

IBP-Bericht B-AK 4/2022

## **Laute Fahrzeuge und Leise Reifen Berichtsteil »Laute Fahrzeuge«**

Durchgeführt im Auftrag  
Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

Pascal Teller  
Tobias Küchler

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,  
Demonstration und Beratung auf  
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,  
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für  
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

**Institutsleitung**

Prof. Dr. Philip Leistner

IBP-Bericht B-AK 4/2022

## **Laute Fahrzeuge und Leise Reifen Berichtsteil »Laute Fahrzeuge«**

Durchgeführt im Auftrag  
Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg

Geschäftszeichen VM4-8826-30/2/4  
Laufzeit: 01.10.2021 – 30.09.2022

Der Bericht umfasst  
90 Seiten Text  
6 Tabellen  
45 Abbildungen

Dipl.-Ing. Pascal Teller  
Tobias Küchler

Stuttgart, 10. November 2022

Institutsleiter



Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Philip Leistner

Abteilungsleiter



Dr.  
Peter Brandstätter

Bearbeiter

i.V. 

Dipl.-Ing.  
Pascal Teller

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung Laute Fahrzeuge</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Motorrad – Technik und Einteilung</b>	<b>4</b>
2.1	Motorradmotoren – Konzepte und Charakteristika	4
2.2	Motorradmotoren –Varianten der Kühlung	6
2.3	Antriebsarten Motorrad	7
2.4	Geräuschenstehung und -Abstrahlung	7
<b>3</b>	<b>Normung, Verordnungen und Grenzwerte</b>	<b>9</b>
3.1	EU-Verordnung Nr. 168/2013)	9
3.2	EU Verordnung Nr. 134/2014	10
3.3	Beschluss 2013/483/EU	10
3.4	UN-ECE R41	10
3.5	UN-ECE Regelung R63 und UN-ECE Regelung R9	12
3.6	UN-ECE Regelung Nr. 92 - Austauschschalldämpferanlagen	12
3.7	Tiroler Model	12
3.8	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)	13
3.9	Kritikpunkte zu Normung und Regelungen	14
3.9.1	UN-ECE R41 / UN-ECE Regelung	14
3.9.2	Dokumentation von Überschreitungen	14
3.9.3	Zulassungshürden für geräuschreduzierte Nachrüstungen	16
3.9.4	Weitere Hindernisse beim Einbau geräuscharmer Abgasanlagen	16
<b>4</b>	<b>Fahrzeugbestand nach Zulassungsbescheinigung</b>	<b>17</b>
4.1	Fahrzeugbestand und Geräuschpegel	17
4.2	Stand- und Fahrgeräuschpegel des Kraftradbestands in Baden-Württemberg	18
4.3	Reale Fahrgeräuschpegel in Baden-Württemberg	21
<b>5</b>	<b>Homologationsmessungen vs. reale Nutzung</b>	<b>22</b>
5.1	Sensibilisierung zu einer geräuschärmeren Fahrweise	22
5.1.1	Lärmdisplays	22
5.1.2	Lärmblitzer	23
5.1.3	Automobilclubs / Verbände	23
5.1.4	Weitere Initiativen von Bürgern	25
5.2	Weitere Ansätze	26
<b>6</b>	<b>Geräuschbelastung der Motorradfahrer</b>	<b>26</b>

<b>7</b>	<b>Fahrzeugauswahl für akustische Untersuchungen</b>	<b>27</b>
7.1	Untersuchte Fahrzeuge	28
<b>8</b>	<b>Prüfstandmessungen</b>	<b>29</b>
8.1	Prüfstand und Messverfahren	29
8.2	Mikrofonarray	29
8.3	Mikrofon im Nahbereich	30
8.4	Geräusche am Ohr des Fahrers	31
<b>9</b>	<b>Fahrszenarien</b>	<b>32</b>
<b>10</b>	<b>Ergebnisse aus den Messungen</b>	<b>33</b>
10.1	Standgeräuschmessung – Vereinfachtes Verfahren	33
10.2	Standgeräuschmessung bei halber Nenndrehzahl und maximaler Drehzahl	35
10.3	Konstantfahrt	38
10.3.1	Klappenabgasanlagen	40
10.4	Beschleunigte Fahrt	44
10.4.1	Beschleunigte Fahrt – Spektren	46
10.5	Einfluss Anbauteile	57
10.5.1	Akustisch optimierte Nachrüst-Abgasanlagen	58
10.6	Maximalpegel bei konstanter und beschleunigter Fahrt	61
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit</b>	<b>72</b>
<b>12</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>76</b>
<b>A.1</b>	<b>Recherche offizieller Dokumente</b>	<b>78</b>
<b>A.2</b>	<b>Untersuchte Fahrzeuge</b>	<b>82</b>
<b>A.3</b>	<b>Allrad-Rollenprüfstand mit Vorbeifahrt-Messhalle</b>	<b>89</b>

# 1 Einleitung Laute Fahrzeuge

Das Thema Motorradlärm gibt bereits seit vielen Jahren Anlass für zahlreiche Beschwerden von vom Lärm geplagter Personen. In diesem Zusammenhang existieren immer wieder Forderungen nach Verschärfung von Grenzwerten bzw. deren konsequenter Berücksichtigung, realitätsnäherer Messverfahren oder gar Fahrverboten. Um derartige Maßnahmen gesetzlich umsetzen zu können, bedarf es in der Regel auch entsprechender Kenntnisse des Sachverhalts und einer soliden Datengrundlage. Während die für die Homologation relevanten Pegelangaben zum Standgeräusch und der Vorbeifahrt bekannt sind, ist die Datengrundlage zu weiteren fahrzustandsspezifischen Messwerten insgesamt jedoch noch überschaubar. Insbesondere gilt dies für Vergleiche zwischen »moderater« und »extremer« Fahrzeugnutzung, die unter reproduzierbaren Randbedingungen gewonnen wurden.

Ziel und Hauptbestandteil dieser Arbeit sind daher Akustikmessungen auf einem Rollenprüfstand für die Fahrzeugakustik, bei denen verschiedene Fahrzeuge unter kontrollierten Laborbedingungen in entsprechenden Fahrzuständen betrieben werden. Aber auch die Lärmbelastung der Motorradfahrer selbst ist nicht unerheblich und kann als Argumentationshilfe für die Reduzierung der Geräuschpegel genannt werden. In die Untersuchungen werden sie durch Messungen der Pegel im Helm berücksichtigt. Im Zuge der zunehmenden E-Mobilität bei Motorrädern kann ein neues Geräuschniveau erwartet werden, das durch vergleichende Untersuchungen einbezogen wird. Die Untersuchungen führen zu einer Datenbasis, die auf vergleichbaren Messdaten beruht und im Ergebnis die Bandbreite der Lärmemissionen aufzeigt. Der Verwertungshorizont dieses erweiterten Messdatenbestandes ist sicher weitreichend, sowohl für die Diskussion in den betroffenen Kreisen als auch für ein vergleichendes Verfahren zur »vereinfachten Fahrgeräuschprüfung« durch die Polizei wäre ein naheliegendes Ergebnis mit diesen Referenzdaten.

Die Untersuchung konzentriert sich auf zweirädrige Krafträder der Klasse L3. Leichtkrafträder wie Mopeds der Klasse L1 können mitunter auch einen wesentlichen Beitrag zur Geräuschkulisse beitragen, wurden jedoch zugunsten einer größeren Auswahl bei den Fahrzeugen der Klasse L3 hier nicht berücksichtigt.

## 2 Motorrad – Technik und Einteilung

### 2.1 Motorradmotoren – Konzepte und Charakteristika

Umgangssprachlich werden Motorräder in diverse Klassen eingeteilt. Diese entsprechen jedoch weniger fest vorgegebenen Begriffen, sondern geben eher Hinweise auf die Ausrichtung und den Einsatz des jeweiligen Motorrads. Zudem sind die Übergänge teilweise fließend bzw. könnten einzelne Fahrzeuge mehreren Klassen zugeteilt werden. Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurde versucht aus jeder Klasse einen entsprechenden Vertreter aufzunehmen:

Tourenmotorrad  
Supersport  
Naked Bike  
Chopper  
Enduro/Supermoto  
Allrounder  
E-Motorrad

Im Zweiradbereich mit Verbrennungsmotoren kommen heutzutage überwiegend Hubkolbenmotoren, bei Krafträdern meist Viertakt-Otto-Motoren, insbesondere bei Mopeds und Mofas Zweitaktmotoren zur Verwendung. Wie bei den Kraftfahrzeugen gibt es auch bei Motorrädern prinzipiell die gleichen unterschiedlichen Motorbauarten. Auf Grund des gegenüber PKW in der Regel beschränkten Bauraums, fallen die Verbrennungsmotoren jedoch überwiegend kleiner aus. Im Folgenden ist ein aus [1] übernommener Überblick verkürzt dargestellt. Die einzelnen Vor- und Nachteile werden hier nur aufgeführt sofern ihnen eine akustische oder schwingungstechnische Relevanz zugesprochen wird:

- Einzylinder Motor mit überwiegen stehendem oder leicht nach vorn geneigtem Hubkolben und quer liegender Kurbelwelle. Diese Bauart kommt meistens als Viertakter mit zwei obenliegenden Nockenwellen und vier Ventilen vor und ist häufig bei Enduros und Geländesportmaschinen sowie bei Einsteigermotorrädern anzutreffen.  
Nachteile: deutliche Vibrationen.
- Quer eingebaute 2 Zylinder V-Motoren mit unterschiedlichen Winkeln zwischen den beiden Zylindern. Dieser Motor mit oben oder unten liegenden Nockenwellen wird oft bei Chopper, Cruiser, Reiseenduros, Allrounder, Supersportler etc. eingesetzt.  
Nachteile: starke Vibrationen (außer bei 90°, hier guter Masseausgleich).
- Längs eingebaute V-Motoren mit 2 oder 4 Zylinder werden heute nur noch selten verbaut.  
Vorteile: guter Masseausgleich.
- Quer eingebaute 4 Zylinder V-Motor mit in der Regel je zwei obenliegenden Nockenwellen pro Zylinderbank und vier Ventilen je Zylinder werden ebenfalls nur noch selten verwendet.  
Vorteile: hohe Laufkultur.
- Der Reihenmotor mit 2, 3, 4 oder 6 Zylinder ist die am häufigsten verwendete Motorkonstruktion, die heute meist mit zwei oben liegenden Nockenwellen und vier Ventilen in nahezu allen Motorradkategorien zum Einsatz kommt.  
Vorteile: guter Massenausgleich und damit wenig Vibrationen.

- Als Sonderstellung existiert der Paralleltwin, bei dem sich die Kolben gleichzeitig auf und ab bewegen.  
Nachteil: starke Vibrationen im oberen Drehzahlbereich, die per Welle oder Pleuel ausgeglichen werden.
- Der Boxermotor mit gegenüberliegenden Kolbenpaaren kommt ebenfalls bei Motorrädern zur Anwendung.  
Vorteile: guter Massenausgleich.

## 2.2 Motorradmotoren –Varianten der Kühlung

Auch bei der Kühlung der Verbrennungsmotoren gibt es verschiedene Konzepte [1]:

- Verbrennungsmotoren mit Luftkühlung erfahren ihre Kühlung ausschließlich durch den entstehenden Fahrtwind. Zu diesem Zweck sind an den Zylinderköpfen Kühlrippen angebracht. Diese dienen der Vergrößerung der wärmeabgebenden Oberfläche. Ein Vorteil der Luftkühlung ist der schnörkellose Aufbau. Die Einfachheit des Aufbaus führt zu einem geringeren Motorgewicht und zu weniger Verschleißteilen. Bauteile wie Wasserpumpen, Kühler und Schläuche werden bei einem luftgekühlten Motor nicht benötigt. Nachteilig ist die geringere Kühlleistung. Die Effizienz ist niedriger als bei anderen Kühlungsarten, weshalb sie sich bei höheren spezifischen Motorleistungen nicht mehr eignet beziehungsweise nicht mehr ausreicht. Ein weiterer Nachteil findet sich in der Schwierigkeit, luftgekühlte Motoren auf einen niedrigen Schadstoffausstoß abzustimmen. Ebenso zeigen luftgekühlte Maschinen eine stärkere Geräusentwicklung als wasser- oder ölgekühlte Motoren.
- Eine Erweiterung der Luftkühlung ist die kombinierte Luft- und Ölkühlung. Leistungsstärkere Maschinen, bei denen die reine Luftkühlung an ihre Grenzen stoßen würde, verfügen häufig über einen zusätzlichen Ölkühler, der das Motorenöl vor Überhitzung schützt.
- Verbrennungsmotoren mit Flüssigkeitskühlung verwenden ein überwiegend aus Wasser bestehendes Kühlmittel, das durch die ständige Umspülung der Zylinder die entstehende Wärme aufnimmt und zum Kühler abführt. Dort wird die Temperatur des Kühlmediums durch den Fahrtwind reduziert. Eine Flüssigkeitskühlung hat den Vorteil, die Temperaturunterschiede zwischen verschiedenen Motor-Bestandteilen klein zu halten. Damit bleibt auch der Verzug gering. Auf diese Weise ist eine größere Leistungsdichte des Motors möglich. Zusätzlich trägt der Wassermantel zur Geräusdämmung bei, sodass die Geräuschemission im Allgemeinen geringer ist als bei luftgekühlten Motoren. Flüssigkeitskühlung ist speziell bei leistungsstarken Motoren zur Geringhaltung der Klopfneigung angebracht, die bei höheren Temperaturen einsetzen könnte. Die Mehrheit heutiger Motorräder verfügt über eine Wasserkühlung.

- Eine seltenere Variante der Flüssigkeitskühlung stellt die Ölkühlung dar. Hier wird anstelle wasserbasierter Kühlflüssigkeit das Motorenöl zur Kühlung eingesetzt. Als Kühler kommt in diesem Fall ein spezieller Ölkühler zum Einsatz. Reine Ölkühlungen, bei denen Zylinder und Zylinderköpfe mit Öl gekühlt werden, sind bisher nur vereinzelt gebaut worden.

### 2.3 Antriebsarten Motorrad

- Für die Kraftübertragung vom Motor zum Rad werden klassischerweise in allen Motorradsparten Kettenantriebe verwendet. Diese weisen ein geringes Gewicht auf, sind einfach und überschaubar aufgebaut und relativ kostengünstig. Nachteilig ist eine häufig erforderliche Kontrolle sowie ein erhöhter Pflegeaufwand (Reinigen und Nachfetten der Kette). Zudem steht nach ca. 20 000 Kilometern ein kompletter Wechsel von Kette, Ritzel und Kettenrad an.
- Beim Zahnriemen wird ein zum Kettenantrieb ähnliches Prinzip verwendet, das gegenüber der Kette durch geringen Wartungsaufwand (keine Schmiermittel) und längere Lebensdauer (ca. 40 000 km) punktet. Demgegenüber steht jedoch ein erhöhter Platzbedarf, ein umständlicherer Austausch und aufwendigeres Einstellen.
- Als langlebiges und äußerst wartungsfreundliches Antriebskonzept gilt die Kardanwelle. Die insgesamt aufwendige Konstruktion kostet jedoch durch das hohe Gewicht der Gelenkwelle Performance.

### 2.4 Geräuschenstehung und -Abstrahlung

Beim Motorrad sind prinzipiell die gleichen Geräuschquellen wie bei PKW vorhanden. In Folge einer unterschiedlichen Dimensionierung, Anordnung und Positionierung sowie hauptsächlich durch die in der Regel fehlende Abschottung der Karosserie oder Anbauteile, ist jedoch eine andersartige Gewichtung und Charakteristik der einzelnen Quellen zu erwarten.

Eine direkte Luftschallanregung erfolgt beim Verbrennungsmotor beispielsweise durch die von Ladungswechselfvorgängen hervorgerufene Strömungspulsation im Ansaug- bzw. Abgasstrang, die jeweils an den Mündungen abgestrahlt werden. Auch können hier Verbrennungsgeräusche aus dem Motor nach außen gelangen. Je nach Motoraufbau bzw. -art können diese z.B. in Folge der Zylinderanzahl und Zündfolge der Zylinder unterschiedlich ausfallen. Die Ansaugung und Abgasweiterleitung kann beispielsweise durch die Dimensionierung und Geometrie der Anlagen beeinflusst werden. Zudem können durch die Verwendung von Schalldämpfern oder beispielsweise Klappenabgasanlagen die Pegel sowie Klangcharakteristik deutlich verändert werden. Während durch Schalldämpfer, wie in Bild 1 und Bild 2 beispielhaft dargestellt, in der Regel eine Pegelabsenkung erzielt wird, geht mit dem Öffnen der Klappen im Abgasstrang eine Pegelerhöhung einher.



Bild 1:  
Vorschalldämpfer. Screenshot aus [2].



Bild 2:  
Endschalldämpfer. Screenshot aus [2].

Geräusche durch Wirbelbildungen an Kühlgebläse oder weitere Hilfsaggregate, sowie die an der Kraftübertragung beteiligten Bauteile, können ebenfalls Luftschall an die Umgebung abgeben.

Alle mechanisch beweglichen Bauteile, zu denen insbesondere der Verbrennungsmotor selbst und das Getriebe zu zählen sind, können zu Schwingungen angeregt werden und diese entweder per Körperschall auf weitere Bauteile übertragen sowie an ihren Oberflächen eine Geräuschabstrahlung bewirken. Auch hier kann neben der Motorbauart beispielsweise durch Dimensionierung, Geometrie und Materialwahl Einfluss auf die Akustik genommen werden. So können ggf. Vibration durch Versteifung am Motorblock oder Optimierung der Motorlager reduziert werden.

Ein Geräuschbeitrag aus der Reifen-Fahrbahn-Interaktion ist auch bei Motorrädern gegeben. Bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ist dieses jedoch zumindest in den weniger geräuscharmen Fahrsituationen durch die zuvor genannten

Geräuschanteile überdeckt und daher im allgemeinen weniger von Interesse. Mit zunehmender Elektrifizierung des Antriebsstranges bei Motorrädern, kann dieses jedoch zukünftig ebenfalls in den Fokus rücken.

### 3 Normung, Verordnungen und Grenzwerte

Im Bereich der gesetzlichen Vorgaben ist es nicht einfach den Überblick über die geltenden Regelungen und aktuell gültigen Grenzwerte zu behalten. Es finden sich zahlreiche Verordnungen, Beschlüsse, Gesetze, Regelwerke und dergleichen, die exklusiv oder neben weiteren Themen auf Geräusche von Kraftfahrzeugen eingehen. Erschwert wird dies dadurch, dass die einzelnen Werke neben ihrem Erscheinungsdatum zu unterschiedlichen Zeitpunkten in Kraft treten oder Grenzwerte teilweise mit Übergangsfristen bzw. gestaffelt verbindlich werden. So kann es sein, dass Regelwerke verabschiedet werden, deren Anwendung jedoch erst später durch EU-weite bzw. nationale Rechtsakte verbindlich eingeführt werden oder einzelne Dokumente auf überarbeitete Versionen verweisen bzw. bereits aufgehoben oder durch weitere Regelungen ersetzt sind. Auch kommt es vor, dass bis zum Inkrafttreten einzelner Regelungen Übergangsregelungen gelten. Sprachliche Übersetzungen (die in der Regel mit einem Vermerk versehen sind, der auf die alleinige Gültigkeit des ursprünglichen Dokuments hinweist) können hilfreich sein, da sie jedoch nicht zwingend das gleiche Datum wie das Originaldokument haben, sind diese nicht immer ein Segen. Die Namensgebung der Dokumente ist ebenfalls nicht immer schlüssig nachvollziehbar. So beinhaltet z.B. »UN Regulation No. 41 – Rev.2« die Serie »04« als weitere Änderungsreihe zu diesem Regelwerk. Informationen oder die Originaldokumente selbst sind teilweise nur schwierig oder nicht über die offiziellen Stellen abrufbar. Im Anhang A.1 ist am Beispiel UN-ECE R41 die aktuelle Situation beschrieben. Ohne regelmäßigen Kontakt zu diversen Gremien, die z.B. an der Erstellung dieser Dokumente mitarbeiten, oder ohne intensive und ständige Recherche scheint es nur schwer möglich, den Überblick zu erhalten oder zu bewahren.

Im Folgenden werden die wichtigsten Dokumente der jüngsten Vergangenheit bzw. der aktuell geltenden Vorschriften zu Lärmthemen im Zusammenhang mit der Zulassung von Motorrädern benannt. Aus vorgenannten Gründen erhebt dies jedoch nicht den Anspruch einer vollständigen und aktuellen Abbildung der Lage.

#### 3.1 EU-Verordnung Nr. 168/2013)

Die EU Verordnung Nr. 168/2013 [3] enthält die Klasseneinteilung von Fahrzeugen. Die Fahrzeugklasse L erfasst ein breites Spektrum leichter Fahrzeugtypen mit zwei, drei oder vier Rädern. Dazu zählen z.B. Fahrräder mit Antriebssystem, zwei- und dreirädrige Kleinkrafträder, zwei- und dreirädrige Krafträder und Krafträder mit Beiwagen sowie leichte vierrädrige Fahrzeuge wie z. B. Quads. Beispielsweise werden mit L1e leichte zweirädrige Kraftfahrzeuge mit einem Hubvolumen  $\leq 50 \text{ cm}^3$ , einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h und einer

maximalen Nenndauerleistung oder Nutzleistung  $\leq 4$  kW sowie mit L3e alle restlichen zweirädrigen Krafträder weiter unterteilt.

