PS)

Von den insgesamt 17 gemessenen Fahrzeugen hatten 8 Fahrzeuge einen Dieselmotor. Ein weiteres Fahrzeug war ein Hybridfahrzeug mit dualem Antriebssystem, das sowohl im rein elektrischen Modus als auch mittels seines Verbrennungsmotors Beschleunigungsvorgänge durchführen konnte. Beide Antriebsvarianten wurden vom Hybridmodell mehrmals gemessen. Zusätzlich wurde ein reines Batterie-Elektrofahrzeug gemessen. Die restlichen Fahrzeuge waren mit einem Benzinmotor ausgestattet.

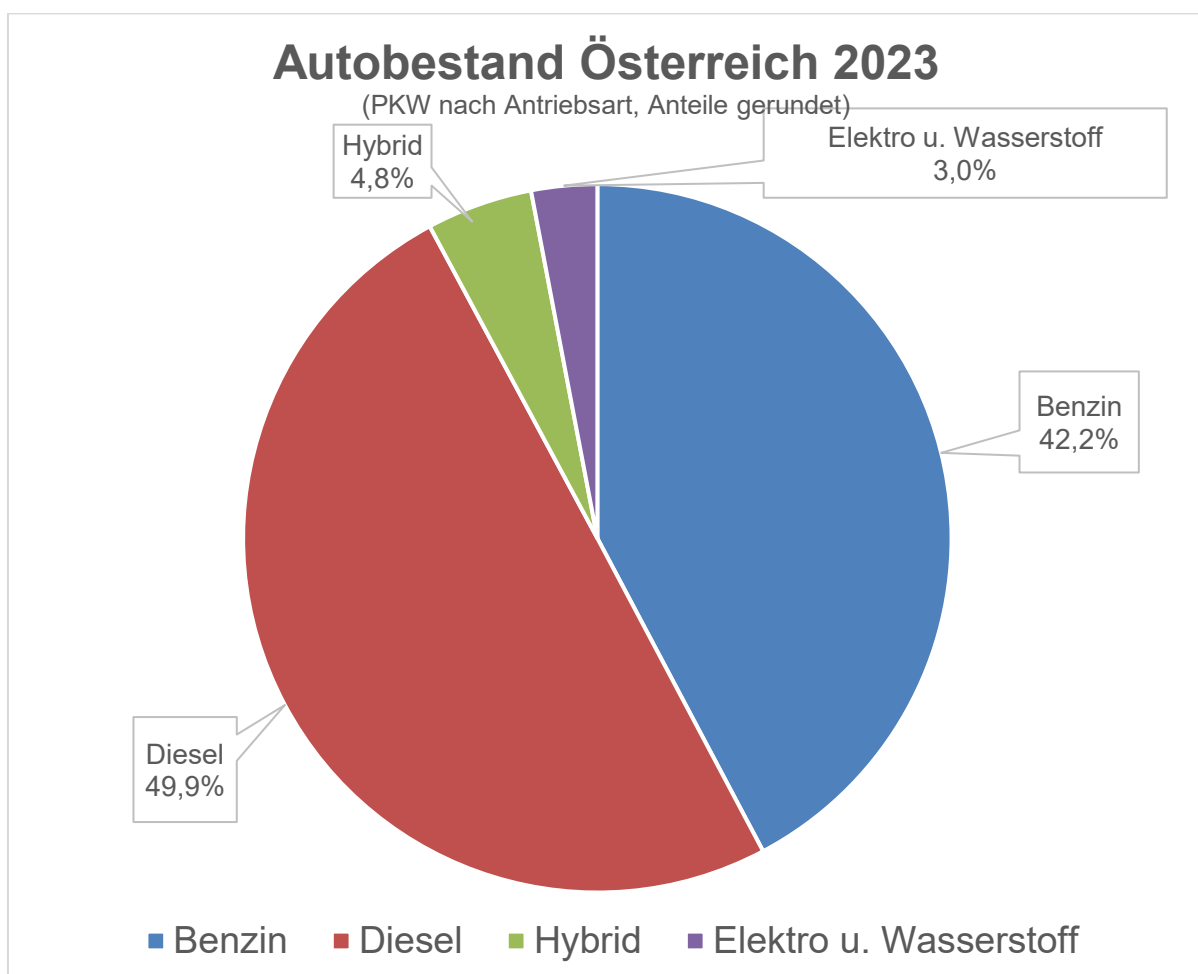
Mit jedem Fahrzeug wurden mehrere Beschleunigungsvorgänge durchgeführt und messtechnisch erfasst. Die prozentuelle Aufteilung aller gemessenen Beschleunigungsvorgänge nach Antriebsart stellt sich wie folgt dar:

- 48,6% waren Beschleunigungsvorgänge mit Dieselfahrzeugen.
- 40,0% waren Beschleunigungsvorgänge mit Benzinfahrzeugen
- 11,4% waren Beschleunigungsvorgänge im rein elektrischen Fahrmodus

Die prozentuelle Verteilung der erfassten Beschleunigungsvorgänge entspricht in etwa der Aufteilung des Autobestandes in Österreich im Jahr 2023.

Abbildung 6 zeigt den Autobestand in Österreich im Jahr 2023.

Abb. 6: Der Autobestand in Österreich im Jahr 2023 (Quelle: Statistik Austria, Kfz-Statistik, Erstellt am 22.02.2024)



4. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen sowie die daraus bestimmten mittleren Schalldruckpegel und die Schalleistungsbestimmung präsentiert.

4.1 Messergebnisse und Bestimmung des mittleren Maximalpegels

Bei den Schallpegelmessungen wurden für die beschleunigten Abfahrten, die in Tabelle 4 gelisteten Maximalpegel ($L_{AF,max}$) gemessen:

Tab. 4: Maximalpegel und mittlerer Maximalpegel in 7,5 m Entfernung in dB

	$L_{AF,max}$ dB(A)	Mittlerer Maximalpegel dB(A) (gerundet)
Beschleunigte Abfahrten	55,7 - 68,2	63,7 (64)

Bei den Messungen zeigte sich, dass für Dieselfahrzeuge bei beschleunigten Abfahrten ein um ca. 3 dB(A) höherer Maximalpegel gemessen wurde als bei den anderen Fahrzeugtypen.

Die Berechnung des mittleren Maximalpegels erfolgte nach der DIN 45642:(2004) [6] (Formel A.1).

4.2 Bestimmung der maximalen Schalleistung ($L_{W,Amax}$)

Zur Ermittlung des maximalen Schalleistungspegels wurde auf eine Punktquelle zurückgerechnet.

Die entsprechende Formel findet sich in der ISO 9613-2:

$$L_{W,Amax} = L_{AF,max} + A_{div} - D_C$$

Die Berechnung des Dämpfungsterms A_{div} kann ebenfalls aus der ISO 9613-2 entnommen werden:

$$A_{div} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + 11 \text{ dB}$$

d ist die Entfernung der Schallquelle zum Empfänger in Meter.

d_0 ist die Bezugsentfernung (=1 Meter).

Dabei ist zu erwähnen, dass die Dämpfungsterme A_{atm} (Atmosphärische Absorption), A_{gr} (Bodendämpfung), A_{bar} (Dämpfung in Folge von Abschirmung) und A_{misc} (Zusätzliche Dämpfungen) aufgrund der geringen Entfernung vernachlässigt wurden.

Es soll weiters erklärt werden, warum ein Additionsterm von 11 dB notwendig ist:

Da die Punktquelle als diskreter Punkt betrachtet wird, welche die Schallenergie in alle Richtungen gleich abstrahlt, muss von einer Kugeloberfläche mit dem Radius 1 m auf einen diskreten Punkt umgerechnet werden. Die Kugeloberfläche wird mit folgender Formel berechnet:

$$O = 4\pi r^2$$

Wenn man die Leistung der Schallquelle als Bezugswert annimmt, kann man die geometrische Ausbreitung isoliert betrachten. Daraus folgt:

$$10 \times \log_{10}(4\pi r^2) = 11 \text{ dB}$$

Die Richtwirkung D_c wird mit einer ungerichteten Punktquelle aufgrund nahegelegener reflektierender Oberflächen durch folgende Gleichung angegeben:

$$D_c = 10 \times \log_{10}\left(\frac{4\pi}{\Omega}\right) \text{ dB}$$

Dabei ist Ω der für die Abstrahlung verbleibende Raumwinkel.

