

TEXTE

32/2026

**Abschlussbericht**

# Schallemissionen beim Ladevorgang elektrisch betriebener Fahrzeuge

**von:**

Thorsten Otto, Thomas Maly  
Müller-BBM Industry Solutions GmbH

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt



TEXTE 32/2026

REFOPLAN des Bundesministeriums Umwelt,  
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3721 55 102 0

FB001955

Abschlussbericht

# **Schallemissionen beim Ladevorgang elektrisch betriebener Fahrzeuge**

von

Thorsten Otto, Thomas Maly  
Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

### Durchführung der Studie:

Müller-BBM Industry Solutions GmbH  
Helmut-A.-Müller-Straße 1 - 5  
82152 Planegg

### Abschlussdatum:

Februar 2025

### Redaktion:

Fachgebiet I 2.4 – „Lärminderung bei Anlagen und Produkten, Lärmwirkungen“  
Jan Gebhardt

### DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8230>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Februar 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen\*Autoren.

### **Kurzbeschreibung: Schallemissionen beim Ladevorgang elektrisch betriebener Fahrzeuge**

Die Bundesregierung vereinbarte im Koalitionsvertrag von 2021 eine Zielvorgabe von 15 Mio. zugelassenen Elektroautos in Deutschland bis 2030. Für dieses Ziel ist u. a. auch der Aufbau einer Ladeinfrastruktur notwendig, um den Umstieg vom Verbrennermotor zum Elektroantrieb attraktiv zu gestalten. Bis zum jetzigen Zeitpunkt war jedoch nicht klar, welche Auswirkungen auf die Umwelt u. a. die Errichtung von Schnellladesäulen mit sich bringt. In diesem Zusammenhang gilt es auch zu prüfen, welche Schallemissionen durch Ladevorgänge erzeugt werden, welchen Einfluss dabei das Kfz und welchen die Ladesäule hat und welche Anforderungen an deren Betrieb ggf. daraus resultieren. Die folgende Publikation enthält eine messtechnisch ermittelte Zusammenstellung der mit einzelnen Ladevorgängen von Elektroautos (kein Schwerverkehr) verbundenen Geräuschemission und wie diese Ergebnisse für die weitere Verwendung in Prognosemodellen heranzuziehen sind. Untersucht wurden Ladevorgänge von Pkw verschiedener Klassen (Kleinwagen, Mittelklasse, SUV) an verschiedenen Ladesäulen (DC Ladung an Schnellladesäulen von 150- bis 300-kW-Leistung und an 11-kW-Wallboxen)

### **Abstract: Noise emissions during the charging process of electrically powered vehicles**

In the coalition agreement of 2021, the coalition government agreed on a target of 15 million registered electric cars in Germany till 2030. This target also requires, among other things, the development of a charging infrastructure to make the switch from combustion engines to electric drives attractive. Until now, however, it was not clear what impact the installation of fast-charging points would have on the environment. In this context, it is also necessary to examine the noise emissions generated by charging processes, the influence of the vehicle and the charging station, and any resulting requirements for their operation. The following publication contains a metrologically determined compilation of the noise emissions associated with individual charging processes of electric cars (no heavy goods vehicles) and how these results can be used for further use in prediction models. Charging processes of cars of different classes (small cars, mid-size cars, SUVs) at different charging stations (DC charging at fast charging stations with a capacity of 150 to 300 kW and at 11 kW wallboxes) were analysed.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis.....	9
Zusammenfassung.....	10
Summary.....	19
1 Einführung.....	29
1.1 Situation.....	29
1.2 Aufgabenstellung.....	29
1.3 Grundlegende Vorgehensweise.....	29
2 AP 8 – Schallemission von E-Ladesäulen.....	30
2.1 Grundlagen.....	30
2.2 Fahrzeug- und Ladesäulenkollektiv.....	31
2.2.1 Fahrzeugkollektiv.....	31
2.2.2 Ladesäulenkollektiv.....	33
2.3 Messung der Ladezyklen.....	34
2.3.1 Messaufbau.....	34
2.3.2 Messkonzept.....	36
2.3.3 Messgeräte.....	36
2.3.4 Messdurchführung.....	36
2.4 Auswertung.....	37
2.4.1 Auswertemethodik.....	37
2.4.2 Berechnung von Schalleistungspegeln.....	37
2.4.3 Messergebnisse.....	38
2.4.4 Frequenzspektrum.....	45
2.5 Ansätze in der Prognose.....	50
2.5.1 Einwirkzeiten.....	50
2.5.2 Schalleistungspegel.....	51
2.5.3 Spektrum.....	52
3 Grundlagen.....	60

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispielhafte Darstellung von Ladekurven von 3 verschiedenen Fahrzeugen. ....	30
Abbildung 2:	Lageplan der Messpunkte bei der Schallpegelmessung von Schnellladesäulen. ....	34
Abbildung 3:	Messaufbau am Beispiel der 150-kW-HYC150-Ladesäule.....	35
Abbildung 4:	Messaufbau MP3 am Beispiel Mercedes Benz EQC 400. ....	35
Abbildung 5:	Ermittlung des Messflächenmaß $L_s$ der Ladesäulen.....	37
Abbildung 6:	Schalldruckpegel in dB(A) durch Fahrzeuglüftung (MP 3) in Abhängigkeit des Batteriefüllstands in % für 4 verschiedene Ladevorgänge des Tesla Model Y. ....	38
Abbildung 7:	Pegelzeitverlauf und Terzspektrum aller Messpunkte bei Ladevorgang VW ID 3 an 150-kW-Alpitronic (Messabschnitt 4, 800 s). ....	46
Abbildung 8:	Schmalbandspektrum aller Messpunkte bei Ladevorgang VW ID 3 an 150-kW-Alpitronic (Messabschnitt 4, 800 s), Mittelwert des Messbereichs aus Abbildung 7. ....	47
Abbildung 9:	Schmalbandspektrum Messpunkt MP1* bei Ladevorgang VW ID 3 an 150-kW-Alpitronic im Messabschnitt 4.....	48
Abbildung 10:	Schmalbandspektrum (links) und Summenpegel (rechts) für Messpunkt MP1* bei Ladevorgang VW ID 3 an 150-kW-Alpitronic zwischen 760 und 815 s. ....	49
Abbildung 11:	Mittleres Spektrum bei maximaler Schallemission eines Ladevorgangs an Ladesäule 150-kW-Alpitronic. ....	53
Abbildung 12:	Mittleres Spektrum bei maximaler Schallemission eines Ladevorgangs an Ladesäule 300-kW-Alpitronic .....	53
Abbildung 13:	Mittleres Spektrum bei maximaler Schallemission eines Ladevorgangs an Ladesäule 250-kW-Tesla-Super-Charger. ....	54
Abbildung 14:	Referenzspektrum der 3 Ladesäulen sowie mittleres Referenzspektrum. ....	55
Abbildung 15:	Mittleres Spektrum bei maximaler Schallemission des Vorgangs der Batteriekühlung während eines Ladevorgangs.....	56
Abbildung 16:	Referenzspektrum der Batteriekühlung der einzelnen Fahrzeuge sowie Mittelwert.....	57

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gewähltes Fahrzeugkollektiv.....	31
Tabelle 2:	Ladesäulentypen. ....	33
Tabelle 3:	Zusammengefasste Messergebnisse HYC 150, der jeweiligen Quelle direkt zuzuordnende Abschnitte werden hervorgehoben, der Maximalwert rot markiert.....	40

Tabelle 4:	Zusammengefasste Messergebnisse Tesla Supercharger (250 kW), der jeweiligen Quelle direkt zuzuordnende Abschnitte werden hervorgehoben, der Maximalwert rot markiert. ....	41
Tabelle 5:	Zusammengefasste Messergebnisse HYC 300 Allego Hypercharger (300 kW), der jeweiligen Quelle direkt zuzuordnende Abschnitte werden hervorgehoben, der Maximalwert rot markiert. ....	42
Tabelle 6:	Zusammengefasste Messergebnisse Wallbox 11 kW, der jeweiligen Quelle direkt zuzuordnende Abschnitte werden hervorgehoben, der Maximalwert rot markiert. ....	43
Tabelle 7:	Maximal auftretende Schallleistungspegel und Mittelwert (energetisch) über gesamte Ladezeit an der Ladesäule und am Fahrzeug. ....	44
Tabelle 8:	Referenzspektrum der 3 Ladesäulen sowie mittleres Referenzspektrum – Pegeldifferenz jedes Terzbandes zum Summenpegel der Gesamtschallleistung in dB. ....	55
Tabelle 9:	Referenzspektrum der 5 Fahrzeuge sowie mittleres Referenzspektrum – Pegeldifferenz jedes Terzbandes zum Summenpegel der Gesamtschallleistung in dB. ....	58



## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
AVAS	Acoustic Vehicle Alerting System
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
EU	Europäische Union
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
Lkw	Lastkraftwagen
Pkw	Personenkraftwagen
PPLS-6	Parkplatzlärmstudie, 6. Auflage (2007)
GOK	Geländeoberkante
RLS-19	Richtlinien für Lärmschutz an Straßen, Ausgabe 2019
SNR	Signal-Rausch-Abstand ( <i>signal to noise ratio</i> )
SUV	Sport Utility Vehicle
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, Stand Juni 2017
HYC	Hypercharger
LpA,m(T)	Schalldruckpegel A-bewertet und über Zeitraum T gemittelt, dB(A)
LW	Schallleistungspegel (ortsunabhängige Größe der die gesamte Schallenergie einer Schallquelle angibt)
LS	Messflächenmaß in dB
LW,korr	Schallleistungspegel inkl. Berücksichtigung Fremdgeräuschkorrektur, dB(A)
FG	Fremdgeräusch, dB(A)
SoC	State of Charge

## Zusammenfassung

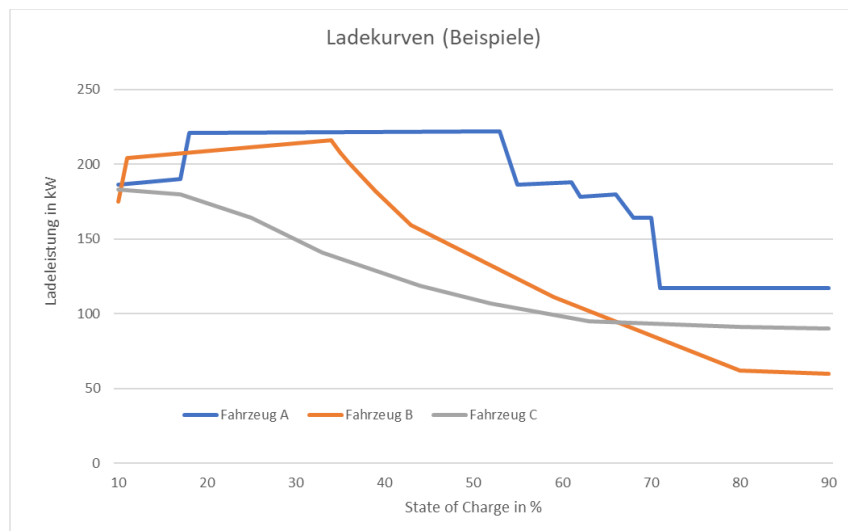
### Grundlegendes

Im Rahmen des Forschungsprojekts sind die „Geräuschemissionen des Fahrzeugverkehrs (einschließlich Lieferverkehr) bei An- und Abfahrt“ im Auftrag des Umweltbundesamtes zu untersuchen. In diesem Zusammenhang galt es ergänzend zu prüfen, welche Emissionen durch Ladevorgänge an Elektrofahrzeugen erzeugt werden, welchen Einfluss dabei das Kfz und welchen die Ladesäule hat und welche Anforderungen an deren Betrieb ggf. daraus resultieren.

Die Aufgabe bestand darin, die mit einzelnen Ladevorgängen von Elektroautos verbundene Geräuschemission messtechnisch zu ermitteln und für die weitere Verwendung in Prognosemodellen aufzubereiten.

Der dominierende Anteil am Ladegeräusch entsteht durch die Kühlung aufgrund der beim Ladevorgang entstehenden Wärme durch hohe Ladeleistungen. Je höher die Ladeleistung, desto mehr Wärme wird erzeugt. Jedem Fahrzeug sind vom Hersteller eigene Ladekurven hinterlegt, über die die Leistungsaufnahme gesteuert wird. Die Ladesäule stellt eine maximale Leistung zur Verfügung und das Fahrzeug ruft eine gewisse Leistung anhand der Ladekurve ab. Folgende Abbildung zeigt beispielhaft 3 verschiedene Ladekurven verschiedener Fahrzeuge.

**Abbildung Z 1: Beispielhafte Darstellung von Ladekurven von 3 verschiedenen Fahrzeugen.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Die Ladekurven aller Fahrzeuge haben die höchste Ladeleistung bei einem Batteriefüllstand von ca. 10 % bis maximal 60 % Batteriekapazität. Oberhalb von 60 % wird die Ladeleistung zum Teil deutlich reduziert.

## Messgegenstände

Es wurden Ladevorgänge von verschiedenen Fahrzeugen an verschiedenen Ladesäulen messtechnisch erfasst. Folgender Tabelle ist das Fahrzeugkollektiv zu entnehmen.

**Tabelle Z 1: Fahrzeugkollektiv.**

Hersteller/Typ	Baujahr	Batteriekapazität
Renault Zoe E	2022	50 kWh
VW ID.3	2022	58 kWh
Hyundai Ioniq 5	2022	58 kWh
Mercedes Benz EQC 400	2022	80 kWh
Jaguar I Pace	2019	90 kWh
Tesla Model Y (Tesla Y)	2022	79 kWh (Y5LD)

In folgender Tabelle sind die Ladesäulentypen mit jeweils maximaler Ladeleistung zusammengefasst.

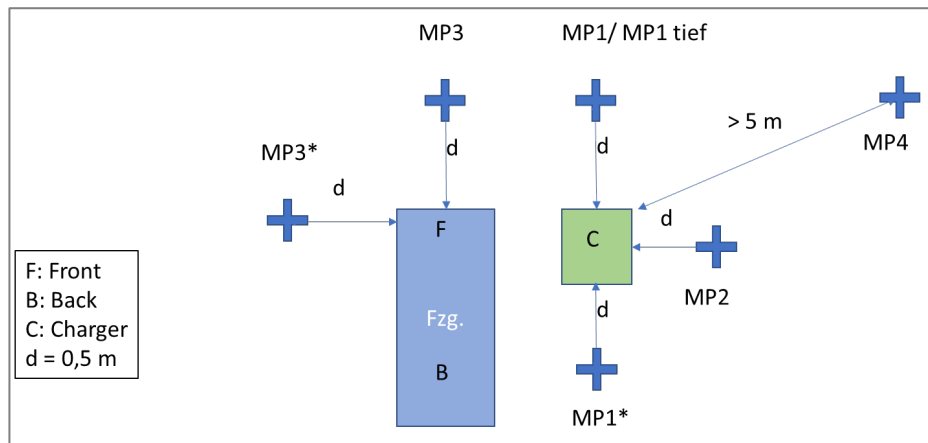
**Tabelle Z 2: Ladesäulentypen.**

Hersteller	Typ	Maximale Ladeleistung
Alfen	Wallbox „SmartBox“ Double	22 kW (2 x 11 kW)
Alpitronic	Hypercharger 150	150 kW (2 x 75 kW)
Alpitronic	Hypercharger 300	300 kW (2 x 150 kW)
Tesla	Supercharger	250 kW

Der vorgesehene Messaufbau wurde aus Erfahrungswerten bereits getätigter Messungen abgeleitet. Da der Standort der Ladesäulen differiert, wurden die Messpositionen im Einzelfall angepasst, damit die Werte vergleichbar sind.

In der Abbildung 2 ist ein Standardmessaufbau dargestellt.

**Abbildung Z 2: Lageplan der Messpunkte bei der Schallpegelmessung von Schnellladesäulen.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Die Messung wurde kontinuierlich über den gesamten Ladevorgang aufgenommen und beobachtet.

Während der Messungen wurden Wetterdaten (Lufttemperatur) aufgezeichnet.

### Messergebnisse

An der 11-kW-Ladesäule wurde keine Geräusentwicklung von der Säule selbst festgestellt, in Abhängigkeit des Fahrzeugtyps jedoch dessen Lüftungsgeräusche (mit kurzen Laufzeiten).

Bei den sonstigen Ladesäulen tritt die höchste Schalleistung bei den Fahrzeugen mit der größten Leistungsaufnahme auf, wie beim Tesla Y (bis 175 kW) und Mercedes Benz EQC 400 (bis 150 kW). Die Schalleistung liegt bei den Superchargern von Tesla bei 77 – 80 dB(A) und bei den HYC-Ladesäulen bei 75 – 79 dB(A).

Die maximale Schallabstrahlung erfolgt bei maximaler Leistungsabgabe und tritt in der Regel nur auf, wenn der Batteriestand unter 60 % liegt. Bei einigen Fahrzeugen ist die Batteriekühlung deutlich hörbar, insbesondere beim Tesla Y und Jaguar iPace mit Schalleistungspegeln über 70 dB(A), z. T. auch bei niedriger Ladeleistung (z. B. an einer Wallbox). Beim Hyundai Ioniq 5 konnte keine Geräuscherzeugung festgestellt werden, und beim Mercedes EQC 400 gab es ein leises „Plätschern“ (wassergekühlt) mit  $L_{WA} = 48\text{ dB(A)}$ , das deutlich geringer war als die Lüftungsgeräusche. Während der Ladung mit 11 kW wurde bei beiden Fahrzeugen (Hyundai und Mercedes) keine Fahrzeugkühlung über einen Zeitraum von 4 Stunden nachgewiesen.

In folgender Tabelle werden die maximal auftretenden Schalleistungspegel an der Ladesäule und am Fahrzeug durch die Batteriekühlung zusammenfassend dargestellt. Die dargestellten Werte sind nicht „fremdgeräuschkorrigiert“, da Auswerteabschnitte mit möglichst geringem Fremdgeräusch gewählt wurden. Zielvorgabe war ein einen Signal-Fremdgeräusch-Abstand von 10 dB zu erreichen, aufgrund teilweise hoher Fremdgeräuschpegel wurde ein SNR bis zu 5 dB in der Auswertung herangezogen.

**Tabelle Z 3: Maximal auftretender Schalleistungspegel und Mittelwert (energetisch) über gesamte Ladezeit an der Ladesäule und am Fahrzeug.**

Fahrzeug	Größe dB(A)	Ladesäule					Mittelwert der maximalen LWA über Ladesäulen
		HYC 150	TS 250	HYC 300	11 kW Wallbox		
Mercedes Benz EQC 400	<i>L</i> <sub>WA, Säule, Max</sub>	<b>76,5</b>	<b>77,3</b>	<b>74,6</b>	-	<b>76,1</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, Säule, MW</sub>	<b>73,9</b>	<b>72,3</b>				
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, Max</sub>	48,8	-	-	-	48,8	
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, MW</sub>	44,1					
Tesla Model Y (1)	<i>L</i> <sub>WA, Säule, Max</sub>	<b>78,8</b>	<b>80,4</b>	<b>75,6</b>	-	<b>78,3</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, Säule, MW</sub>	<b>75,7</b>	<b>75,8</b>	<b>72,3</b>			
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, Max</sub>	<b>69,7</b>	<b>71,8</b>	<b>69,4</b>	-	<b>70,3</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, MW</sub>	<b>64,2</b>	<b>65,6</b>	<b>64,0</b>			
Tesla Model Y (2)	<i>L</i> <sub>WA, Säule, Max</sub>	<b>78,0</b>	n.e.	n.e.	n.e.	<b>78,0</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, Säule, MW</sub>	<b>74,4</b>					
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, Max</sub>	<b>70,5</b>	n.e.	n.e.	n.e.	<b>70,5</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, MW</sub>	<b>66,3</b>					
VW ID.3	<i>L</i> <sub>WA, Säule, Max</sub>	<b>71,6</b>	<b>64,7</b>	<b>70,4</b>	n.e.	<b>68,9</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, Säule, MW</sub>	<b>70,3</b>	<b>65,1</b>	<b>69,2</b>			
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, Max</sub>	<b>65,3</b>	<b>64,1</b>	<b>65,0</b>	n.e.	<b>64,7</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, MW</sub>	<b>62,4</b>	<b>62,2</b>	<b>62,3</b>			
Hyundai Ioniq 5	<i>L</i> <sub>WA, Säule, Max</sub>	n.e.	<b>61,7</b>	<b>69,2</b>	-	<b>65,5</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, Säule, MW</sub>		<b>62,4</b>	<b>68,5</b>			
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, Max</sub>	n.e.	-	-	-	-	
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, MW</sub>						
Renault Zoe E	<i>L</i> <sub>WA, Säule, Max</sub>	<b>73,6</b>	<b>68,6</b>	<b>67,2</b>	-	<b>69,9</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, Säule, MW</sub>	<b>72,3</b>	<b>66,3</b>	<b>66,6</b>			
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, Max</sub>	<b>69,0</b>	<b>62,0</b>	-	<b>58,5</b>	<b>63,2</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, MW</sub>	<b>62,8</b>	<b>58,8</b>		<b>58,4</b>		
Jaguar I Pace**	<i>L</i> <sub>WA, Säule, Max</sub>	<b>75,2</b>	<b>72,4</b>	(68,0)*	-	<b>73,8</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, Säule, MW</sub>	<b>72,8</b>	<b>69,9</b>	(66,0)*			
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, Max</sub>	<b>76,1</b>	<b>75,7</b>	(67,7)*	<b>70,5</b>	<b>74,1</b>	
	<i>L</i> <sub>WA, FZG, MW</sub>	<b>69,3</b>	<b>71,0</b>	(60,2)*	<b>68,0</b>		
MW	<i>L</i> <sub>WA, Säule, Max</sub>	<b>75,6</b>	<b>70,9</b>	<b>71,4</b>	-	-	
	<i>L</i> <sub>WA, Säule, MW</sub>	<b>73,3</b>	<b>68,6</b>	<b>69,2</b>			

\*: Wiederholungsmessung gleiches Fahrzeug

\*\* : Messergebnisse für Batteriefüllstand > 80 %

n.e.: nicht erfasst

- : keine wahrnehmbare Geräusentstehung

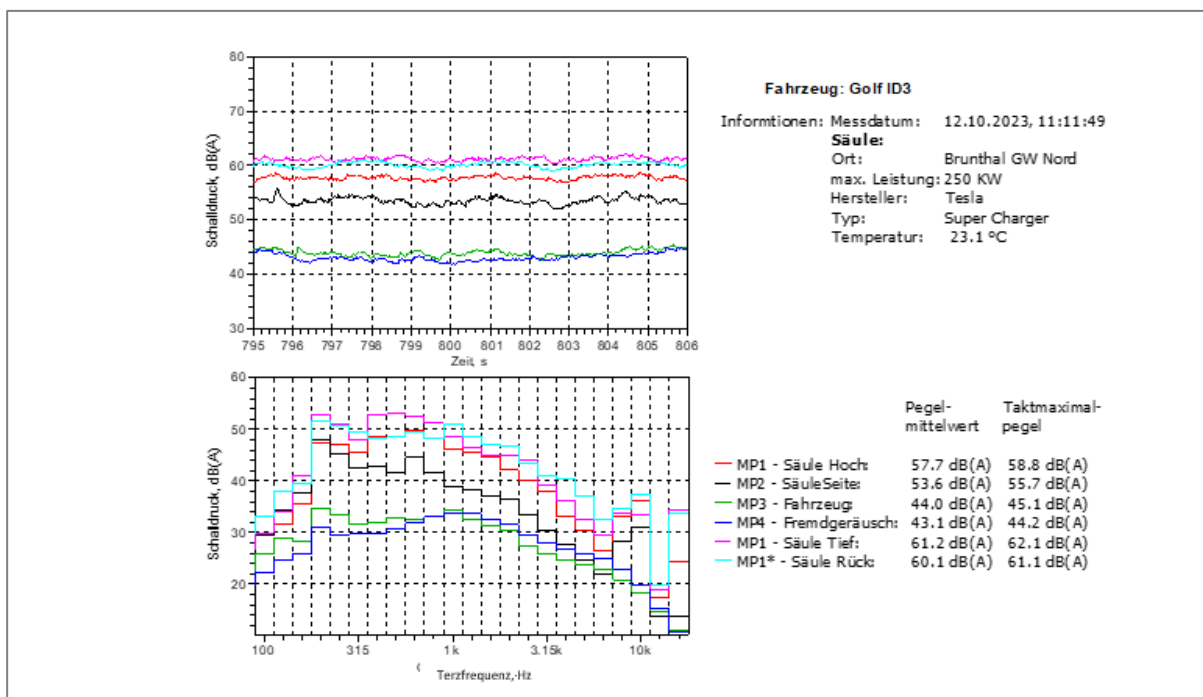
Der in Tabelle Z 3 angegebene Mittelwert des Schalleistungspegels ( $L_{WA, Säule, MW}$ ) stellt den ungewichteten energetischen Durchschnitt aller ausgewerteten Messabschnitte dar. Der Vergleich mit dem maximalen Schalleistungspegel ( $L_{WA, Säule, Max}$ ) belegt, dass es während der meisten Ladevorgänge auch weniger geräuschintensive Phasen gibt.