Für zweirädrige Krafträder der Klasse L3e galten laut dieser Verordnung bis zum Beitritt der Union zur UN-ECE-Regelungen Nr. 41 bzw. deren Umsetzung, einschließlich der damit zusammenhängenden gleichwertigen Geräuschgrenzwerte der Stufe Euro 4 (wie sie zum Beispiel in Anhang 6 der UN-ECE-Regelung Nr. 41 für Krafträder der Klassen L3e und L4e festgelegt werden), folgende vom Hubvolumen abhängige Werte:

Tabelle 1:  
Grenzwerte für das Fahrgeräusch nach EU Verordnung Nr. 168/2013

Hubraum	Grenzwert dB(A)
Hubvolumen $\leq 80$ cm <sup>3</sup>	75
$80$ cm <sup>3</sup> < Hubvolumen $\leq 175$ cm <sup>3</sup>	77
Hubvolumen > 175 cm <sup>3</sup>	80

### 3.2 EU Verordnung Nr. 134/2014

Die EU Verordnung Nr. 134/2014 [4] ist eine Ergänzung zu der Verordnung EU Nr. 168/2013 und beschreibt insbesondere die anzuwendenden Prüfverfahren der Geräuschmessungen für Krafträder, bis die Union den UN-ECE-Regelungen beitrifft. Dies sind die UNECE-Regelung Nr. 9 für dreirädrige Fahrzeuge oder Vierradfahrzeuge, Regelung Nr. 41 für Krafträder, Regelung Nr. 63 für Kleinkrafträder bzw. Regelung Nr. 92 zur Genehmigung von Nicht-Original-Schalldämpfungsaustauschsystemen für Auspuffanlagen von Krafträdern, Kleinkrafträdern und dreirädrigen Fahrzeugen.

### 3.3 Beschluss 2013/483/EU

Mit Beschluss 2013/483/EU [5] des Rates vom 30. September 2013 wird die UN/ECE Regelung Nr. 41 verbindlich in Europa eingeführt.

### 3.4 UN-ECE R41

Die UN-ECE Regelung Nr. 41 [6] beschreibt das Mess-Setup und -verfahren für die Akustikuntersuchung an Krafträdern der Klasse L3. Die Kennzeichnung des Standgeräusches ergibt sich als höchster Schallpegelmesswert bei langsamer Erhöhung der Motordrehzahl von Leerlaufdrehzahl bis zur Sollmotordrehzahl und schlagartigem Loslassen der Drosseleinrichtung mit Rückstellung auf Leerlaufdrehzahl. Die Fahrgeräusche werden mittels eines Mess- und Berechnungsverfahrens, das mehrere Fahrten bei konstanter Geschwindigkeit und auf Volllast beschleunigte Fahrten bei Geschwindigkeiten im Bereich um 50 km/h berücksichtigt, auf einer detailliert beschriebenen Prüfstrecke im Freien ermittelt. Die nach dieser Norm gemessenen Pegel des Stand- und Fahrgeräusches müssen nicht zwingend miteinander korrelieren (siehe hierzu auch 3.7).

Ermittelt wird das Standgeräusch bei Motorrädern in aller Regel bei halber Nenndrehzahl, bei Maschinen mit einer Nenndrehzahl unter 5.000/min wird es bei drei Vierteln der Nenndrehzahl gemessen. Für das Standgeräusch finden sich auch in der aktuellsten Version der UN-ECE R41 (41.05, gültig seit 2021) keinerlei Grenzwerte. In Deutschland ist dieser Wert in den Zulassungspapieren wohl hauptsächlich für Ad-Hoc-Geräuschüberprüfung eingetragen. Gegenüber aufwändigen Fahrgeräuschmessungen (Vorbeifahrtpegel), die eine deutlich höhere Anforderung an die Umgebung stellen, können Standgeräuschmessungen meist relativ einfach vom Kontrollpersonal vor Ort vorgenommen werden und potentielle Manipulationen oder Störungen an auffälligen bzw. verdächtigen Fahrzeugen festgestellt werden.

Die Grenzwerte beim Fahrgeräusch liegen nach UN-ECE R41 (Anhang 6) seit 1.1.2017 in Abhängigkeit eines Leistungs-Masse-Verhältnis PMR nach Tabelle 2 bei:

Tabelle 2:  
Grenzwerte für das Fahrgeräusch nach UN-ECE R41 mit  
 $PMR = P \text{ [kW]} / (m + 75) \text{ [kg]} \cdot 1000 \text{ [kg/kW]}$

Kategorie	Power-to-mass ratio index	Grenzwert dB(A)
Klasse 1	$PMR \leq 25$	73
Klasse 2	$25 < PMR \leq 50$	74
Klasse 3	$PMR > 50$	77

Nach Angaben des ADAC [7] fallen 80 Prozent der aktuelle in Deutschland zugelassenen Motorräder in die Klasse 3. Zum Vergleich sind in Tabelle 3 für die Fahrzeugklasse M1 (Fahrzeuge zur Personenbeförderung) die entsprechenden Lärm-Grenzwerte angegeben. Das zugrunde liegende Messverfahren ähnelt dabei dem in UN-ECE R41 beschriebenen Verfahren.

Tabelle 3:  
Grenzwerte für das Fahrgeräusch nach UN-ECE R51 für die Fahrzeugklasse M1

Leistungs-Masse-Verhältnis (PMR)	Grenzwert dB(A)		
	Phase 1: neue Fahrzeugtypen ab dem 1. Juli 2016	Phase 2: neue Fahrzeugtypen ab dem 1. Juli 2020 und für erstmalige Zulassung ab dem 1. Juli 2022	Phase 3: neue Fahrzeugtypen ab dem 1. Juli 2024 und für erstmalige Zulassung ab dem 1. Juli 2026
$PMR \leq 120$	72	70	68
$120 < PMR \leq 160$	73	71	69
$PMR > 160$	75	73	71
$PMR > 200$ , Anzahl der Sitzplätze $\leq 4$	75	74	72

Während die zulässigen Grenzwerte bei PKW gegenüber Motorrädern insgesamt niedriger ausfallen, werden diese zudem seit Jahren in einzelnen Stufen weiter verschärft. Mit Einführung der Phase 3 ergibt sich dann eine Pegeldifferenz von rund 5 dB(A) zwischen beiden Fahrzeugklassen.

Mit der Änderungsserie 04 der UN-ECE R41 (Tag des Inkrafttretens: 13. April 2012) werden deutlich erweiterte Messumfänge ASEP (Additional Sound Emission Provisions) berücksichtigt. Diese bestehen für Fahrzeuge der Klasse L3 mit PMR > 50 aus Akustikmessungen im Geschwindigkeitsbereich zwischen 20 km/h (Einfahrt in die Prüfstrecke) und 80 km/h (Ausfahrt) bei einer Zielgeschwindigkeit von 50 km/h in der Mitte der Prüfstrecke und werden für mehrere Gänge, bei denen eine bestimmte Drehzahl noch nicht erreicht wird, durchgeführt. Durch diese um zahlreiche Betriebspunkte deutlich erweiterten ASEP-Umfänge sollen gezielt gesteuerte technische Maßnahmen wie z.B. Klappenabgassysteme, die bisher möglicherweise lediglich bei den zuvor geltenden normungsrelevanten Fahrsituationen hohe Geräuschpegel vermieden, aufgedeckt werden. Bislang werden diese zusätzlichen Geräuschmessungen wohl den Herstellern im Sinne einer Selbstzertifizierung überlassen. Mit der nächsten Euro-Norm Euro 5+ (ab 2025) soll sich das jedoch ändern.

### **3.5 UN-ECE Regelung R63 und UN-ECE Regelung R9**

Der Vollständigkeit halber sind hier zwei weitere Regelwerke erwähnt, die das Geräuschverhalten für weitere Fahrzeugtypen der Klasse L beinhalten. UN-ECE Regelung Nr. 63 [8] beschreibt das Mess-Setup und -verfahren für die Akustikuntersuchung an Krafträdern der Klasse L1 Leichtkrafträder, Moped und UN-ECE Regelung Nr. 9 [9] Fahrzeuge der Klassen L2 dreirädrige Kleinkrafträder, L4 Fahrzeuge mit Beiwagen und L5 dreirädrige Kraftfahrzeuge.

### **3.6 UN-ECE Regelung Nr. 92 - Austauschschalldämpferanlagen**

Die UN-ECE Regelung Nr. 92 [10] gilt für nicht originale Austauschschalldämpferanlagen (NORESS: non-original replacement exhaust silencing system) für Fahrzeuge der Klassen L1 bis L4. Im Wesentlichen wird hier auf die Prüfverfahren entsprechend der Regelungen Nr. 9, 41 oder 63 verwiesen, die mit der NORESS-Anlage an einem repräsentativen Fahrzeug durchzuführen sind.

### **3.7 Tiroler Model**

In Österreich gilt zudem entsprechend der Straßenverkehrsordnung ein Erlass [11], wonach Motorräder mit einem Standgeräusch von über 95 dB(A) von der Benutzung einzelner Straßen ausgeschlossen werden können. Die Anwendung dieses Erlasses führt bei davon betroffenen Motorradnutzern erwartungsgemäß zu Unverständnis. Die Gegner bringen hier das Argument vor, dass das Standgeräusch schon vom Namen her wenig mit dem Fahrgeräusch und damit der tatsächlichen Lärmbelastung durch fahrende Motorräder gemein hat. Sie untermauern dies unter anderem damit, dass verschiedene Motorräder bei gleichem

in den Zulassungspapieren eingetragenen Fahrgeräusch deutlich unterschiedliche Standgeräuschpegel aufweisen und so das eine Fahrzeug vom Fahrverbot betroffen ist, das andere jedoch nicht. So z.B. »bei gleichem Fahrgeräusch von 77 dB(A) hat die Suzuki GSX-1100 ein Standgeräusch von 96 dB(A) und der Suzuki Burgmann 400 von 84 dB(A)« oder »das Fahrgeräusch der Ducati Panigale Superleggera und ebenso der Ducati Multistrada V4S ist 77 dB(A), das Standgeräusch der Panigale beträgt 108 dB(A) und das der Multistrada 92 dB(A)« [12].

Aus technischer Sicht muss hierbei berücksichtigt werden, dass es sich, wie bereits zuvor ausgeführt, bei der Ermittlung von Fahr- und Standgeräusch um zwei völlig unterschiedliche Messverfahren und -setup handelt. Das Fahrgeräusch wird aus Pegelmessungen in einem Abstand von 7,5 m zu einem vorbeifahrenden Fahrzeug ermittelt. Damit erfolgen Pegelaufzeichnungen einer beweglichen (herannahenden und sich entfernenden) Quelle im »Fernfeld«, womit tendenziell Geräusche des gesamten Fahrzeugs erfasst werden können. Zudem wird das resultierende Fahrgeräusch aus Pegeln von Fahranteilen mit konstanter Geschwindigkeit und bei Vollast beschleunigten Fahranteilen berechnet. Das Standgeräusch ist hingegen ein reiner Schallpegelwert, der in einem konstanten Abstand von 0,5 m zur Abgasmündung gemessen wird. Beim Standgeräusch werden daher primär die Geräusche im direkten Umfeld der Abgasmündung erfasst. Ansaug- und Motorgeräusche sind ggf. bei dieser Messanordnung nicht pegelbestimmend. Zudem erfolgt verfahrensbedingt lediglich die Erfassung eines begrenzten Drehzahlbereichs (halbe Nenndrehzahl, falls diese über 5000 rpm beträgt). Neben diesen Unterschieden ist ferner zu bedenken, dass die gemessenen bzw. berechneten Schalldruckpegel ortsabhängig sind. Unter Halbfreifeldbedingungen, wovon in erster Näherung auszugehen ist, kann auf Grund des Abstandsgesetzes eine Umrechnung der Pegel gemäß folgender Formel erfolgen:

$$L_2 = L_1 - 10 \log \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \text{ [dB]}$$

Mit den zu den Pegel entsprechenden Abständen  $r_1$  und  $r_2$  zur für eine kugelförmig abstrahlenden Punktschall-Quelle.

Bei einem Vergleich der Absolutpegel ergibt sich alleine aus den unterschiedlichen Abständen beider zuvor erwähnter Messverfahren unter Annahme einer kugelförmig abstrahlenden Punktschallquelle ein Pegeldelta von rund 23,5 dB(A).

### 3.8 Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)

Nach § 49 der StVZO müssen Kraftfahrzeuge derart beschaffen sein, dass die Geräuschentwicklung das nach dem jeweiligen Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht übersteigt. Wie dieses »Maß« nun festzulegen ist, darüber wird an dieser Stelle keine Aussage getroffen. Ebenso werden keine Informationen

zur Definition des Technikstandes, bzw. wie diese Standards nachzuweisen oder zu überprüfen sind, gegeben. Es wird nur darauf hingewiesen, dass bei anzunehmender Nichterfüllung der gültigen Geräuschanforderungen eine Überprüfung der Schallpegel im Nahfeld angeordnet werden kann. Dies kann in der Weise interpretiert werden, dass für eine Überprüfung das Standgeräusch zu ermitteln ist. Eine Überprüfung wird jedoch insofern eingeschränkt, da die Messstelle in Fahrtrichtung des Fahrzeugs liegen muss oder andernfalls der zurückzulegende Umweg nicht mehr als 6 km betragen darf. Daher werden die Kontrollen in der Regel an Stellen mit ausreichendem Ausweichraum, wie Haltestellen oder nahegelegenen Parkplätzen durchgeführt. Die Aussagekraft dieses Gesetzes in Bezug auf eine Handhabe gegen Lärm bleibt gering, das das eigentliche Maß, auch einer möglichen Überschreitung, unscharf bleibt.

### **3.9 Kritikpunkte zu Normung und Regelungen**

#### **3.9.1 UN-ECE R41 / UN-ECE Regelung**

Mit der Einführung der erweiterten ASEP-Umfänge ist in Bezug auf realitätsnähere Fahrzustände sicherlich ein erster Schritt getan. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass mit diesen zusätzlichen Messungen auch ein deutlicher Mehraufwand einhergeht, der eine Ausweitung der Prüfstandkapazität beansprucht. Der häufigste Kritikpunkt besteht neben dem Einwand, dass entsprechende mit der Zuarbeit zur Normung beschäftigte Gremien zum Großteil aus der Motorradindustrie selbst besetzt sind, jedoch in der Tatsache, dass aktuell immer noch keine Grenzwerte für das Standgeräusch aufgenommen bzw. durch UN-ECE Regelungen eingeführt wurden. Gegenüber den Regierungsstellen in Europa einen Schritt weiter ist hier bereits der Rennsport-Verband in Frankreich. Laut [13] sollen ab 2024 die vorgegebenen Limits beim Standgeräuschpegel für Straßenmotorräder auf Rundstrecken von 102 auf 95 dB(A) verschärft werden.

#### **3.9.2 Dokumentation von Überschreitungen**

Ein zusätzliches Hindernis bei der Dokumentation von Verstößen gegen unnötige oder unzulässige Lärmbelastung dürfte auch die Tatsache sein, dass die Motorradfahrer bei einer Kontrolle direkt angehalten werden müssen, da bei der aktuell praktizierten Fahrerhaftung der Fahrer für eine eindeutige Identifizierung den Helm absetzen müsste. Selbst bei einer Änderung auf eine Halterhaftung wäre die Identifikation dadurch erschwert, dass Motorräder nur am Heck mit einem Nummernschild zur Identifikation ausgestattet sind und damit zwingend »von hinten« erfasst werden müssten.

Wie bereits zuvor erwähnt wird sich eine Kontrolle in der Praxis in den meisten Fällen auf eine Ad-Hoc-Standgeräuschüberprüfung beschränken müssen. Ohne Bewertung der Sinnhaftigkeit einer Ermittlung des Standgeräusches entsprechend UN ECE R41 in Bezug auf die tatsächliche vom realen Motorradverkehr ausgehende Lärmexposition sind folgende Probleme bzw. Kritikpunkte gegeben:

- Die in den Zulassungsbescheinigungen eingetragenen Pegel für das Standgeräusch unterliegen aktuell keinen Grenzwerten. Dies führt dazu, dass es im Grunde genommen egal ist, welchen Pegelwert ein Fahrzeug bei der Standgeräuschmessung erreicht. Damit ist zum einen keine Motivation für die Hersteller gegeben, »lärmarme« Fahrzeuge zu entwickeln. Andererseits haben Fahrer »lauter« Fahrzeuge bei Kontrollen sogar kaum etwas zu befürchten. In Motorradkreisen hört man, dass einschlägige Fahrzeuge mit einem hohen Pegelwert bei gezielten Lärmkontrollen erst gar nicht überprüft werden, da die Aussicht der Kontrolleure auf Detektion eines (noch) höheren als im Zulassungsbescheid eingetragenen Wertes in der Regel nicht gegeben ist und die Fahrzeuge damit nicht zu beanstanden sind.
- Der Pegel der Standgeräuschmessung kann überwiegend nur zum Nachweis einer »dauerhaften« Störung oder Manipulation genutzt werden. Fahrzeuge, die über möglicherweise illegale aber schwer zu erkennende »Einstellmöglichkeiten«, die aktiv oder automatisch für die Standgeräuschmessung in einen anderen Modus schalten, können nur bedingt erkannt werden.
- Wird bei einer Kontrolle dennoch ein gegenüber dem im Zulassungsbescheid eingetragenen Wert höherer Pegel (inkl. einer zulässigen Toleranz) ermittelt, muss nachgewiesen werden, ob es sich hierbei um eine geringfügige Ordnungswidrigkeit (z.B. Verschleiß durch Alterung, gelockerte Befestigung), eine vorsätzliche Manipulation, die jedoch nachgewiesen werden muss, oder gar Straftat (z.B. Urkundenfälschung) handelt. Dies bedarf in der Regel eines technisch sachkundigen und geschulten Personals, da auch die Verhältnismäßigkeit (Ordnungswidrigkeit vs. Beschlagnahmung und gutachterlicher Beurteilung) der entsprechenden Sanktionierung gewahrt bleiben soll. Insbesondere falls vor Ort keine eindeutige Beweisführung erfolgen kann und der Fahrer sein Fahrzeug lediglich innerhalb einer gesetzten Frist nochmalig vorführen muss, ist gegebenenfalls ein (temporärer) Rückbau auf den Originalzustand nicht auszuschließen.

Es muss auch hinterfragt werden, ob überhaupt genügend geschultes Personal und für die Akustikmessungen geeignetes Equipment sowie der Wille bzw. die Priorisierung der Aufgaben bei den Kontrollgremien (z.B. Polizei) vorhanden ist, um überhaupt einen ggf. flächendeckenden Einsatz von Lärmkontrollen durchführen zu können. Ferner sollte überprüft werden, in wie weit Sanktionen ihre Wirksamkeit bei den belangten Fahrzeugführern entfalten. Hier sollte in erster Linie geprüft werden, wie wahrscheinlich es ist, dass ein Fahrzeug überhaupt kontrolliert wird, bei der Kontrolle als rechtmäßig »auffällig« enttarnt wird und wie »schmerzhaft« gegebenenfalls die Konsequenz, wie Bußgeld, Fahrverbot oder Stilllegung für den betroffenen Nutzer sein werden.

### 3.9.3 Zulassungshürden für geräuschreduzierte Nachrüstungen

Nach Überwinden der eingangs erwähnten Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Auffindbarkeit von den aktuell gültigen oder ggf. in naher Zukunft erscheinenden Grenzwerten und Regelwerken, ist nicht die letzte Hürde genommen. Dass Gesetzestexte für Laien oft nur schwer lesbar bzw. interpretierbar sind, fördert sicher nicht die Motivation bei dem einen oder anderen Tüftler oder Ingenieur bzw. klein- oder mittelständigen Unternehmens sich der Vermarktung eines geräuscharmen, homologationsrelevanten Produktes zu widmen. Doch selbst wenn er dies tut, ergeben sich aktuell in der Praxis weitere – sicherlich nicht abschließende- Hindernisse.

- Die Verwendung oder der Einbau einer geräuscharmen Abgasanlage (AGA) wird z.B. dahingehend erschwert, dass eine unter vertretbarem Aufwand notwendige Typgenehmigung von AGAs nur dann möglich ist, wenn die Leistungs- und Abgaswerte max. 5 % von der originalen Serienanlage abweicht. Dies kann dazu führen, dass ggf. technische Möglichkeiten einer deutlichen Lärmreduzierung von AGAs nicht ausgeschöpft werden, wenn diese zwar die Akustik verbessern aber bei den übrigen Eigenschaften zu einer größeren Abweichung gegenüber der homologierten Erstausrüsteranlage führen. Eine aufwändige Homologation einer geräuschoptimierten AGA wird für einen AGA-Hersteller oft auf Grund der hohen Kosten bei insgesamt relativ geringen Umsätzen scheitern.
- Eine Eintragung von geringeren dB(A)-Werte der geräuscharmen AGA in der Zulassungsbescheinigung durch Einzelabnahme am jeweiligen Fahrzeug wäre prinzipiell denkbar. Auch hierbei besteht jedoch ein zeitlicher und kostenintensiver Aufwand, da die Prüforganisationen das Fahrzeug entsprechend untersuchen müssten. Dies würde nach aktuellem Stand mindestens aufwändige Vorbeifahrt-Geräuschmessungen nach UN ECE R41 bedeuten.
- Zudem ist fraglich, ob für die notwendigen Überprüfungsmessungen die Anzahl der verfügbaren »frei zugänglichen« zertifizierten Teststrecken, die überwiegend bei den Fahrzeugherstellern vorhanden sind, ausreichend wären.