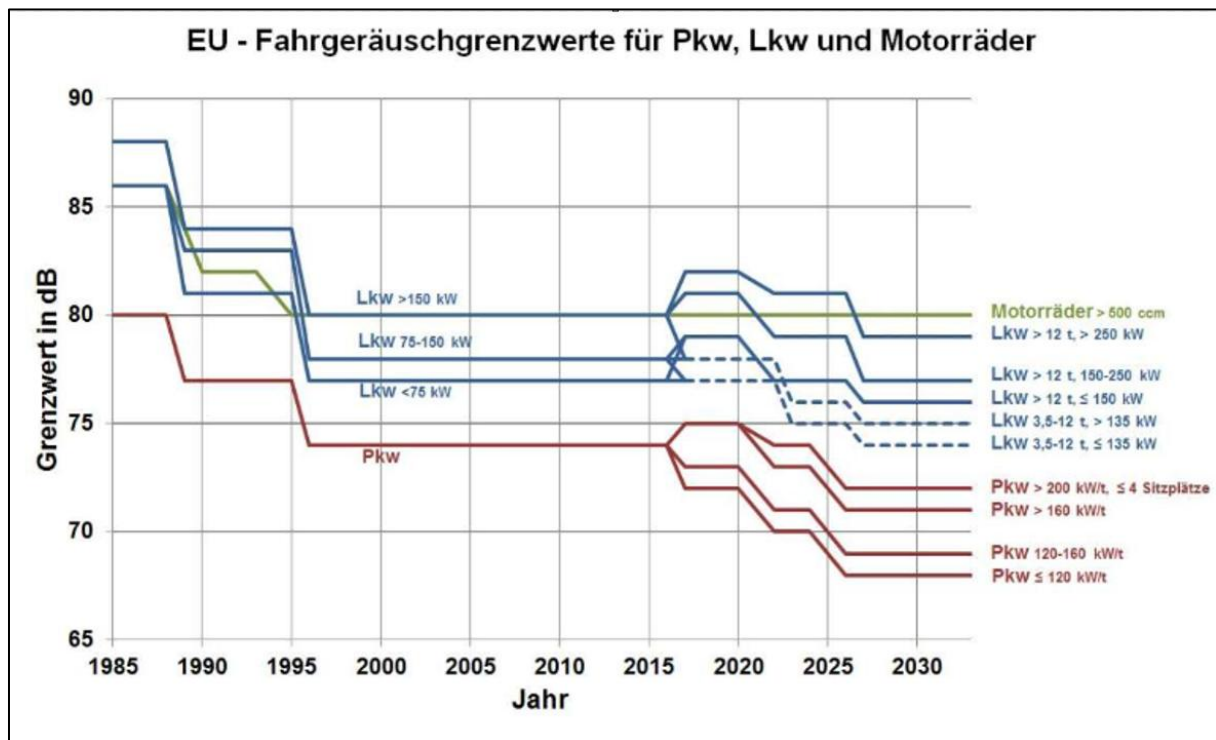
Für eine ungerichtete Punktquelle in der Nähe eines reflektierenden Bodens beträgt D_c gleich 3 dB.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die im Rahmen dieser Arbeit erzielten Ergebnisse zeigen im Vergleich zu den wesentlich älteren Daten aus der Parkplatzlärmstudie einen geringeren mittleren Maximalpegel. Dies ist nicht weiter überraschend, da die Grenzwerte der Fahrgeräusche in den letzten Jahrzehnten für KFZ herabgesetzt wurden. Grenzwerte dazu findet man in der EU-Verordnung: (EU) Nr. 540/2014 [13].

Abbildung 7 zeigt den zeitlichen Verlauf der EU-Fahrgeräuschgrenzwerte der letzten Jahrzehnte.

Abb. 7: EU – Fahrgeräuschgrenzwerte (Quelle: www.laerminfo.at/ueberlaerm/laermquellen/strassenverkehr/kfz_grenzwerte.html)[15].



Die Grenzwerte für geräuscharme Fahrzeuge (Elektroautos, Hybridfahrzeuge, etc.) können in der Regelung Nr. 138 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE) nachgelesen werden. Die Untergrenze der akustischen Warnsysteme beträgt bei 10 km/h (konstante Geschwindigkeit) und 2 m Entfernung zur Fahrlinie 50 dB(A). Bei 20 km/h beträgt die Untergrenze 56 dB(A). Weiters wird in der Regelung Nr. 138 festgehalten, dass der Gesamtschallpegel bei einer Vorwärtsfahrt 75 dB(A) in 2 m Abstand nicht überschritten werden darf [10]. In der Regelung 138 wird zudem festgehalten, dass ein maximaler Schalldruckpegel von 75 dB(A), gemessen in 2 m Entfernung, dem Gesamtschalldruckpegel von 66 dB(A) in 7,5 m Entfernung entspricht [10]. Der Grenzwert von 66 dB(A) in einer Entfernung von 7,5 m ist der niedrigste zulässige Höchstwert in Regelungen nach dem Übereinkommen von 1958 [10] und um 1 dB geringer als die ermittelten Werte der bayrischen Parkplatzlärmstudie.