### Spektrale Verteilung

Es wird beispielhaft die spektrale Verteilung des Lüftungsgeräusches der Ladesäulen und der Fahrzeugbatterien für ausgewählte Messabschnitte dargestellt. Subjektiv wurden tonhaltige Geräusche nur in wenigen Einzelfällen wahrgenommen, u. a. ein hochfrequentes Pfeifen während des Ladevorgangs des VW ID.3 an der 150-kW-Ladesäule.

Im Terzspektrum der Messabschnitte ist ein Anstieg des Pegels im Bereich der 10-kHz-Terz erkennbar, jedoch nur an einzelnen Mikrofonpositionen. Der Pegelunterschied zur 8-kHz-Terz liegt bei weniger als 3 dB. Ein Beispiel dafür ist der Messabschnitt 4 (800 s) des VW ID.3 an der 150-kW-Ladesäule.

**Abbildung Z 3: Pegelzeitverlauf und Terzspektrum aller Messpunkte bei Ladevorgang VW ID 3 an 150-kW-Alpitronic (Messabschnitt 4, 800 s).**



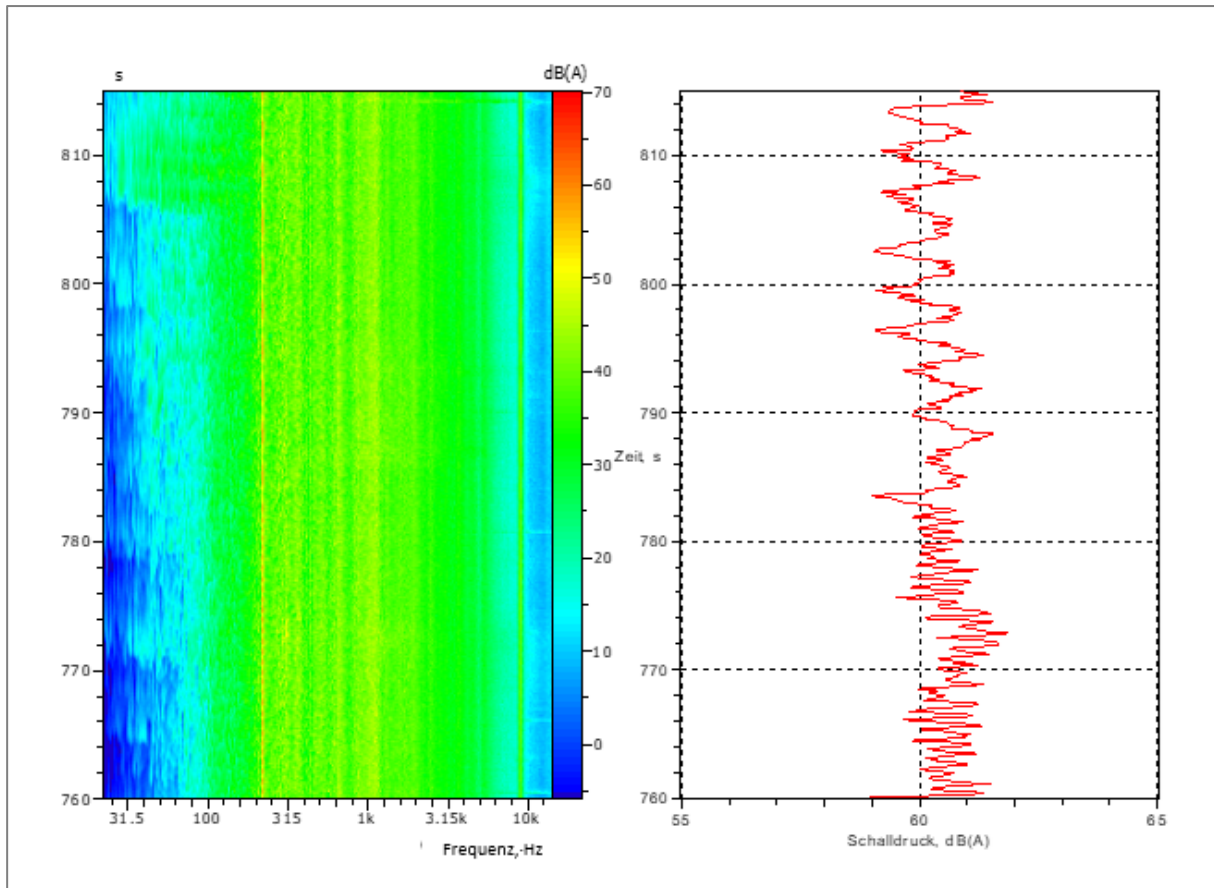
Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Am Messpunkt MP1 und MP1\* sowie MP1 Tief (Ansaug- bzw. Ausblasöffnung der Ladesäule, zugewandte Mikrofonposition) sind die Geräuschanteile am größten. Bei der Betrachtung der Frequenzverteilung in Terzbandbreite ist keine eindeutig tonhaltige Geräuschkomponente erkennbar. Um dies zu bestätigen bzw. zu entkräften wurde eine schmalbandige Analyse durchgeführt.

Hier wurde deutlich, dass bei ca. 250 Hz an mehreren Messpunkten eine schmalbandige, pegelbestimmende Frequenzkomponente vorhanden ist. Zudem tritt bei ca. 9050 Hz hochfrequent eine deutlich die angrenzenden Frequenzen überragende Pegelkomponente auf.

Für einen einzelnen Kanal wurde für einen Messbereich mit hohen Geräuschabstrahlungen der Ladesäule ein Wasserfalldiagramm sowie der zugehörige Summenpegel in gleichem Zeitabschnitt berechnet.

**Abbildung Z 4: Schmalbandspektrum (links) und Summenpegel (rechts) für Messpunkt MP1\* bei Ladevorgang VW ID 3 an 150-kW-Alpitronic zwischen 760 und 815 s.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

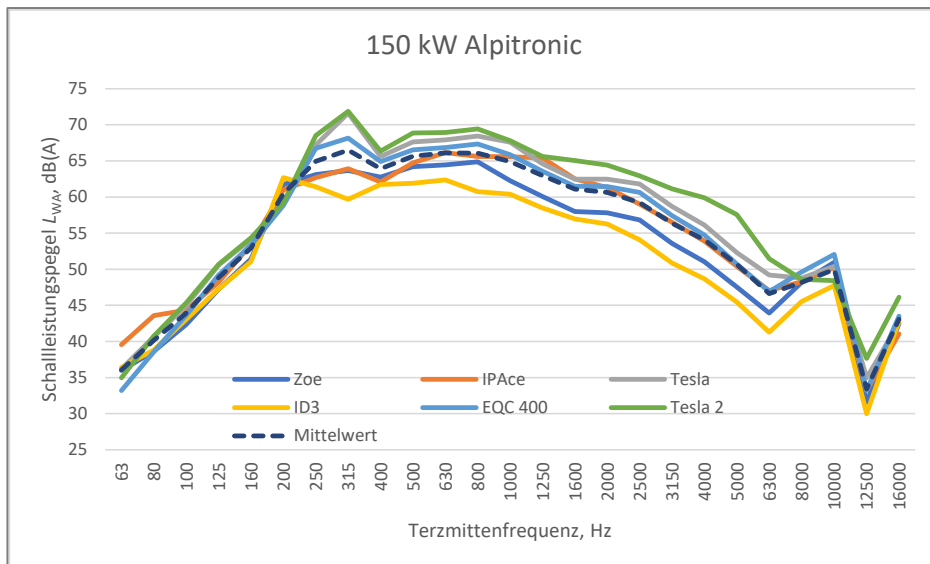
Die beiden oben genannten Frequenzkomponenten bei 250 Hz und 9050 Hz treten im Wasserfalldiagramm hervor, wobei der maßgebliche Frequenzanteil bei 250 Hz zudem Pegelschwankungen in der Amplitude aufweist.

Für Prognoseberechnungen sollte somit ein Zuschlag für Tonhaltigkeit berücksichtigt werden.

### Spektrum der Ladesäule

Im Folgenden werden ausgewählte Spektren einzelner Auswerteabschnitte dargestellt. Die maßgebliche spektrale Verteilung der Geräuschemission tritt bei den höchsten/ lautesten Phasen des Ladevorgangs auf. Für diesen Fall werden die 2 bis 3 „lautesten“ Auswerteabschnitte eines jeden Ladevorgangs energetisch gemittelt und für jedes Fahrzeug dargestellt. Der arithmetische Mittelwert aller so für jedes Fahrzeug ermittelten Geräuschspektren charakterisiert die spektrale Schallemission der jeweiligen Ladesäule.

**Abbildung Z 5: Mittleres Spektrum bei maximaler Schallemission eines Ladevorgangs an Ladesäule 150-kW-Alpitronic.**

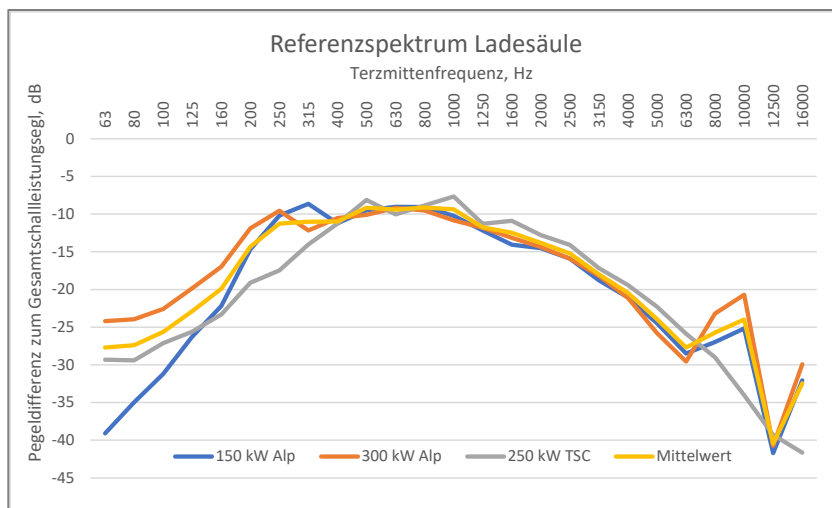


Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Zur Bestimmung eines Referenzspektrums werden in jedem Terzband die Differenzen zum Summenpegel des Gesamtgeräusches gebildet. Dieses Referenzspektrum beschreibt die spektrale Zusammensetzung der jeweiligen Schnellladesäule.

In folgender Abbildung werden die Referenzspektren der 3 Ladesäulentypen sowie ein Mittelwert dargestellt.

**Abbildung Z 6: Referenzspektrum der 3 Ladesäulen sowie mittleres Referenzspektrum.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

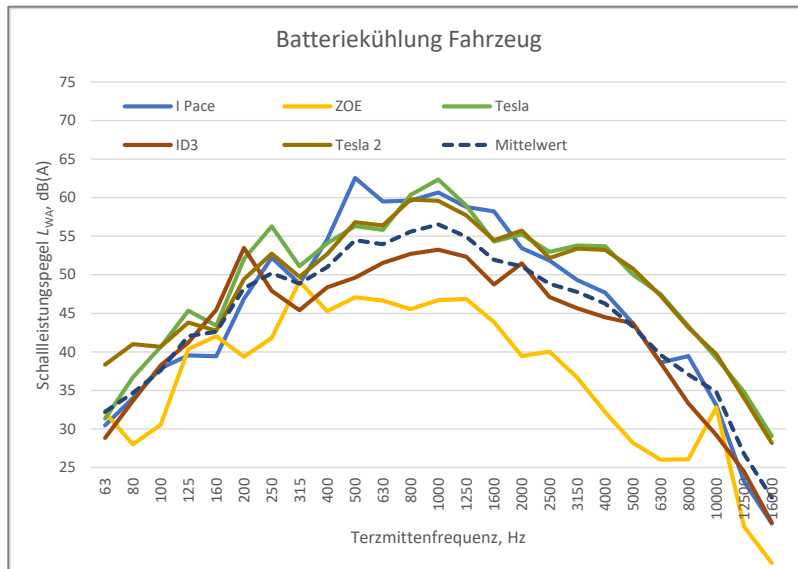
### Spektrum des Fahrzeugs

Die Messdurchführung ergab, dass einige Fahrzeuge nicht unerheblich zur Gesamtgeräuschentwicklung des Ladevorgangs beitragen. Die Gesamtpegelbetrachtung wird im vorangehenden Abschnitt beschrieben, im Folgenden wird für die Lüftungsgeräusche der Fahrzeuge ein Referenzpegelspektrum ermittelt.



Die maßgebliche spektrale Verteilung der Geräuschemission tritt bei der höchsten/lautesten Phase der fahrzeugeigenen Batteriekühlung auf. Für diesen Fall werden die 1 bis 2 „lautesten“ Auswerteabschnitte bei laufender Lüftung energetisch gemittelt und für jedes Fahrzeug getrennt dargestellt. Der arithmetische Mittelwert der Fahrzeugspektren aller Fahrzeuge charakterisiert die spektrale Verteilung der Schallemission des Fahrzeugkollektivs.

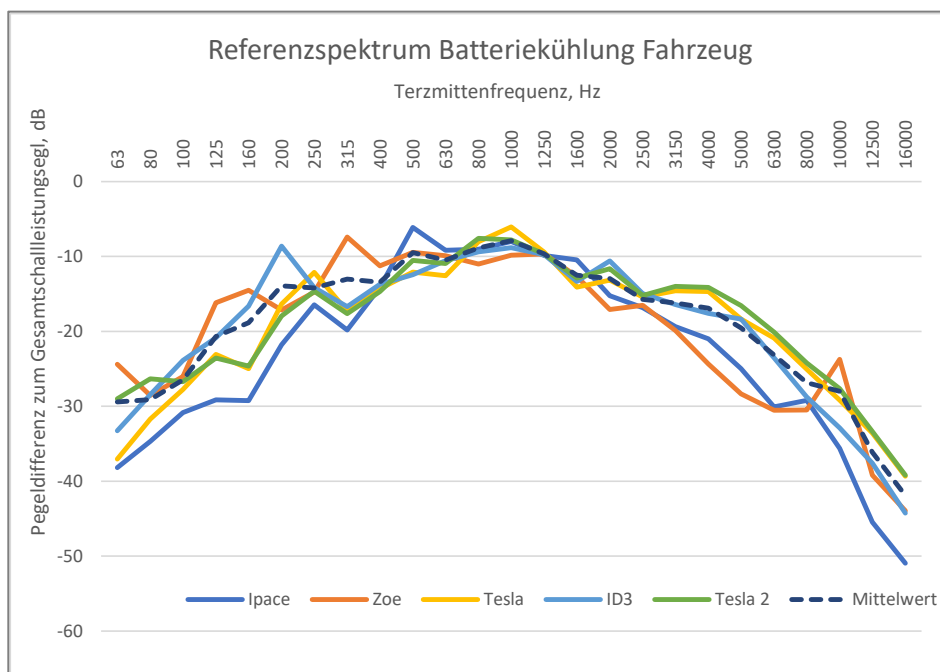
**Abbildung Z 7: Mittleres Spektrum bei maximaler Schallemission des Vorgangs der Batteriekühlung während eines Ladevorgangs.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Für die untersuchten Fahrzeuge kann ebenfalls ein Referenzspektrum dargestellt werden.

**Abbildung Z 8: Referenzspektrum der Batteriekühlung der einzelnen Fahrzeuge sowie mittleres Referenzspektrum – Pegeldifferenz jedes Terzbandes zum Summenpegel der Gesamtschalleistung in dB.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

## Ansätze in der Prognose

Aufgrund der Messergebnisse kann festgehalten werden, dass die Geräuschenstehung beim Ladevorgang von Elektrofahrzeugen nicht vernachlässigbar ist. Sowohl für die Ladesäule als auch für das zu ladende Fahrzeug konnten messtechnisch Schalleistungspegel für die Lüftungs-/Kühlungsgeräusche von bis zu  $L_{WA} = 80$  dB(A) ermittelt werden.

Die Geräuschemission der Ladesäule ist abhängig von dem zu ladenden Fahrzeug. Die maximale Schallemission kann ggf. aus einem vorhandenen Datenblatt entnommen werden. Bei einem Schnellladezyklus für Ladeleistungen von mehr als 100 kW kann die angesetzte Ladedauer im Mittel auf 30 Min. begrenzt werden. Die maximale Schallemission tritt dabei jedoch nur in einem kurzen Zeitabschnitt auf. Bei Ladesäulen mit 2 Ladepunkten muss die maximale Ladeleistung der Säule zudem auf beide Ladepunkte aufgeteilt werden. Aus den genannten Gründen wird folgender Ansatz für schalltechnische Prognoserechnungen empfohlen:

Ladesäulen mit Leistungen von mehr als 100 kW:

Die Herleitung erfolgt praxisnah:

- ▶  $L_{WA,Säule,Volllast} = L_{WA,Max}$  mit  $t_E = 15$  Minuten Einwirkzeit und
  - ▶  $L_{WA,Säule, Teillast} = L_{WA,Max} - 6$  dB mit  $t_E = 15$  Minuten Einwirkzeit
- Liegt kein Datenblatt vor, sollte für die Säulen ein
- ▶  $L_{WA,Max} = 77$  dB(A) (Ladesäulen 100 kW – 150 kW) bzw.
  - ▶  $L_{WA,Max} = 81$  dB(A) (Ladesäulen >150 kW)

in Ansatz gebracht werden.

Zusammengefasst entspricht dies:

*Schalleistungspegel Ladevorgang je Stunde:*

$$L_{WA,Säule,1h} = L_{WA,Max} - 5 \text{ dB}$$

(Bei 2 Ladevorgängen an derselben Säule muss der Ansatz um 3 dB erhöht werden.)

*Schalleistungspegel Ladevorgang mit genauer Einwirkzeit*

$$L_{WA,Säule,Ladevorgang} = L_{WA,Max} \text{ mit } t_E = 20 \text{ Minuten Einwirkzeit}$$

Lüftung / Kühlung Fahrzeug:

Je Ladevorgang (Schnellladen):

$$L_{WA,FZG} = 70 \text{ dB(A) mit } t_E = 15 \text{ Minuten Einwirkzeit; } L_{WA,Ladevorgang,1h} = 64 \text{ dB(A)}$$

Je Ladevorgang (Wallbox):

$$L_{WA,FZG} = 70 \text{ dB(A) mit } t_E = 0,5 \text{ Minuten Einwirkzeit; } L_{WA,WallBox,1h} = 49 \text{ dB(A)}$$

Aufgrund der geringen Wirkdauer des Schalleistungspegels kann in der Praxis auf den Ansatz des Ladevorgangs an der Wallbox verzichtet werden.

Immissionsseitig ist ein Tonhaltigkeitszuschlag von 3 dB zu berücksichtigen.

## Summary

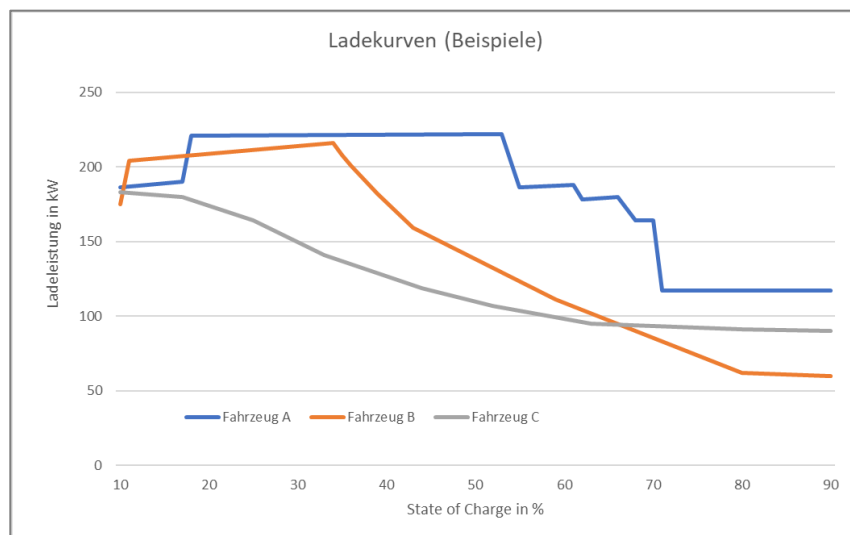
### General

As part of the research project, the ‘Noise emissions of vehicle traffic (including delivery traffic) during arrival and departure’ are to be analysed on behalf of the Federal Environment Agency. In this context, it was also necessary to examine which emissions are generated by charging processes on electric vehicles, what influence the vehicle has and what influence the charging station has and what requirements for its operation may result from this.