### 3.9.4 Weitere Hindernisse beim Einbau geräuscharmer Abgasanlagen

Aktuell werden in den Medien und Motorradkreisen geplante Verschärfungen der Grenzwerte diskutiert. Dabei tauchen auch Forderungen von sehr niedrigen dB-Werten von z.B. 80 dB(A) für das Standgeräusch auf, wie z.B. in der Kampagne [14] des Baden-Württembergischen Ministeriums für Verkehr. Wenn gleich derartige Forderungen möglicherweise nur für Neufahrzeuge gelten sollen, bleibt trotzdem die Befürchtung, dass Bestandsfahrzeuge ggf. ähnlich dem Tiroler Model in Zukunft von diversen Strecken »ausgesperrt« werden. Einige Motorradfahrer scheuen aber aktuell finanzielle Mittel zur Geräuschreduzierung in die Hand zu nehmen, da hier noch keine konkreten Vorgaben vorhanden

sind. Es existiert die Ungewissheit, ob sie mit der dadurch erzielten Geräuschminderung auch dauerhaft von Fahrbeschränkungen ausgenommen wären. Ferner sind für die dann geltenden Pegelangaben und Grenzwerte exakte Angaben zur Messgröße und zum Mess-Setup notwendig.

Im Zuge von Grenzwertverschärfungen sollte zudem berücksichtigt werden, was mit vertretbarem Aufwand technisch realisierbar ist. Eine Studie im Auftrag der »European Association of Motorcycle Manufacturers« [15] zeigt zwar bei einigen exemplarischen Untersuchungen zum Teil deutliche Pegelreduzierungen beim Vorbeifahrtgeräusch. Allerdings muss hierbei berücksichtigt werden, dass es sich im Hinblick auf den Praxiseinsatz bezüglich Bauraum, Gewicht und Leistungseinbußen teilweise um bedingt umsetzbare und oft mit hohem Aufwand und Kosten einhergehende Ansätze handelt. Zudem müssten derartige Maßnahmen, unter anderem aus den im vorherigen Kapitel genannten Gründen, eher durch die Fahrzeughersteller umgesetzt werden.

## 4 Fahrzeugbestand nach Zulassungsbescheinigung

### 4.1 Fahrzeugbestand und Geräuschpegel

Hinsichtlich der Geräuschbelastung von Kraftfahrzeugen können aus der Zulassungsbescheinigung Teil I, Feld U.1 und Feld U.3 die Werte in dB(A) für das Stand- und Fahrgeräusch entnommen werden. Für das Jahr 2020 ergeben sich für Deutschland auf Grund der in der Zulassungsbescheinigung eingetragenen Stand- und Fahrgeräusche von PKW und Krafträder die in Bild 3 dargestellten Bestände.

Hier ist erkennbar, dass die Pegelhäufigkeitsverteilung zwischen PKW und Kraftrad jeweils ähnlich verläuft. Die Pegel liegen beim Kraftrad jedoch insgesamt ca. 7 bis 10 dB(A) höher. Berücksichtigt man, dass die Anzahl der PKW gegenüber Krafträder circa um den Faktor 12 höher liegt und bildet aus dem Pegel und dem jeweiligen Bestand einen (fiktiven) Summenpegel, so ergeben sich die in Tabelle 4 aufgeführten Werte. Mit dieser sehr rudimentären Abschätzung ergibt sich, dass in Summe betrachtet, die Geräusche aus dem gesamten PKW-Bestand um rund 1 bis 3,5 dB(A) höher liegen.

Die Geräusche aus dem Schwerlastverkehr, das zeigt beispielsweise eine Untersuchung für Baden-Württemberg [17], führen im Allgemeinen zu wesentlich höheren Schallpegel gegenüber Pkw und Motorräder. Dort wurden bei 55 % der LKW-Vorbeifahrten Schallpegel mit über 90 dB(A) registriert, während dies nur auf etwa 25 % der Motorräder bzw. nur 3 % der Pkw zutrifft. Im Vergleich zu weiteren Verkehrsteilnehmern ist die anteilige Geräuschbelastung durch Motorräder gering.

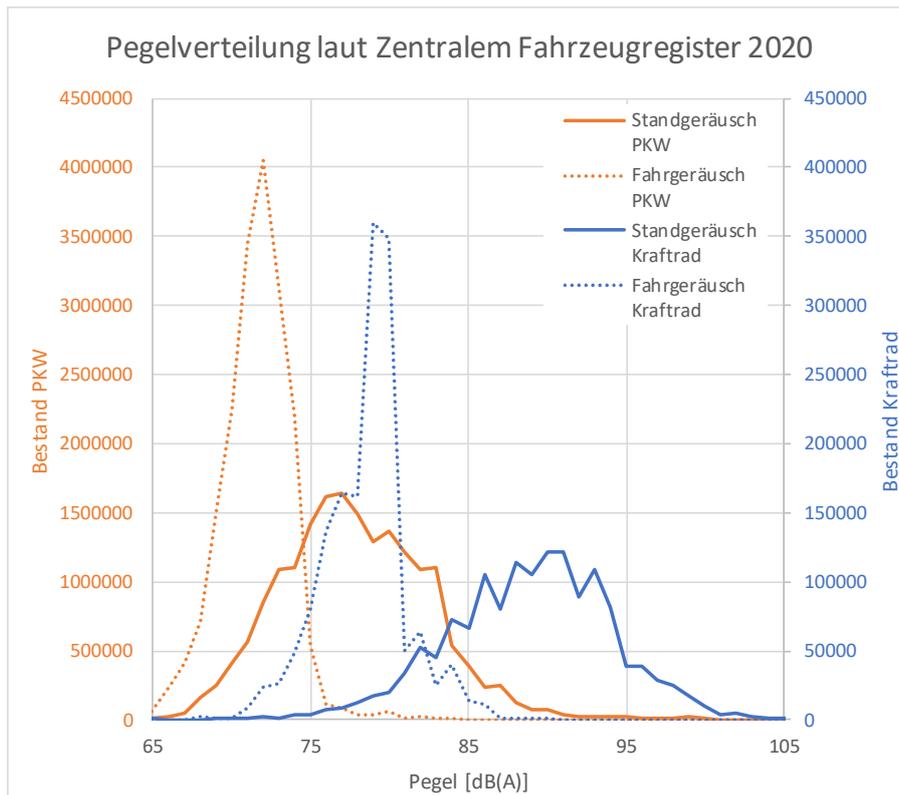


Bild 3: Stand- und Fahrgeräusche von PKW und Krafträder (Bestand im Zentralen Fahrzeugregister 2020 [16]). Hinweis: Die Skalierung bei den PKW entspricht dem Faktor 10 gegenüber Krafträdern.

Tabelle 4: Aufsummierte (fiktive) Pegel (Pegel mal Bestand entsprechend folgender Formel:  $10 \log(10^{L/10} * \text{Bestand})$ ) der Stand- und Fahrgeräusche von PKW und Krafträder. (Bestand im Zentralen Fahrzeugregister 2020 [16]).

Standgeräusch	Standgeräusch	Fahrgeräusch	Fahrgeräusch
Kraftrad	PKW	Kraftrad	PKW
153,5	154,4	141,5	145,0

#### 4.2 Stand- und Fahrgeräuschpegel des Kraftradbestands in Baden-Württemberg

Der Bestand an Krafträdern im Land Baden-Württemberg beträgt laut Zentralen Fahrzeugregister 2020 (Veröffentlichung 4. April 2022) [16] rund 633 500 Fahrzeuge. In den Daten des Kraftfahrt-Bundesamts sind aber auch Fahrzeuge mit sehr geringen Pegeln für das Standgeräusch enthalten, die wohl eher auf Eintragungs- oder Übertragungsfehler als auf tatsächlichen Messwerten beruhen dürften. Bereinigt um diese nicht plausiblen Eintragungen beim Fahrgeräusch oder Standgeräusch mit Pegelangaben kleiner 20 dB oder größer 150 dB, wurden die Auswertungen nach Bild 4 bis Bild 6 durchgeführt. Aus der

in Bild 4 dargestellten Pegelverteilung ist erkennbar, dass die Hälfte der in Baden-Württemberg zugelassenen Fahrzeuge einen Fahrgeräuschpegel von 78 oder 79 dB(A) aufweisen. Bei ca. 7 % der Bestandsfahrzeuge beträgt das Fahrgeräusch mehr als 81 dB(A) und liegt damit oberhalb des aktuell höchstzulässigen Grenzwertes für neu in den Verkehr zu bringende Fahrzeuge. Betrachtet man die Pegeldifferenz zwischen dem Stand- und Fahrgeräusch so zeigt Bild 5, dass mit zunehmendem Standgeräusch tendenziell auch die Pegeldifferenz ansteigt. Der Fahrgeräuschpegel unterschiedlicher Krafträder bei gleichem Standgeräuschpegel liegt selbst ohne Berücksichtigung einzelner »Ausreißer« durchaus bei 30 dB(A).

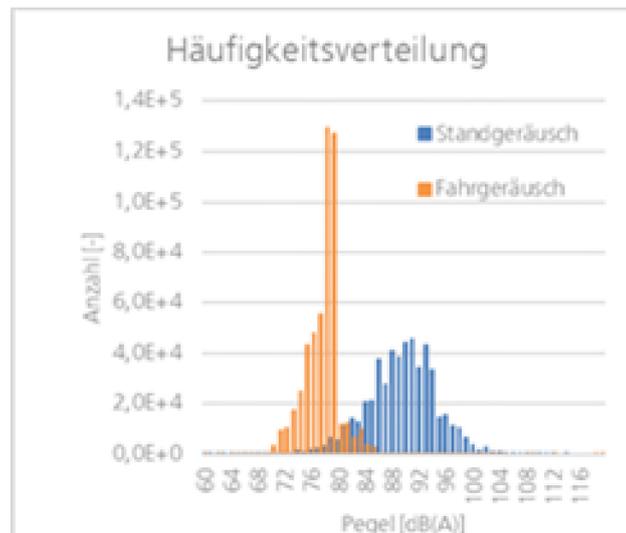


Bild 4: Stand- und Fahrgeräusche der in Baden-Württemberg gemeldeten Krafträder nach [16].

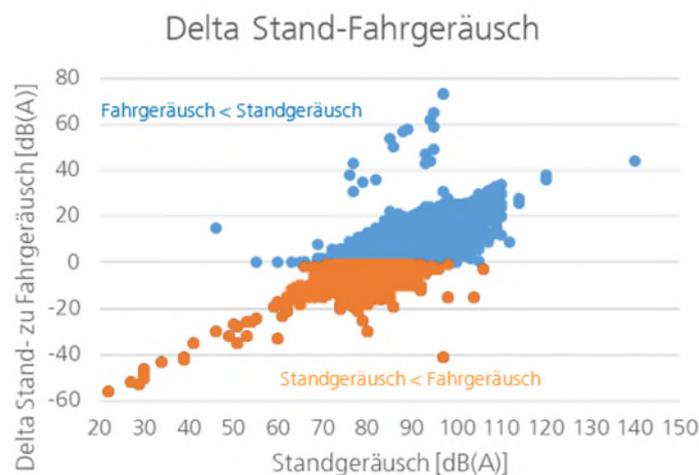


Bild 5: Pegeldifferenz zwischen dem Stand- und Fahrgeräusch der Krafträder in Abhängigkeit vom Standgeräusch nach [16].

Aus Bild 6 kann entnommen werden, dass Krafträder mit höherer Nennleistung nicht zwingend lauter gegenüber schwach bis mittelstark motorisierten Fahrzeugen sind. Zumindest bei ältere Fahrzeuge (Erstzulassung vor 2017) liegen deren Pegel sowohl beim Stand- als auch beim Fahrgeräusch sogar unterhalb einem Großteil der Fahrzeuge mit geringer Nennleistung. Die Streubreite zwischen »lauten« und »leisen« Fahrzeugen ist ab 2017 zudem deutlich geringer und die Maximalpegel fallen tendenziell niedriger aus. Allerdings ist beim Standgeräusch ab 2017 ein Trend zu höheren Pegeln mit zunehmend höherer Nennleistung zu erkennen. Fahrzeuge mit einer Nennleistung größer 170 kW wurden dagegen ab 2017 nicht mehr in Baden-Württemberg zugelassen.

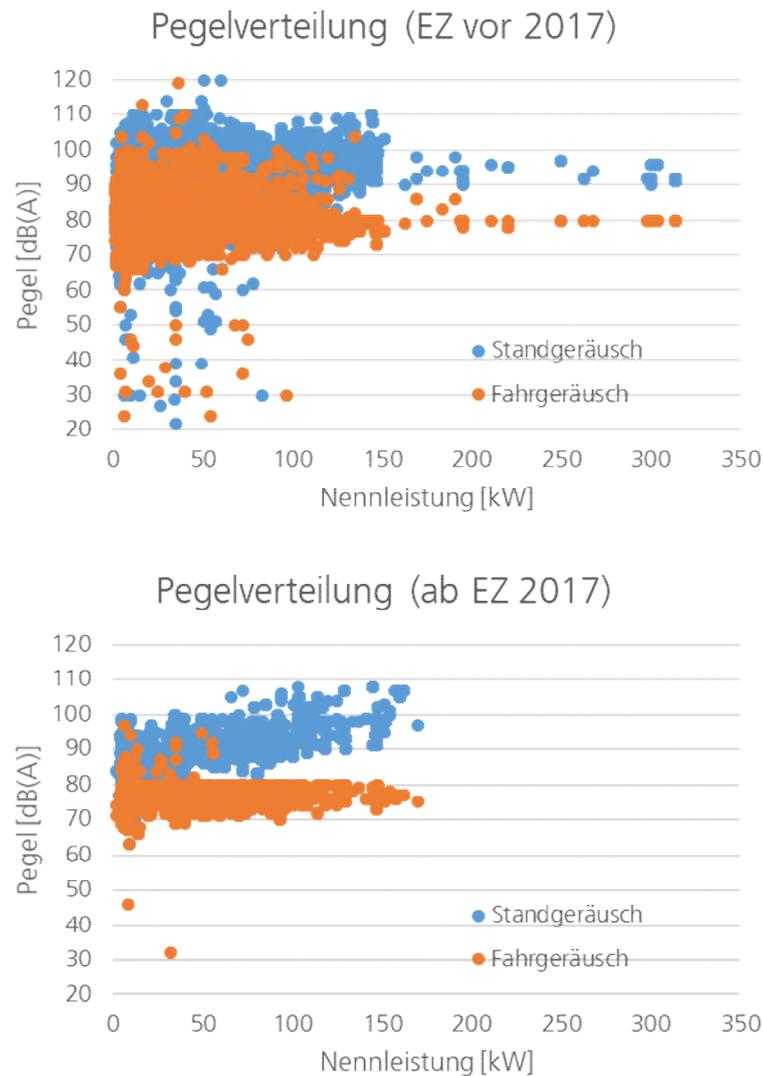


Bild 6: Stand- und Fahrgeräusche der in Baden-Württemberg gemeldeten Krafträder in Abhängigkeit der Nennleistung für Erstzulassung (EZ) vor und ab dem Jahr 2017 [16].

### 4.3 Reale Fahrgeräuschpegel in Baden-Württemberg

In Bild 7 sind auf in Baden-Württemberg verteilten Straßenabschnitten ermittelte Vorbeifahrtpegel aufgeführt. Bei dieser Erhebung erfolgten Messungen mittels Mikrofonen, die in Leitpfosten am Straßenrand integriert waren. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass diese relativ nahe an der Straße und damit auch nahe am vorbeifahrenden Fahrzeug standen. Gegenüber einem bei der Homologation des Fahrzeugs ermittelten Vorbeifahrtpegel in 7,5 m Abstand zum Fahrzeug sind auf Grund der Schallausbreitung einer Schallquelle im Freien (Abstandsgesetzes) beide Schalldruckpegel nicht direkt miteinander vergleichbar (siehe hierzu auch Ausführungen in Kapitel 8.2). Unter Annahme eines Abstandes von 2 m zwischen Motorrad bei der Vorbeifahrt auf Höhe des Leitpfostens und selbigem, kann für den Vergleich mit dem Vorbeifahrtpegel in 7,5 m Abstand in erster Näherung ein Pegelabzug von 11,5 dB(A) angesetzt werden.

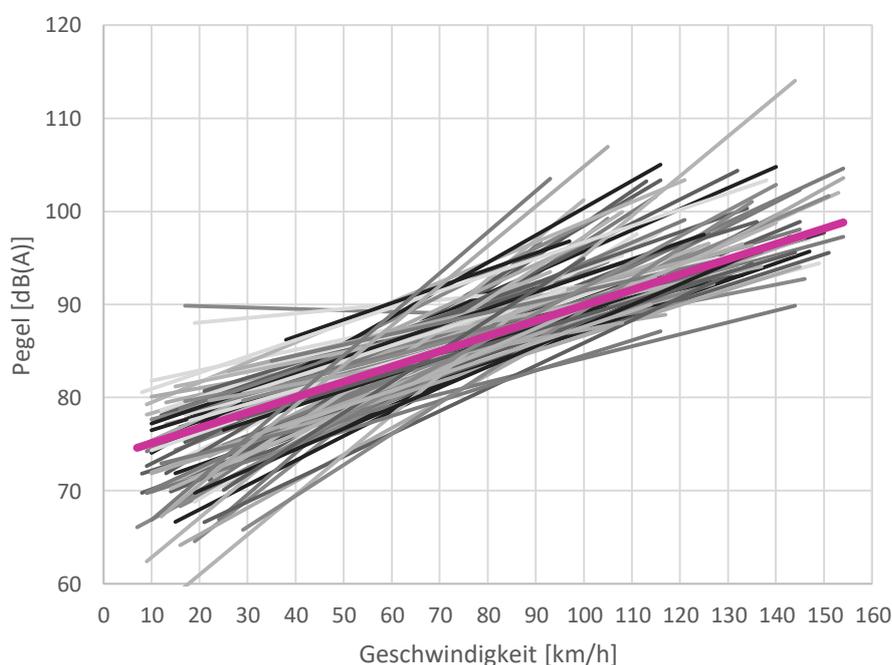


Bild 7:

Im Feld ermittelte Fahrgeräusche (Vorbeifahrtpegel) über der Fahrgeschwindigkeit an über 100 in Baden-Württemberg verteilten Erhebungsstellen [17]. Lineare Regression aus den Daten der einzelnen Erhebungsstellen (Grautöne), sowie über alle Erhebungsstellen (magenta).

Unter dieser Annahme wäre davon auszugehen, dass der aktuell für die Homologation von Motorrädern zulässige Grenzwert von 77 dB(A) (umgerechnet auf 2 m Abstand: 88,5 dB(A)) im Mittel über alle Strecken und Fahrzeuge bei Fahrgeschwindigkeiten von circa 90 km/h erreicht wird. Daraus geht aber auch hervor, dass bei der Hälfte der Strecken deutlich höhere Pegel auftreten bzw. dieser Grenzwert im Mittel bereits bei deutlich geringerer Geschwindigkeit erreicht wird. Da es sich auch bei den einzelnen Strecken zudem um gemittelte Pegelwerte handelt, liegen die Geräuschpegel, die durch einzelne Vorbeifahrten erzeugt werden, und die damit einhergehende Lärmbelastung nochmals höher.

## 5 Homologationsmessungen vs. reale Nutzung

Auch wenn Fahrzeuge die Lärmgrenzwerte bei ihren Homologationsuntersuchungen einhalten, kann es durch eine entsprechende, »provokante« Fahrweise zu (auch gegenüber dem Grenzwert) deutlich höheren Schalldruckpegeln kommen. Dazu müssen nicht zwingend bauliche, nicht gesetzeskonforme Veränderungen am Fahrzeug (z.B. entfernen von Drossleinrichtungen oder Abgasanlagen ohne Schalldämpfer) erfolgen. Insbesondere Bestandfahrzeuge und Fahrzeuge, die noch nicht unter Berücksichtigung erweiterter ASEP-Umfänge homologiert wurden -und daher entsprechend nur bei einem relativ eingeschränkten Fahrzustand die Grenzwerte einhalten (müssen)- können bei einem Großteil der möglichen Fahrzustände und typischen realen Fahrsituationen Geräuschpegel oberhalb des Grenzwerts auftreten. Dies kann auch dann zutreffen, wenn die Fahrzeuge in ähnlichen, aber nicht völlig zum Messprogramm bei der Homologation identischen Betriebszuständen gefahren werden.