Im Vergleich zu den früheren Ergebnissen in der bayrischen Parkplatzlärmstudie, bei denen die Werte $L_{AFmax,alt} = 67 \text{ dB(A)}$ bzw. $L_{W,Amax} = 92,5 \text{ dB(A)}$ ermittelt wurden, zeigen die neuen Werte von $L_{AFmax,neu} = 64 \text{ dB(A)}$ bzw. $L_{W,Amax,neu} = 89,5 \text{ dB(A)}$ eine bessere Übereinstimmung mit den gesetzlichen Grenzwerten

für die Fahrzeugtypisierung. Aufgrund des überwiegend jüngeren Baujahrs der erfassten Fahrzeuge sowie der Übereinstimmung der Antriebsartenverteilung mit jener des österreichischen Fahrzeugbestandes (2023) kann davon ausgegangen werden, dass der neu ermittelte mittlere Maximalpegel eine realitätsnahe Abbildung darstellt.

Die in der ÖNORM S 5004:2020-04 empfohlene Vorgehensweise, welche eine arithmetische Mittelung der Maximalpegel und eine Addition der Standardabweichung vorsieht [5], wurde bei der Bestimmung der Schalleistung nicht angewandt, um sowohl die Vergleichbarkeit mit der Parkplatzlärmstudie zu sichern als auch einen Widerspruch zur DIN 45642 zu vermeiden. Für den interessierten Leser soll jedoch in dieser Arbeit der arithmetische Mittelwert mit der dazugehörigen Standardabweichung nicht vorenthalten werden. Dieser beträgt 62,7 dB(A) mit einer dazugehörigen Standardabweichung von 3,3 dB.

Die höchsten gemessenen Maximalpegel der Einzelmessungen für jeden der untersuchten PKW-Typen sind in Tabelle 5 aufgelistet:

Tab. 5: Höchsten gemessene Maximalpegel der einzelnen Messungen in 7,5 m Entfernung

Fahrzeug	Baujahr	Messung				
		L _{AFmax} [dB(A)] in 7,5 m Entfernung				
		1	2	3	4	5
Renault Modus	2008	62,0	60,1	63,5	61,1	-
Nissan Qashqai	2010	62,6	64,5	64,6	65,4	-
Hyundai i30	2011	64,3	65,0	63,7	64,9	-
Opel Meriva	2011	62,9	61,2	65,0	64,3	-
Seat Leon	2012	57,6	57,8	60,6	60,3	-
BMW X3	2013	66,1	67,2	65,6	66,8	-
Opel Insignia	2014	63,8	63,3	64,2	65,7	-
VW Golf	2015	63,4	63,9	64,1	-	-
VW Passat	2016	65,6	65,9	67,6	66,3	62,9
VW Passat	2017	56,6	66,5	58,0	60,6	-
VW Passat (elektr.)	2017	55,8	55,9	55,7	55,7	-
Ford Fiesta	2017	63,6	62,9	62,4	61,6	-
Citroen C4	2017	62,5	63,2	64,0	63,7	-
Fiat Tipo	2017	66,0	66,9	68,3	65,0	-
Skoda Fabia	2019	57,5	58,9	56,7	58,9	-
Renault Trafic	2022	64,2	66,2	66,0	-	-
Opel Corsa-e	2022	59,3	59,6	61,4	60,7	-
VW Bus (T6)	2024	65,7	65,6	62,3	-	-

Zu erwähnen ist abschließend noch, dass die mit der angepassten Messmethode bestimmte Schalleistung vom höchsten emittierten Schalldruckpegel der einzelnen Fahrzeuge ermittelt wurde. Da die gemessenen Fahrzeuge ihre maximale Schalleistung nicht in alle Richtungen abstrahlen, bietet der empfohlene Schalleistungspegel für zukünftige Prognoseberechnungen in jedem Fall eine ausreichende Sicherheit.

6. Zusammenfassung

Auf Grundlage der durchgeführten Messungen und der Bestimmung der Schalleistung lässt sich feststellen, dass die in der aktuellen Beurteilungspraxis bei Erstellung von Befund und Gutachten in schalltechnischen Beurteilungen nach dem Stand der Technik herangezogenen Werte aus der bayrischen Parkplatzlärmstudie als zu hoch anzusehen sind.