The task was to measure the noise emissions associated with individual charging processes of electric cars and to prepare them for further use in prediction models.

The dominant part of the charging noise is caused by cooling due to the heat generated during the charging process by high charging power. The higher the charging power, the more heat is generated. Each vehicle has its own charging curves assigned by the manufacturer, which are used to control the power consumption. The charging station provides a maximum power and the vehicle draws a certain power based on the charging curve. The following figure shows 3 different charging curves for different vehicles as examples.

**Figure S 1: Exemplary representation of charging curves of 3 different vehicles.**



Source: own figure, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

The charging curves of all vehicles have the highest charging power at a battery level of approx. 10 % to a maximum of 60 % battery capacity. Above 60 %, the charging power is reduced significantly in some cases.

### Measured objects

Charging processes of different vehicles at different charging stations were measured. The following table shows the vehicle collective.

**Table S 1: Vehicle collective.**

Manufacturer/Type	Year of manufacture	Battery capacity
Renault Zoe E	2022	50 kWh
VW ID.3	2022	58 kWh
Hyundai Ioniq 5	2022	58 kWh
Mercedes Benz EQC 400	2022	80 kWh
Jaguar I Pace	2019	90 kWh
Tesla Model Y (Tesla Y)	2022	79 kWh (Y5LD)

The following table summarizes the charging station types and their maximum charging capacity.

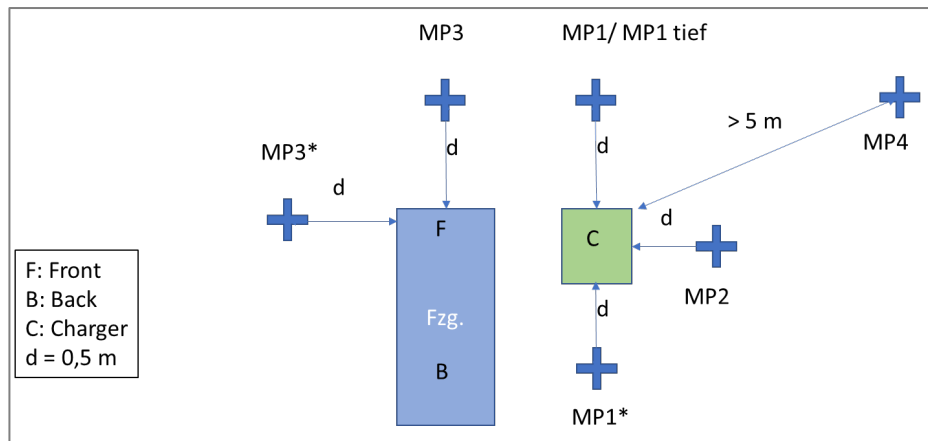
**Table S 2: Types of charging stations.**

Manufacturer	Type	Maximum charging power
Alfen	Wallbox „SmartBox“ Double	22 kW (2 x 11 kW)
Alpitronic	Hypercharger 150	150 kW (2 x 75 kW)
Alpitronic	Hypercharger 300	300 kW (2 x 150 kW)
Tesla	Supercharger	250 kW

The planned measurement setup was derived from empirical values of measurements already carried out. As the location of the charging stations differs, the measurement positions were adjusted in individual cases so that the values are comparable.

Figure 2 shows a standard measurement setup.

**Figure S 2: Location plan of the measuring points for the sound level measurement of fast-charging stations.**



Source: own figure, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

The measurement was recorded and observed continuously over the entire charging process.

Weather data (air temperature) was recorded during the measurements

### Measurement results

At the 11-kW charging station, no noise was detected from the station itself, but depending on the vehicle type, its ventilation noise (with short running times).

In the case of the other charging stations, the highest sound power is generated by the vehicles with the highest power consumption, such as the Tesla Y (up to 175 kW) and Mercedes Benz EQC 400 (up to 150 kW). The sound power is 77 – 80 dB(A) for Tesla Superchargers and 75 – 79 dB(A) for HYC charging stations.

The maximum sound emission occurs at maximum power output and usually only occurs when the battery level is below 60 %. In some vehicles, battery cooling is clearly audible, especially in the Tesla Y and Jaguar iPace with sound power levels above 70 dB(A), in some cases even at low charging power (e.g. at a wallbox). No noise generation was detected in the Hyundai Ioniq 5, and in the Mercedes EQC 400 there was a quiet “splashing” (water-cooled) with  $L_{WA} = 48$  dB(A), which was significantly lower than the ventilation noise. While charging with 11 kW, no vehicle cooling was detected in either vehicle (Hyundai and Mercedes) over a period of 4 hours.

The following table summarizes the maximum sound power levels occurring at the charging station and at the vehicle due to battery cooling. The values shown are not “corrected for extraneous noise”, as evaluation sections with the lowest possible extraneous noise were selected.

**Table S 3: Maximum sound power level and average value (energetic) over the entire charging time at the charging station and on the vehicle.**

Vehicle	Size dB(A)	Charging station					Average value of the maximum $L_{WA}$ across charging stations
		HYC 150	TS 250	HYC 300	11 kW Wallbox		
Mercedes Benz EQC 400	$L_{WA, station, max}$	<b>76.5</b>	<b>77.3</b>	<b>74.6</b>	-	<b>76.1</b>	
	$L_{WA, station, mv}$	<b>73.9</b>	<b>72.3</b>				
	$L_{WA, FZG, max}$	48.8	-	-	-	48.8	
	$L_{WA, FZG, mv}$	44.1					
Tesla Model Y (1)	$L_{WA, station, max}$	<b>78.8</b>	<b>80.4</b>	<b>75.6</b>	-	<b>78.3</b>	
	$L_{WA, station, mv}$	<b>75.7</b>	<b>75.8</b>	<b>72.3</b>			
	$L_{WA, FZG, max}$	<b>69.7</b>	<b>71.8</b>	<b>69.4</b>	-	<b>70.3</b>	
	$L_{WA, FZG, mv}$	<b>64.2</b>	<b>65.6</b>	<b>64.0</b>			
Tesla Model Y (2)	$L_{WA, station, max}$	<b>78.0</b>	n.r.	n.r.	n.r.	<b>78.0</b>	
	$L_{WA, station, mv}$	<b>74.4</b>					
	$L_{WA, FZG, max}$	<b>70.5</b>	n.r.	n.r.	n.r.	<b>70.5</b>	
	$L_{WA, FZG, mv}$	<b>66.3</b>					
VW ID.3	$L_{WA, station, max}$	<b>71.6</b>	<b>64.7</b>	<b>70.4</b>	n.r.	<b>68.9</b>	
	$L_{WA, station, mv}$	<b>70.3</b>	<b>65.1</b>	<b>69.2</b>			
	$L_{WA, FZG, max}$	<b>65.3</b>	<b>64.1</b>	<b>65.0</b>	n.r.	<b>64.7</b>	
	$L_{WA, FZG, mv}$	<b>62.4</b>	<b>62.2</b>	<b>62.3</b>			
Hyundai Ioniq 5	$L_{WA, station, max}$	n.r.	<b>61.7</b>	<b>69.2</b>	-	<b>65.5</b>	
	$L_{WA, station, mv}$		<b>62.4</b>	<b>68.5</b>			
	$L_{WA, FZG, max}$	n.r.	-	-	-	-	
	$L_{WA, FZG, mv}$						
Renault Zoe E	$L_{WA, station, max}$	<b>73.6</b>	<b>68.6</b>	<b>67.2</b>	-	<b>69.9</b>	
	$L_{WA, station, mv}$	<b>72.3</b>	<b>66.3</b>	<b>66.6</b>			
	$L_{WA, FZG, max}$	<b>69.0</b>	<b>62.0</b>	-	<b>58.5</b>	<b>63.2</b>	
	$L_{WA, FZG, mv}$	<b>62.8</b>	<b>58.8</b>		<b>58.4</b>		
Jaguar I Pace*	$L_{WA, station, max}$	<b>75.2</b>	<b>72.4</b>	(68.0)*	-	<b>73.8</b>	
	$L_{WA, station, mv}$	<b>72.8</b>	<b>69.9</b>	(66.0)*			
	$L_{WA, FZG, max}$	<b>76.1</b>	<b>75.7</b>	(67.7)*	<b>70.5</b>	<b>74.1</b>	
	$L_{WA, FZG, mv}$	<b>69.3</b>	<b>71.0</b>	(60.2)*	<b>68.0</b>		
Mean value	$L_{WA, station, Max}$	<b>75,6</b>	<b>70,9</b>	<b>71,4</b>	-	-	
	$L_{WA, station, MW}$	<b>73,3</b>	<b>68,6</b>	<b>69,2</b>			

\*: measurement results for battery level > 80 %

n.r.: not recorded

- : no perceptible noise generation

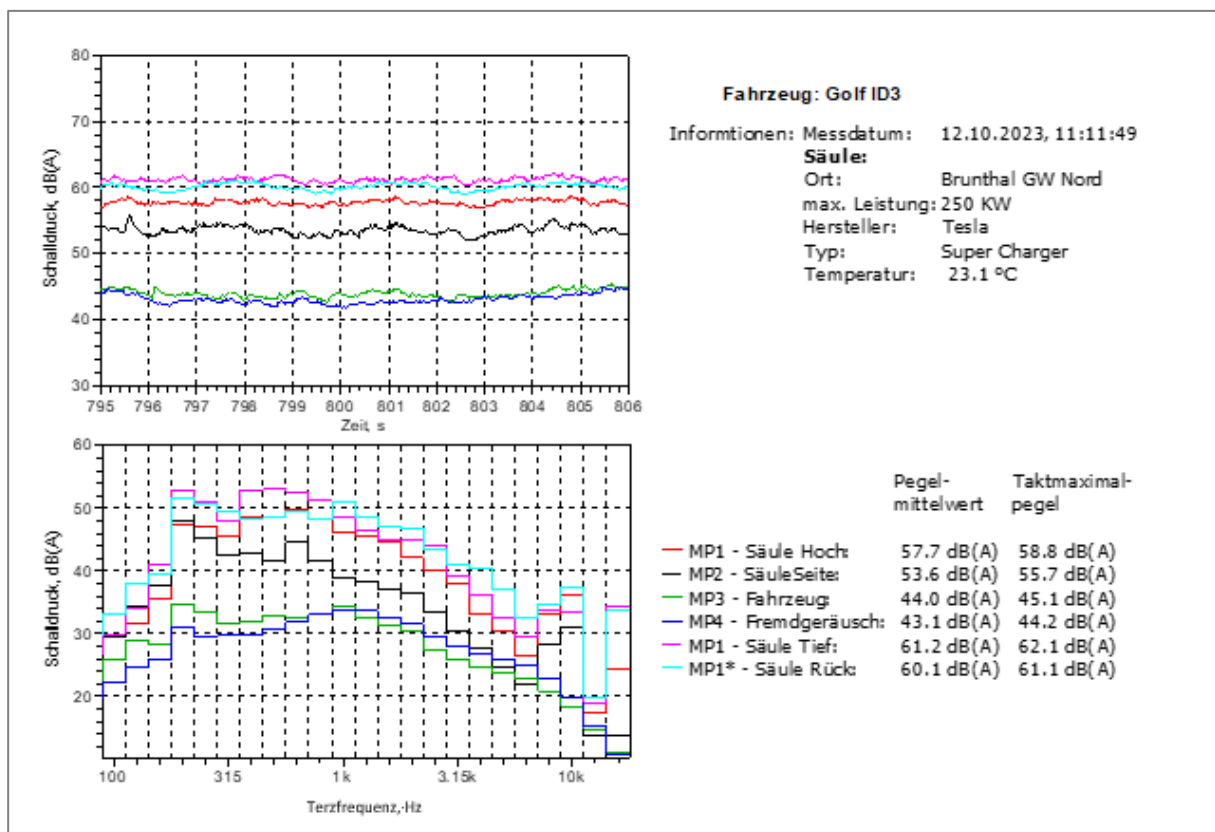
The mean value of the sound power level ( $L_{WA, station, MW}$ ) shown in table S 2 represents the unweighted energetic average of all evaluated measurement sections. The comparison with the maximum sound power level ( $L_{WA, station, Max}$ ) shows that there are also less noisy phases during most charging processes.

**Spectral distribution**

The spectral distribution of the ventilation noise of the charging stations and the vehicle batteries for selected measurement sections is shown as an example. Subjectively, tonal sounds were only perceived in a few individual cases, including a high-frequency whistling during the charging process of the VW ID.3 at the 150 kW charging station.

In the third octave spectrum of the measurement sections, an increase in the level in the 10 kHz third octave range is recognizable, but only at individual microphone positions. The level difference to the 8 kHz third octave is less than 3 dB. An example of this is measurement section 4 (800 s) of the VW ID.3 at the 150 kW charging station.

**Figure S 3: Level time curve and third-octave spectrum of all measurement points during charging process VW ID 3 at 150 kW Alpitronic (measurement section 4, 800 s).**



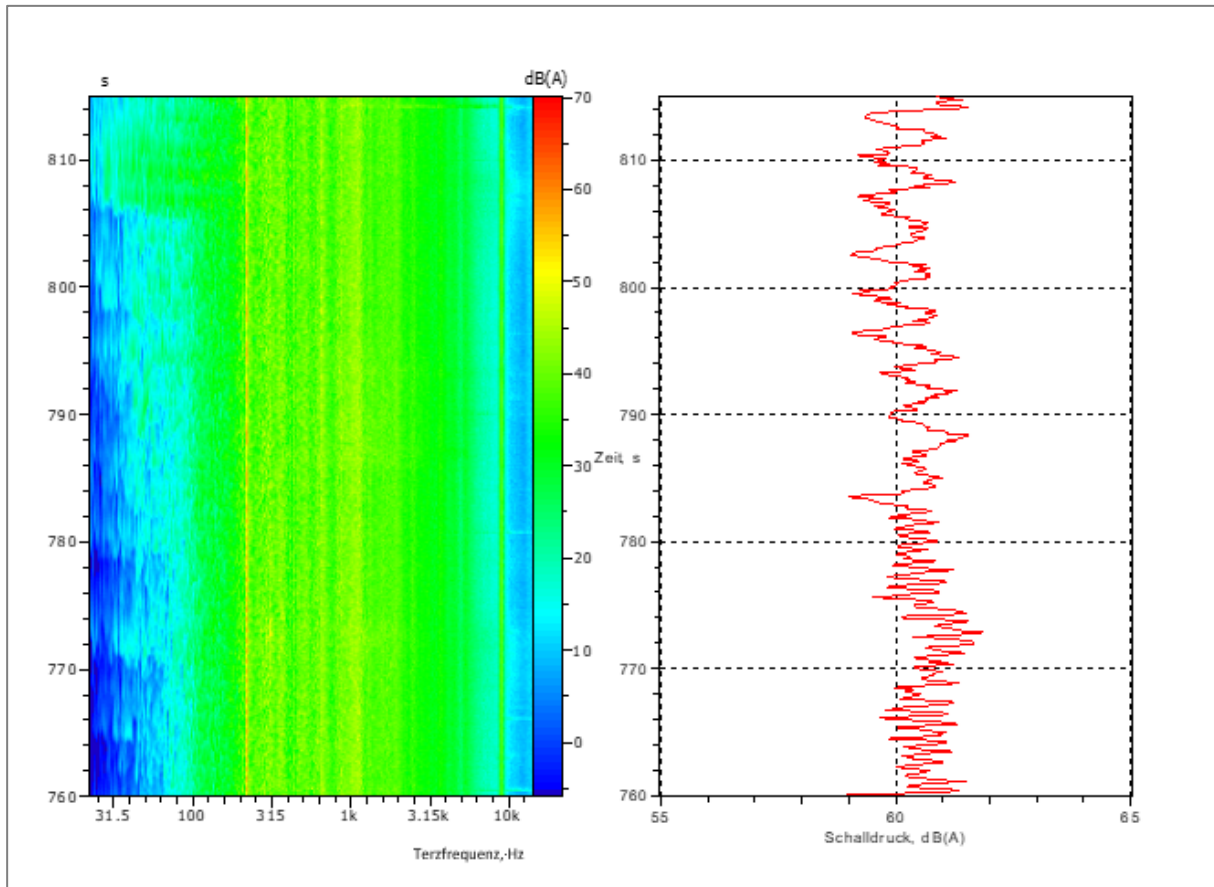
Source: own figure, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

The noise components are highest at the measuring points MP1 and MP1\* and MP1 Low (charging station intake and outlet opening, facing microphone position). When looking at the frequency distribution in one-third octave bandwidth, no clearly tonal noise component can be identified. To confirm or refute this, a narrow-band analysis was carried out.

Here, it became clear that a narrow-band, level-determining frequency component is present at approx. 250 Hz at several measuring points. In addition, at approx. 9050 Hz, there is a high-frequency level component that clearly exceeds the adjacent frequencies.

For a single channel, a waterfall diagram and the associated cumulative sound level in the same time interval were calculated for a measurement range with high noise emissions from the charging station.

**Figure S 4: 24th octave spectrum (left) and cumulative sound level (right) for measuring point MP1\* during charging process VW ID 3 at 150 kW Alpitronic between 760 and 815 s.**



Source: own figure, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

The two above-mentioned frequency components at 250 Hz and 9050 Hz are prominent in the waterfall diagram, whereby the relevant frequency component at 250 Hz also exhibits level fluctuations in amplitude.

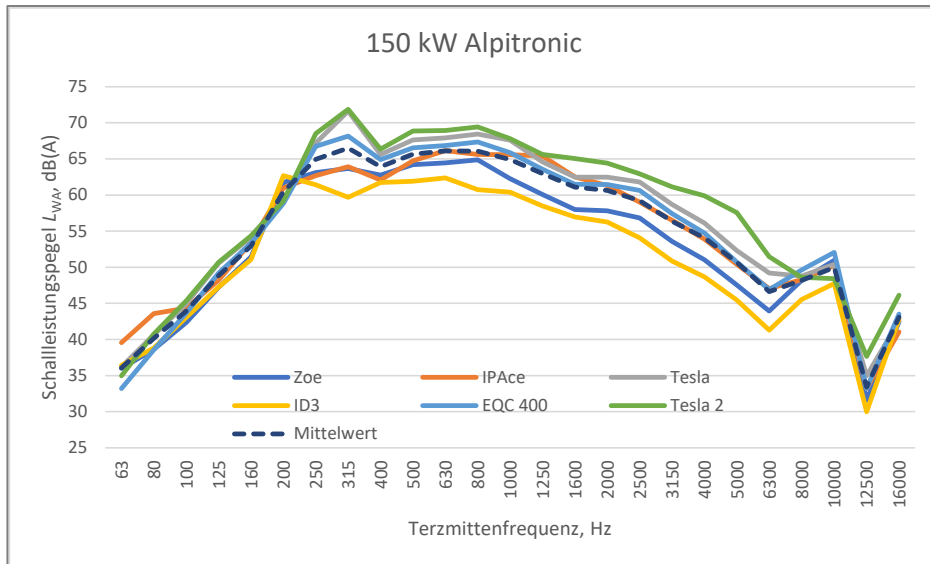
An allowance for tonality should therefore be taken into account for prediction calculations.

### Spectrum of the charging station

Selected spectra of individual evaluation sections are shown below. The relevant spectral distribution of the noise emission occurs during the highest/loudest phases of the charging process. In this case, the 2 to 3 “loudest” evaluation sections of each charging process are energetically averaged and displayed for each vehicle. The arithmetic mean of all noise spectra determined in this way for each vehicle characterizes the spectral noise emission of the respective charging station.



**Figure S 5: Average spectrum at maximum noise emission of a charging process at 150 kW Alpitronic charging station.**

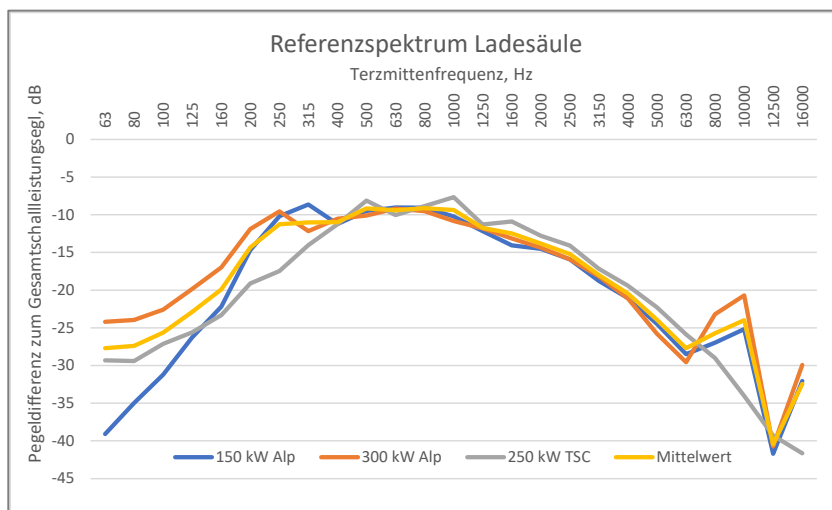


Source: own figure, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

To determine a reference spectrum, the differences to the sum level of the overall noise are formed in each third octave band. This reference spectrum describes the spectral composition of the respective fast charging station.

The following figure shows the reference spectra of the 3 charging station types and an average value.

**Figure S 6: Reference spectrum of the 3 charging stations and average reference spectrum.**



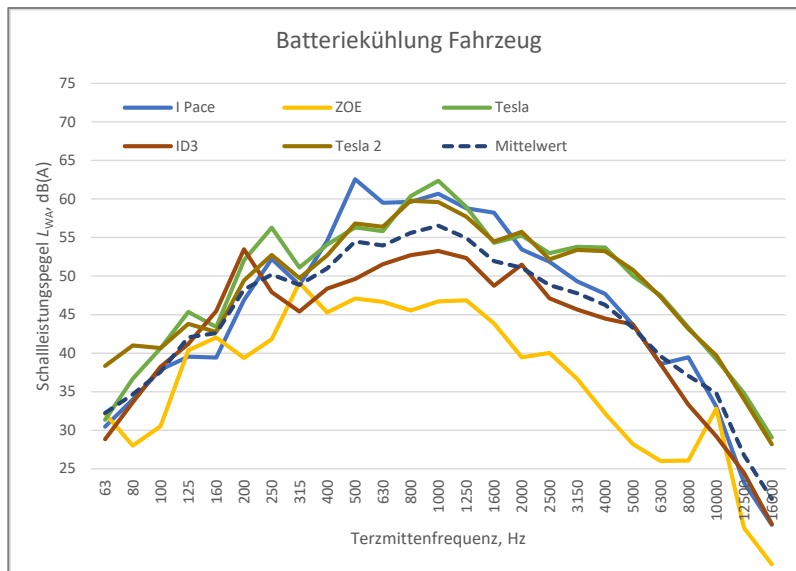
Source: own figure, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

### Spectrum of the vehicle

The measurements showed that some vehicles contribute significantly to the overall noise development of the charging process. The overall level analysis is described in the previous section; a reference level spectrum is determined below for the ventilation noise of the vehicles.