Zudem sind im Zubehörhandel angeblich legale Systeme erhältlich, die diesbezüglich sogar beworben werden: »Unsere Elektronik sorgt dafür, dass das Soundsystem dem Biker ein einzigartiges Sounderlebnis bietet und zugleich immer legal gefahren werden kann. Die Elektronik hält sich immer an die geltenden Vorschriften und ist damit 100% legal.« [18]. Dahinter verbirgt sich ein System, das eine Abgasklappanlage auf Knopfdruck durch den Fahrer bzw. automatisch in Abhängigkeit von Fahrsituationen steuert. Ebenfalls –wohl unter dem Deckmantel »Fahrzeugschutz«- werden Geräuschpegelerhöhungen gegenüber Leistungsrosselung in Kauf genommen: »Wenn Du Dich im OFF Mode befindest und ESE merkt, dass es dem Fahrzeugmotor zu heiß wird (zum Beispiel an einer roten Ampel) öffnet die Klappe automatisch ein Stück, um den Abgasgedruck zu reduzieren und Hitze entweichen zu lassen« [18]. Eine geöffnete Abgasklappe führt jedoch in der Regel zu höheren Geräuschpegeln. Legal bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die nachrüstbare Abgasanlage eine Typgenehmigung in einem beliebigen EU-Staat erfolgreich absolviert hat und dann ohne weitere Prüfung in allen anderen EU-Mitgliedsstaaten zum Anbau an entsprechende Fahrzeuge freigegeben ist. Laut UN-ECE Regelung Nr. 92 ist dabei für die Prüfung ein repräsentatives Prüffahrzeug zu wählen.

Inwieweit derartige Anlagen im Einklang mit § 49 der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung [19] stehen, wonach Kraftfahrzeuge so beschaffen sein müssen, dass die Geräuschentwicklung das nach dem jeweiligen Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht übersteigt, muss von juristischer Seite geklärt werden.

### 5.1 Sensibilisierung zu einer geräuschärmeren Fahrweise

#### 5.1.1 Lärmdisplays

Bei der Sensibilisierung der Motorradfahrer zu einer geräuschärmeren Fahrweise erweisen sich sogenannte Lärmdisplays, die einen Hinweis auf zu laute Fahrzeuge geben, als ein wenn auch kleiner Lichtblick. So konnte z.B. in einer

Schweizer Studie [20] deren Wirksamkeit belegt werden. Hier lagen die Pegelreduzierungen, die teilweise sogar auch nach Abbau der Displays anhielt, überwiegend im Bereich zwischen 0,5 dB und 2 dB. Die Lärmdisplays weisen den jeweiligen Fahrer auf hohe Lärmemissionen hin bzw. basieren aktuell auf dem Appell zu einer freiwilligen geräuschärmeren Fahrweise.

### 5.1.2 Lärmblitzer

In Frankreich werden sogenannte Lärmblitzer auf Französisch Méduse erprobt. Dabei handelt es sich um vier Mikrofonarme, die eine richtungsabhängig Zuordnung der Lärmquelle ermöglichen sollen. Kombiniert wird dies mit einer Kamera zur Kennzeichenerfassung, damit in einer späteren Phase des Projekts eine Identifizierung des Halters erfolgen kann. In Deutschland müsste für ein derartiges Vorgehen eine entsprechende Rechtsgrundlage geschaffen werden.



Bild 8:  
Lärmblitzer »Méduse«. Foto aus [21].

Bei Barcelona in Spanien werden ebenfalls mobile Anlagen getestet und in England sind Pilotversuche zu Lärm-Kameras in mehreren Städten am Laufen [22]. Bei der Ankündigung wurde jedoch auch bekanntgegeben, dass bei Vorversuchen an einem beliebten Motorradtreffpunkt im Jahr 2019 von 9 902 Fahrzeugen nur 3 Motorräder, dafür aber 751 Autos zu laut waren, und bei einem weiteren Versuch mit 51 941 erfassten Fahrzeugen nur ein Motorrad gegenüber 151 zu lauten Autos auffiel. Auch in Kalifornien / USA sollen in einem 5-jährigen Pilotprojekt ab 2023 ähnlich zur Méduse alle Motorräder, die einen Pegel über 80 dB erzeugen automatisch im Vorbeifahren geblitzt und sanktioniert werden [23].

### 5.1.3 Automobilclubs / Verbände

Auch Automobilclubs und Verbände appellieren an die Vernunft der Motorradfahrer und geben »Empfehlungen« zu einer »lärmmarmen« Fahrweise oder beteiligen sich an Kampagnen. Neben Schildern und Werbetafeln entlang der Straße werden z.B. auf der Homepage oder bei Präsentationen entsprechende Ratschläge unterbreitet. Dazu zählen z.B. »Motorradauswahl mit geringem Fahrgeräusch«, »Originale Auspuffanlage und Endschalldämpfer nicht verändern und nur umrüsten, falls diese leiser sind«, »Fahren bei geringer Drehzahl

(auch übermäßiges rückschalten vermeiden)«, »Fahrzustände so wählen, dass ggf. vorhandene Drosselklappen geschlossen bleiben (moderat Gas geben)«, »Exzessive Beschleunigungen« vermeiden.



Bild 9:  
Aktion »Leise kommt an« des ADAC [24].

Diese Ratschläge sind sicher gut gemeint, sollten allgemein bekannt sein, schonen zudem oft auch den Geldbeutel und sind bei einer entspannten gemütlichen Fahrweise anwendbar. Gegebenenfalls entspricht dies jedoch nicht einer sportlichen Fahrweise bzw. fehlt dem einen oder anderen Fahrer etwas, wenn es nicht emotional, dynamisch oder laut genug ist. Die akustische Feedbackfunktion der Maschine auf das empfundene Fahrerlebnis des Nutzers sollte nicht unterschätzt werden.



Ruhe bitte: Plakat in der Nähe von Wermelskirchen (Nordrhein-Westfalen) Foto: Goldmann / picture alliance

Bild 10:  
Kampagne gegen Motorradlärm [25]

### 5.1.4 Weitere Initiativen von Bürgern

Neben vom Motorradlärm besonders betroffenen Anwohnern, die sich mit teilweise kreativen und selbstgemachten Schildern mitteilen, wird auch auf kommunaler Ebene bis hin zur Landes- oder Bundesebene gegen übermäßigen Motorradlärm mobil gemacht.



Bild 11:  
»Selbstgebastelte« Hinweisschilder von Anwohnern [26]

So existiert beispielsweise vom Land Baden-Württemberg ein umfangreicher Forderungskatalog [27]. Beispielsweise werden Änderung von Genehmigungs- und Zulassungsregeln mit niedrigen Lärmgrenzwerten und realitätsnahen Messzyklen, insbesondere bei der Typgenehmigung von Zubehör oder Klappen-AGAs gefordert. Von Herstellern und Händlern wird erwartet, dass nur noch leisere Motorräder hergestellt bzw. angeboten werden. Hier wird besonders auf lärmarme Motorräder mit Elektroantrieb hingewiesen. Auch wird an die Nutzer appelliert rücksichtsvoll und leise zu fahren. Zudem ergeht die Aufforderung an eine stärkere Verkehrsüberwachung und Ausweitung der Kontrollmöglichkeiten sowie eine entsprechend Ahndung mit ggf. höheren Bußgeldern bei vorsätzlich lärmerzeugender Fahrweise oder gar Manipulation am Fahrzeug. Geschwindigkeitsbeschränkungen und zeitlich beschränkte Verkehrsverbote werden ebenfalls vorgebracht. Doch gerade bei den Beschränkungen bedarf es wohl noch gesetzlicher Änderungen, um beispielsweise Lärmspitzen einzelner Fahrzeugkategorien berücksichtigen zu können.

## 5.2 Weitere Ansätze

Zu den bisher genannten Maßnahmen zur Sensibilisierung der Verkehrsteilnehmer hinsichtlich einer geräuschärmeren Fahrweise und Maßnahmen zur Lärmreduzierung und deren Durchsetzung sollen im folgenden weitere Denkanstöße gegeben werden.

Neben einem generellen Fahrverbot für laute Fahrzeuge auf einzelnen Streckenabschnitten oder zeitliche Beschränkungen, könnte auch alternativ eine Begrenzung der Maximaldrehzahl angesetzt werden. Eine Überprüfung auf Einhaltung der Maßnahme könnte z.B. mittels Akustikmessung sowie Frequenz- und Ordnungsanalyse stattfinden. Aus der dominierenden Ordnung kann bei Verbrennungsmotorfahrzeugen mit Kenntnis der im Zulassungsschein enthaltenen Daten zum Motor (Takt der Zylinder) direkt (unter Berücksichtigung des Dopplereffekts) auf die Drehzahl eines vorbeifahrenden Fahrzeuges geschlossen werden.

Da einzelne Fahrer möglicherweise auf ein lautes »Klangerlebnis« ihrer Fahrzeuge nicht verzichten wollen, könnten akustische Feedbacksysteme (Audiosysteme) dem Fahrer einen künstlich erzeugten »Zielsound«, wie im PKW-Bereich schon üblich dargeboten werden. Denkbar sind z.B. gefilterte bzw. verstärkte oder angereicherte Motorradgeräusche am Fahrerohr.

Für alle geräuschreduzierenden Maßnahmen und Umrüstungen bzw. für per se leise Fahrzeuge könnten gegebenenfalls finanzielle Anreize (z.B. durch reduzierte Steuersätze, Zuschüsse, ...) geschaffen werden. Gegebenenfalls könnten diese durch Zusatzabgaben bei lauten Fahrzeugen kompensiert werden.

Auch die »Attraktivität« einer Strecke in Bezug auf eine geräuschbetonte Fahrweise sowie die daraus resultierenden Geräusche sollten nicht außer Acht gelassen werden. Neben den oben erwähnten Nutzungseinschränkungen könnten auch Überholverbote für Kradfahrer (bei entsprechender Kontrolle auf Einhaltung) nützlich sein. Gerade gut ausgebaute Straßen besitzen gegenüber kurvenreichen Straßen möglicherweise eine verminderte Attraktivität zum übermäßigen Beschleunigen / Herunterschalten. Gleiches gilt für zum Teil künstlich geschaffene Hindernisse, vor denen gerne noch schnell »Gas« gegeben wird, um nicht vor dem Gegenverkehr stoppen zu müssen. Wobei andernfalls in der Regel mit Bremsen / Herunterschalten und erneutem Anfahren / Beschleunigen ebenfalls eine unnötige Lärmquelle geschaffen ist. Auch weitere Behinderungen eines »flüssigen Verkehrs« z.B. durch nicht abgestimmte Ampelschaltungen oder der unnötige Betrieb der Anlagen außerhalb verkehrsreicher Zeiten könnte zu einer Lärmreduzierung beitragen.

## 6 Geräuschbelastung der Motorradfahrer

Während der von den Motorrädern abgestrahlte Schall bei Anwohnern von Straßen überwiegend als störender Lärm empfunden wird, bewerten die Motorradfahrer diesen oft positiv als Sound. Dennoch darf nicht ganz außer Acht

gelassen werden, dass die Geräusche am Ohr des Fahrzeugführers auch beachtliche Werte annehmen können. Neben einer möglichen Gesundheitsgefährdung kann dadurch gegebenenfalls auch die Wahrnehmung von Signal oder Warntönen aus der Umgebung, wie z.B. Fanfaren, akustische Signalanlagen von Einsatzfahrzeugen oder Bahnübergänge beeinträchtigt werden. Zudem müssen bei Arbeitnehmern, die Motorräder während ihrer Tätigkeit nutzen, Arbeitsschutzbedingungen eingehalten werden.

Neben den vom Motorrad (Antriebsstrang sowie Nebenaggregate) selbst induzierten Geräuschen können auch Windgeräusche, die überwiegend von Verwirbelungen am Helm herrühren, ein Thema sein. Hierzu wurden bereits Untersuchungen an verschiedenen Helmmodellen durchgeführt. Ende der 80-er Jahre des letzten Jahrhunderts wurden z.B. für einen ungünstigen Helm bei sehr hohen Geschwindigkeiten Schalldruckpegel von bis zu 120 dB(A) ermittelt [28]. Weitere Studien zur Lärmbelastung von Motorradfahrern [29] weisen auf äquivalente Dauerschallpegel zwischen 63 und 90 dB(A) im Stadtverkehr hin, wobei die Gegensprechanlage hier die höchsten Spitzenpegel verursachte. Auf freier Strecke ist hier von Pegeln bis zu 105 dB(A) die Rede. Eine Belastung mit diesem Pegel für nur 15 Minuten würde nach dieser Studie den empfohlenen Höchstwert von 90 dB(A) für einen 8-Stunden-Arbeitstag überschreiten. Eine Untersuchung zu drei Motorradhelmen kommt zu dem Ergebnis, dass die Helme im Frequenzbereich unter 250 Hz im Wesentlichen kein Schutz gegen Außengeräusche bieten und im Frequenzbereich über 500 Hz die Dämpfung linear um 8-9 dB pro Oktave bis zu ca. 30 dB bei 8 kHz zunimmt [30].

Als »Abhilfemaßnahme« werden in der Literatur z.B. die Verwendung von Gehörschutzstöpsel vorgeschlagen. In [31] wurden Käufern neuer Motorradhelme am Verkaufsort ein Satz Gehörschutzstöpsel und ein Beratungsblatt zur Verfügung gestellt. Die Benutzungsrate von Gehörschutzstöpseln konnte durch diese Maßnahme deutlich von 27 % auf 83 % gesteigert werden. Ebenfalls wurden in dieser Studie verschiedene aerodynamische und schalldämpfende Änderungen an den Helmen vorgenommen, von denen jedoch eine signifikante Verringerung der Pegel im Helm nur durch den Einbau von »Standard«-Gehörschutzkapseln unter der Helmschale erzielt wurde. Damit konnten die Geräuschpegel, verglichen mit bekannten Durchschnittswerten von 95 dB(A) bei 22 m/s bzw. 107 dB(A) bei 36 m/s, auf 84 dB(A) und 93 dB(A) reduziert werden.

## 7 Fahrzeugauswahl für akustische Untersuchungen

Da zu Beginn der Arbeiten die Datensätze des Kraftfahrbundesamtes mit Informationen zu den aktuell in Deutschland bzw. Baden-Württemberg zugelassenen Fahrzeugmodellen noch nicht vorlagen, wurde an Hand von Recherchen im Internet eine Datensammlung zu aktuell gängigen Motorradmodellen angelegt. Aus ca. 900 Fahrzeugen wurde unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit bzw. Zugänglichkeit eine Auswahl an repräsentativen Testkandidaten entsprechend der gängigen Kategorien Tourenmotorrad, Adventure Tourer, Supersport, Naked Bike, Chopper, Allrounder und Enduro/Supermoto sowie E-Motorrad ge-

troffen. In den Wintermonaten bestand das Problem, dass die generelle Verfügbarkeit von Testfahrzeugen auf Grund der noch nicht begonnenen Motorsaison eingeschränkt war. Bei E-Fahrzeugen ist mangels Verfügbarkeit auf dem Markt die Fahrzeugauswahl zudem insgesamt noch sehr überschaubar.

## 7.1 Untersuchte Fahrzeuge

Aufgrund der relativ geringen Anzahl an untersuchten Fahrzeugen im Vergleich zu einer Vielzahl auf dem Markt verfügbaren Modellen, erheben die in dieser Arbeit aufgeführten Ergebnisse nicht den Anspruch einer repräsentativen Darstellung der Geräuschabstrahlung der sich im Verkehr befindlichen Motorräder. Sie soll vielmehr anhand repräsentativer Vertreter der verschiedenen Gattungen die Datenbasis für eine Bestandsaufnahme der Bandbreite der Geräuschabstrahlung von Motorrädern liefern. Folgende in Tabelle 5 aufgeführten neun Testfahrzeuge, von denen im Anhang A.2 in Bild A 4 bis Bild A 16 Fotos zu finden sind, wurden in die Untersuchungen einbezogen.

Tabelle 5:  
Auswahl der Motorräder für die Akustikuntersuchungen.

Hersteller Typ	Motorbauart / Zylinderanzahl	Antrieb	Nenn-Leistung [kW]	Standgeräusch [dB(A)]	Fahrgeräusch [dB(A)]	Gewicht [kg]	PMR -	Kategorie
Harley-Davidson Forty Eight *	V-Motor 2- Zylinder	Riemen	49	98	76	252	149,8	Chopper
Ducati Diavel 1260	V-Motor 2-Zylinder	Kette	117	102	77	247	363,4	Allrounder
Ducati Panigale V4 **	V-Motor 4-Zylinder	Kette	157,5	105	76	200	572,7	Supersport
Yamaha Tracer 9GT	Reihenmotor 3-Zylinder	Kette	88	96	75	220	298,3	Tourer
Husqvarna 701 Supermoto	Stehend / 1-Zylinder	Kette	55	90	77	160	234,0	Enduro / Supermoto
BMW R1250 GS	Boxermotor 2-Zylinder	Kardan	100	88	76	249	308,6	Tourer
BMW S1000R ***	Reihenmotor 2-Zylinder	Kette	118	97	80	207	418,4	Naked Bike
Ducati Monster+ ****	L-Form Motor 2-Zylinder	Kette	82	93	77	188	311,8	Naked Bike
BMW CE04	Synchronmotor elektrisch	Riemen	31			231	101,3	E-Roller
*) Kess Tech Klappenauspuffanlage (teilweise manuell steuerbar) **) Werkseitig verbaute Klappenauspuffanlage (nicht manuell steuerbar) ***) auch mit optionaler Abgasanlage der Firma Hattech untersucht ****) nur für Voruntersuchungen verwendet								

## 8 Prüfstandmessungen

### 8.1 Prüfstand und Messverfahren

Die Untersuchungen wurden im Fahrzeugakustik-Prüfstand des Fraunhofer Instituts für Bauphysik in Stuttgart durchgeführt. Dabei handelt es sich um einen Vierradrollenprüfstand in einer Messhalle, in der auch Untersuchungen zur simulierten Vorbeifahrt durchgeführt werden können. Weitere technische Daten zum Prüfstand können dem Anhang A.3 entnommen werden.



Bild 12:  
Fahrzeugakustik-Prüfstand mit Allradrolle und Halbfreifeld-Messhalle des Fraunhofer Instituts für Bauphysik, Stuttgart.

Die Messhalle ist als akustischer Halbfreifeldraum ausgeführt. Dies bedeutet, dass der Boden schallhart bzw. schallreflektierend ausgeführt ist, während die Wände und Decke im akustisch interessanten Frequenzbereich schallabsorbierend verkleidet sind.

### 8.2 Mikrofonarray

Zur Ermittlung der Geräuschabstrahlung der Fahrzeuge werden Messung entlang eines beidseitig parallel zum Motorrad aufgebauten Linien-Mikrofon-Arrays mit insgesamt jeweils 30 Mikrofonen pro Seite auf einer Gesamtlänge von 20 m verwendet. Analog zum Setup bei der genormten Vorbeifahrtmessungen sind die Mikrofone ebenfalls in 1,2 m Höhe montiert. Aufgrund der Positionierung der Motorräder auf einer Rolle ergab sich in x-Richtung (Fahrtrichtung) ein Versatz von der Raum- bzw. Mikrofonreihenmitte. Die Motorrad-Mitte ist um ca. 1,8 m nach vorne versetzt. In y-Richtung, quer zum Fahrzeug, ergeben sich

gegenüber dem in der Norm vorgesehenen Abstand von 7,5 m zwischen Mikrofon und Fahrzeugmitte Abstände von 6,7 m bzw. 8,3 m. Im Halb-Freifeld kann davon ausgegangen werden, dass sich die Pegel einer Punktschallquelle unter der Annahme einer kugelförmigen Schallausbreitung entsprechend dem Abstandsgesetz, mit dem theoretischen Schalldruckpegelabfall von 6 dB pro Abstandsverdoppelung, verhalten. Es wird angenommen, dass sich ein Motorrad für die Messungen mit dem Mikrofon-Array wie eine Punktschallquelle verhält. Somit können mit nachfolgender Formel die Pegel ( $L_1$  und  $L_2$ ) entsprechend ihrer Abstände ( $r_1$  und  $r_2$ ) zur Schallquelle umgerechnet werden.

$$L_2 = L_1 - 10 \log \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \text{ [dB]}$$

Diese Berechnung berücksichtigt keine Dämpfungseigenschaften der Luft sowie etwaige Bodenreflexionen. Bei geringer Differenz der Abstände, die bei diesem Aufbau gegeben sind, kann der Dämpfungseinfluss jedoch als vernachlässigbar angesehen werden. Für den verwendeten Raum wurde der Nachweis der Halb-Freifeldbedingungen sowie zusätzlich für die Arraypositionen einer bodennahen Vergleichsschallquelle (Punktschallquelle) erbracht [32]. Somit ist davon auszugehen, dass im Prüfstand entsprechende Berechnungen als vertrauenswürdig anzusehen sind.

Für die Auswertungen werden alle an den Mikrofonen der beidseitigen Arrays ermittelten Schalldruckpegel auf eine Entfernung zwischen Motorrad und Fahrzeug von 7,5 m umgerechnet. Dabei wird die Fahrzeugmitte als »Akustisches Zentrum« des Motorrads angenommen. Vereinfacht wird von einer zweidimensionalen, ebenen Betrachtung ausgegangen, so dass die Höhenkomponente außen vor bleibt.

Gegenüber Messungen auf freier Strecke können hierbei die Vorzüge des Prüfstands voll ausgenutzt werden, da gegenüber der Vorbeifahrt eines Fahrzeugs an einer festen Mikrofonposition die Vielzahl der um das Fahrzeug verteilten Mikrofonen quasi mit dem Motorrad »mitfährt«. So können während der gesamten Betriebszyklen des Motorrads in einem weiten Bereich die vom Fahrzeug abgestrahlten Geräuschanteile detektiert werden. Damit können transiente Fahrzustände losgelöst von einer ortsfesten Vorbeifahrtposition erfasst werden.