Vom bayrischen Landesamt für Umwelt wurde im Februar 2025 ebenfalls kommuniziert, dass vorliegende Zwischenergebnisse einer UBA-Studie den Schluss zulassen, dass der in der Parkplatzlärmstudie genannte Maximalpegel von 67 dB(A) für die „beschleunigte Abfahrt bzw. Vorbeifahrt“ zwischenzeitlich als zu hoch zu erachten ist [14].

Auf Basis der Ergebnisse wird deshalb als Ansatz zur Prognose der maximalen Schalleistung der beschleunigten Abfahrt von PKWs ein Wert von $L_{W,Amax} = 89,5 \text{ dB}$ empfohlen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ausschnitt während einer beschleunigten Abfahrt mithilfe einer akustischen Kamera (Beifahrerseite)	11
Abb. 2: Ausschnitt während einer beschleunigten Abfahrt mithilfe einer akustischen Kamera (Rückseite).....	12
Abb. 3: Dachkonstruktionen mit den drei Messmikrofonen auf ein Fahrzeug befestigt.	13
Abb. 4: Exemplarischer Pegelzeitverlauf einer beschleunigten Abfahrt gemessen in 2 m Abstand rechts vor dem Fahrzeug.....	14
Abb. 5: Skizze der Positionen der Messpunkte	15
Abbildung 6 zeigt den Autobestand in Österreich im Jahr 2023.	17
Abb. 6: Der Autobestand in Österreich im Jahr 2023 (Quelle: Statistik Austria, Kfz-Statistik, Erstellt am 22.02.2024)	17
Abb. 7: EU – Fahrgeräuschgrenzwerte (Quelle: www.laerminfo.at/ueberlaerm/laermquellen/strassenverkehr/kfz_grenzwerte.html)[15].....	20

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Liste der gemessenen Personenkraftwagen vom 23./24. August 1986, reproduziert von Referenz [2].	8
Tab. 2: Liste der mittleren Maximalpegel in 7,5 m Entfernung in dB, reproduziert von Referenz [2].	9
Tab. 3: Gemessene Fahrzeuge zur Bestimmung des mittleren Maximalpegels	16
Tab. 4: Maximalpegel und mittlerer Maximalpegel in 7,5m Entfernung in dB.....	18
Tab. 5: Höchsten gemessene Maximalpegel der einzelnen Messungen in 7,5 m Entfernung	21

Literaturverzeichnis

[1] Parkplatzlärmstudie des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, 6. vollständig überarbeitete Auflage. August 2007.

[2] Parkplatzlärmstudie des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, 3. Auflage, 1994.

[3] Sound-Engineering im Automobilbereich Methoden zur Messung und Auswertung von Geräuschen und Schwingungen (2010), Klaus Genuit, Springer Verlag

[4] Handbuch Fahrzeugakustik Grundlagen, Auslegung, Berechnung, Versuch 3.Auflage (2018), Peter Zeller, Springer Verlag.

[5] ÖNORM S 5004 - Messung von Schallimmissionen (2020).

[6] DIN 45642 - Messungen von Verkehrsgeräuschen (2004).

[7] ISO 1996-2 Measurement of environmental noise (2017).

[8] ÖNORM EN ISO 9613-2 Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (2008)

[9] ÖNORM EN ISO 9613-2 Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung – Teil 2: Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren) für die Vorhersage der Schalldruckpegel im Freien (2024).

[10] Regelung Nr. 138 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE) — Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung geräuscharmer Straßenfahrzeuge hinsichtlich ihrer verringerten Hörbarkeit.

[11] Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS) 122/2021 vom Umweltbundesamt

[12] Delegierte Verordnung (EU) 2017/1576

[13] Verordnung (EU) Nr. 540/2014

[14] Hinweise zur Anwendung der Parkplatzlärmstudie (6. Auflage) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt – hier: Maximalpegelkriterium
www.lfu.bayern.de/laerm/doc/hinweise_parkplatzlaermstudie.pdf

[15] „www.laerminfo.at/ueberlaerm/laermquellen/strassenverkehr/kfz_grenzwerte.html“.

[16] Schallemissionsdaten für Pegelspitzen durch Türenschiagen bei PKW, Abteilung 15, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, V1 (2023)

[17] Untersuchung von Brummtönen in der Steiermark, Abteilung 15, Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2024)