The relevant spectral distribution of the noise emission occurs during the highest/loudest phase of the vehicle's own battery cooling. In this case, the 1 to 2 “loudest” evaluation sections are energetically averaged with the ventilation running and displayed separately for each vehicle. The arithmetic mean of the vehicle spectra of all vehicles characterizes the spectral distribution of the noise emission of the vehicle collective.

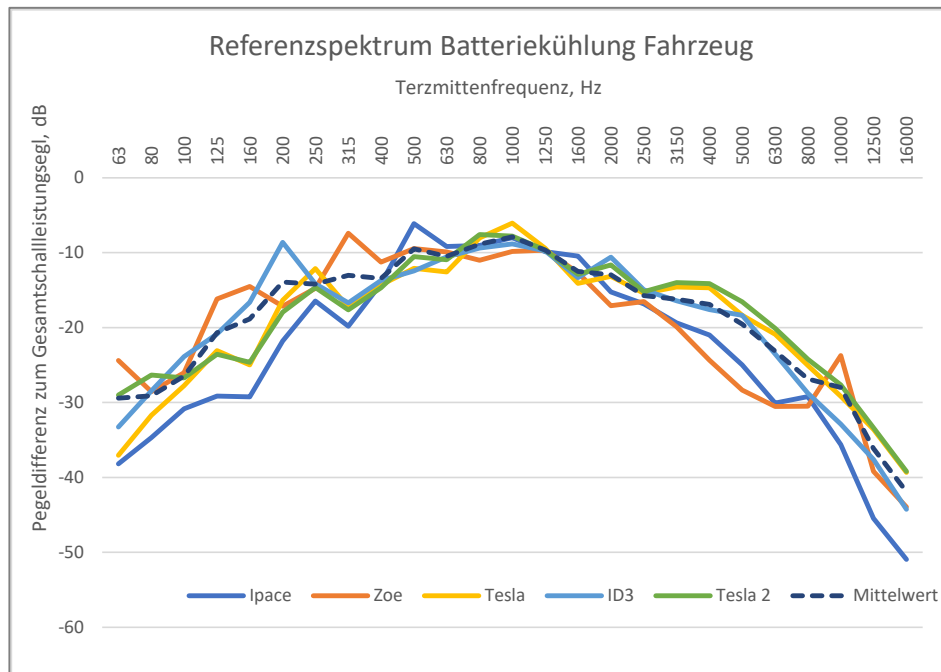
**Figure S 7: Medium spectrum at maximum sound emission of the battery cooling process during charging.**



Source: own figure, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

A reference spectrum can also be displayed for the vehicles tested.

**Figure S 8: Reference spectrum of the battery cooling of the individual vehicles as well as average reference spectrum – level difference of each third octave band to the sum level of the total sound power in dB.**



Source: own figure, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

### Approaches in the forecast

Based on the measurement results, it can be stated that the noise generated during the charging process of electric vehicles is not negligible. Sound power levels of up to  $L_{WA} = 80 \text{ dB(A)}$  were measured for the ventilation/cooling noise of both the charging station and the vehicle being charged.

The noise emission of the charging station depends on the vehicle being charged. The maximum noise emission can be taken from an available data sheet. For a fast-charging cycle for charging capacities of more than 100 kW, the average charging time can be limited to 30 minutes. However, the maximum noise emission only occurs in a short period of time. For charging stations with 2 charging points, the maximum charging power of the station must also be divided between the two charging points. For these reasons, the following approach is recommended for acoustic forecast calculations:

### Charging stations with outputs of more than 100 kW:

The derivation is practical:

- ▶  $L_{WA, station, full\ load} = L_{WA, max}$  with  $t_E = 15$  minutes exposure time and
- ▶  $L_{WA, station, partial\ load} = L_{WA, max} - 6$  dB with  $t_E = 15$  minutes exposure time

If no data sheet is available, the stations should have a

- ▶  $L_{WA, max} = 77$  dB(A) (charging station 100 kW – 150 kW) or
- ▶  $L_{WA, max} = 81$  dB(A) (charging station >150 kW)

to be taken into account.

In summary, this corresponds to:

*Sound power level charging process per hour:*

$$L_{WA, station, 1h} = L_{WA, max} - 5 \text{ dB}$$

(For 2 charging processes at the same charging station, the approach must be increased by 3 dB.)

*Sound power level charging process with exact exposure time:*

$$L_{WA, station, charging\ process} = L_{WA, max} \text{ with } t_E = 20 \text{ minutes exposure time}$$

Ventilation/cooling vehicle:

Per charging process (fast charging):

$$L_{WA, vehicle} = 70 \text{ dB(A) with } t_E = 15 \text{ minutes exposure time; } L_{WA, charging\ process, 1h} = 64 \text{ dB(A)}$$

Per charging process (wallbox):

$$L_{WA, vehicle} = 70 \text{ dB(A) with } t_E = 0.5 \text{ minutes exposure time; } L_{WA, wallbox, 1h} = 49 \text{ dB(A)}$$

Due to the short effective duration of the sound power level, the charging process at the wallbox can be omitted in practice.

On the immission side, a tonality allowance of 3 dB must be considered.

# 1 Einführung

## 1.1 Situation

Im Rahmen des Forschungsprojekts sind die „Geräuschemissionen des Fahrzeugverkehrs (einschließlich Lieferverkehr) bei An- und Abfahrt“ im Auftrag des Umweltbundesamtes zu untersuchen. In diesem Zusammenhang galt es ergänzend zu prüfen, welche Emissionen durch Ladevorgänge an Elektrofahrzeugen erzeugt werden, welchen Einfluss dabei das Kfz und welchen die Ladesäule hat und welche Anforderungen an deren Betrieb ggf. daraus resultieren. Aufgrund der aktuellen Entwicklung im Verkehrswesen soll zusätzlich ein größerer Fokus auf die Geräuschentwicklung durch die Elektromobilität gelegt werden.

In diesem Zusammenhang gilt es ergänzend zu prüfen, welche Emissionen durch die Ladevorgänge selbst an Elektrofahrzeugen (nur Pkw) erzeugt werden, welchen Anteil dabei das Kfz und welchen die Ladesäule hat sowie welche schalltechnischen Anforderungen an deren Betrieb daraus ggf. resultieren.

## 1.2 Aufgabenstellung

Die Aufgabe besteht darin, die mit einzelnen Ladevorgängen von (parkenden) Elektroautos verbundene Geräuschemission messtechnisch zu ermitteln und für die weitere Verwendung in Prognosemodellen aufzubereiten.

Zu betrachten sind verschiedene Ladesäulentypen (Hersteller, Ladeleistung) in Kombination mit unterschiedlichen Pkw (ggf. Oberklasse, Mittelklasse, Kleinwagen) und allen zugehörigen, schallpegelrelevanten Komponenten des Ladevorgangs. Die Fahr- bzw. Parkgeräusche der Kfz sind dabei nicht zu berücksichtigen, da diese bereits im Rahmen des übergeordneten Forschungsvorhabens ermittelt werden.

Erfahrungsgemäß ist erst bei Ladeleistungen ab 100 kW (Schnellladen mit CCS-Anschluss) mit einer relevanten Geräuschentwicklung zu rechnen. Zur Bestätigung dieser Annahme sollen Messungen an einer „Wallbox“ mit kleinerer Ladeleistung zwischen 3,6 kW und 22 kW durchgeführt werden. Ansonsten sind die Untersuchungen auf höhere Ladeleistungen zu beschränken. Dazu zählen auch Ladesäulen bis 22 kW Ladeleistung.

Hybridfahrzeuge sind aufgrund deutlich geringerer Batteriekapazitäten nur vereinzelt schnellladefähig, weshalb sich die vorliegende Untersuchung auf rein elektrisch betriebene Fahrzeuge beschränkt.

## 1.3 Grundlegende Vorgehensweise

Im vorliegenden Projekt waren die an verschiedenen Fahrzeugen während des Ladevorgangs entstehenden Geräuschemissionen (Fahrzeug und Ladesäule) messtechnisch zu ermitteln und auszuwerten. Die Ergebnisse waren anschließend aufzubereiten, um als Eingangsparameter für schalltechnische Prognosemodelle dienen zu können.

Die Messungen erfolgten nach dem in Kapitel 2 dargestellten Messkonzept, die Auswertung in Anlehnung an die DIN EN ISO 3746.

## 2 AP 8 – Schallemission von E-Ladesäulen

### 2.1 Grundlagen

Der Ladevorgang des Elektrofahrzeugs entspricht dem Tankvorgang eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor. Hierbei ist mit einer Geräuschenstehung durch die Ladesäule und durch das Fahrzeug zu rechnen. Zudem ist mit Geräuschen auf dem Fahrweg zu bzw. von der Ladesäule zu rechnen. Im Rahmen des Ausbaus der Ladeinfrastruktur ist damit zu rechnen, dass öffentliche Ladepunkte auch an bestehende Wohnbebauung heranrücken und dies zu einer künftigen erhöhten Lärmbelastung für Anwohner führen kann.

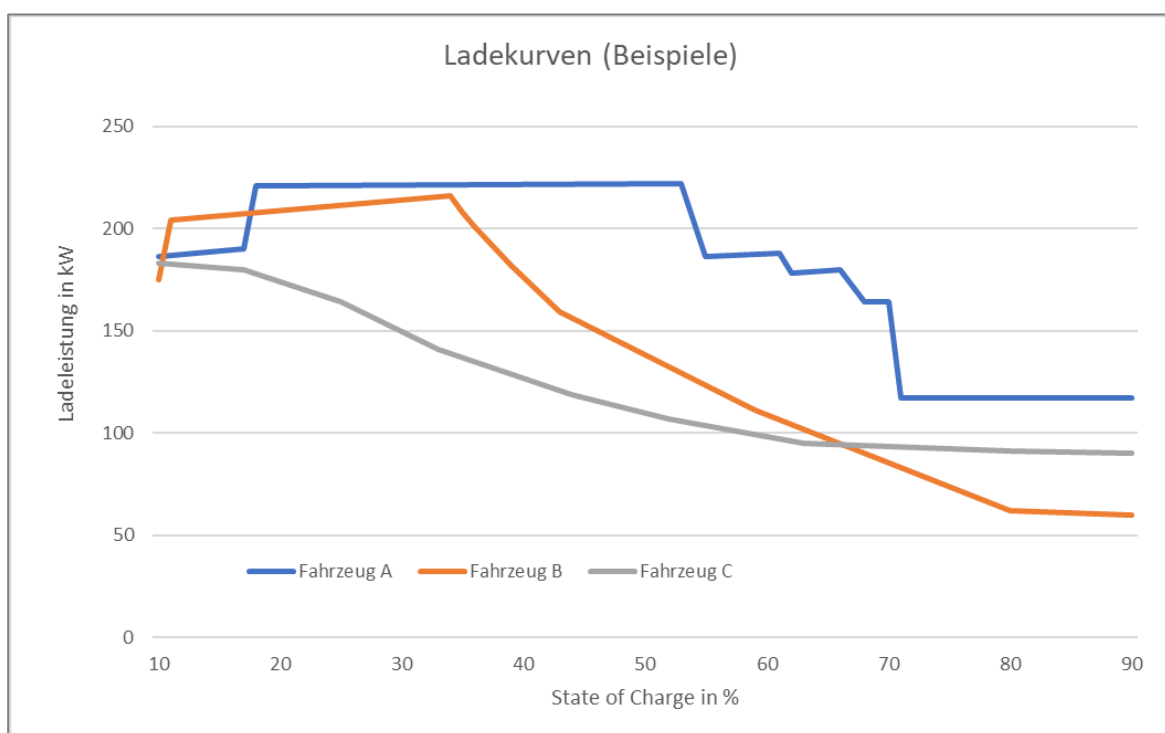
Die maßgeblichen Geräusche im Ladeprozess entstehen durch notwendige, mechanische Kühlung aufgrund der beim Ladevorgang entstehenden Wärme durch die Leistung. Je größer die Leistung, desto mehr Wärme wird freigesetzt und umso stärker muss gekühlt werden. Bei höheren Umgebungstemperaturen ist dementsprechend auch eine höhere Kühlleistung notwendig, was sich auch in höheren Geräuschpegeln bzw. längeren Kühlzeiten widerspiegelt.

Jedem Fahrzeug sind herstellerseitig Ladekurven hinterlegt, über die die Leistungsaufnahme gesteuert wird. Die Ladesäule stellt eine maximale Leistung zur Verfügung und das Fahrzeug ruft eine gewisse Leistung anhand der Ladekurve ab.

Die Ladekurven der Hersteller sind nicht immer bekannt und unterscheiden sich. Sie sind abhängig vom Füllstand der Batterie, vom Zustand der Batterie, vom Fahrverhalten, Außentemperaturen und der zur Verfügung gestellten Ladeleistung etc. Somit gibt es auch von einem Fahrzeug nicht nur eine Ladekurve sondern mehrere.

In folgender Abbildung sind beispielhaft Ladekurven von 3 verschiedenen Fahrzeugen dargestellt. Von den innerhalb dieses Projekts gemessenen Fahrzeugen konnte keine Ladekurve recherchiert bzw. von den Fahrzeug Herstellern übermittelt werden.

**Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung von Ladekurven von 3 verschiedenen Fahrzeugen.**



Die Ladekurven unterscheiden sich deutlich. Es fällt jedoch auf, dass für alle Fahrzeuge die Ladeleistung bei einem Batteriefüllstand größer 50 % bis 60 % zum Teil deutlich zurückgeht.

Bei niedrigen Temperaturen ist damit zu rechnen, dass bei maximaler Ladeleistung die Geräuschemission geringer ausfällt als bei Ladevorgängen nahe der Referenztemperatur (20 °C), da eine geringere Kühlleistung notwendig ist.




## 2.2 Fahrzeug- und Ladesäulenkollektiv

Ziel der Untersuchung ist es, die Lärmemissionen der Ladesäule und des Fahrzeugs zu ermitteln. Hierzu sind Ladevorgänge von verschiedenen Fahrzeugen an verschiedenen Ladesäulen messtechnisch erfasst worden.

### 2.2.1 Fahrzeugkollektiv

Aus Kapitel 2.1 ist bekannt, dass jedem Fahrzeug eine eigene Ladekurve hinterlegt ist, die je nach Batteriezustand die Ladeleistung der Ladesäule steuert. Um ein möglichst großes Spektrum an Messzuständen zu erhalten, wurde an verschiedenen Fahrzeugtypen der Ladevorgang messtechnisch erfasst. Folgender Tabelle ist das Fahrzeugkollektiv zu entnehmen.

**Tabelle 1: Gewähltes Fahrzeugkollektiv.**

Hersteller/Typ	Baujahr	Batteriekapazität	Foto
Renault Zoe E	2022	50 kWh	
VW ID.3		58 kWh	
Hyundai Ioniq 5	2022	58 kWh	

Hersteller/Typ	Baujahr	Batteriekapazität	Foto
Mercedes Benz EQC 400	2022	80 kWh	
Jaguar I Pace	2019	90 kWh	
Tesla Model Y	2022	79 kWh (Y5LD)	





Quelle: eigene Fotos, Müller-BBM Industry Solutions GmbH



## 2.2.2 Ladesäulenkollektiv

In folgender Tabelle sind die Ladesäulentypen mit jeweils maximaler Ladeleistung zusammengefasst.

**Tabelle 2: Ladesäulentypen.**

Hersteller	Typ	Maximale Ladeleistung	Standort	Foto
Alfen	Wallbox „SmartBox“ Double	22 kW (2 x 11 kW)	MA- Parkplatz Müller- BBM Planegg	
Alpitronic	Hypercharger 150	150 kW (2 x 75 kW)	Besucher - Parkplatz Müller- BBM Planegg	
Alpitronic	Hypercharger 300	300 kW (2 x 150 kW)	Pendlerparkplatz Bergkirchen	
Tesla	Supercharger	250 kW	Gewerbegebiet Brunnthal Süd	

Quelle: eigene Fotos, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

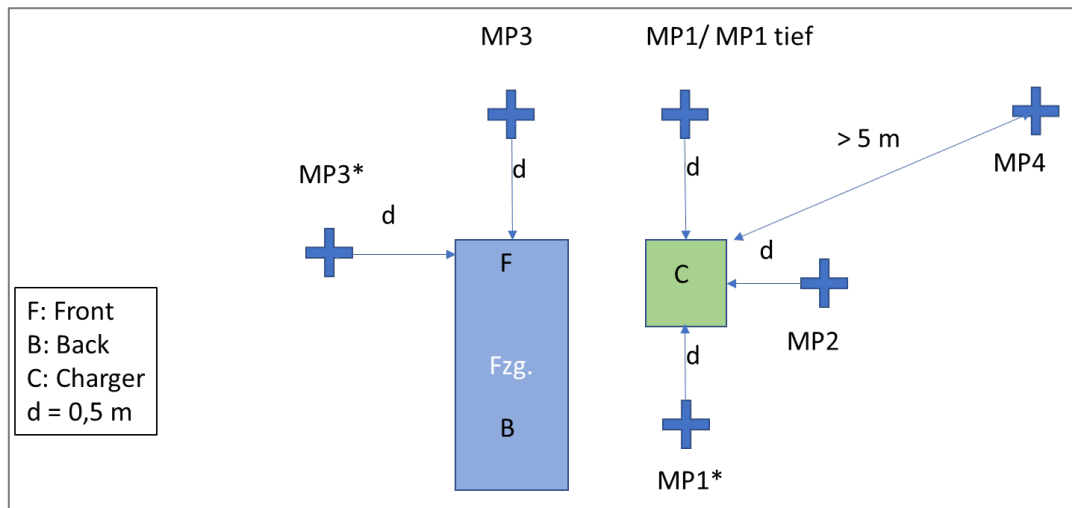
## 2.3 Messung der Ladezyklen

### 2.3.1 Messaufbau

Der vorgesehene Messaufbau wird aus Erfahrungswerten bereits getätigter Messungen abgeleitet. Da der Standort der Ladesäulen differiert, werden die Messpositionen ggf. im Einzelfall angepasst, damit die Werte vergleichbar sind.

In der Abbildung 2 ist ein Standardmessaufbau dargestellt.

**Abbildung 2: Lageplan der Messpunkte bei der Schallpegelmessung von Schnellladesäulen.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

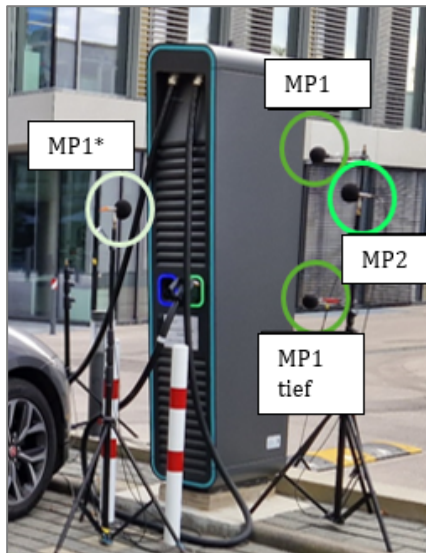
Die Mikrofonpositionen MP1 und MP2 werden auf mittlerer Höhe der Lüftungsöffnungen (wenn ersichtlich) oder alternativ in mittlerer Höhe der Ladesäule angenommen. MP3 wird in der Mitte des Fahrzeugs in 0,5 m Höhe über Geländeoberkante (GOK) bzw. in mittlerer Höhe der Lüftungsöffnung des Fahrzeugs eingerichtet. Die mit \* gekennzeichneten Messpunkte sind alternative Positionen, die in der Regel ersatzweise herangezogen werden, wenn an den Standardmesspunkten keine Messung möglich ist. An MP1 oder MP1\* wird zusätzlich ein Messpunkt in zweiter Höhe aufgebaut, um eine zweite Luftansaugung erfassen zu können.

Der Abstand des MP4 (Fremdgeräusch) ist mit mindestens 5 m zu wählen um ausreichend Abstand vom Nutzsignal (Ladesäule und Fahrzeug) zu haben. An den jeweiligen Messstandorten jeweils eine „ungünstige“ Position gewählt (näher zur maßgeblichen Einflussgröße, z.B. Straße) um die Ermittlung des SNR „auf der sicheren Seite“ durchzuführen.

Der Abstand  $d$  des Mikrofons zur Quelle wurde ursprünglich mit 1 m angenommen. Aufgrund der zum Teil sehr geringen Schalldruckpegel der Quellen im Vergleich zum Umgebungsgeräusch musste der Abstand  $d$  auf 0,5 m reduziert werden. Nur so konnten Zeitbereiche mit ausreichend großem Delta zwischen Signal und Hintergrundgeräusch detektiert werden.

**Abbildung 3: Messaufbau am Beispiel der 150-kW-HYC150-Ladesäule.**

---



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

**Abbildung 4: Messaufbau MP3 am Beispiel Mercedes Benz EQC 400.**

---



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

An MP4 ist ausschließlich der Fremdgeräuschpegel aufzunehmen. Die Entfernung zwischen Fahrzeug bzw. Ladesäule und MP4 muss mindestens 5 m, der SNR (Signal-Rausch-Abstand) sollte mindestens 5 dB gegenüber dem Signal an den Messpunkten MP1 bis MP3 betragen. Die Höhe von MP4 beträgt ca. 1,5 m über GOK.

Falls es die örtlichen Situationen zulassen, werden die Geräusche an den optionalen Messpunkten stets mit aufgenommen.

Die Reduzierung des Messabstands von 1,0 m auf 0,5 m wird als unkritisch angesehen. Es erfolgte in allen Fällen eine subjektive Feinjustierung der Mikrofonposition, sodass auch eine mögliche Richtwirkung berücksichtigt wird. Zudem ist davon auszugehen, dass Einflüsse auf dem Ausbreitungsweg (Bodenreflexion) in geringerem Abstand weniger starken Einfluss haben.

Auch ist die Mikrofonposition ausreichend weit von der Quelle entfernt gewählt, um den für die Geräuscherzeugung maßgeblichen Frequenzbereich vollumfänglich zu erfassen.

### 2.3.2 Messkonzept

Die Messung wird kontinuierlich über den gesamten Ladevorgang aufgenommen und beobachtet. Eine Beobachtung ist notwendig, um fremdgeräuscharme Zeitpunkte und Veränderungen an Säule und Fahrzeug dokumentieren zu können. So können für die Auswertung die dokumentierten Zeitbereiche herangezogen werden.