### 8.3 Mikrofon im Nahbereich

Ergänzt werden diese Positionen durch Mikrofone im Nahbereich des Motorrads, hauptsächlich in 0,5 m Entfernung zur Abgasmündung. Damit werden die Messposition entsprechend UN-ECE R41 für das Standgeräusch abgedeckt.

## 8.4 Geräusche am Ohr des Fahrers

Die Beurteilung der Belastung des Fahrzeugführers wird über Mikrofone im Helm ermittelt. Bei den hier auf dem Rollen-Prüfstand am Fraunhofer IBP durchgeführten Untersuchungen kann der Beitrag aus dem Windgeräusch nicht abgebildet werden, da lediglich ein Kühlgebläse zur Fahrzeugkühlung, nicht jedoch ein Akustik-Windkanal zur Nachstellung des realen Fahrtwinds verfügbar ist. Die vom Antriebsstrang des Motorrads abgestrahlten Geräusche und die Reifenfahrbahngeräusche können jedoch erfasst werden.

Gewöhnlich werden bei Akustikmessungen sogenannte Kopfbügelmikrofone eingesetzt. Dabei handelt es sich um an einem Gestell befestigte Mikrofone, die von Personen analog eines Bügel-Kopfhörers getragen werden können. Alternativ können Kunstköpfe, einem Kopftorso mit integrierten Mikrofonen, eingesetzt werden. Die Herausforderung bei Motorraduntersuchungen besteht darin, dass gängige Kopfbügelmikrofone aus Platzgründen nicht unter dem Helm getragen werden können und der Motorradfahrer nicht ohne weiteres durch einen Kunstkopf ersetzt werden kann. Es wurden daher Mikrofone an den Ohrpositionen im Helm so befestigt, dass der Fahrer den Helm mit Mikrofonen aufsetzen konnte. In Voruntersuchungen wurden Abgleichmessungen durchgeführt zwischen den im Motorradhelm integrierten Mikrofonen und einem konventionellen Kunstkopf mit Helm. Dadurch konnte eine Korrekturkurve zwischen beiden Systemen ermittelt werden, die eine Umrechnung der nachfolgend durchgeführten Akustikmessungen ermöglicht.



Bild 13:  
Motorradhelm mit integrierter Mikrofontechnik auf einem Kunstkopf während einer Abgleichmessungen mit konventioneller Messtechnik.

Da unter dem Helm die akustischen Gegebenheiten nicht exakt bestimmt sind und damit die voreinstellbaren Entzerrkurven für Freifeld und Diffusfeld nur eine grobe Näherung darstellen, wurde im Hinblick auf das unterschiedliche individuelle Hörempfinden einzelner Personen und aufgrund der in Bild 14 sichtbaren geringen Pegelabweichungen zwischen Kunstkopf und Helm-Mikrofon auf eine Korrektur der Helm-Mikrofon-Messwerte verzichtet.

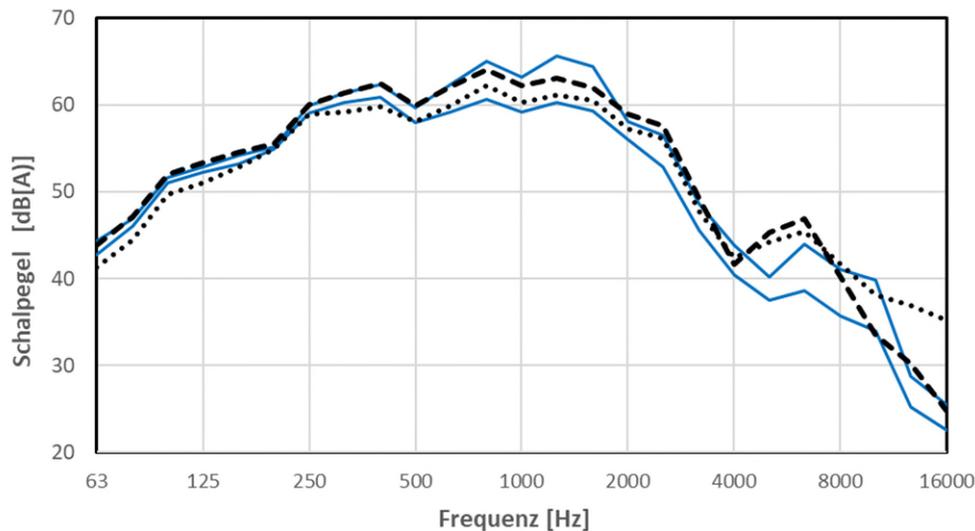


Bild 14: Abgleich des Frequenzgangs beim Kunstkopf mit verschiedenen Entzerrungsvoreinstellungen für unterschiedliche Umgebungsbedingungen (durchgezogene Linien, Streuband) zum Helmmikrofon (gestrichelt und gepunktet, zwei unterschiedliche Messaufbauten). Messung bei Rauschanregung.

Bei dem für die Untersuchungen verwendeten Helm handelt es sich um einen gewöhnlichen im Motorradzubehörhandel erworbenen Helm, an den hinsichtlich der Auswahl bis auf das Vorhandensein von Aussparungen im Ohrbereich (Möglichkeit der Integration einer Freisprecheinrichtung) keine speziellen Anforderungen gestellt wurden.

## 9 Fahrscenarien

Im Rahmen dieser Arbeit kann nicht jede denkbare Fahrsituation hinsichtlich ihrer akustischen Auswirkung abgedeckt werden. Der Fokus liegt auf der Ermittlung eines Kennfelds der Geräuschabstrahlung verschiedener Fahrzeuge und Fahrzeugtypen in einem auf Landstraßen üblichen Geschwindigkeitsbereich.

Bei der Auswahl der Fahrscenarien wurde versucht, eine Mischung aus eher moderaten Fahrzuständen mit Fahrten bei konstanter Geschwindigkeit (Konstantfahrt) oder Fahren mit maximaler Beschleunigung (Volllast-Beschleunigung) in höheren Gängen, sowie extremen Fahrzuständen wie Volllast-Beschleunigung in niedrigen Gängen oder frühzeitiges Rückschalten abzudecken.

Dazu wurden bei den Fahrzeugen aus dem Testfeld in der Regel die Gänge eins bis vier untersucht. Bei den Konstantfahrten wurden in einem Raster von 10 km/h, im ersten Gang beginnend bei 20 km/h bis zur maximal möglichen Geschwindigkeit, Messungen durchgeführt. Für die weiteren Gänge wurde die Anfangsgeschwindigkeit jeweils um 10 km/h erhöht und entsprechend Gang eins bis zur Endgeschwindigkeit 120 km/h verfahren.

Die Vollast-Beschleunigung erfolgte ebenfalls bei den Gang- und Geschwindigkeits-Konstellationen entsprechend den Konstantfahrten. Beschleunigt wurde jeweils bei verschiedenen Start-Geschwindigkeiten, z.B. 30, 40, 50 km/h, bis zu verschiedenen Endgeschwindigkeiten mit nachfolgendem schlagartigem Loslassen des Gashebels und anschließendem Schubbetrieb, dem Ausrollen bei eingeletem Gang. Neben den Fahrscenarien wurde das Standgeräusch gemäß dem nachfolgend beschriebenen vereinfachten Überprüfungsverfahren messtechnisch erfasst.

## 10 Ergebnisse aus den Messungen

### 10.1 Standgeräuschmessung – Vereinfachtes Verfahren

Die Standgeräuschmessung wurde nach dem vereinfachten Verfahren der UNECE R41 durchgeführt. Der Schalldruckpegel wird dabei in 0,5 m Abstand und unter 45 ° zur Abgasmündung ermittelt. Hierzu ist es notwendig eine bestimmte Drehzahl mit dem Gasdrehhebel einzustellen und für eine definierte Zeitspanne konstant zu halten. Die Messung erfolgt bei der Hälfte der Nenn-drehzahl innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbandes. Dabei ist die Nenn-drehzahl die Drehzahl, bei der die im Fahrzeugschein angegebene Leistung erreicht wird. Der so ermittelte Pegel kann mit dem Zulassungswert verglichen werden.

Bei den Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass sich ohne technische Hilfsmittel, wie die externe Ansteuerung des Drehzahlgebers oder des Gaspedals, die für die Geräuschmessung geforderten Drehzahlrampen bei einzelnen der untersuchten Motorräder nur schwer bzw. in Bezug auf die im Regelwerk geforderte Wiederholbarkeit nur bedingt anfahren lassen. Insbesondere das Halten einer konstanten Drehzahl für mindestens eine Sekunde bereitete dabei Schwierigkeiten. Bereits geringe Positionsänderungen am Gasdrehhebel gehen teilweise mit deutlichen Drehzahländerungen einher. Ebenso ergab sich der Eindruck, dass trotz Halten des Gashebels in einer Stellung eine Drehzahländerung durch das Fahrzeug hervorgerufen wurde. Es kann angenommen werden, dass bei Kontrollmessungen auf der Straße durch Überwachungsorgane ähnliche Schwierigkeiten auftreten.

Im Rahmen der genannten Einschränkungen konnten jedoch die im Fahrzeugschein stehenden Werte beim Standgeräusch überwiegend reproduziert werden, teilweise wurden diese sogar unterschritten. Die ermittelten Pegel sind in

Tabelle 6 für die untersuchten Fahrzeuge eingetragen. Damit ist davon auszugehen, dass die untersuchten Fahrzeuge nicht manipuliert sind und die gesetzlichen Bestimmungen in diesem Punkt einhalten.

Tabelle 6:  
Standgeräuschmessung (Schalldruckpegel in 0,5 m Entfernung zur Abgasmündung) laut Zulassungsbescheinigung und Überprüfungsmessung.

Hersteller	Typ	Nennleistung	@Nenn-drehzahl	Zulassungsbescheinigung	Drehzahl-Toleranzbereich		Messung	
		[kW]	[RPM]	Standgeräusch			Standgeräusch	@RPM
Ducati	Diavel 1260	117	9500	102	4513	4988	100	4989
Yamaha	TRACER 9 GT	87,5	10000	96	4750	5250	96	5066
Husqvarna	701 Supermoto	55	8000	90	3800	4200	90	4162
Harley-Davidson	forty eight (Klappen geschlossen)	49	6000	98	2850	3150	97	3016
Harley-Davidson	forty eight (Klappen geöffnet)	49	6000	-	2850	3150	108	3099
Ducati	Panigale	159	13000	105	6175	6825	102	6812
BMW	R1250GS	100	7750	88	3681	4069	88	3997
BMW / Hattech	S1000R (Hattech AGA)	118	11000	97	5225	5775	94	5700
BMW	S1000R (original AGA)	118	11000	97	5225	5775	96	5700
BMW	CE04	31	4900	0	-	-	-	-

Beim Motorrad »Yamaha Tracer 9 GT« konnte das in den Zulassungspapieren eingetragene Standgeräusch von 96 dB(A) ebenfalls nachvollzogen werden. Bild 15

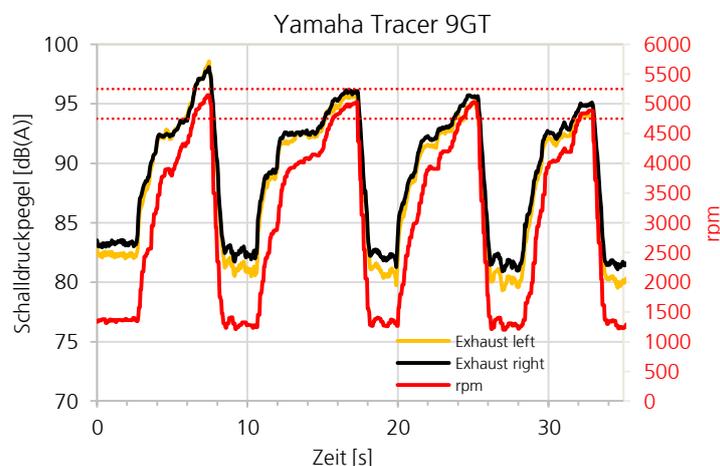


Bild 15, Hochlauf 2 bis 4 zeigt die Pegelverläufe an beiden Abgasanlagen zusammen mit der Drehzahl. Bei Hochlauf 1 wurde jedoch auch bei geringfügig höherer, aber dennoch im Toleranzbereich liegender Drehzahl, ein um ca. 3 dB(A) höherer Pegelwert von 99 dB(A) gemessen. Da die Norm jedoch drei aufeinander folgende Messungen, die nicht mehr als 2 dB(A) voneinander abweichen, vorschreibt, wurde dieser Wert nicht für die Angabe des Standgeräusches herangezogen.

Wenngleich der durch die Norm vorgegebene Grenzbereich in Bezug auf die Durchführung des aktuellen Procederes der Standgeräuschmessungen als notwendig angesehen wird um die Bedingung »Halten der halben Nenndrehzahl für mindestens eine Sekunde bei maximaler Drehzahlabweichungen von  $\pm 5\%$ «, muss auch festgehalten werden, dass mit dieser Messvorschrift ein gewisser Spielraum für eine »Pegeloptimierung« bei der Ermittlung des Standgeräuschs gegeben ist.

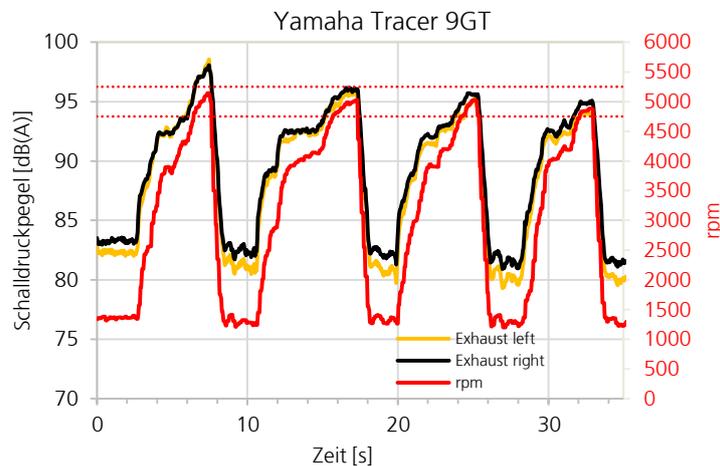


Bild 15:

Schalldruck-Summenpegel für das Standgeräusch des Motorrads »Yamaha Tracer 9 GT« liefert bei den vier Hochläufen höchste Summenpegel mit 98,6, 96,2, 95,7 und 95,1 dB(A) bei gemessenen Maximaldrehzahlen von 5144, 5031, 5030 und 4888 rpm (zulässiger Drehzahlbereich 4750 bis 5250 rpm).

## 10.2 Standgeräuschmessung bei halber Nenndrehzahl und maximaler Drehzahl

In Bild 16 sind neben der bei der Standgeräuschmessung nach UN-ECE R41 zu verwendenden Mikrofonposition in 50 cm Abstand und  $45^\circ$  zur Auspuffmündung auch die bei dieser Messung maximal aufgetretenen Schalldruckpegel am Mikrofonarray (Umrechnung auf 7,5 m Abstand zum Motorrad) dargestellt. Darüber hinaus zeigt das Diagramm nicht nur die nach Norm ermittelten Standgeräusche bei halber Nenndrehzahl, sondern auch bei der Nenndrehzahl selbst, also der maximalen Drehzahl.

Allerdings wurde bei der Messung mit Maximaldrehzahl lediglich eine anstatt drei Messungen für die Pegelermittlung verwendet und diese auch nicht für alle Fahrzeuge durchgeführt. Zusätzlich sind hier die am Mikrofonarray maximal ermittelten Summenpegel aus allen konstanten und beschleunigten Fahrten (alle untersuchten Gänge) eingetragen. Damit soll überprüft werden in wie weit die Standgeräuschpegel zwischen Nahfeld (0,5 m Abstand) und Fernfeld (7,5 m Abstand), sowie mit den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Fahrgeräuschen korrelieren.

Dabei muss natürlich berücksichtigt werden, dass zwischen den Mikrofonen in 7,5 m Abstand und der Messposition nach UN-ECE R41 aufgrund der unterschiedlichen Abstände zur Quelle die (ortsabhängigen) Schalldruckpegel naturgemäß unterschiedlich hoch ausfallen. Da sich jedoch alle Fahrzeuge bei den Messungen an derselben Position befanden, sollte sich auf Grund des Abstandsgesetzes auch für alle Fahrzeuge derselbe Pegeloffset ergeben. Im Diagramm ist jedoch zu erkennen, dass dies bei den einzelnen Fahrzeugen nicht immer der Fall ist. In Folge dessen ist davon auszugehen, dass die verschiedenen Fahrzeuge eine unterschiedliche Schallabstrahlung aufweisen bzw. mit dem Mikrofon im Nahfeld der Auspuffmündung ggf. nicht die Beiträge aller Quellen zum gesamten ins Fernfeld abgestrahlten Schall aufzeichnen. Gut zu sehen ist dies z.B. bei der »BMW R1250 GS«, die mit und ohne die im Bereich der Abgasanlage positionierten seitlichen Koffer untersucht wurde. Hier ist eine gegenläufige Tendenz beider Kurven (grau und schwarz) erkennbar.

Auch der Vergleich des bei halber Nenndrehzahl und bei maximaler Drehzahl ermittelten Standgeräusches ergibt bei einzelnen Fahrzeugen größere Pegeldelta als bei anderen.

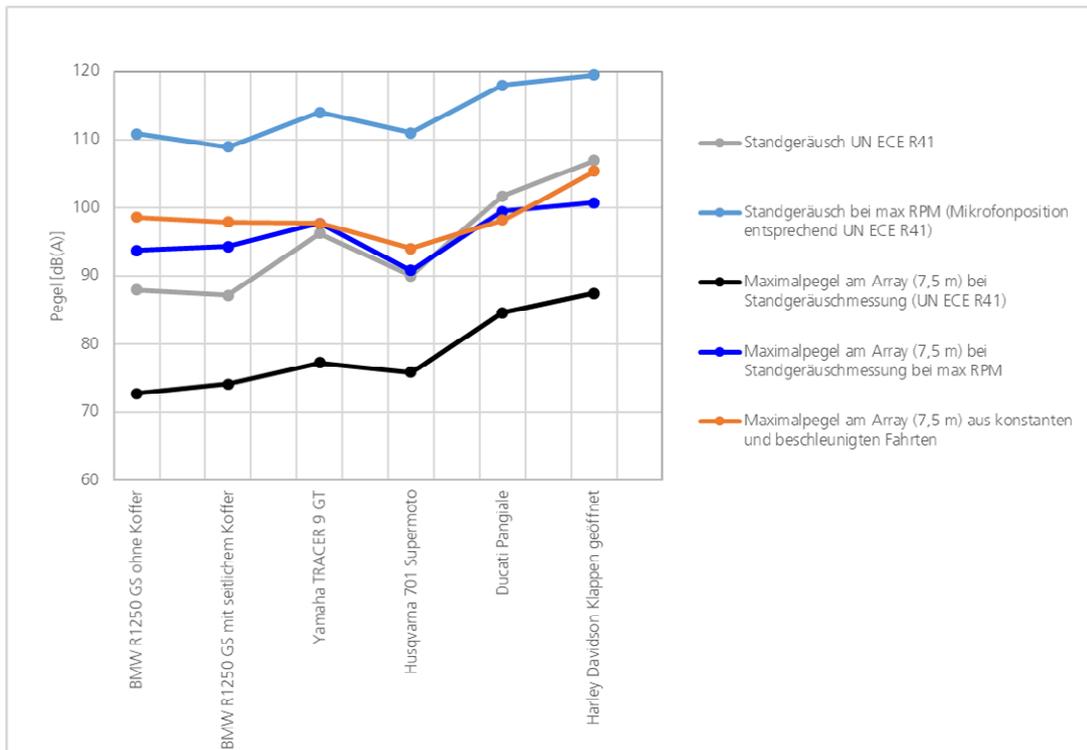


Bild 16: Ergebnisse der Standgeräuschmessung bei halber Nenndrehzahl und bei maximaler Motordrehzahl am Mikrofonarray in 7,5 m Abstand und an der Standard-Mikrofonposition entsprechend UN-ECE R41 im Vergleich zu den maximal ermittelten Summenpegel aus allen konstanten und beschleunigten Fahrten.

Lediglich bei den beiden Fahrzeugen »Yamaha Tracer« und »Ducati Panigale« liegen die ermittelten Werte in 7,5 m Abstand für die Standgeräuschmessung

bei maximaler Drehzahl und den aus allen durchgeführten konstanten und beschleunigten Fahrten gleichauf. Die übrigen Fahrzeuge weisen jedoch ein geringeres Standgeräusch auf. Unter der Annahme, dass der maximal ermittelte Summenpegel aus allen durchgeführten konstanten und beschleunigten Fahrten auch die Obergrenze der Lärmbelästigung eines einzelnen Fahrzeugs widerspiegelt, kann bei den untersuchten Fahrzeugen aus keiner der Standgeräuschmessung-Setups (Nahfeld / Fernfeld bzw. halbe oder maximale Drehzahl) eine Aussage über das im realen Fahrbetrieb zu erwartende Geräusch abgeleitet werden.