Für jeden Emittenten der Ladesäulen wird eine Hüllfläche ermittelt (Mantelfläche unter Berücksichtigung des Abstands des Mikrofons zur Quelle) und aus dem energetischen Mittelwert des Schalldruckpegels aller Messpunkte der charakteristische Schalleistungspegel berechnet.

Auch vom Fahrzeug ist eine Geräuscherzeugung im Zusammenhang mit dem Ladevorgang zu erwarten. Die Batterie und das Batteriemanagementsystem werden bei zu hohen Temperaturen mechanisch gekühlt. Bei allen in 2.2.1 beschriebenen Fahrzeugen ist dazu im Bereich des vorderen Nummernschilds eine Lüftungsöffnung (Gitter, Grill etc.) verortet, durch die ein Lüftungsgeräusch wahrnehmbar war. Diese Geräuschentwicklung des Lüftungsvorgangs wird ebenfalls messtechnisch erfasst und ausgewertet.

### 2.3.3 Messgeräte

Die Datenerfassung erfolgte mit der Mess- und Analyse-Software PAK der Firma Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH über ein sog. MKII-Frontend. Das Messsystem PAK wurde speziell als integrierte Lösung zur Erfassung, Analyse und Verwaltung von physikalischen Daten in den Bereichen Akustik, Schwingung und Festigkeit entwickelt. Der modulare Aufbau ermöglicht die Konfiguration des Mehrkanalmesssystems für verschiedene Anwendungszwecke.

Für die durchzuführende Datenerfassung wurde das PAK-MKII-Mehrkanalmesssystem inklusive der PAK-Software als Schallpegelmessgerät der Klasse 1 nach EN 61672 konfiguriert.

Für die verwendete Kombination aus PAK-MKII-Hardware und PAK-Software liegt eine Konformitätserklärung des Herstellers bzgl. der Genauigkeitsklasse 1 nach EN 61672 vor.

Die gesamte Messkette (Mikrofon inkl. Vorverstärker, Kabel, Adapter und Datenerfassungshardware) wurde vor Beginn der Messungen für jeden Kanal einer rückführbaren Einzelprüfung in einem akkreditierten Kalibrierlaboratorium unterzogen.

Während der Messungen wurden Wetterdaten (Lufttemperatur) aufgezeichnet.

### 2.3.4 Messdurchführung

Die Messdurchführung erfolgte für alle Fahrzeuge kontinuierlich. Alle Messfahrzeuge hatten zu Beginn der Messung einen Batteriefüllstand von maximal 45 %.

Die Ladesäulen befinden sich meist straßennah, um gut sichtbar und erreichbar zu sein. Dies bringt jedoch auch ein zumeist durchgehend hohes Umgebungsgeräusch mit sich. Das Umgebungsgeräusch (Fremdgeräusch) wird ebenfalls kontinuierlich aufgezeichnet. Für die Auswertung werden einzelne Zeitblöcke herangezogen, in denen das Umgebungsgeräusch im Vergleich zum „Nutzgeräusch“ deutlich niedriger ist (Zielwert  $SNR > 10\text{dB}$ ,  $SNR_{\text{minimum}} = 5\text{dB}$ ). Diese Zeitblöcke wurden während der Messung beobachtet und dokumentiert.

## 2.4 Auswertung

### 2.4.1 Auswertemethodik

Zur Analyse werden die zeitsynchron aufgenommenen Zeitrohdaten bzw. Schalldruckpegelzeitverläufe herangezogen. Ausgewertet werden Zeitabschnitte ohne subjektiv wahrnehmbares und objektiv im Pegelzeitverlauf nicht sichtbares Störgeräusch (Fahrzeugvorbeifahrten, Flugzeuggeräusche, Gewerbegeräusche etc.).

Die Messungen werden mit der Frequenzbewertung ‚A‘ und der Zeitbewertung ‚Fast‘ durchgeführt.

Die Dauer der einzelnen Messequenzen beträgt 4 bis 12 Sekunden.

Die einzelnen Messequenzen werden für jeden Kanal zu einem energetisch gemittelten Schalldruckpegel  $L_{pAF,m}$  zusammengefasst. Da die Pegelschwankungen innerhalb der Messequenzen für die einzelnen Kanäle sehr gering sind und somit der Energieinhalt relativ konstant ist, können auch die unterschiedlich langen Zeitintervalle miteinander verglichen werden.

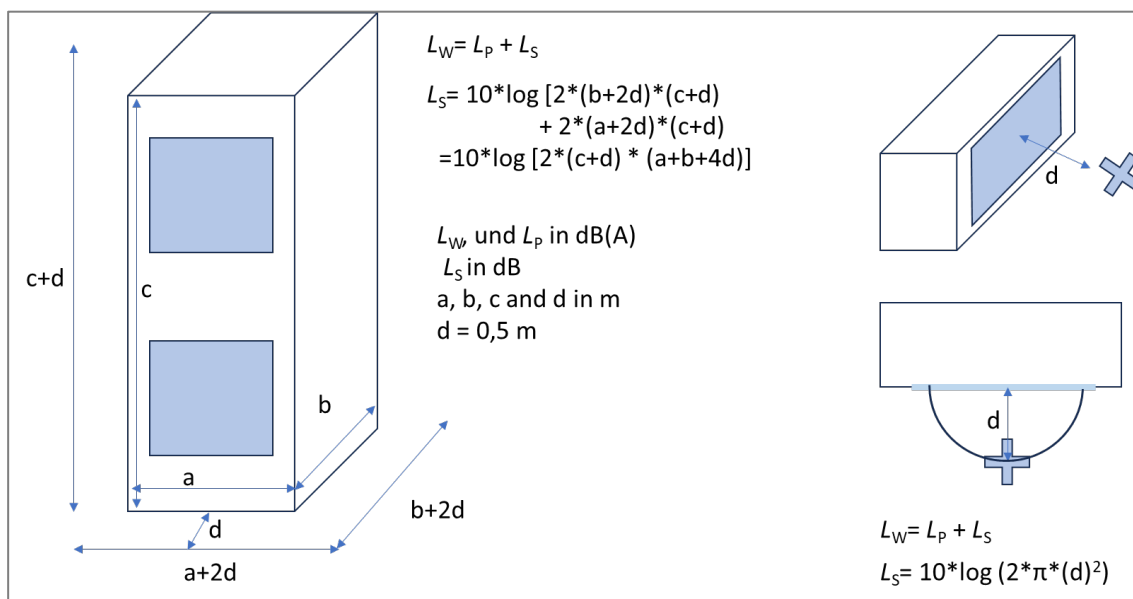
Für die Abstrahlung der Kühlungsgeräusche des Fahrzeugs wird eine halbkugelförmige Abstrahlung über die Front des Fahrzeugs in Ansatz gebracht.

Beim Ladevorgang treten keine Geräuschimpulse auf.

### 2.4.2 Berechnung von Schalleistungspegeln

Die Auswertemethodik ist in Kapitel 2.4.1 beschrieben. Alle untersuchten Ladesäulen werden dem gleichen Messaufbau unterzogen. Sie besitzen aufgrund unterschiedlicher geometrischer Ausmaße differierende Abstrahlcharakteristiken. Das Messflächenmaß  $L_S$  zur Abstrahlung der (quaderförmigen) Ladesäulen bzw. der Halbkugelförmigen Kühlungsgeräusche an der Fahrzeugfront lässt sich wie folgt ermitteln.

**Abbildung 5: Ermittlung des Messflächenmaß  $L_S$  der Ladesäulen.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Die an den jeweiligen Mikrofonpositionen ermittelten Schalldruckpegel werden für jeden Betriebszustand arithmetisch gemittelt. Dieser Wert wird zur Bestimmung eines Schalleistungspegels um das Messflächenmaß korrigiert („Hüllflächenverfahren“).

### 2.4.3 Messergebnisse

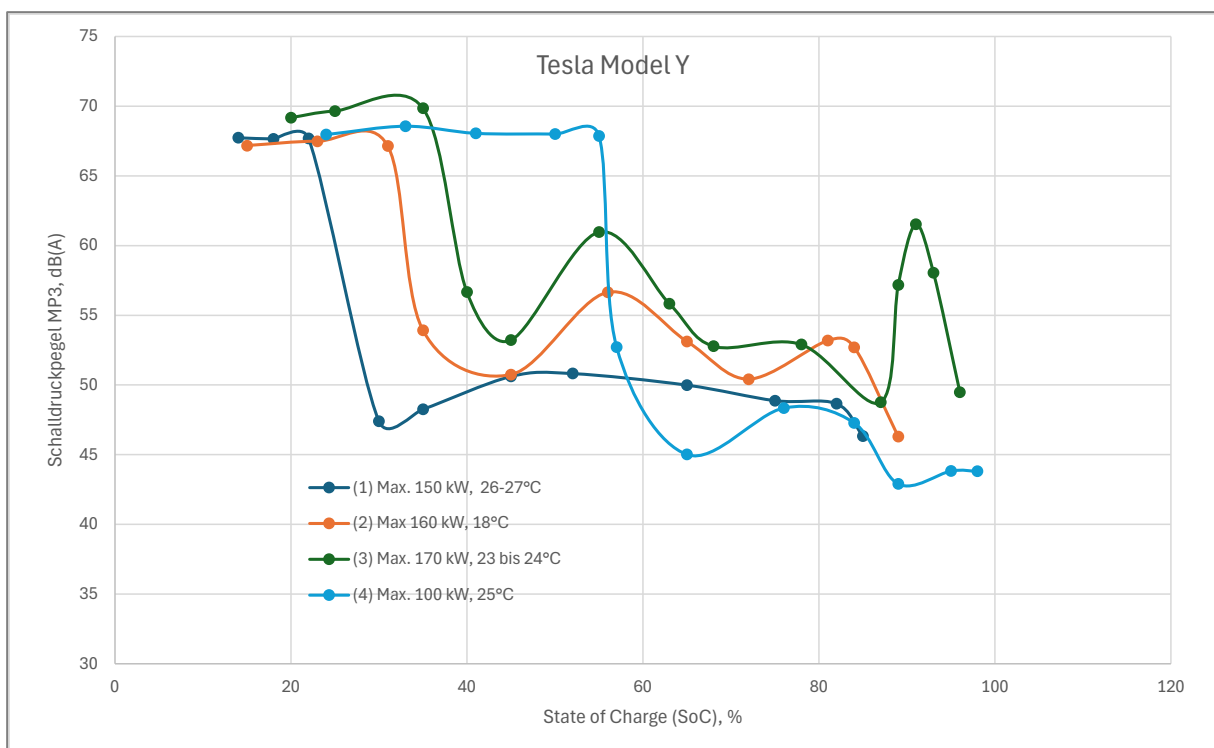
In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse getrennt nach Ladesäulen zusammengefasst. Für die Ermittlung des Schalleistungspegels der Ladesäule wurde bei zu geringem Signal-Rausch-Abstand (< 10 dB) eine Fremdgeräuschkorrektur durchgeführt. Die detaillierten Ergebnisse der einzelnen Messungen können den Tabellen im Anhang B entnommen werden.

An der 11-kW-Ladesäule wurde keine Geräuschenstehung durch die Säule selbst festgestellt, die Auswertung beschränkt sich auf Zeitpunkte, an denen eindeutig ein Lüftungsgeräusch des Fahrzeugs wahrnehmbar war.

An der 150-kW-Ladesäule wurde das Fahrzeug „Tesla Y“ zweimal messtechnisch erfasst, um eine Wiederholbarkeit der Messergebnisse zu prüfen.

Zudem wurde bei den Ladevorgängen des Tesla Model Y der Einfluss der Umgebungstemperatur untersucht. In folgender Abbildung werden die Schalldruckpegel am MP 3 (Kühlung Fahrzeug) in Abhängigkeit des Batteriefüllstands (State of Charge, SOC) dargestellt.

**Abbildung 6: Schalldruckpegel in dB(A) durch Fahrzeuglüftung (MP 3) in Abhängigkeit des Batteriefüllstands in % für 4 verschiedene Ladevorgänge des Tesla Model Y.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Die Ladevorgänge wurden bei Temperaturen zwischen 18 und 27 °C durchgeführt, der Ladevorgang (1) und (4) fand an derselben Ladesäule (HYC 150) statt. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass der vom Fahrzeug bei laufender Kühlung abgestrahlte Schalldruckpegel immer in der gleichen Größenordnung liegt. Sowohl die vom Fahrzeug maximal aufgenommene Ladeleistung als auch die Dauer der Batteriekühlung des Fahrzeugs zeigt keine Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur.

Die Lüfterlaufzeit bei der höchsten Umgebungstemperatur (Vorgang (1)) war am kürzesten und endete bereits bei unter 30 % SoC. Die Längste Lüfterlaufzeit wurde an derselben Ladesäule bei deutlich geringerer Ladeleistung und ähnlicher Temperatur (Vorgang (4)) mit bis zu knapp unter 50 % SoC ermittelt.

In den folgenden Tabellen werden die maximalen und subjektiv eindeutig zuordenbaren Geräusche hervorgehoben (fett). Die nichtmarkierten Werte sind nicht als „falsch“ zu werten, das Betriebsgeräusch lässt sich hier jedoch nicht mehr getrennt vom Fremdgeräusch auswerten oder ist in der subjektiven Wahrnehmung nicht mehr vorhanden (keine Geräuschestehung). Die rot dargestellten Werte entsprechen den maximal auftretenden Schalleistungspegeln.

**Tabelle 3: Zusammengefasste Messergebnisse HYC 150, der jeweiligen Quelle direkt zuzuordnende Abschnitte werden hervorgehoben, der Maximalwert rot markiert.**

Fahrzeug	Größe dB(A)	Auswerteabschnitte											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mercedes Benz EQC 400	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>69,6</b>	<b>72,9</b>	<b>76,5</b>	<b>76,4</b>	<b>75,3</b>	<b>75,3</b>	<b>71,9</b>	<b>71,0</b>	<b>70,0</b>	-	-	-
	FG	37,1	43,2	43,9	44,0	42,4	42,4	42,9	41,7	40,3	-	-	-
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	41,3	44,2	44,9	<b>48,8</b>	42,8	42,8	42,8	41,5	41,0	-	-	-
Tesla Model Y (1)	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>70,5</b>	<b>73,2</b>	<b>76,5</b>	<b>78,2</b>	<b>78,7</b>	<b>78,8</b>	<b>76,3</b>	<b>74,6</b>	<b>73,9</b>	<b>71,3</b>	<b>70,5</b>	-
	FG	46,3	45,5	46,6	42,2	41,7	42,0	42,0	40,6	39,4	39,0	38,9	-
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	<b>69,7</b>	<b>69,6</b>	<b>69,7</b>	49,4	50,2	52,6	52,8	52,0	50,8	50,6	48,3	-
Tesla Model Y (2)	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>70,0</b>	<b>75,5</b>	<b>77,4</b>	<b>78,0</b>	<b>77,5</b>	<b>75,7</b>	<b>73,8</b>	<b>72,3</b>	<b>70,0</b>	<b>69,5</b>	<b>68,6</b>	<b>67,4</b>
	FG	47,4	47,6	47,9	48,4	47,6	45,3	41,8	41,7	41,4	41,8	42,9	42,0
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	<b>69,9</b>	<b>70,5</b>	<b>70,0</b>	<b>70,0</b>	<b>69,8</b>	54,7	47,0	50,3	49,2	44,9	45,8	45,8
VW ID.3	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>69,8</b>	<b>70,0</b>	<b>70,7</b>	<b>71,3</b>	<b>71,6</b>	<b>71,0</b>	<b>70,9</b>	<b>70,8</b>	<b>70,4</b>	<b>67,5</b>	<b>66,6</b>	-
	FG	44,2	45,9	47,5	43,0	45,5	45,5	45,4	47,1	43,4	43,4	45,5	-
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	47,2	47,9	50,8	45,9	<b>65,3</b>	<b>63,9</b>	<b>63,8</b>	<b>64,5</b>	<b>64,4</b>	<b>64,3</b>	<b>63,7</b>	-
Renault Zoe E	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>71,7</b>	<b>73,2</b>	<b>73,6</b>	<b>73,0</b>	<b>72,6</b>	<b>71,4</b>	<b>71,5</b>	<b>71,1</b>	<b>71,9</b>	<b>72,1</b>	<b>72,1</b>	-
	FG	42,3	43,2	44,5	43,0	46,3	45,9	44,5	46,6	47,7	47,7	47,1	-
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	54,0	54,5	55,4	54,8	55,1	54,0	54,3	<b>60,9</b>	<b>68,9</b>	<b>69,0</b>	<b>69,0</b>	-
Jaguar I Pace	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>70,0</b>	<b>71,6</b>	<b>70,7</b>	<b>74,1</b>	<b>73,3</b>	<b>72,0</b>	<b>71,6</b>	<b>75,0</b>	<b>75,2</b>	<b>74,0</b>	<b>69,5</b>	<b>71,9</b>
	FG	44,7	43,1	39,6	40,7	44,2	41,0	43,8	45,3	47,7	46,6	43,3	48,7
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	<b>63,1</b>	<b>64,2</b>	51,9	55,4	55,4	52,7	53,0	<b>73,4</b>	<b>76,1</b>	<b>75,0</b>	50,5	<b>61,9</b>



**Tabelle 4: Zusammengefasste Messergebnisse Tesla Supercharger (250 kW), der jeweiligen Quelle direkt zuzuordnende Abschnitte werden hervorgehoben, der Maximalwert rot markiert.**

Fahrzeug	Größe dB(A)	Auswerteabschnitte													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mercedes Benz EQC 400	<i>L</i> <sub>WA</sub> , Säule	<b>76,5</b>	<b>75,5</b>	<b>77,3</b>	<b>75,4</b>	<b>71,4</b>	<b>69,0</b>	67,9	65,8	64,8	63,5	62,5	62,6	61,8	-
	FG	53,3	53,7	54,2	53,2	50,6	51,5	48,9	47,7	50,9	47,4	49,4	49,7	47,8	-
	<i>L</i> <sub>WA</sub> ,FZG	54,4	55,9	57,4	57,9	55,6	53,9	52,7	49,5	52,2	49,1	50,9	51,2	50,2	-
Tesla Model Y	<i>L</i> <sub>WA</sub> , Säule	<b>80,2</b>	<b>80,4</b>	<b>80,3</b>	<b>80,3</b>	<b>78,1</b>	<b>72,7</b>	65,4	62,8	61,5	61,3	61,1	61,9	61,4	61,6
	FG	53,4	54,6	53,3	54,0	53,1	50,7	49,4	50,6	49,8	49,0	49,2	50,9	50,8	49,0
	<i>L</i> <sub>WA</sub> ,FZG	<b>71,1</b>	<b>71,6</b>	<b>71,8</b>	58,6	55,2	<b>62,9</b>	57,8	54,7	54,9	50,7	59,1	<b>63,5</b>	60,0	51,5
VW ID.3	<i>L</i> <sub>WA</sub> , Säule	<b>62,4</b>	<b>66,2</b>	<b>64,4</b>	<b>62,7</b>	<b>61,8</b>	<b>64,7</b>	<b>61,5</b>	<b>62,1</b>	<b>61,8</b>	-	-	-	-	-
	FG	51,6	51,3	51,2	50,0	49,1	50,3	49,9	50,4	49,0	-	-	-	-	-
	<i>L</i> <sub>WA</sub> ,FZG	51,5	53,2	<b>63,9</b>	<b>63,6</b>	<b>63,2</b>	<b>64,1</b>	51,7	<b>64,0</b>	<b>64,0</b>	-	-	-	-	-
Hyundai Ioniq 5	<i>L</i> <sub>WA</sub> , Säule	<b>61,7</b>	<b>60,5</b>	<b>60,6</b>	<b>60,4</b>	<b>60,6</b>	<b>60,0</b>	<b>60,7</b>	<b>59,9</b>	<b>61,0</b>	-	-	-	-	-
	FG	52,2	48,3	48,0	48,9	48,7	48,3	50,2	48,3	50,9	-	-	-	-	-
	<i>L</i> <sub>WA</sub> ,FZG	49,6	49,1	49,3	50,9	49,4	49,2	49,8	49,3	51,7	-	-	-	-	-
Renault Zoe E	<i>L</i> <sub>WA</sub> , Säule	62,3	61,6	61,6	62,2	61,7	<b>67,4</b>	<b>68,3</b>	<b>68,6</b>	<b>66,2</b>	64,2	63,8	64,2	-	-
	FG	52,0	49,4	48,6	50,8	51,5	50,4	50,6	50,9	48,8	49,1	48,3	48,2	-	-
	<i>L</i> <sub>WA</sub> ,FZG	52,2	51,0	51,5	52,1	51,6	57,2	<b>61,6</b>	<b>62,0</b>	<b>61,2</b>	<b>60,4</b>	<b>60,6</b>	<b>60,7</b>	-	-
Jaguar I Pace	<i>L</i> <sub>WA</sub> , Säule	<b>67,9</b>	64,4	62,9	<b>68,0</b>	<b>68,0</b>	62,8	63,1	<b>68,1</b>	<b>72,0</b>	<b>72,4</b>	<b>71,8</b>	<b>71,3</b>	<b>70,7</b>	64,0
	FG	49,1	50,8	48,7	50,8	50,0	48,2	52,8	50,9	54,4	54,6	54,6	53,0	54,2	52,5
	<i>L</i> <sub>WA</sub> ,FZG	<b>63,3</b>	<b>63,4</b>	51,7	55,5	55,3	52,1	53,6	<b>71,7</b>	<b>75,7</b>	<b>75,4</b>	<b>74,5</b>	<b>74,5</b>	<b>74,3</b>	53,5

**Tabelle 5: Zusammengefasste Messergebnisse HYC 300 Allego Hypercharger (300 kW), der jeweiligen Quelle direkt zuzuordnende Abschnitte werden hervorgehoben, der Maximalwert rot markiert.**

Fahrzeug	Größe dB(A)	Auswerteabschnitte										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Mercedes Benz EQC 400	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>67,2</b>	<b>71,8</b>	<b>74,0</b>	<b>74,6</b>	<b>74,6</b>	<b>71,7</b>	<b>68,7</b>	<b>68,3</b>	<b>67,5</b>	-	-
	FG	51,7	51,6	52,4	51,2	50,9	53,6	50,6	51,8	51,8	-	-
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	47,4	47,7	49,7	45,3	47,0	49,3	48,4	49,4	47,4	-	-
Tesla Model Y	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>69,7</b>	<b>74,3</b>	<b>75,6</b>	<b>75,4</b>	<b>72,2</b>	<b>70,8</b>	<b>69,4</b>	<b>69,6</b>	<b>67,6</b>	<b>67,3</b>	<b>66,8</b>
	FG	51,3	52,5	50,9	51,9	51,0	52,2	51,8	51,0	50,3	50,1	52,7
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	<b>69,1</b>	<b>69,4</b>	<b>69,1</b>	55,9	52,7	<b>58,6</b>	55,1	52,4	55,1	54,7	48,3
VW ID.3	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>67,5</b>	<b>67,9</b>	<b>69,9</b>	<b>69,6</b>	<b>67,3</b>	<b>66,6</b>	<b>68,5</b>	<b>70,4</b>	<b>65,9</b>	<b>64,1</b>	-
	FG	51,6	51,4	48,7	53,3	52,1	50,2	52,6	50,2	51,0	47,6	-
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	48,0	50,5	51,6	<b>62,4</b>	<b>62,6</b>	<b>65,0</b>	<b>65,3</b>	<b>64,5</b>	<b>62,9</b>	<b>62,2</b>	-
Hyundai Ioniq 5	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>67,9</b>	<b>67,8</b>	<b>68,3</b>	<b>68,1</b>	<b>69,2</b>	<b>66,5</b>	<b>65,9</b>	<b>65,7</b>	-	-	-
	FG	51,6	48,7	51,6	49,6	48,7	48,4	49,3	49,3	-	-	-
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	48,3	45,5	49,5	46,0	46,8	44,9	45,9	46,2	-	-	-
Renault Zoe E	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>64,6</b>	<b>64,5</b>	<b>67,2</b>	<b>66,0</b>	<b>64,2</b>	<b>64,1</b>	<b>63,9</b>	<b>63,5</b>	<b>63,9</b>	<b>64,7</b>	-
	FG	54,5	49,2	53,6	50,4	50,3	50,5	51,2	51,3	52,0	54,1	-
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	52,4	49,9	52,2	50,7	49,3	49,4	49,8	50,6	51,1	50,8	-
Jaguar I Pace*	<i>L</i> <sub>WA, Säule</sub>	<b>68,0</b>	<b>63,6</b>	<b>63,3</b>	<b>63,3</b>	<b>63,1</b>	<b>63,2</b>	-	-	-	-	-
	FG	53,1	49,2	48,0	48,4	48,5	47,6	-	-	-	-	-
	<i>L</i> <sub>WA, FZG</sub>	<b>67,7</b>	48,4	47,7	47,6	48,1	48,6	-	-	-	-	-

\*Messung nur von 80 % bis 95 % Batteriekapazität messtechnisch erfasst

**Tabelle 6: Zusammengefasste Messergebnisse Wallbox 11 kW, der jeweiligen Quelle direkt zuzuordnende Abschnitte werden hervorgehoben, der Maximalwert rot markiert.**

Fahrzeug	Größe dB(A)	Auswerteabschnitte						
		1	2	3	4	5	6	7
Renault Zoe E	$L_{WA,FZG}$	58,3	58,5	58,5	58,5	58,5	58,1	58,2
Jaguar I Pace*	$L_{WA,FZG}$	70,5	61,3	-	-	-	-	-
-	FG	46,1	44,9	-	-	-	-	-

\*Messung nur von 80 % bis 95 % Batteriekapazität messtechnisch erfasst

Tabelle 3 bis Tabelle 6 ist zu entnehmen, dass während eines Ladevorgangs verschiedene Betriebszustände anliegen. Diese werden durch mehrere Parameter, wie beispielsweise Außentemperatur, Batteriezustand, Ladeleistung des Fahrzeugs etc., bestimmt. Die Messungen wurden bei Außentemperaturen zwischen 14 °C und 25 °C durchgeführt.