In Bild 17 ist am Beispiel der »BMW R1250 GS« die Pegelzunahme mit steigender Drehzahl (halbe Nenndrehzahl bis maximale Drehzahl) aufgetragen. Prinzipiell nehmen bei höherer Drehzahl und Last die Pegel zu. Bei diesem Fahrzeug ist jedoch auch erkennbar, dass unter anderem um 250 Hz ein »empfindlicher« Bereich existiert. Wird dieser Frequenzbereich von einer Ordnung durchlaufen, so kommt es zu einer erhöhten / überhöhten Schallabstrahlung. Da bei der halben Nenndrehzahl die Frequenz der entsprechenden Ordnung diesen Bereich nicht erreicht, fallen hier die Pegel gegenüber Messungen mit höherer Drehzahl relativ betrachtet geringer aus. Zudem verändert sich durch die Dominanz der Ordnungen das Klangbild.

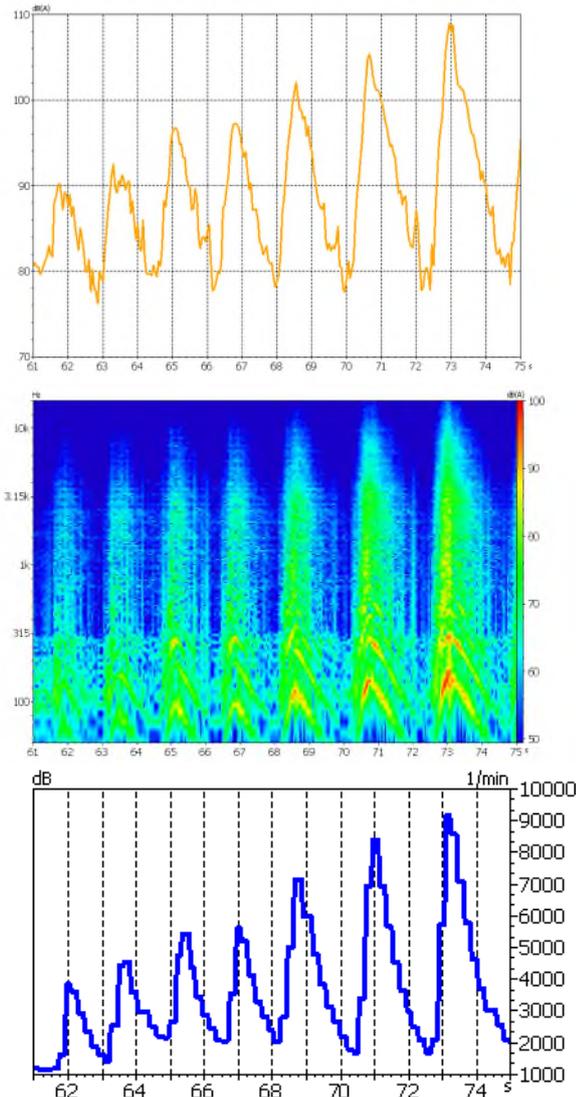


Bild 17:

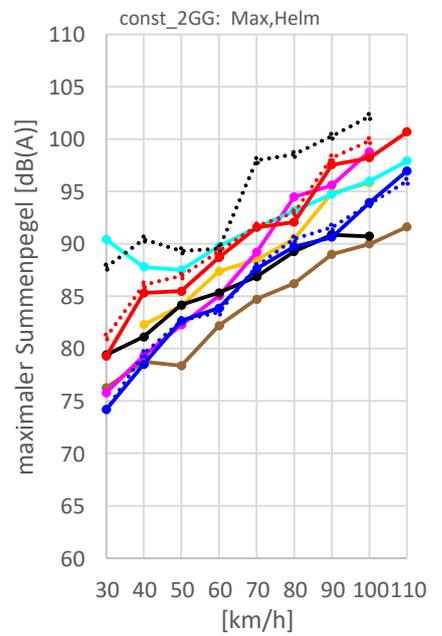
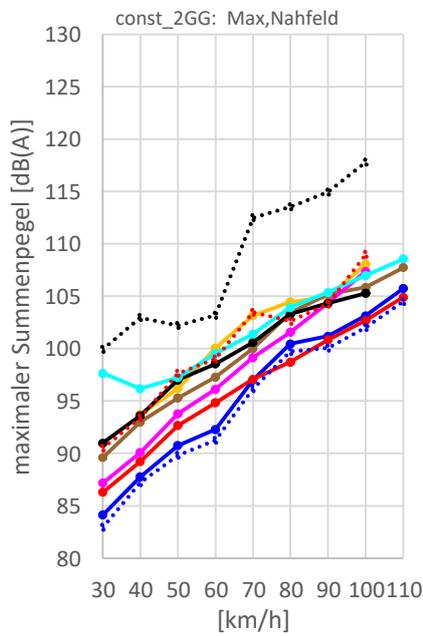
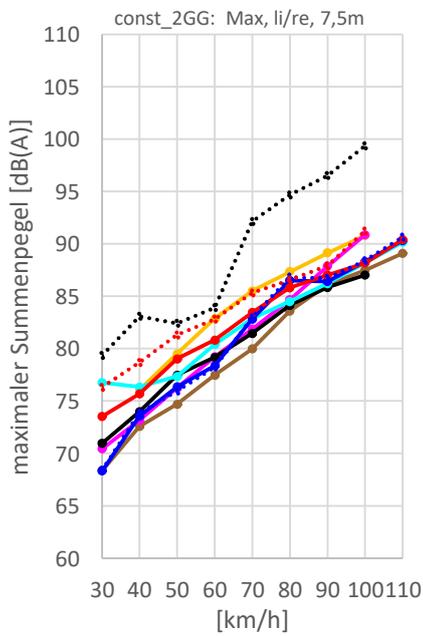
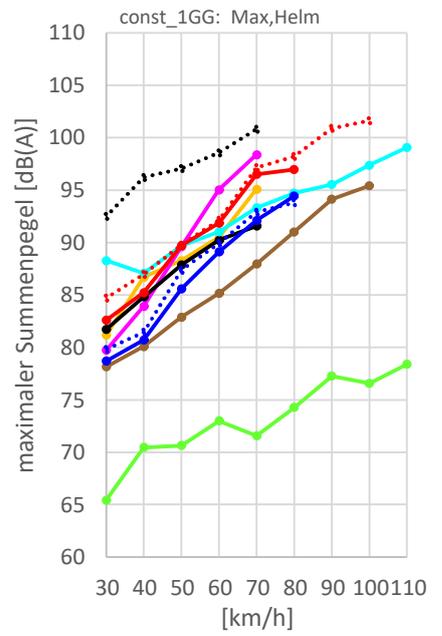
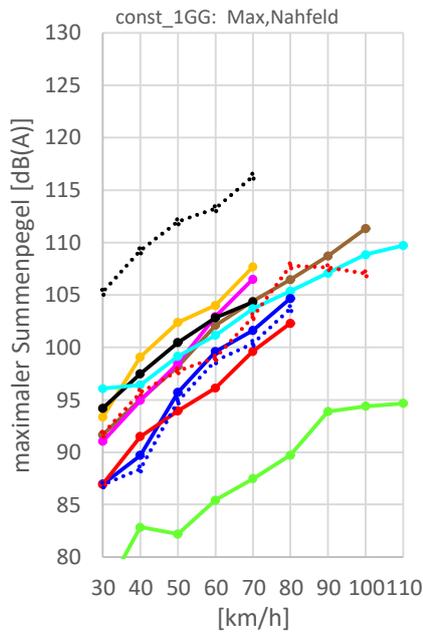
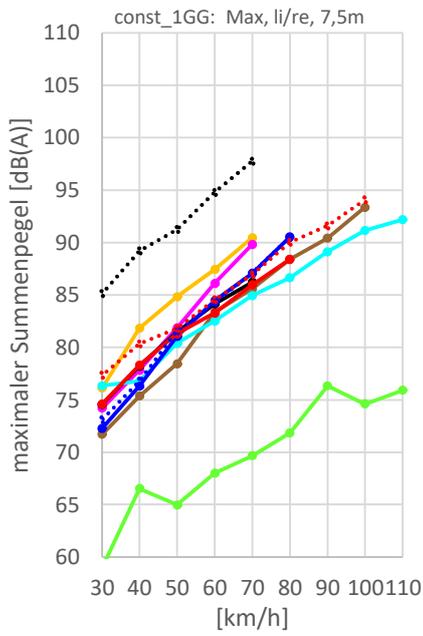
Vergleich Leerlasthochlauf bei unterschiedlichen Nenndrehzahlen am Beispiel »BMW R1250 GS«. Schalldruckpegel Standgeräusch über der Zeit.

Oben: Summenpegel, Mitte: Spektrogramm am Mikrofon entsprechend UN-ECE R41 Standgeräuschmessung, Unten: Drehzahl.

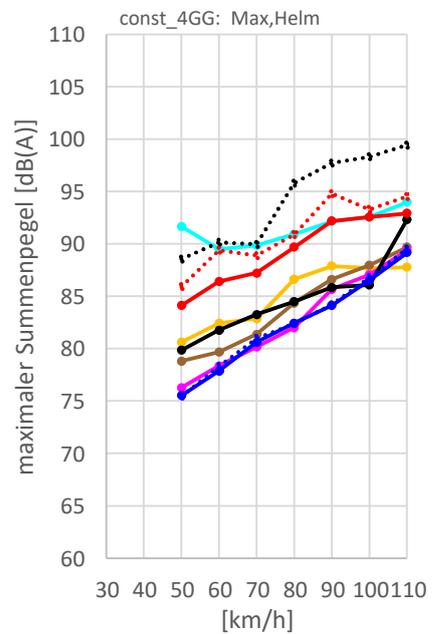
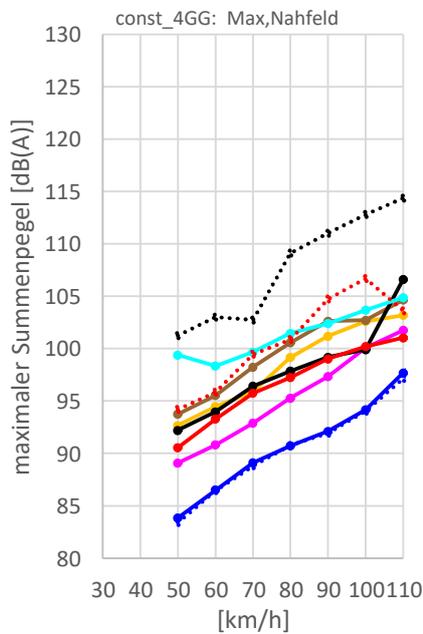
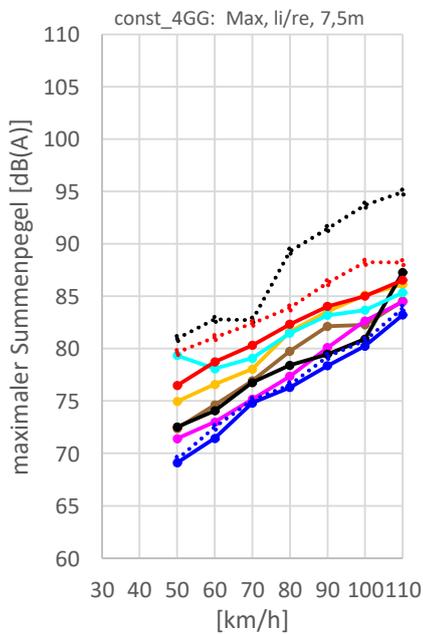
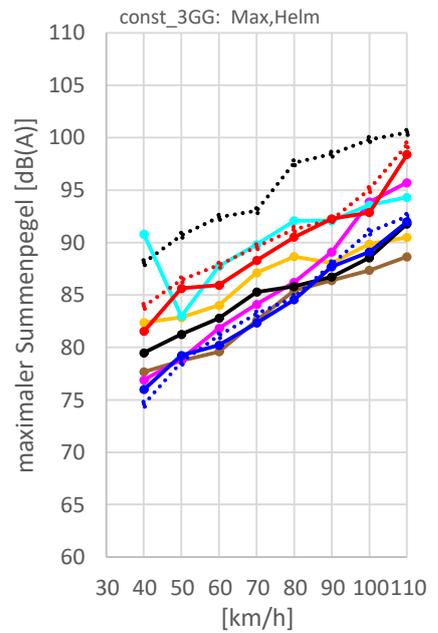
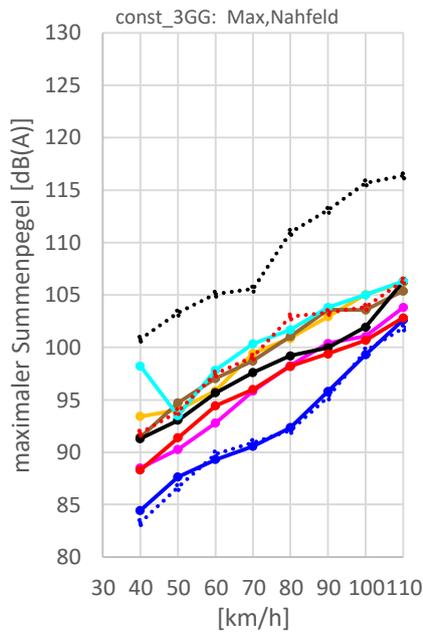
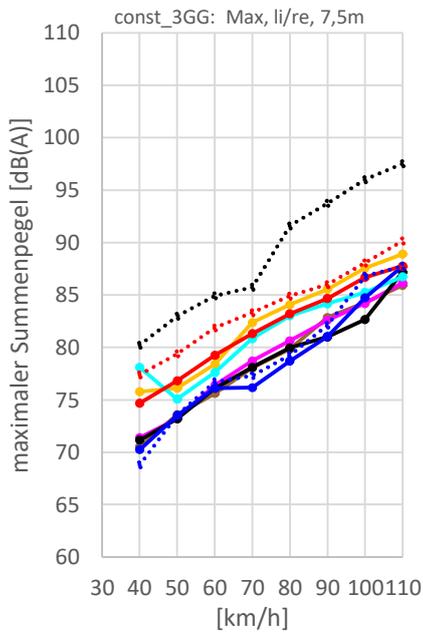
Der erste Drehzahlhochlauf entspricht der halben Nenndrehzahl, der letzter der maximalen Drehzahl im Leerlauf.

### 10.3 Konstantfahrt

Für die konstanten Fahrten werden die Summenpegel als zeitlicher Mittelwert über jeweils mehrere Sekunden bei Geschwindigkeiten in 10 km/h-Schrittweite sowie den Gängen eins bis vier ermittelt. In den nachfolgenden Diagrammen von Bild 18 werden diese Pegel für die Array-Mikrofonpositionen links, im Nahfeld als mittleres Diagramm und rechts im Helm dargestellt. Jede Reihe gibt dabei die Messungen im gleichen Gang wieder. Bei den Pegeln des Mikrofon-Arrays wird jeweils der am lautesten Mikrofon gemessene und auf 7,5 m Abstand korrigierte Schalldruckpegel angegeben. Die Mikrofonposition des Nahfeldes entspricht der Standgeräuschmessung nach UN-ECE R41.



Fortsetzung auf Folgeseite



Legende: **Ducati\_Diavel1260S**, **Yamaha Tracer 9GT**, **Husqvarna701 Supermoto**,  
**Harley-Davidson Forty Eight** (— /- -: geschlossene/geöffnete Klappenauspuffanlage),  
**Ducati Panigale**, **BMW R1250GS** (— /- -: ohne/mit Koffer),  
**BMW S1000R** (— /- -: Abgasanlage von Hattech / original Abgasanlage), **BMW CE04**

Bild 18:  
 Konstantfahrten; Schalldruck-Summenpegel links am Mikrofonarray als Maximalwert aus allen Mikrofonpositionen, abstandskorrigiert auf 7,5 m Abstand; Mitte im Nahfeld der Abgasanlage; rechts im Helm; Gänge 1 – 4 (1GG bis 4GG).

Erwartungsgemäß nehmen die Pegel mit ansteigender Geschwindigkeit tendenziell zu. Die Fahrzeuge weisen hier überwiegend eine mehr oder weniger lineare Pegelerhöhung auf. Auffällig sind jedoch zwei Fahrzeuge: »Ducati Panigale« und »Harley-Davidson forty eight mit aktivierter Klappenpuffanlage«. Bei beiden sind im Geschwindigkeitsbereich zwischen 40 – 70 km/h gegenüber einem linearen Verlauf geringere Pegel zu erkennen, die im nachfolgenden Kapitel näher betrachtet werden.

### 10.3.1 Klappenabgasanlagen

Beim Fahrzeug »Ducati Panigale« ist aus Bild 19 ersichtlich, dass hier bei einer konstanten Geschwindigkeit von 50 km/h im dritten Gang das Fahrzeug prinzipiell gegenüber den angrenzenden Geschwindigkeiten leiser bewegt werden kann. Allerdings sind auch hier Bereiche (Sterne) erkennbar, während denen das Fahrzeug deutlich lauter wird. Dies erfolgt ohne aktiven Eingriff des Fahrers bzw. es wurde lediglich durch minimale Gashebelkorrektur versucht die Geschwindigkeit des Fahrzeugs auf konstantem Niveau zu halten.

Bei diesem Fahrzeug, das mit einem elektronisch gesteuerten Klappenauspuff ohne manuelle Einflussnahme ausgestattet ist, kann unter durchaus praxisnahen innerstädtischen Fahrbedingungen ein Wechsel zwischen laut und leise erfolgen. Berücksichtigt werden muss jedoch, dass »leise« in diesem Zusammenhang immer noch relativ hohe Pegel (Vorbeifahrtpegel in 7,5 m Abstand im Bereich um 74dB(A)) bedeutet. Pegelschwankungen dieser Art werden gegenüber einem gleichmäßigen Geräusch in der Regel als lästiger empfunden. Das Diagramm zeigt aber auch, dass dieses Fahrzeug beispielsweise bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h, die innerstädtisch zunehmend als Richtgeschwindigkeit vorgeschrieben wird, lauter ist als bei 50 km/h und damit diese Art der Geschwindigkeitsbegrenzung konterkariert. Zudem muss berücksichtigt werden, dass dieses mit geringerer Geschwindigkeit fahrende Motorrad aufgrund der längeren »Verweildauer« zu einer erhöhten Lärmeinwirkung beiträgt.

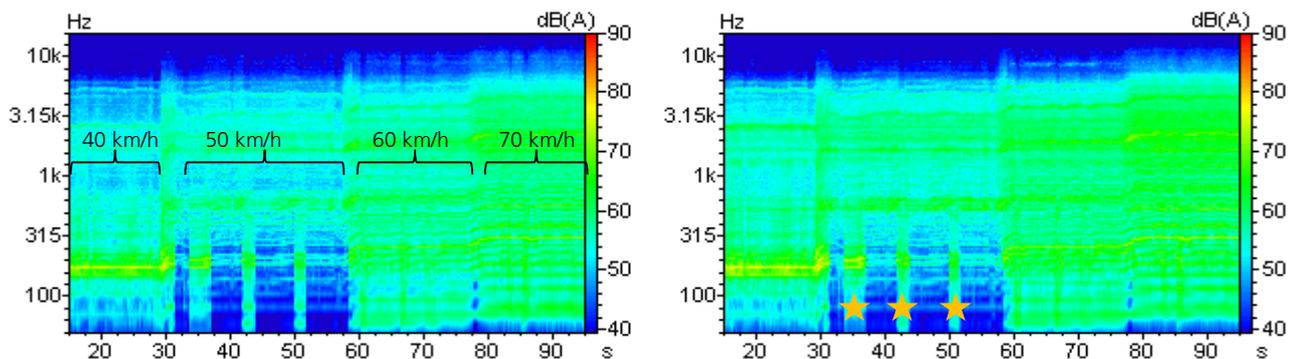


Bild 19:  
Konstantfahrt »Ducati Panigale«, 3. Gang. Maximaler gemessener Schalldruckpegel am linken und rechten Mikrofonarray als Spektrum über der Zeit.

Auch das Beispiel der Konstantfahrt im zweiten Gang mit dem Fahrzeug »Harley-Davidson forty eight mit aktivierter Klappenauspuffanlage« in Bild 20 zeigt ein der Ducati Panigale vergleichbares Verhalten. Hier schaltet das Fahrzeug nach ein paar Sekunden bei konstanter Fahrgeschwindigkeit (ca. 50 km/h) selbsttätig in einen anderen, leiseren Fahrmodus. Prinzipiell ist eine derartige Vorgehensweise im Hinblick auf Lärmimmissionen wünschenswert. Offensichtlich behält das Fahrzeug bei dieser Geschwindigkeit auch den leiseren Zustand beim (moderaten) Beschleunigen auf 60 km/h bei, schaltet dann jedoch wieder für ein paar Sekunden (Zeitbereich ca. 54 – 57 Sekunden) in einen lauterer Betriebszustand um. Auffällig ist, dass im hier dargestellten Gang ein Wechsel in den leiseren Betriebszustand wohl nur im Bereich 50 – 60 km/h stattfindet.

In Bezug auf das Klangbild werden beim Öffnen der Auspuffklappen neben einem Frequenzbereich um 1000 Hz vor allem die Motorordnungen hervor gehoben, was je nach betrachtetem Geschwindigkeits- bzw. Drehzahlbereich zu einer breitbandigen Pegelerhöhung im Frequenzbereich zwischen ca. 100 Hz und 800 Hz führt.