Die höchste Schalleistung jeder Ladesäule ergibt sich bei den Fahrzeugen mit der höchsten Leistungsaufnahme (Tesla Y: bis 175 kW und Mercedes Benz EQC 400: bis 150 kW). Diese liegen für die Ladesäule „Tesla Supercharger“ bei bis zu 80 dB(A) (Tesla Y) bzw. 77 dB(A) (Mercedes Benz), für die Ladesäule HYC 150 bei 79 dB(A) bzw. 77 dB(A) und für die Ladesäule HYC 300 bei 76 dB(A) bzw. 75 dB(A).

Bei den Fahrzeugen mit geringerer Leistungsaufnahme ergeben sich um 3 dB bis 10 dB geringere Schalleistungspegel an der Säule.

Die maximale Schallabstrahlung der Ladesäule tritt bei maximaler Leistungsabgabe auf. Die Messergebnisse zeigen auch, wie auch aufgrund der beispielhaft dargestellten Ladekurven (Abbildung 1) zu erwarten war, dass die höchste Emission der Ladesäule bei einem Batteriefüllstand von unter 60 % auftritt.

Bei einigen Fahrzeugen ist eine deutlich hörbare Batteriekühlung vorhanden. Beim Jaguar iPace und beim Tesla Y können hier Schalleistungspegel von über 70 dB(A) ermittelt werden. Dies auch – in kurzen Zeitabschnitten – bei geringer Ladeleistung wie beispielsweise über eine Wallbox mit 11 kW/22 kW.

Beim Hyundai Ioniq 5 kann keine Geräuscherzeugung bei der Batteriekühlung festgestellt werden, beim Mercedes EQC 400 wurde einmalig eine Art „Plätschern“ bzw. „Blubbern“ subjektiv wahrgenommen und messtechnisch erfasst. Die Schalleistung des Geräusches ist mit ca. 48 dB(A) sehr gering im Vergleich zu den o. g. Lüftungsgeräuschen und weist auf eine Wasserkühlung der Batterie hin.

Während der Ladung mit 11 kW konnte bei beiden Fahrzeugen (Hyundai Ioniq 5 und Mercedes EQC 400) in einem Zeitraum von 4 h keine Fahrzeugkühlung messtechnisch erfasst werden.

In folgender Tabelle werden die maximal auftretenden Schalleistungspegel an der Ladesäule und am Fahrzeug durch die Batteriekühlung zusammenfassend dargestellt. Die dargestellten Werte sind nicht „Fremdgeräuschkorrigiert“, da Auswerteabschnitte mit möglichst geringem Fremdgeräusch gewählt wurden.

**Tabelle 7: Maximal auftretende Schalleistungspegel und Mittelwert (energetisch) über gesamte Ladezeit an der Ladesäule und am Fahrzeug.**

Fahrzeug	Größe dB(A)	Ladesäule					Mittelwert der maximalen $L_{WA}$ über Ladesäulen
		HYC 150	TS 250	HYC 300	11-kW-Wallbox		
Mercedes Benz EQC 400	$L_{WA}$ , Säule, Max	<b>76,5</b>	<b>77,3</b>	<b>74,6</b>	-	<b>76,1</b>	
	$L_{WA}$ , Säule, MW	<b>73,9</b>	<b>72,3</b>				
	$L_{WA,FZG}$ , Max	48,8	-	-	-	48,8	
	$L_{WA,FZG}$ , MW	44,1					
Tesla Model Y (1)	$L_{WA}$ , Säule, Max	<b>78,8</b>	<b>80,4</b>	<b>75,6</b>	-	<b>78,3</b>	
	$L_{WA}$ , Säule, MW	<b>75,7</b>	<b>75,8</b>	<b>72,3</b>			
	$L_{WA,FZG}$ , Max	<b>69,7</b>	<b>71,8</b>	<b>69,4</b>	-	<b>70,3</b>	
	$L_{WA,FZG}$ , MW	<b>64,2</b>	<b>65,6</b>	<b>64,0</b>			
Tesla Model Y (2)	$L_{WA}$ , Säule, Max	<b>78,0</b>	n.e.	n.e.	n.e.	<b>78,0</b>	
	$L_{WA}$ , Säule, MW	<b>74,4</b>					
	$L_{WA,FZG}$ , Max	<b>70,5</b>	n.e.	n.e.	n.e.	<b>70,5</b>	
	$L_{WA,FZG}$ , MW	<b>66,3</b>					
VW ID.3	$L_{WA}$ , Säule, Max	<b>71,6</b>	<b>64,7</b>	<b>70,4</b>	n.e.	<b>68,9</b>	
	$L_{WA}$ , Säule, MW	<b>70,3</b>	<b>65,1</b>	<b>69,2</b>			
	$L_{WA,FZG}$ , Max	<b>65,3</b>	<b>64,1</b>	<b>65,0</b>	n.e.	<b>64,7</b>	
	$L_{WA,FZG}$ , MW	<b>62,4</b>	<b>62,2</b>	<b>62,3</b>			
Hyundai Ioniq 5	$L_{WA}$ , Säule, Max	n.e.	<b>61,7</b>	<b>69,2</b>	-	<b>65,5</b>	
	$L_{WA}$ , Säule, MW		<b>62,4</b>	<b>68,5</b>			
	$L_{WA,FZG}$ , Max	n.e.	-	-	-	-	
	$L_{WA,FZG}$ , MW						
Renault Zoe E	$L_{WA}$ , Säule, Max	<b>73,6</b>	<b>68,6</b>	<b>67,2</b>	-	<b>69,9</b>	
	$L_{WA}$ , Säule, MW	<b>72,3</b>	<b>66,3</b>	<b>66,6</b>			
	$L_{WA,FZG}$ , Max	<b>69,0</b>	<b>62,0</b>	-	<b>58,5</b>	<b>63,2</b>	
	$L_{WA,FZG}$ , MW	<b>62,8</b>	<b>58,8</b>		<b>58,4</b>		
Jaguar I Pace*	$L_{WA}$ , Säule, Max	<b>75,2</b>	<b>72,4</b>	(68,0)*	-	<b>73,8</b>	
	$L_{WA}$ , Säule, MW	<b>72,8</b>	<b>69,9</b>	(66,0)*			
	$L_{WA,FZG}$ , Max	<b>76,1</b>	<b>75,7</b>	(67,7)*	<b>70,5</b>	<b>74,1</b>	
	$L_{WA,FZG}$ , MW	<b>69,3</b>	<b>71,0</b>	(60,2)*	<b>68,0</b>		
Mittelwert	$L_{WA}$ , Säule;Max	<b>75,6</b>	<b>70,9</b>	<b>71,4</b>	-	-	
	$L_{WA}$ , Säule, MW	<b>73,3</b>	<b>68,6</b>	<b>69,2</b>			

\*: Messergebnisse für Batteriefüllstand > 80 %

n.e.: nicht erfasst

- : keine wahrnehmbare Geräusentstehung

Der in Tabelle 7 dargestellte Schalleistungspegel Mittelwert ( $L_{WA, Säule, MW}$ ) ist der ungewichtete energetische Mittelwert aller ausgewerteter Messabschnitte. Beim Vergleich mit dem maximal auftretenden Schalleistungspegel ( $L_{WA, Säule, Max}$ ) wird deutlich, dass aufgrund der auftretenden Differenz bei den meisten Ladevorgängen auch deutlich weniger geräuschintensive Phasen vorhanden sind.

Zur Einschätzung der gemessenen Schalleistungspegel in dB(A) können vergleichsweise folgende Beispiele aus dem Alltag genannt werden. Bei einer normalen Unterhaltung zwischen 2 Personen im Freien ergeben sich ca. 60 dB(A). In einem gut besetzten Großraumbüro oder an einer normalbefahrenen innerstädtischen Straße werden ca. 70 dB(A) erzeugt. 80 dB(A) emittiert ein sehr lauter Staubsauger.

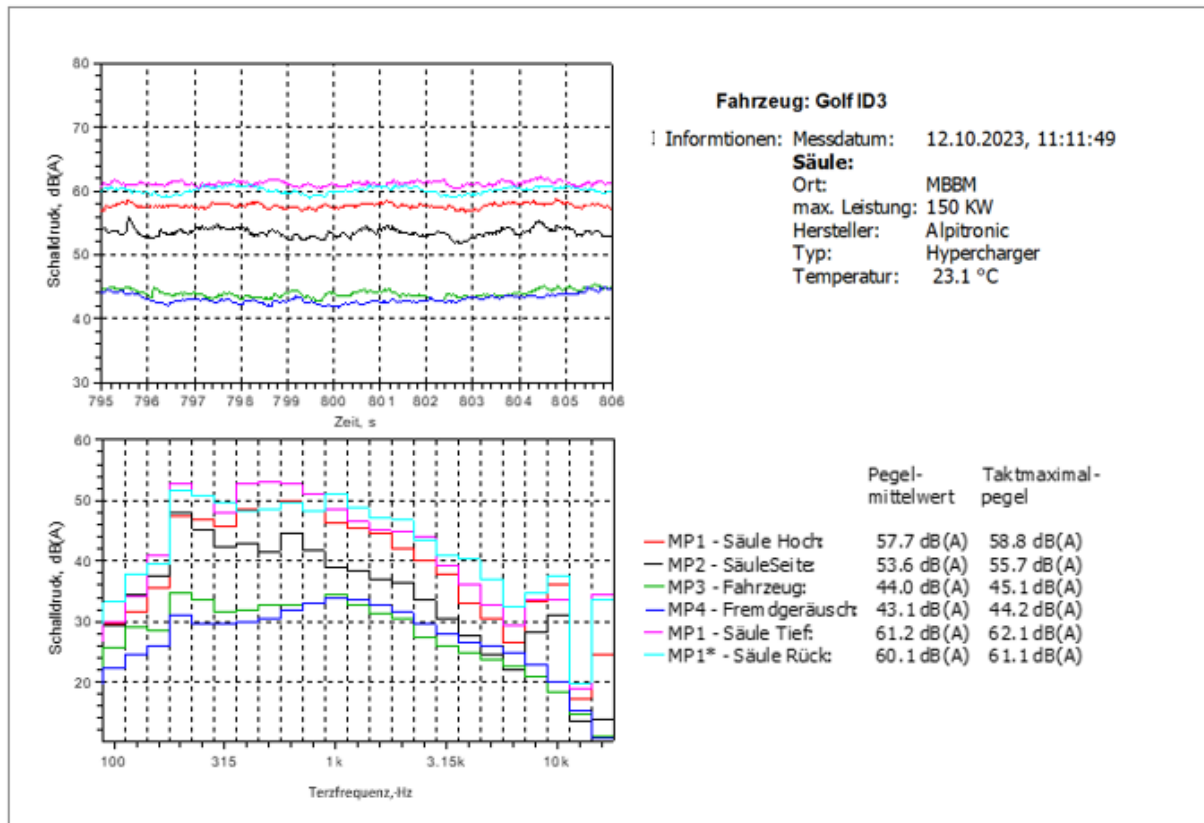
#### 2.4.4 Frequenzspektrum

In Kapitel 2.4.3 sind die Ergebnisse der ermittelten Schalleistungspegel als Summenpegel dargestellt. Im Folgenden wird beispielhaft für ausgewählte Auswerteabschnitte die spektrale Verteilung des Lüftungsgeräuschs der Ladesäulen und der Batterien am Fahrzeug dargestellt. Die ausführlichen Messergebnisse an der Ladesäule und an dem Fahrzeug sind im Anhang dargestellt.

Eine subjektive Wahrnehmung von tonhaltigen Geräuschen konnte nur unregelmäßig bei Ladevorgängen an der 150-kW-Ladesäule festgestellt werden. Hier war ein sehr hochfrequenten Pfeifen u. a. beim Ladevorgang des VW ID.3 wahrnehmbar.

Im Terzspektrum der ausgewerteten Messabschnitte ist im Bereich der 10-kHz-Terz ein Pegelanstieg erkennbar, allerdings nur an einzelnen Mikrofonpositionen; der Pegelunterschied zur 8-kHz-Terz liegt bei weniger als 3 dB. Beispielhaft ist dies in folgender Abbildung für den Messabschnitt 4 (800 s) des VW ID 3 an der 150-kW-Ladesäule dargestellt.

**Abbildung 7: Pegelzeitverlauf und Terzspektrum aller Messpunkte bei Ladevorgang VW ID 3 an 150-kW-Alpitronic (Messabschnitt 4, 800 s).**



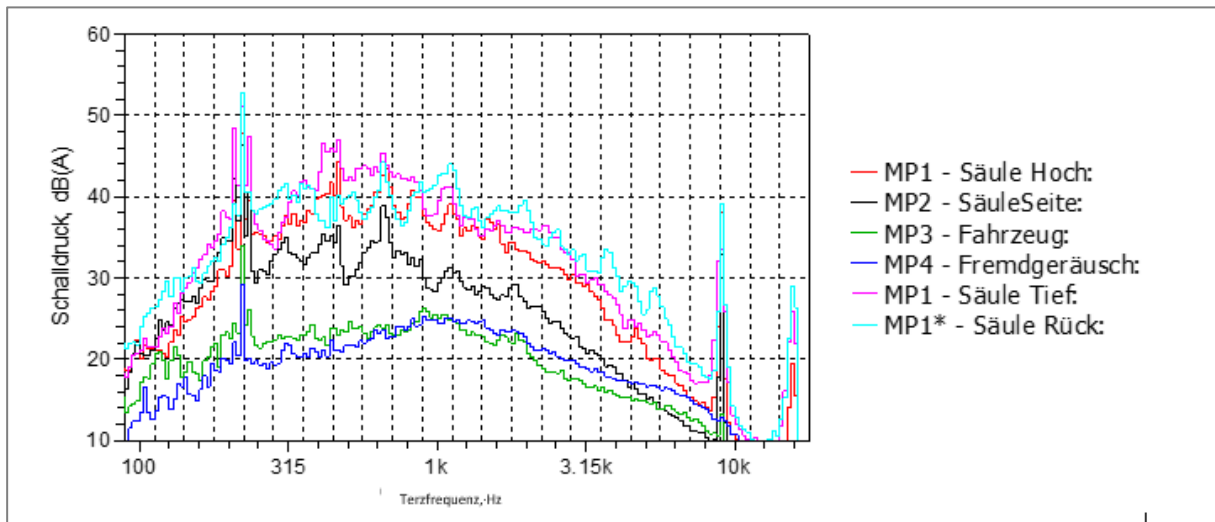
Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Pegelzeitverlauf und Terzspektrum aller Messpunkte bei Ladevorgang VW ID 3 an 150-kW-Alpitronic (Messabschnitt 4, 800 s).

Am Messpunkt MP1 und MP1\* sowie MP1 Tief (Ansaug- bzw. Ausblasöffnung zugewandte Mikrofonposition) sind die Geräuschanteile am größten. Bei objektiver Betrachtung der Frequenzverteilung in Terzbandbreite ist keine eindeutige tonhaltige Geräuscherzeugung erkennbar.

Zur detaillierten Betrachtung wird derselbe Messabschnitt schmalbandiger ausgewertet (24igstel-Oktav-Bandbreite). Hierzu wird jedes Terzband in 8 logarithmisch gleich große Bänder aufgeteilt.

**Abbildung 8: Schmalbandspektrum aller Messpunkte bei Ladevorgang VW ID 3 an 150-kW-Alpitronic (Messabschnitt 4, 800 s), Mittelwert des Messbereichs aus Abbildung 7.**

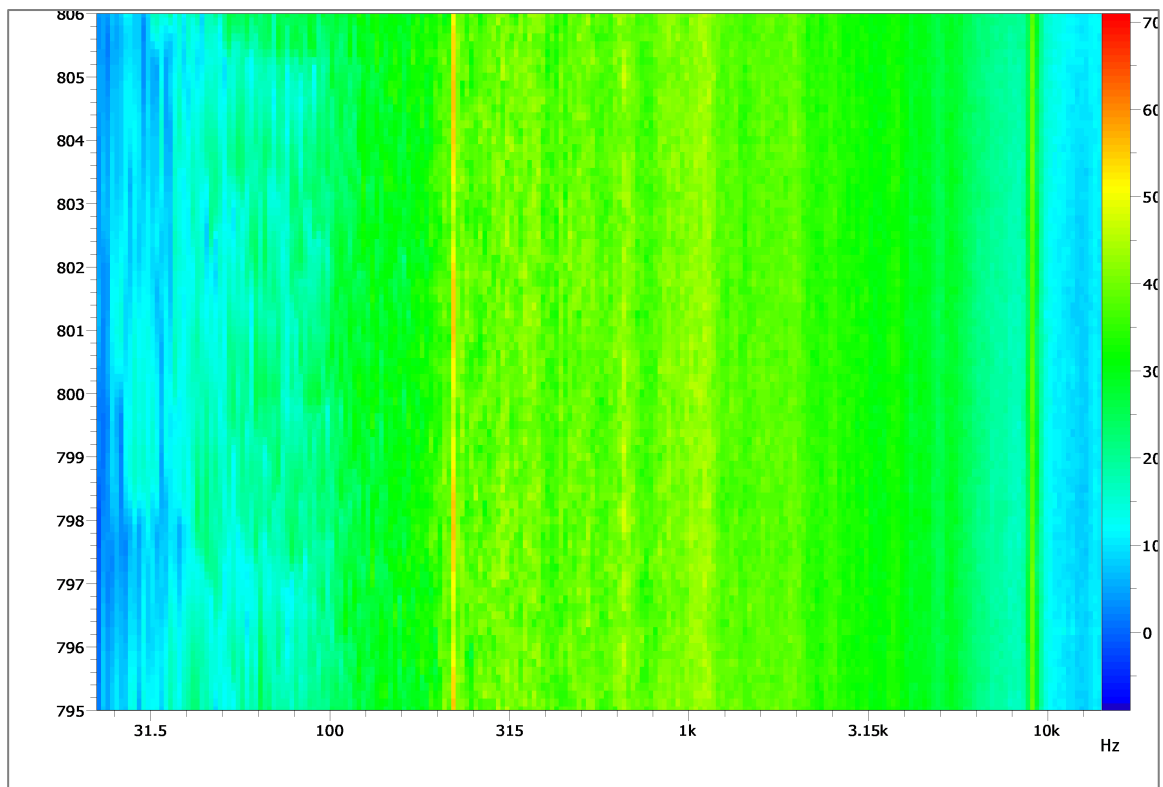


Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Bei Betrachtung der Abbildung 8 wird deutlich, dass bei ca. 250 Hz an mehreren Messpunkten eine schmalbandige, pegelbestimmende Frequenzkomponente vorhanden ist. Zudem tritt bei ca. 9050 Hz hochfrequent eine deutlich die angrenzenden Frequenzen überragende Pegelkomponente auf. Dieser Anstieg entspricht auch der subjektiven Wahrnehmung.

Die Abbildung 8 zeigt den spektralen Mittelwert über den Zeitbereich von 12 s (795 bis 806). In folgender Abbildung wird der Messpunkt MP1\* innerhalb des Messabschnitts im Wasserfalldiagramm dargestellt.