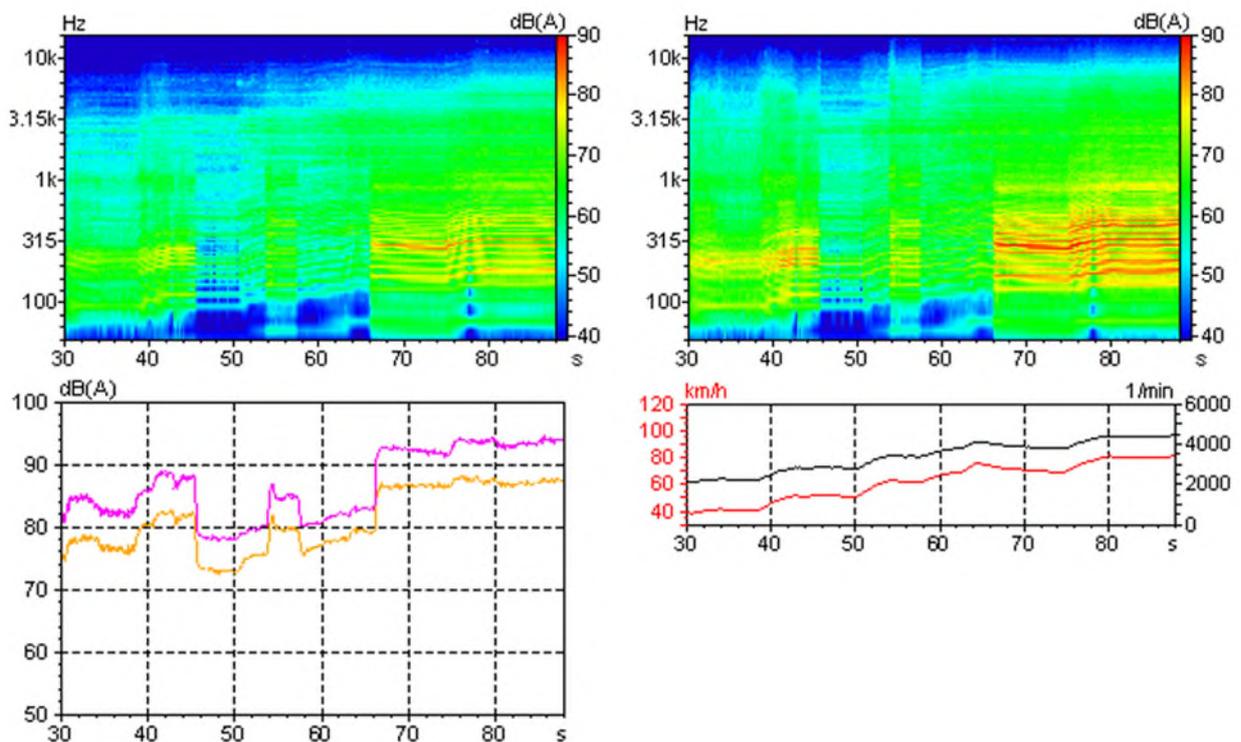


Bild 20:  
Konstantfahrt »Harley-Davidson forty eight mit aktivierter Klappenabgasanlage«, 2. Gang. Maximaler gemessener Schalldruckpegel am linken und rechten Mikrofonarray als Spektrogramm und als Summenpegel über der Zeit sowie Geschwindigkeits- und Drehzahlzeitverlauf.

Für den 3. Gang gilt prinzipiell dasselbe Verhalten, nach Bild 21 lediglich verschoben auf den Geschwindigkeitsbereich 60 – 70 km/h bzw. aufgrund der höheren Drehzahl eine Pegelerhebung hauptsächlich im Frequenzbereich bis 1 kHz.

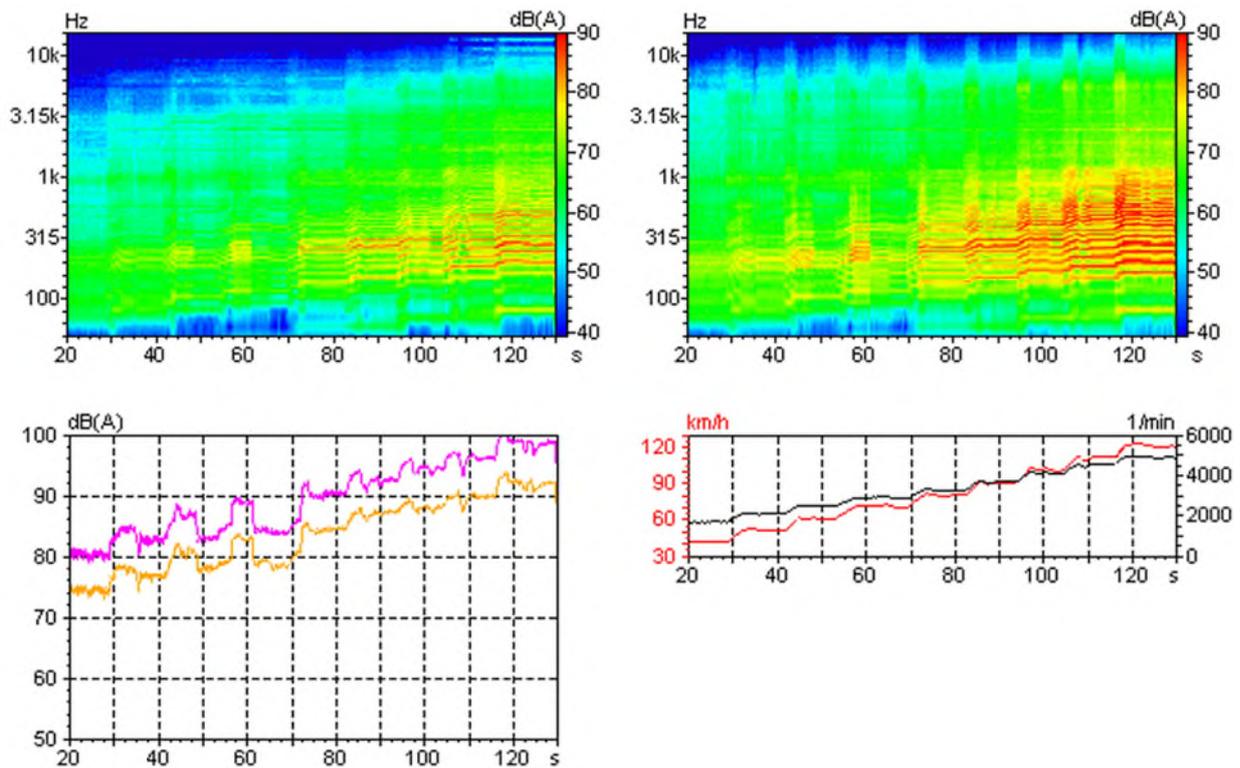


Bild 21:  
 Konstantfahrt »Harley-Davidson forty eight mit aktivierter Klappenabgasanlage«, 3. Gang. Maximaler gemessener Schalldruckpegel am linken und rechten Mikrofonarray als Spektrogramm und als Summenpegel über der Zeit sowie Geschwindigkeits- und Drehzahlzeitverlauf.

Während bei den vorhergehenden Beispielen die Abgasklappenanlage auf »dauerhaft aktiv« eingestellt war, wurde bei der in Bild 22 dargestellten Messung die Abgasklappenanlage während konstanter Fahrt gezielt aktiv durch den Fahrer zu- bzw. abgeschaltet. Dennoch gibt es Situationen, in denen das Fahrzeug eigenständig die Klappenstellungen geändert hat. Beim Fahren mit konstanter Geschwindigkeit können bei geöffneter Abgasklappenanlage durchaus Pegelunterschiede von 12 dB(A) auftreten. Neben einer Anhebung des Summenpegels ist in Bild 23 dabei zudem eine deutliche Änderung der Klangcharakteristik mit tonalen Anteilen (315 Hz-Terz) erkennbar

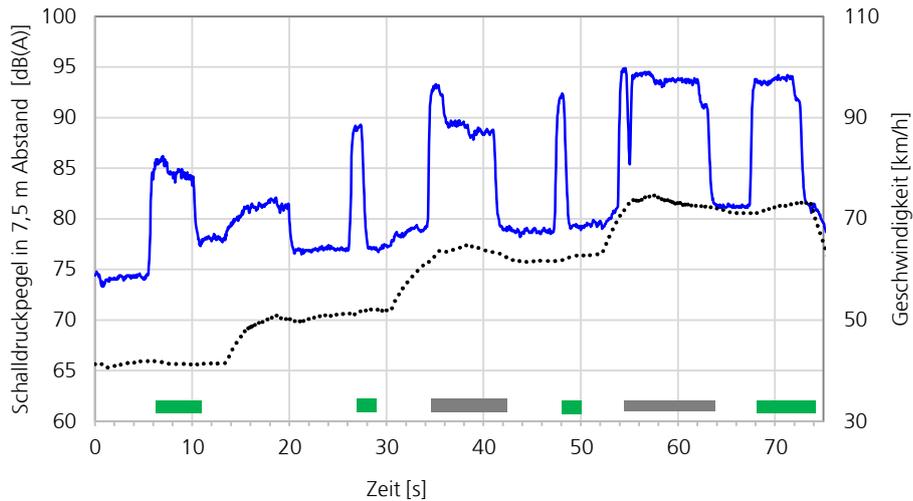


Bild 22:

Fahren mit konstanter Geschwindigkeit bei ca. 40, 50, 60 und 70 km/h mit dem Motorrad »Harley-Davidson forty eight« in Gang 2 bei Wechsel zwischen aktivierter und deaktivierter Abgasklappenanlage.  
Lautester Schalldruckpegel am Mikrofonarray bezogen auf 7,5 m Abstand.  
Grün markierte Bereiche mit manuell geöffneter Klappe, grau markierte Bereiche mit unkontrollierter Öffnung der Klappe.

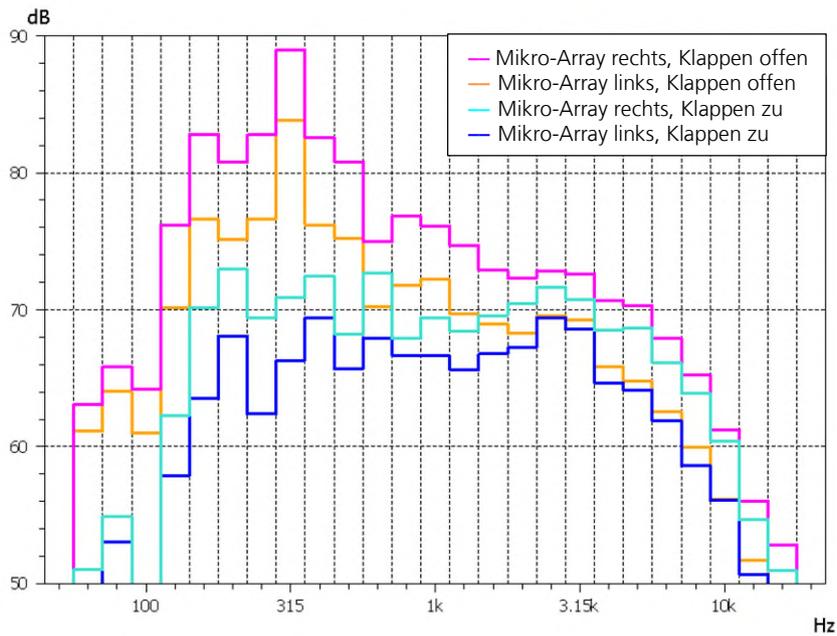
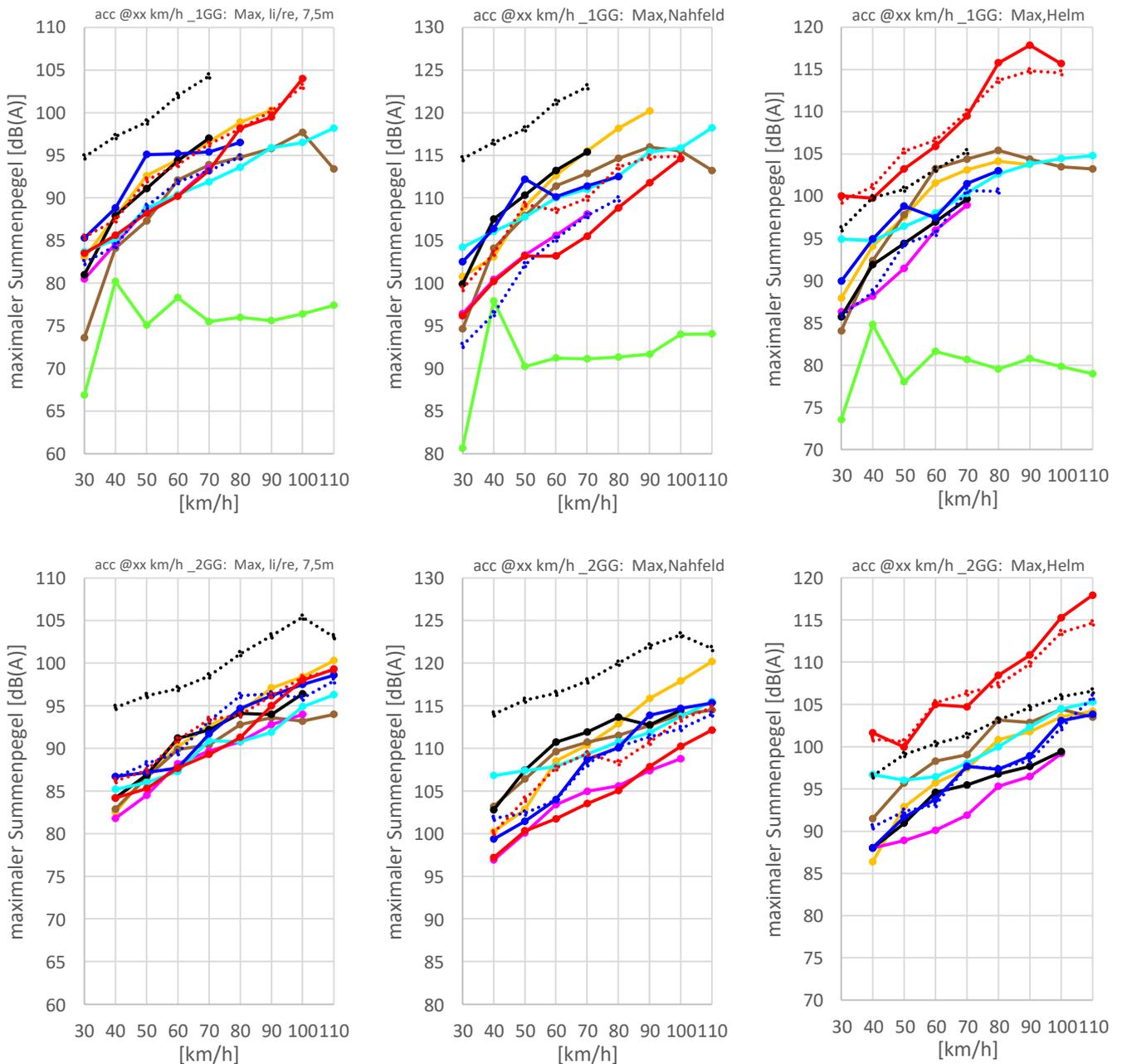


Bild 23:

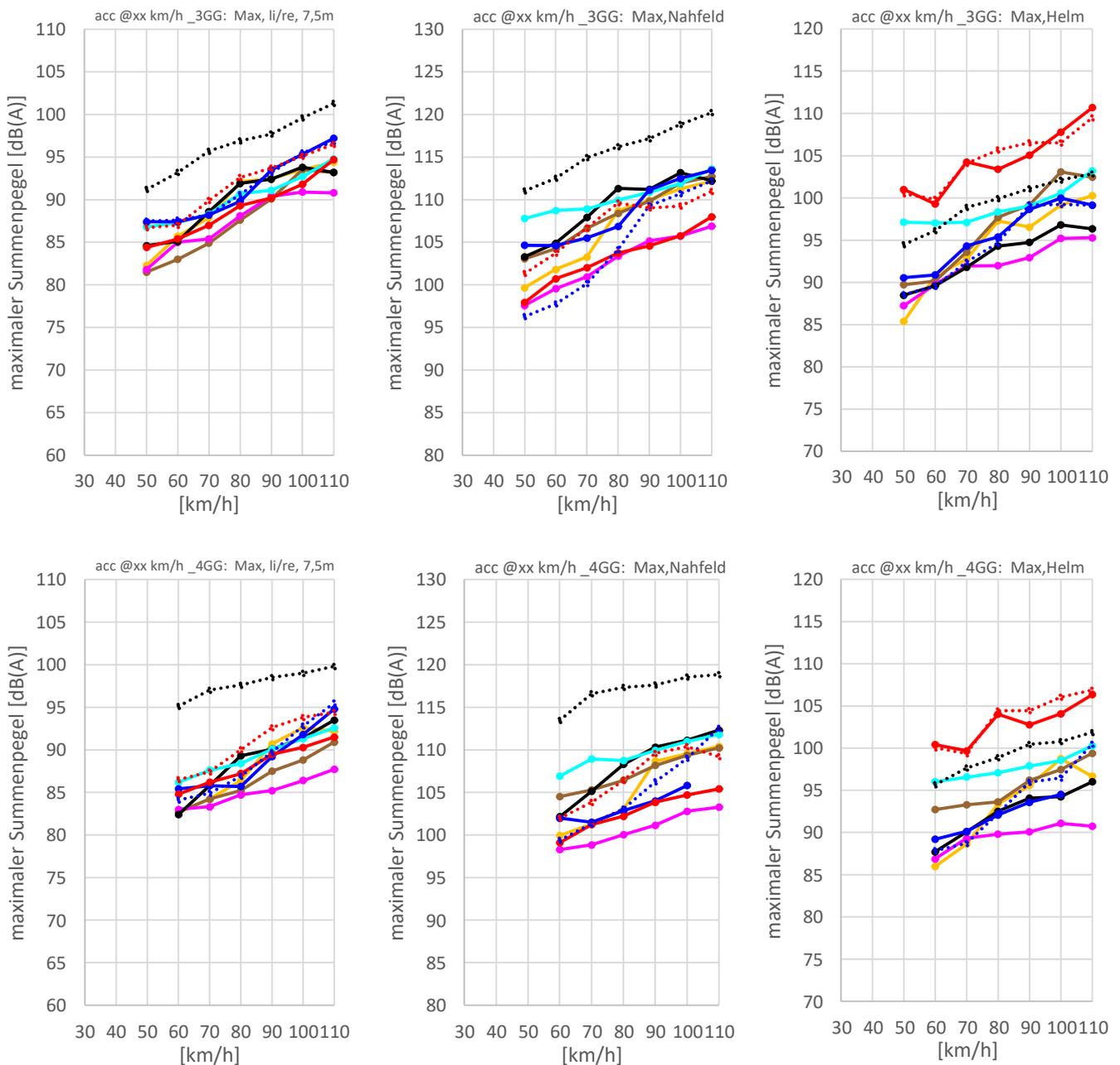
Maximal aufgetretener und zeitlich gemittelter Schalldruckpegel [dB(A)] am Mikrofon-Array bei Fahren mit konstanter Geschwindigkeit von ca. 50 km/h mit der »Harley-Davidson Forty Eight« in Gang 1.  
Wechsel zwischen geöffneter und geschlossener Abgasklappenanlage, zweiflutige Abgasanlage auf der rechten Motorradseite.

## 10.4 Beschleunigte Fahrt

Die nachfolgenden Diagramme in Bild 24 zeigen die bei der beschleunigten Fahrt unter Volllast maximal aufgetretenen Pegel an den aus der Konstantfahrt bekannten Stützstellen im 10 km/h-Raster. Dabei handelt es sich um das Ergebnis aus mehreren Volllast-beschleunigten Hochläufen, wobei je nach Gang, unterschiedliche Start- und Endgeschwindigkeiten auftreten.



Fortsetzung auf Folgeseite



Legende: **Ducati\_Diavel1260S**, Yamaha Tracer 9GT, **Husqvarna701 Supermoto**, Harley-Davidson Forty Eight (—/- -: geschlossene/geöffnete Klappenauspuffanlage), **Ducati Panigale**, BMW R1250GS (—/- -: ohne/mit Koffer), **BMW S1000R** (—/- -: Abgasanlage von Hattech / original Abgasanlage, **BMW CE04** Helm mit offenem Visier bei den Messungen mit der BMW S1000R.

Bild 24:  
Beschleunigte Fahrten; Schalldruck-Summenpegel links am Mikrofonarray als Maximalwert aus allen Mikrofonpositionen, abstandskorrigiert auf 7,5 m Abstand; Mitte im Nahfeld der Abgasanlage; rechts im Helm;  
Gänge 1 – 4 (1GG bis 4GG).

Bei den Untersuchungen an der BMW S1000R in Bild 24 Bild 24Bild 24Bild 24 war gegenüber den weiteren Fahrzeugen das Visier am Helm geöffnet. Die Pegel für die beiden Mikrofone im Helm können daher sinnvoll nur für einen Vergleich zwischen den beiden Abgasanlagen genutzt werden.