**Abbildung 9: Schmalbandspektrum Messpunkt MP1\* bei Ladevorgang VW ID 3 an 150-kW-Alpitronic im Messabschnitt 4.**



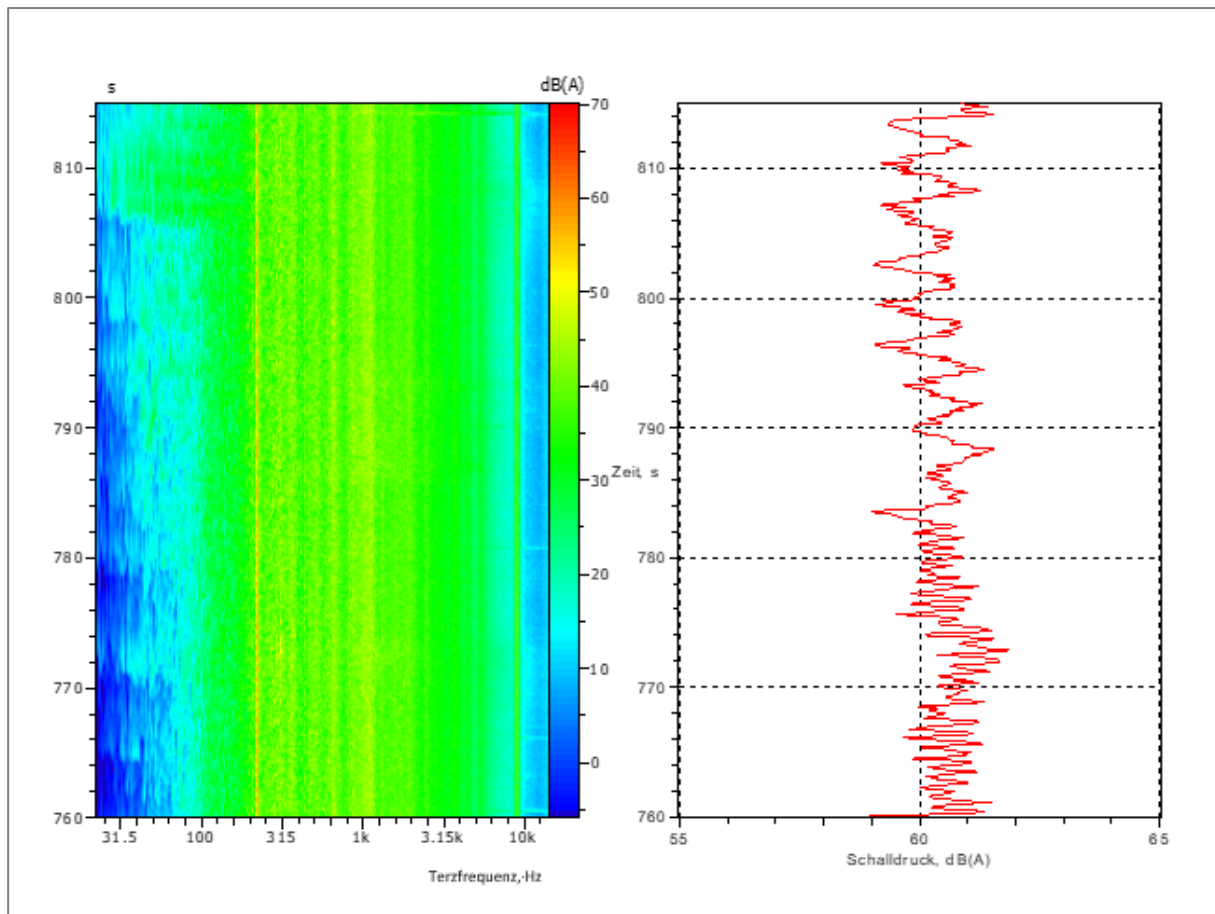
Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Auch im Wasserfalldiagramm (Abbildung 9) treten die in Abbildung 8 bereits deutlich sichtbaren Pegelanstiege bei einzelnen Frequenzkomponenten hervor. Der maßgebliche Frequenzanteil bei 250 Hz weist zudem Pegelschwankungen in der Amplitude auf. Diese Pegelschwankung ist abhängig von den Lüfterdrehzahlen in der Ladesäule. Zum einen können je nach Ladeleistung, Außentemperatur etc. unterschiedliche Kühlleistungen an der Säule benötigt werden, die durch unterschiedlich hohe Drehzahlen der Lüfter eingestellt werden. Zum anderen können mehrere Lüfter auch bei gleicher Drehzahl geringfügig unterschiedlich schnell laufen und sich somit gegenseitig beeinflussen (überlagern, überdecken, ausgleichen).

Da diese schmalbandige Frequenzkomponente pegelbestimmend ist, sieht man die Amplitudenschwankung auch im Schalldruckpegel-Zeitverlauf.



**Abbildung 10: Schmalbandspektrum (links) und Summenpegel (rechts) für Messpunkt MP1\* bei Ladevorgang VW ID 3 an 150-kW-Alpitronic zwischen 760 und 815 s.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Auf der linken Grafik in Abbildung 10 ist die maßgebliche Frequenzkomponente bei 250 Hz einschließlich der Amplitudenschwankung sichtbar. Im Zeitbereich zwischen 760 und 780 s ist die Amplitudenschwankung größer als zwischen 790 und 810 s. In dem rechts abgebildeten Pegelzeitverlauf in gleichem Zeitbereich folgt der Summenpegel der Pegelschwankung bei 250 Hz. Innerhalb von 10 Sekunden ergeben sich im Zeitbereich zwischen 760 und 780 s 12 Pegelspitzen (Perioden), während sich im gleichen Zeitraum (10 s) zwischen 790 und 810 s nur 3 Pegelspitzen ergeben.

Bei der Ladesäule Tesla Super Charger können ähnliche Geräusch-Zusammensetzungen (schmalbandige Komponente bei 500 Hz/1,8 kHz) ausgewertet werden.

Für Prognoseberechnungen sollte demnach ein Zuschlag für Tonhaltigkeit berücksichtigt werden.

## 2.5 Ansätze in der Prognose

In der Allgemeinen Verwaltungspraxis werden zur Genehmigung von Anlagen dieser Art keine Messungen, sondern Berechnungen in einer Software zur Darstellung und Beurteilung von Immissionsprognosen durchgeführt. Die Beurteilung von Geräuschemissionen erfolgt für gewerblich betriebene Anlagen (genehmigungsbedürftig und nicht-genehmigungsbedürftig) in Deutschland nach der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm)[7]. Analog zu der Beurteilung von Tankstellen ist auch die Ladeinfrastruktur von Elektrofahrzeugen – mindestens für die Beurteilung von Schnellladesäulen - nach der TA Lärm zu beurteilen. Ggf. ist im begründeten Einzelfall auch eine Beurteilung im Zusammenhang mit dem öffentlichen Straßenverkehr möglich. Dies ist im Einzelfall zu prüfen und die Ansätze dahin gehend anzupassen. In die Beurteilung nach TA Lärm fließen neben der Schalleistung von Ladesäule und Fahrzeug auch die Dauer der Vorgänge (Einwirkzeit) sowie die Anzahl der Vorgänge innerhalb des Beurteilungszeitraumes ein. Ebenfalls zu berücksichtigen sind die Fahrwege von und bis zur Ladesäule außerhalb des öffentlichen Straßenverkehrsraumes. Die Ermittlung der Geräuschemission auf den Fahrwegen ist nicht Teil dieses Forschungsvorhabens.

### 2.5.1 Einwirkzeiten

Die Zeit, die benötigt wird, um die Batterie eines Fahrzeugs aufzuladen, hängt wie oben beschrieben von mehreren Faktoren ab. Die Ladeleistung bestimmt, wie viel Energie der Batterie zugeführt wird. Dies entspricht beim Tanken von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor der Durchflussmenge (Liter pro Minute). Die Batteriekapazität entspricht der Tankgröße. Gängige Batteriekapazitäten liegen bei 50 kWh für Kleinwagen, 60 bis 90 kWh für Mittelklassewagen und 70 bis 110 kWh für schwere Pkw (SUV), Luxusklassewagen und Sportwagen.

Zur Ermittlung der Ladezeit ist neben der maximalen Ladeleistung die tatsächliche Kapazität des Ladevorgangs maßgeblich. Die Fahrzeughersteller empfehlen zur Erhaltung einer längeren Lebenszeit, die Batterie nur zwischen 20 % bis 80 %, maximal jedoch zwischen 10 % bis 90 % der Speicherkapazität zu betreiben. Das bedeutet, dass die Fahrzeuge nur 60 % bis 80 % der Gesamtkapazität einer Batterie nutzen und laden sollen.

Bei einer exemplarischen Batterie mit 80 kWh Gesamtkapazität müssen somit im Regelfall nur bis zu 64 kWh geladen werden. Bei einer mittleren Ladeleistung von 150 kW wird die Fahrzeugbatterie nach 25 Minuten von 10 % auf 90 % der Gesamtkapazität aufgeladen. Bei einer mittleren Ladeleistung von 250 kW wäre dieselbe Kapazität bereits nach 16 Minuten übertragen. Allerdings zeigen die Untersuchungen, dass eine kontinuierliche (mittlere) Ladeleistung von 250 kW derzeit (noch) nicht realistisch ist.

Je höher die Ladeleistung, desto mehr Strom fließt und desto mehr Wärme wird erzeugt. Deshalb muss auch intensiver gekühlt werden. Auf der anderen Seite wird bei hoher Ladeleistung der gewünschte Füllstand schneller erreicht und dadurch die Ladezeit (Einwirkzeit der Geräuschemissionen) verkürzt.

Aufgrund der Erkenntnisse der Messungen ist für einen Schnellladevorgang an Ladesäulen mit maximalen Ladeleistungen von über 100 kW eine Ladedauer von 30 min je Fahrzeug anzunehmen.

Bei Ladeleistungen von mehr als 22 kW und weniger als 100 kW ist eine Ladedauer von 60 min je Fahrzeug anzunehmen. Bei diesen geringen Ladeleistungen ist jedoch auch eine geringere Schalleistung von der Ladesäule in Ansatz zu bringen.

## 2.5.2 Schalleistungspegel

Aufgrund der Messergebnisse kann festgehalten werden, dass die Geräuschenstehung beim Ladevorgang von Elektrofahrzeugen nicht vernachlässigbar ist. Sowohl von der Ladesäule als auch von dem ladenden Fahrzeug können Schalleistungspegel der Lüftungs-/Kühlungsgeräusche von bis zu  $L_{WA} = 80$  dB(A) erzeugt werden.

### Ladesäule

Die entstehende Schalleistung an der Ladesäule und auch beim Fahrzeug ist von mehreren Faktoren abhängig. Laut Datenblatt der HYC 150 bzw. HYC 300 von Alpitronic wird eine Geräuschemission (Schalldruckpegel) von weniger als 62 dB(A) (HYC 150) bzw. weniger als 65 dB(A) (HYC 300) in 1 m Abstand bei Volllast erzeugt. Bei den in Kapitel 2.4.2 genannten Hüllflächen entspricht dies einem Schalleistungspegel von 77 dB(A) (HYC 150) bzw. 81 dB(A) (HYC 300). Für die Ladesäule Tesla Supercharger konnte kein Datenblatt oder eine Angabe zu Geräuschemissionen unter Volllast ermittelt werden.

Aus den zusammenfassenden Ergebnissen in Tabelle 7 kann für den HYC 150 ein maximaler Schalleistungspegel von 79 dB(A) ermittelt werden, im Mittel über alle Fahrzeuge ergibt sich ein mittlerer maximaler Schalleistungspegel von 76 dB(A).

Die Messwerte für die Ladung mit HYC 300 ergeben maximal 76 dB(A) und im Mittel 71 dB(A). Die Werte liegen entgegen den Erwartungen bei gleicher Leistungsabgabe etwas niedriger als beim HYC 150, allerdings konnte auch die maximale Ladeleistung von 300 kW nicht gemessen werden.

Die höchsten Schalleistungspegel während des Ladevorgangs wurden bei den Tesla-Super-Charger-Stationen mit bis zu 80 dB(A) bei niedrigem Batteriestand < 50 % und hoher Ladeleistung von mehr als 150 kW ermittelt. Beim Ladevorgang von nicht-Tesla-Fahrzeugen wurden maximal 100 kW bis 110 kW erreicht und dies auch nur für kurze Zeit. Bei den niedrigeren Ladeleistungen liegt auch die Geräuschemission der Ladesäule niedriger, weshalb der mittlere Maximalwert der Schalleistungspegel über alle Fahrzeuge bei 71 dB(A) liegt.

Beim langsamen Laden mit maximal 22 kW wird von der Ladesäule („Wallbox“) keine Geräuschemission erzeugt.

## Fahrzeug

Bei der Geräuschemission der Fahrzeuge während des Ladevorgangs ergeben sich große Unterschiede. Bei einigen Fahrzeugen konnte kein Lüftungsgeräusch oder nur ein „Pfeifen“ des Batteriemanagements erfasst werden, bei anderen war es deutlich messbar.

Die höchsten Schalleistungspegel wurden beim Jaguar I Pace mit bis zu 76 dB(A) erfasst, beim Tesla Model Y ergeben sich annähernd 72 dB(A).

Beim Renault ZOE konnte bei sehr hohen Ladeleistungen ein Lüftungsgeräusch (Schalleistungspegel) von 69 dB(A) erfasst werden, allerdings konnte auch ein Ladevorgang ohne Fahrzeuglüftung messtechnisch erfasst werden.

Die Batteriekühlung des VW ID.3 sprang bei allen Schnellladevorgängen bei ca. 50 % Batteriekapazität an, erzeugte einen Schalleistungspegel von ca. 65 dB(A) und schaltete sich erst oberhalb von 90 % Batteriekapazität wieder ab.

Beim Mercedes EQC 400 konnte in einem Auswerteabschnitt eine Wasserkühlung („Blubbern“) wahrgenommen und messtechnisch erfasst werden. Der Schalleistungspegel liegt bei unter 49 dB(A), weitere Kühl- oder Lüftungsgeräusche wurden sonst nicht wahrgenommen.

Auch der Hyundai Ioniq 5 musste bei keinem Ladevorgang die Batterie kühlen, bzw. es konnte keine Geräuschemission am Fahrzeug festgestellt werden.

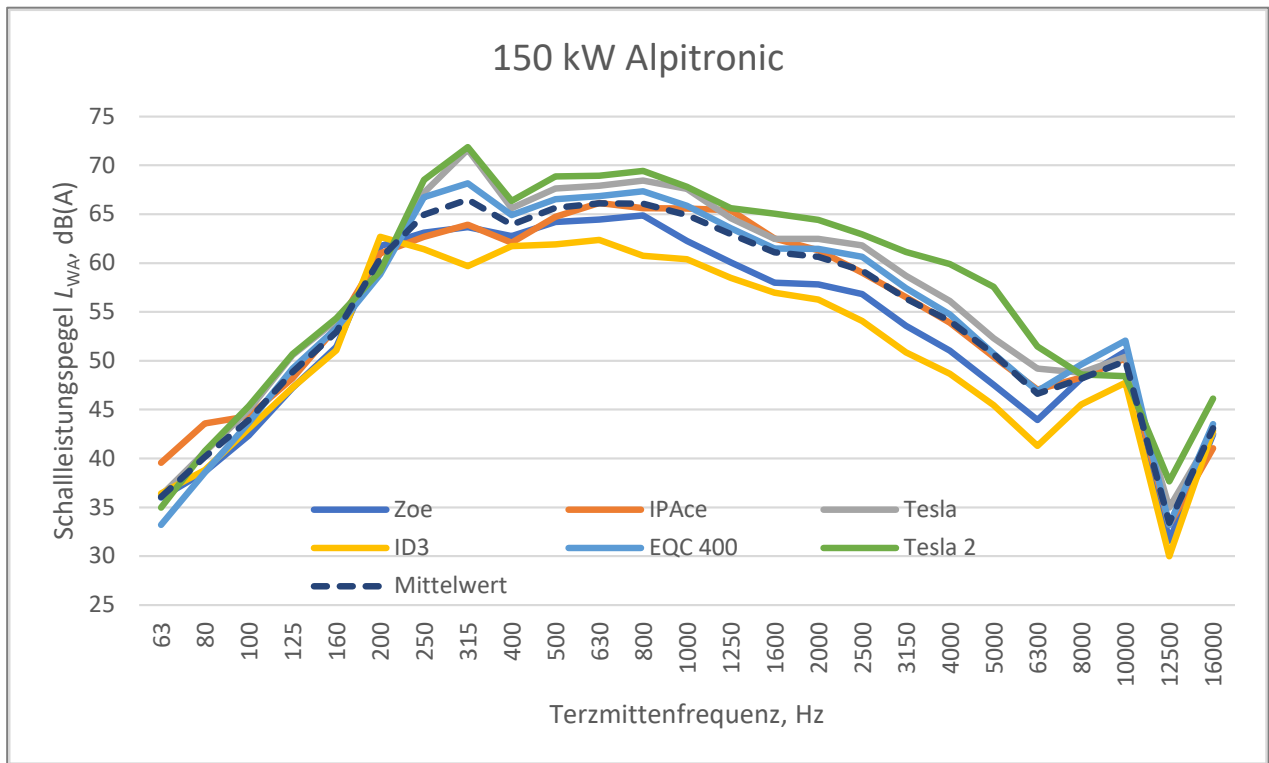
Bei Ladevorgängen über eine „Wallbox“ konnten ebenfalls Zeitabschnitte messtechnisch erfasst werden, in denen die Fahrzeugkühlung/-lüftung des Fahrzeugs zuschaltete. Bei dem Jaguar I Pace dauerte das ca. 10 bis 15 Sekunden alle 60 Minuten. Hier wurden unterschiedlich starke Lüftungsstufen detektiert mit Schalleistungspegeln zwischen 60 und 70 dB(A). Beim Renault Zoe trat ein Lüftungsgeräusch beim Laden mit 11 kW ca. alle 5 bis 8 Minuten für ca. 10 bis 15 s auf. Der Schalleistungspegel liegt bei ca. 58 dB(A).

### 2.5.3 Spektrum

#### Ladesäule

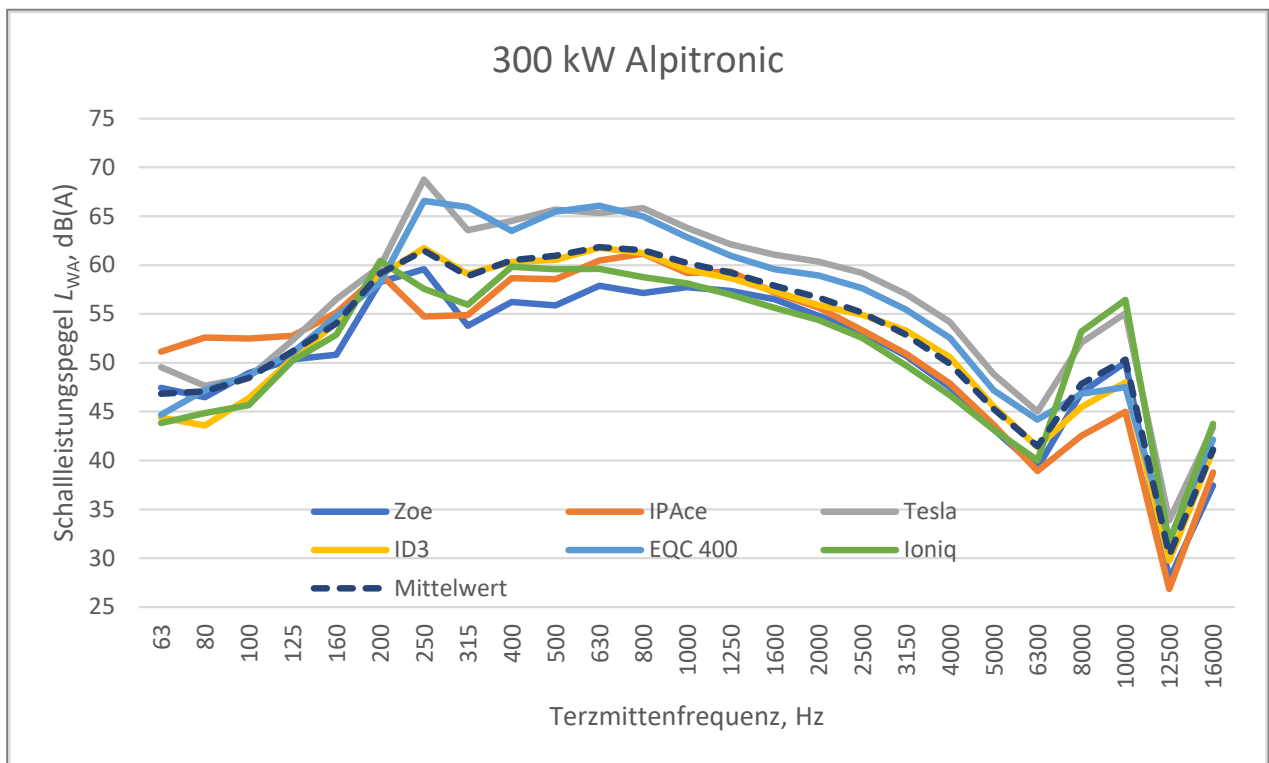
Zur spektralen Berechnung der Schallausbreitung werden im Folgenden ausgewählte Spektren einzelner Auswerteabschnitte dargestellt. Die maßgebliche spektrale Verteilung der Geräuschemission tritt für die höchsten/lautesten Phasen des Ladevorgangs auf. Für diesen Fall werden im Folgenden die 2 bis 3 „lautesten“ Auswerteabschnitte eines jeden Ladevorgangs energetisch gemittelt und für jedes Fahrzeug dargestellt. Der arithmetische Mittelwert aller mittleren Geräuspektren einer Batterieladung charakterisiert die spektrale Schallemission der jeweiligen Ladesäule.

**Abbildung 11: Mittleres Spektrum bei maximaler Schallemission eines Ladevorgangs an Ladesäule 150-kW-Alpitronic.**



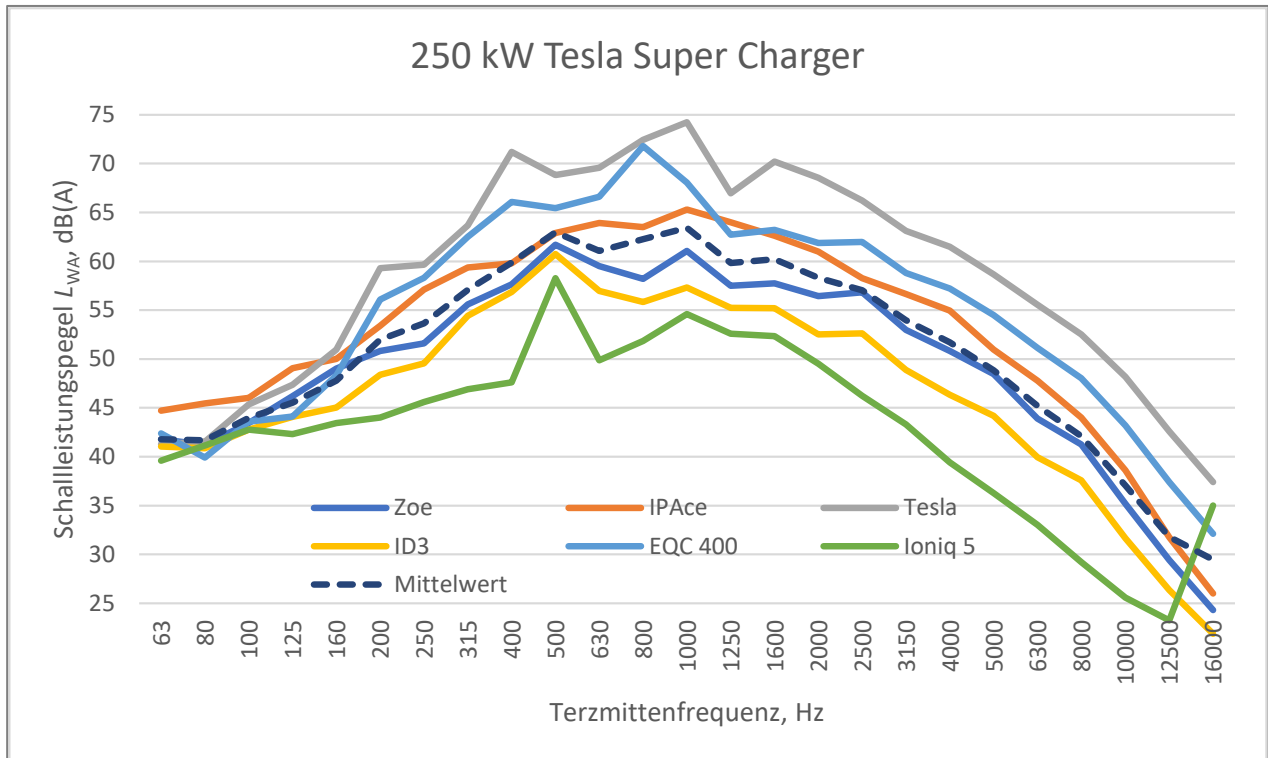
Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

**Abbildung 12: Mittleres Spektrum bei maximaler Schallemission eines Ladevorgangs an Ladesäule 300-kW-Alpitronic.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

**Abbildung 13: Mittleres Spektrum bei maximaler Schallemission eines Ladevorgangs an Ladesäule 250-kW-Tesla-Super-Charger.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Die Streuung zwischen den einzelnen Ladevorgängen ist beim Tesla Super Charger im Vergleich zu den anderen beiden Säulen hoch. Lokale Maxima im spektralen Verlauf sind jedoch unabhängig von der Gesamtschalleistung sichtbar, unterscheiden sich nur in ihrer Intensität bzw. verschieben sich ggf. leicht in ein angrenzendes Frequenzband. Die Geräusentstehung bei Lüftungsgeräten ist u. a. abhängig von der Drehzahl der Lüfter/Ventilatoren, die die Kühlungsintensität mitbestimmt.

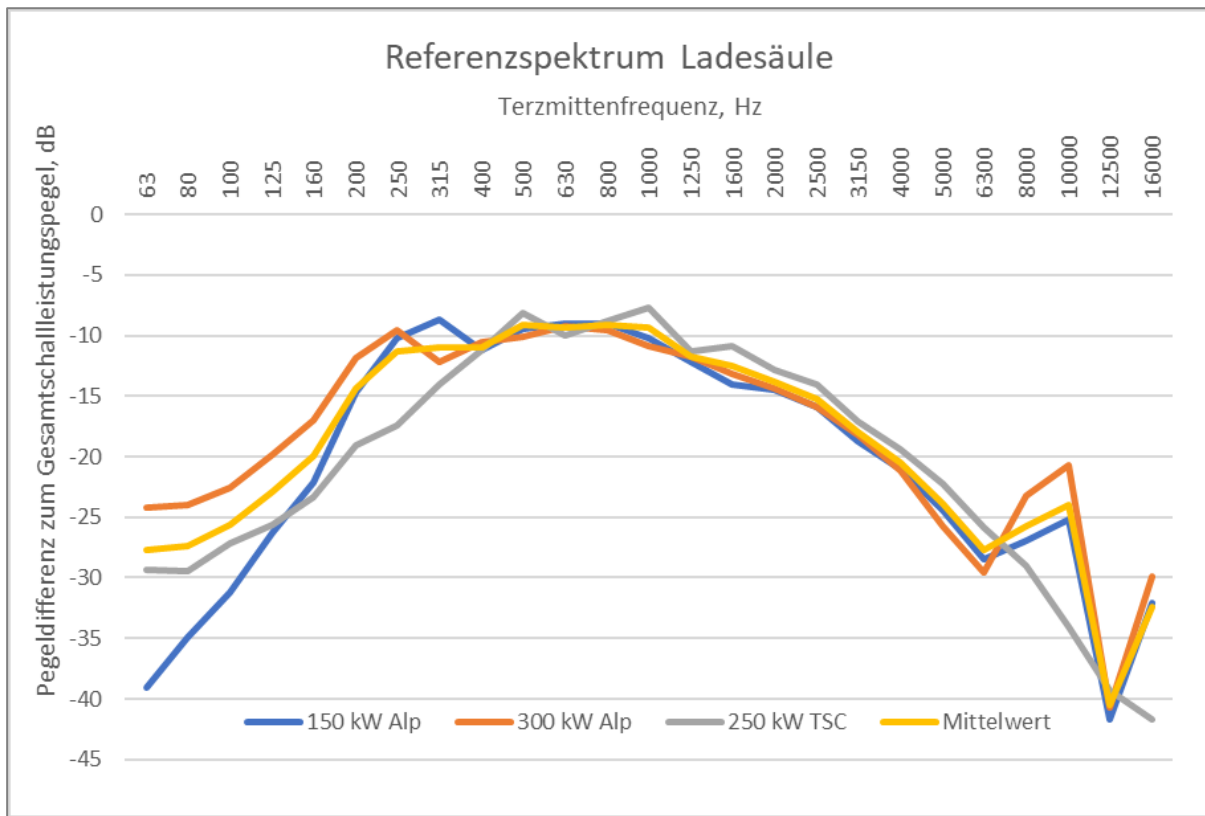
Zur Bestimmung eines Referenzspektrums zum Ansatz in der Prognose werden in jedem Terzband Differenzen zum Summenpegel des Gesamtgeräusches gebildet. Dieses Referenzspektrum beschreibt dann die Abstrahlcharakteristik der Schnellladesäule und kann für jeden im Datenblatt einer Ladesäule angegebenen Schallleistungspegel angewandt werden.

In folgender Abbildung werden die Referenzspektren der 3 Ladesäulen sowie ein Mittelwert dargestellt. In Anschluss daran werden auch die Subtrahenden der einzelnen Terzmittenfrequenzen tabellarisch dargestellt.

Aufgrund der in Kapitel 2.4.4 festgestellten, tonhaltigen Geräuschanteile ist bei der Beurteilung von Schallimmissionen ein Zuschlag zu vergeben.

Beispielsweise bei einer Beurteilung nach der technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm, [7]) wird ein Zuschlag für Tonhaltigkeit von 3 dB empfohlen.

**Abbildung 14: Referenzspektrum der 3 Ladesäulen sowie mittleres Referenzspektrum.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

**Tabelle 8: Referenzspektrum der 3 Ladesäulen sowie mittleres Referenzspektrum – Pegel-differenz jedes Terzbandes zum Summenpegel der Gesamtschalleistung in dB.**

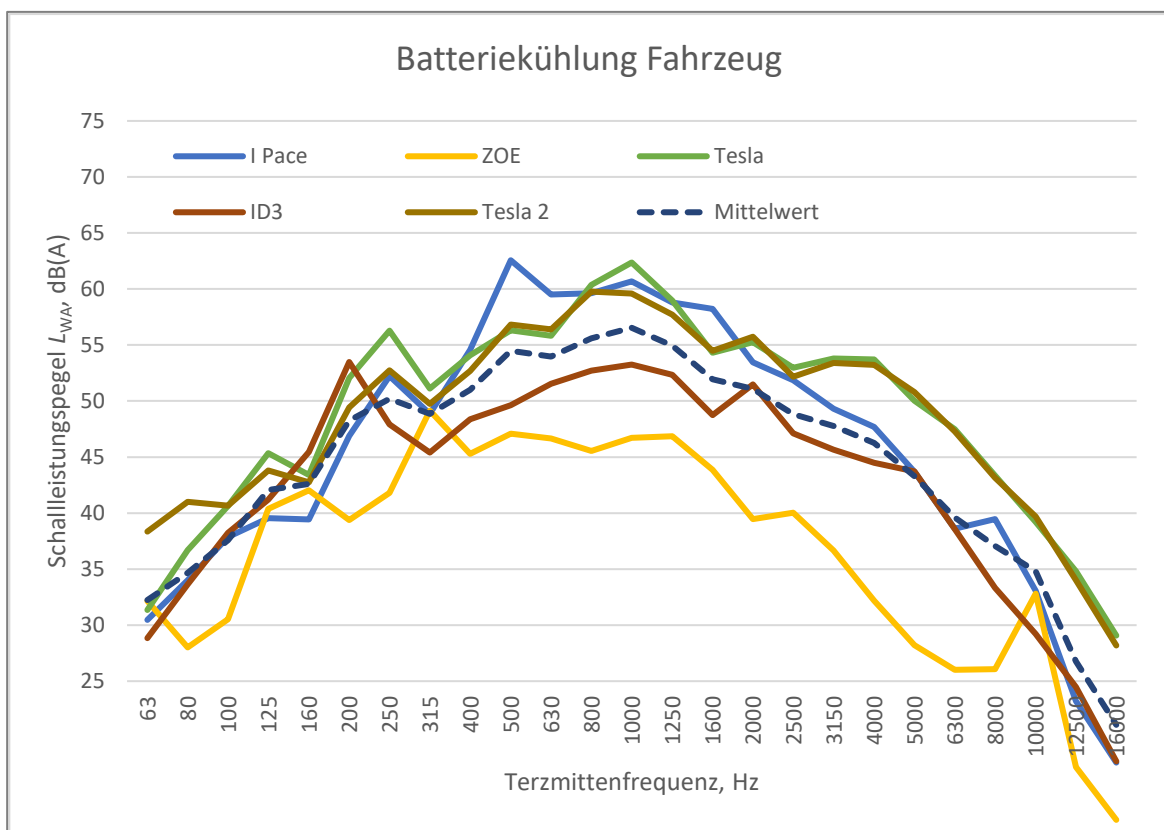
Auswerte abschnitt	Terzmittenfrequenz in Hz												
	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
150 kW	-39,1	-35,0	-31,2	-26,3	-22,2	-14,7	-10,2	-8,6	-11,2	-9,5	-9,0	-9,1	-10,2
300 kW	-24,2	-24,0	-22,6	-19,9	-17,0	-11,9	-9,5	-12,2	-10,5	-10,1	-9,2	-9,5	-10,8
250 kW	-29,3	-29,4	-27,1	-25,6	-23,3	-19,1	-17,5	-14,0	-11,2	-8,1	-10,0	-8,8	-7,7
MW	-27,7	-27,4	-25,6	-22,9	-19,9	-14,3	-11,3	-11,0	-11,0	-9,2	-9,4	-9,1	-9,4
Auswerte abschnitt	Terzmittenfrequenz in Hz												
	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000	
150 kW	-12,2	-14,1	-14,5	-15,9	-18,8	-21,1	-24,5	-28,5	-27,0	-25,2	-41,7	-32,0	
300 kW	-11,8	-13,2	-14,4	-15,9	-18,2	-21,1	-25,8	-29,6	-23,2	-20,7	-40,7	-29,9	
250 kW	-11,3	-10,9	-12,8	-14,1	-17,2	-19,4	-22,3	-25,9	-29,0	-34,0	-39,3	-41,7	
MW	-11,7	-12,5	-13,8	-15,2	-18,0	-20,5	-23,9	-27,7	-25,7	-24,0	-40,5	-32,4	

## Fahrzeug

Die Messdurchführung ergab, dass einige Fahrzeuge nicht unerheblich zur Geräuschemission des Ladevorgangs eines Elektrofahrzeugs beitragen. Die Gesamtpegelbetrachtung ist im vorangegangenen Kapitel beschrieben; im Folgenden wird analog zu den Ladesäulen auch für die Lüftungsgeräusche der Fahrzeuge ein Referenzpegelspektrum ermittelt.

Die maßgebliche spektrale Verteilung der Geräuschemission tritt für die höchsten/lautesten Phasen der Batteriekühlung auf. Für diesen Fall werden die 1 bis 2 „lautesten“ Auswertebchnitte bei laufender Lüftung energetisch gemittelt und für jedes Fahrzeug dargestellt. Der arithmetische Mittelwert aller mittleren Fahrzeugspektren charakterisiert die spektrale Schallemission des Fahrzeugkollektivs.

**Abbildung 15: Mittleres Spektrum bei maximaler Schallemission des Vorgangs der Batteriekühlung während eines Ladevorgangs.**

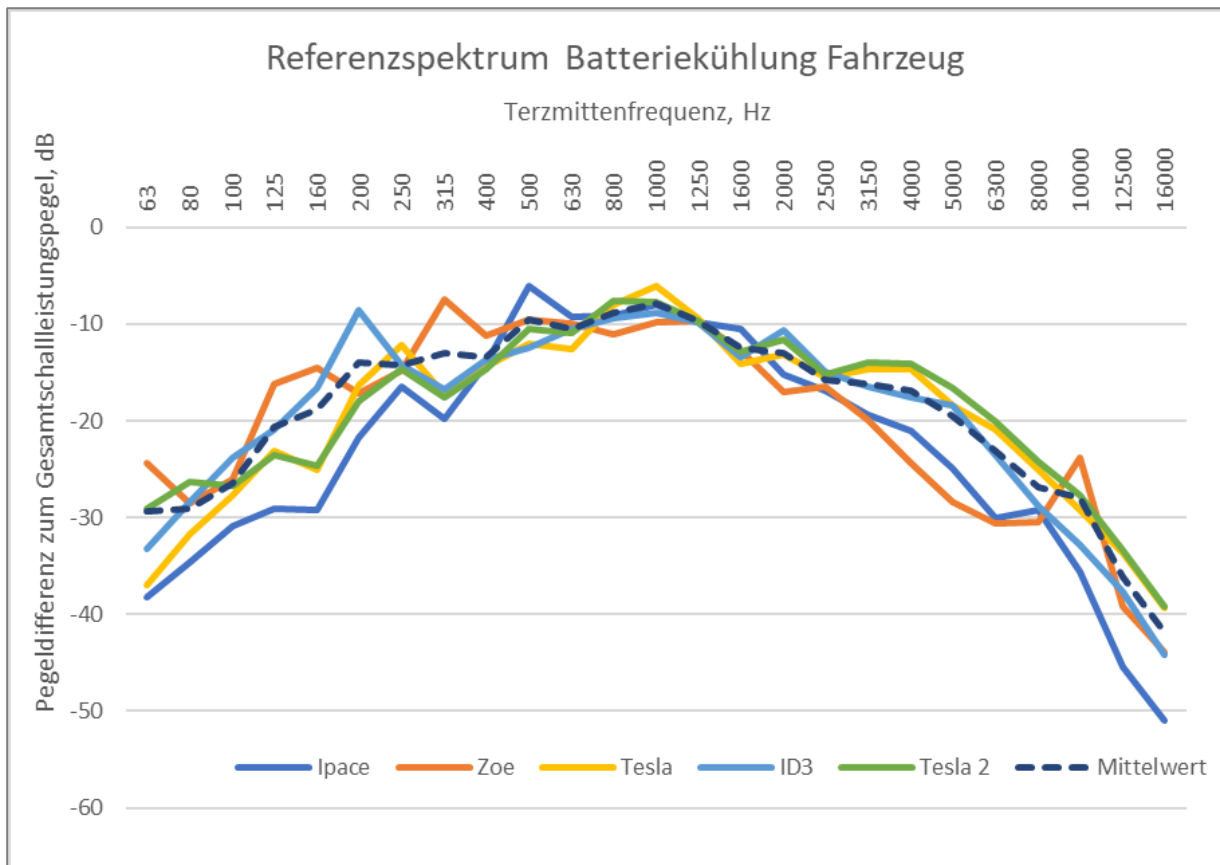


Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

Für den spektralen Ansatz in der Prognose kann für die untersuchten Fahrzeuge ebenfalls ein Referenzspektrum dargestellt werden, um den Summenpegel des Kühlvorgangs spektral zu verteilen.



**Abbildung 16: Referenzspektrum der Batteriekühlung der einzelnen Fahrzeuge sowie Mittelwert.**



Quelle: eigene Darstellung, Müller-BBM Industry Solutions GmbH

**Tabelle 9: Referenzspektrum der 5 Fahrzeuge sowie mittleres Referenzspektrum – Pegel-differenz jedes Terzbandes zum Summenpegel der Gesamtschalleistung in dB.**

Auswerte- abschnitt	Terzmittenfrequenz in Hz												
	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
Ipace	-38,2	-34,7	-30,8	-29,1	-29,3	-21,8	-16,5	-19,8	-14,1	-6,1	-9,2	-9,0	-8,0
Zoe	-24,4	-28,5	-26,0	-16,2	-14,5	-17,2	-14,7	-7,4	-11,3	-9,5	-9,9	-11,0	-9,8
Tesla	-37,0	-31,7	-27,8	-23,1	-25,0	-16,3	-12,1	-17,3	-14,3	-12,1	-12,6	-8,0	-6,0
ID3	-33,3	-28,5	-23,9	-20,9	-16,6	-8,6	-14,2	-16,7	-13,7	-12,4	-10,5	-9,4	-8,8
Tesla 2	-29,0	-26,4	-26,7	-23,6	-24,6	-17,9	-14,6	-17,6	-14,7	-10,5	-11,0	-7,6	-7,8
Mittelwert	-29,4	-29,1	-26,5	-20,7	-18,9	-13,9	-14,2	-13,0	-13,4	-9,5	-10,5	-8,9	-7,9

Auswerte- abschnitt	Terzmittenfrequenz in Hz											
	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
Ipace	-9,9	-10,4	-15,2	-16,8	-19,4	-21,0	-25,0	-30,1	-29,2	-35,6	-45,5	-51,0
Zoe	-9,7	-12,7	-17,1	-16,5	-19,9	-24,4	-28,3	-30,5	-30,5	-23,7	-39,2	-43,9
Tesla	-9,4	-14,1	-13,1	-15,4	-14,6	-14,7	-18,4	-20,9	-25,1	-29,2	-33,6	-39,3
ID3	-9,8	-13,3	-10,6	-15,0	-16,4	-17,6	-18,4	-23,5	-28,8	-32,9	-37,6	-44,2
Tesla 2	-9,6	-12,9	-11,6	-15,2	-14,0	-14,1	-16,6	-20,1	-24,2	-27,7	-33,4	-39,2
Mittelwert	-9,7	-12,5	-12,9	-15,7	-16,2	-16,9	-19,5	-23,1	-26,8	-28,0	-36,1	-41,9

### Zusammenfassung

Die Geräuschemission der Ladesäule ist abhängig von dem zu ladenden Fahrzeug. Die maximale Schallemission sollte ggf. aus einem vorhanden Datenblatt entnommen werden. Ein Schnell-ladezyklus für Ladeleistungen von mehr als 100 kW kann die Ladedauer im Mittel auf 30 Min. begrenzen. Die maximale Schallemission tritt dabei jedoch nur in einem kürzeren Zeitabschnitt auf. Bei Ladesäulen mit 2 Ladepunkten muss die maximale Ladeleistung der Säule auf beide Ladepunkte aufgeteilt werden.

Aus den genannten Gründen wird folgender Ansatz mit Schalleistungspegeln und Einwirkzeiten an der oberen Grenze für Prognoseberechnungen empfohlen.

Ladesäulen mit Leistungen von mehr als 100 kW:

Die Herleitung erfolgt praxisnah:

- ▶  $L_{WA,Säule,Vollast} = L_{WA,Max}$  mit  $t_E = 15$  Minuten Einwirkzeit und
- ▶  $L_{WA,Säule, Teillast} = L_{WA,Max} - 6$  dB mit  $t_E = 15$  Minuten Einwirkzeit

Liegt kein Datenblatt vor sollte für die Säulen ein

- ▶  $L_{WA,Max} = 77$  dB(A) (Ladesäulen 100 kW – 150 kW) bzw.
- ▶  $L_{WA,Max} = 81$  dB(A) (Ladesäulen >150 kW)

in Ansatz gebracht werden.

Zusammengefasst entspricht dies:

*Schalleistungspegel Ladevorgang je Stunde:*

$$L_{WA,Säule,1h} = L_{WA,Max} - 5 \text{ dB.}$$

(Bei 2 Ladevorgängen an derselben Säule muss der Ansatz um 3 dB erhöht werden.)

*Schalleistungspegel Ladevorgang mit genauer Einwirkzeit*

$$L_{WA,Säule,Ladevorgang} = L_{WA,Max} \text{ mit } t_E = 20 \text{ Minuten Einwirkzeit}$$

Lüftung/Kühlung Fahrzeug:

Je Ladevorgang (Schnellladen):

$$L_{WA,FZG} = 70 \text{ dB(A) mit } t_E = 15 \text{ Minuten Einwirkzeit; } L_{WA,Ladevorgang,1h} = 64 \text{ dB(A)}$$

Je Ladevorgang (Wallbox):

$$L_{WA,FZG} = 70 \text{ dB(A) mit } t_E = 0,5 \text{ Minuten Einwirkzeit; } L_{WA,WallBox, 1h} = 49 \text{ dB(A)}$$

Aufgrund der geringen Wirkdauer des Schalleistungspegels kann in der Praxis auf den Ansatz des Ladevorgangs an der Wallbox verzichtet werden.

Immissionsseitig ist ein Tonhaltigkeitszuschlag von 3 dB zu berücksichtigen.

### 3 Grundlagen

- [1] DIN EN 61672-1:2014-07: Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2013); Deutsche Fassung EN 61672-1:2013
- [2] DIN EN 61672-3:2017-05: Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 3: Periodische Einzelprüfung (IEC 61672-3:2013); Deutsche Fassung EN 61672-3:2013
- [3] Parkplatzlärmstudie, Empfehlungen zur Berechnung von Schallemissionen aus Parkplätzen, Autohöfen und Omnibusbahnhöfen sowie von Parkhäusern und Tiefgaragen; Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 6. überarbeitete Auflage, Augsburg 2007
- [4] DIN ISO 9613 2: Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien. Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren. Oktober 1999
- [5] DIN EN 61672-1:2014-07 „Elektroakustik - Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2013)“; Deutsche Fassung EN 61672-1:2013
- [6] DIN EN IEC 60942:2018-07 „Elektroakustik – Schallkalibratoren (IEC 60942:2017)“; Deutsche Fassung EN IEC 60942:2018
- [7] Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) – Ausgabestand 2.6.08.1998, geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017