Auch bei der beschleunigten Fahrt nehmen die Pegel bei höheren Geschwindigkeiten im selben Gang aufgrund der höheren Drehzahl der Verbrennungsmotoren erwartungsgemäß zu. Ausnahme bildet hier das E-Fahrzeug, das bis auf eine Überhöhung bei ca. 40 km/h einen relativ gleichmäßigen Pegelverlauf über der Fahrgeschwindigkeit aufweist und sich zudem vom Pegelniveau der übrigen Motorräder mit Verbrennungsmotor mit deutlich geringeren Pegeln abhebt. Auffallend ist zudem die »Harley-Davidson Forty Eight mit geöffnetem Klappen-auspuff«. Diese weist gegenüber den übrigen Verbrennungsmotorfahrzeugen besonders hohe Pegel am Mikrofon-Array (Fernfeld) bzw. an der Standgeräusch-Messposition auf. Unter dem Helm sind die Pegel jedoch vergleichsweise moderat. Hier bietet der verwendete Helm wohl eine entsprechend hohe Schalldämmung. Die ebenfalls hohen Pegel im Helm bei der »BMW S1000R« dürfen jedoch nicht gegenüber den übrigen Fahrzeugen bewertet werden, da bei diesem Fahrzeug das Visier am Helm nicht geschlossen war. Die höchsten bei dieser Messreihe ermittelten Summenpegel bei geöffnetem Visier mit 118 dB(A) bzw. 106 dB(A) mit geschlossenem Helm sind jedoch in Bezug auf die Lärmexposition am Fahrerohr beachtlich und entsprechen in etwa den in Kapitel 8.4 aus anderen Studien bekannten Werten.

Vergleicht man die Kurvenschar zwischen der lautesten Position im Fernfeld (Mikrofon-Array) mit den Positionen im Nahfeld (Standgeräusch Messposition und im Helm), so ist nicht nur die Streubreite im Fernfeld deutlich geringer, sondern auch das Ranking (hoher zu niedriger Pegel) der einzelnen Fahrzeuge ist nicht gleichbleibend. Auffallend in Bezug auf das Ranking ist hier z.B. das Fahrzeug »Ducati Panigale« oder auch die »BMW R1250GS ohne Koffer«.

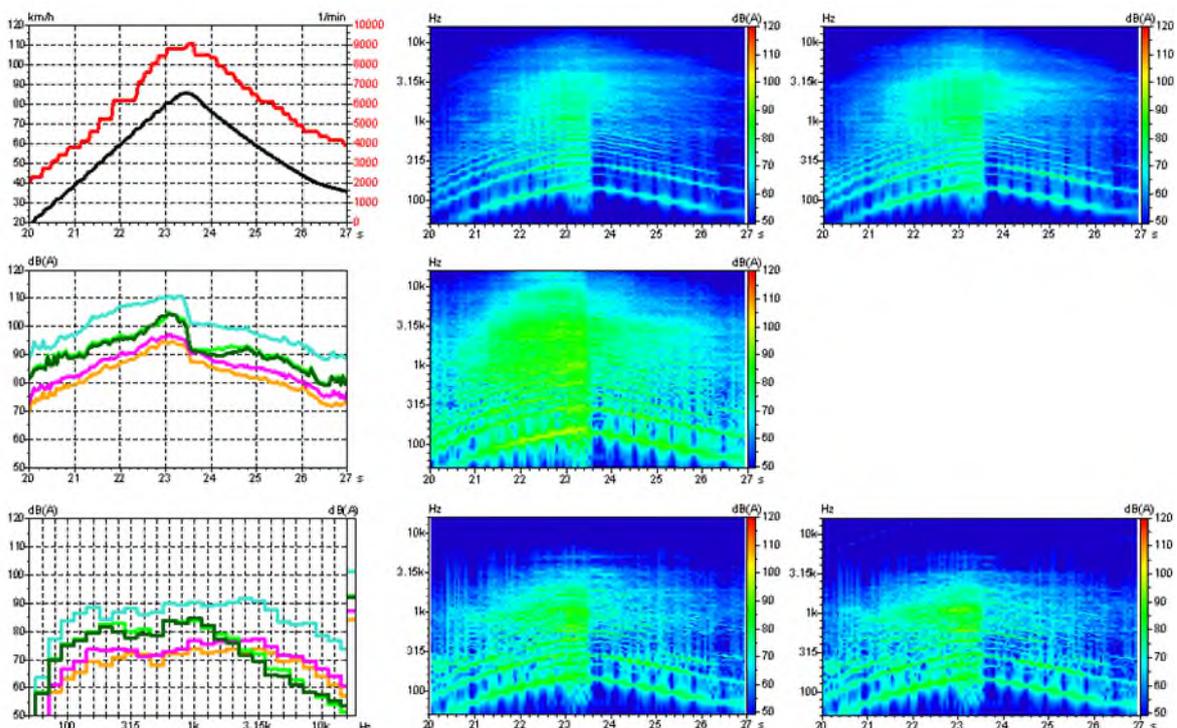
#### 10.4.1 Beschleunigte Fahrt – Spektren

Es werden hier für den 1. Gang die Fahrzustände Vollastbeschleunigung mit ggf. kurzzeitigem »Halten der Drehzahl« und anschließendem schlagartigen Wechsel (»Loslassen« des Gashebels) in die Schubphase dargestellt. Gefahren wurde dabei bis zur maximal möglichen Drehzahl bzw. bei den leistungsstarken Fahrzeugen bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 110 km/h. Sie repräsentieren extreme Fahrzustände von Beschleunigung mit starker Pegelzunahme und anschließendem Schubbetrieb mit veränderter Geräuschcharakteristik. Diese Fahrzustände werden als äußerst belästigend empfunden.

Beim Vergleich der verschiedenen Fahrzeuge ist darauf zu achten, dass aufgrund unterschiedlicher Pegelniveaus der einzelnen Fahrzeuge die dargestellten Pegelbereiche variieren. Einzelne Auffälligkeiten oder Besonderheiten bei den untersuchten Fahrzeugen werden jeweils kurz erläutert. Eine detaillierte Analyse würde im Rahmen dieser Arbeit zu weit führen.

Die nachfolgenden Zusammenstellungen in Bild 25 bis Bild 32 sind wie folgt aufgebaut.

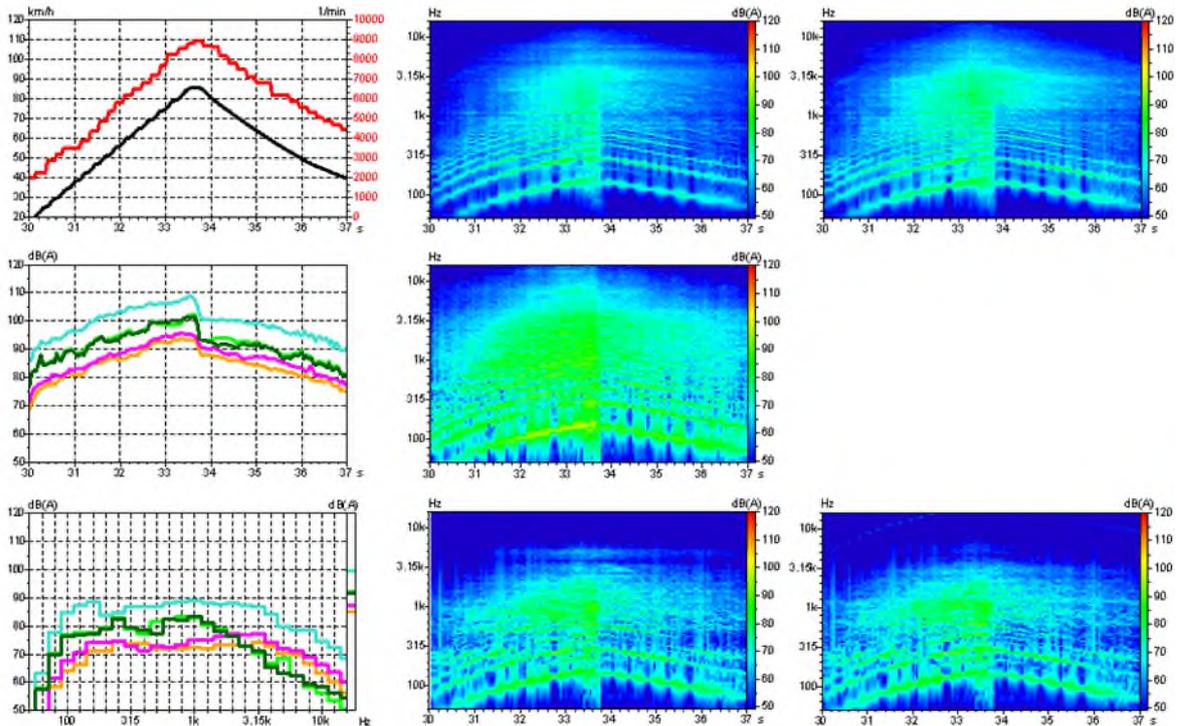
- Linke Spalte:
  - Oben: Motordrehzahl und Geschwindigkeit über der Zeit
  - Mitte: Summenpegel für Array links und rechts, Helm links und rechts sowie Nahfeld über der Zeit
  - Unten: Über die Messzeit gemittelte Terzspektren für Array links und rechts, Helm links und rechts, Nahfeld
- Mittlere und rechte Spalte:
  - Oben: Spektrogramm maximaler Pegel am Mikro-Array links und rechts
  - Mitte: Spektrogramm Nahfeld nach UN-ECE R41 Abgasmündung
  - Unten: Spektrogramm Helm links und rechts



Legende der Diagramme linke Spalte: Geschwindigkeit, Motordrehzahl, Array links, Array rechts, Standgeräuschmikrofon, Helm links, Helm rechts

Bild 25a:

»BMW R1250GS ohne Seitenkoffer« bei Vollast-Beschleunigung im 1. Gang. Schalldruckpegel über der Zeit als Spektrogramme am linken und rechten Mikrofonarray (oben, maximaler Pegel nicht abstandskorrigiert), an der Standgeräuschposition (Mitte) sowie an den Ohrpositionen im Helm (unten).



Legende der Diagramme linke Spalte: Geschwindigkeit, **Motordrehzahl**, **Array links**, **Array rechts**, **Standgeräuschmikrofon**, **Helm links**, **Helm rechts**

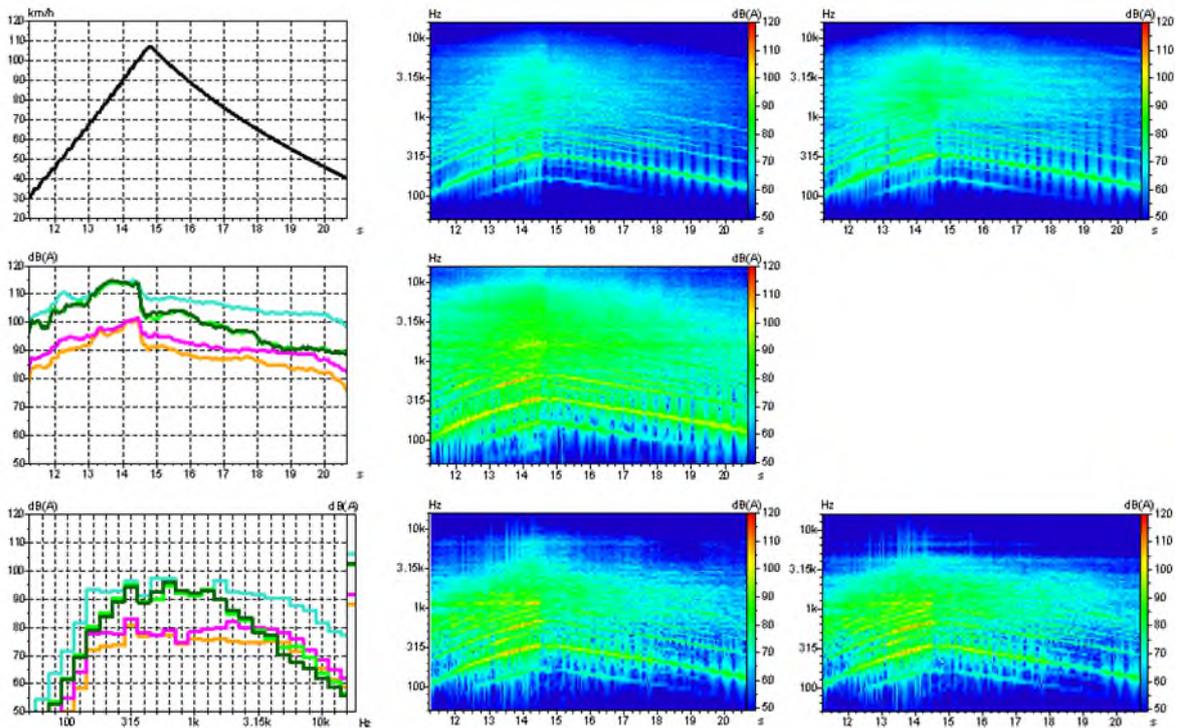
Bild 25b:

»BMW R1250GS mit Seitenkoffer« bei Vollast-Beschleunigung im 1. Gang. Schalldruckpegel über der Zeit als Spektrogramme am linken und rechten Mikrofonarray (oben, maximaler Pegel nicht abstandskorrigiert), an der Standgeräuschposition (Mitte) sowie an den Ohrpositionen im Helm (unten).

Bei der »BMW R1250GS« in Bild 25a und Bild 25b ist neben den bei Verbrennungsfahrzeugen typischerweise dominierenden Ordnungen des Antriebsstrangs eine Pegelzunahme mit der Geschwindigkeit im mittleren Frequenzbereich (ca. 500 Hz bis 5 kHz) erkennbar. Mit Erreichen der maximalen Drehzahl ist eine deutliche, breitbandige Pegelzunahme erkennbar. Insgesamt neigt dieses Fahrzeug zu deutlicher Modulation, was im Bild durch die periodische Zu- und Abnahme der Pegel insbesondere bei den Motorordnungen erkennbar ist. (Amplituden-)Modulation wird im Allgemeinen gegenüber einem zeitlich konstanten Geräusch als störender empfunden.

Die »BMW S1000R« in Bild 26a und Bild 26b zeigt prinzipiell ein ähnliches Verhalten wie die zuvor in Bild 25 beschriebene BMW-Maschine. Mit der Original-AGA sind hier jedoch vor allem im Bereich der AGA selbst im Schubmodus hohe Pegel erkennbar. Diese können durch die akustisch modifizierte AGA merklich gesenkt werden, siehe hierzu auch Kapitel 10.5.1.

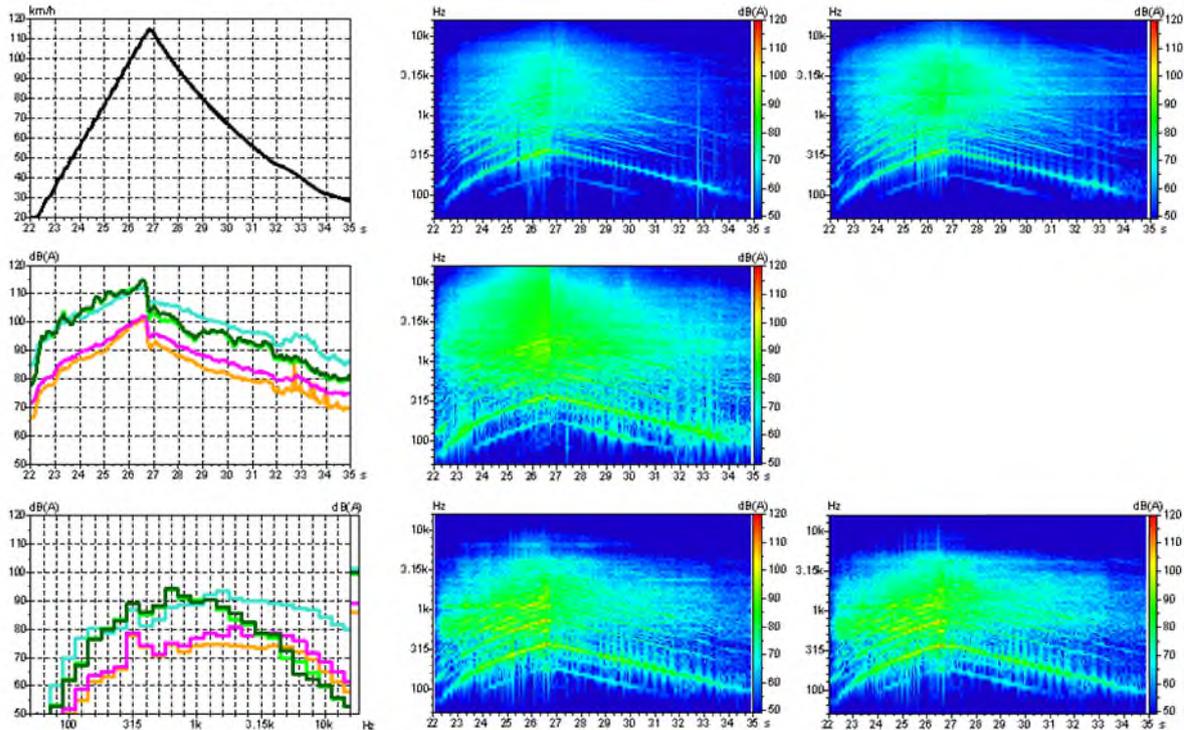
Bei den Untersuchungen an diesem Fahrzeug war gegenüber den weiteren Fahrzeugen das Visier am Helm geöffnet. Die Pegel für die beiden Mikrofone im Helm können daher sinnvoll nur für einen Vergleich zwischen den beiden AGA genutzt werden.



Legende der Diagramme linke Spalte: Geschwindigkeit, Motordrehzahl, Array links, Array rechts, Standgeräuschmikrofon, Helm links, Helm rechts

Bild 26a:

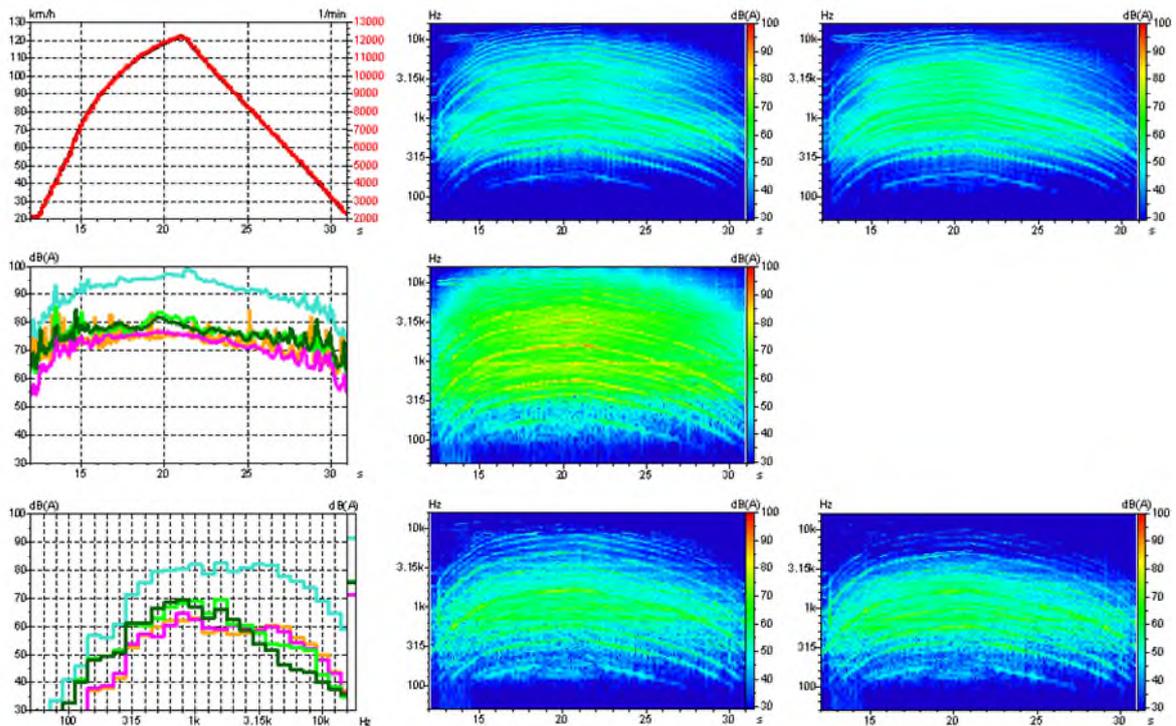
»BMW S1000R mit Original AGA und Seitenkoffer« bei Vollast-Beschleunigung im 1. Gang. Schalldruckpegel über der Zeit als Spektrogramme am linken und rechten Mikrofonarray (oben, maximaler Pegel nicht abstandskorrigiert), an der Standgeräuschposition (Mitte) sowie an den Ohrpositionen im Helm (unten). Helm mit geöffnetem Visier.



Legende der Diagramme linke Spalte: Geschwindigkeit, **Motordrehzahl**, **Array links**, **Array rechts**, **Standgeräuschmikrofon**, **Helm links**, **Helm rechts**

Bild 26b:

»BMW S1000R mit geräuschoptimierter AGA der Firma Hattech Seitenkoffer« bei Vollast-Beschleunigung im 1. Gang. Schalldruckpegel über der Zeit als Spektrogramme am linken und rechten Mikrofonarray (oben, maximaler Pegel nicht abstandskorrigiert), an der Standgeräuschposition (Mitte) sowie an den Ohrpositionen im Helm (unten). Helm mit geöffnetem Visier.

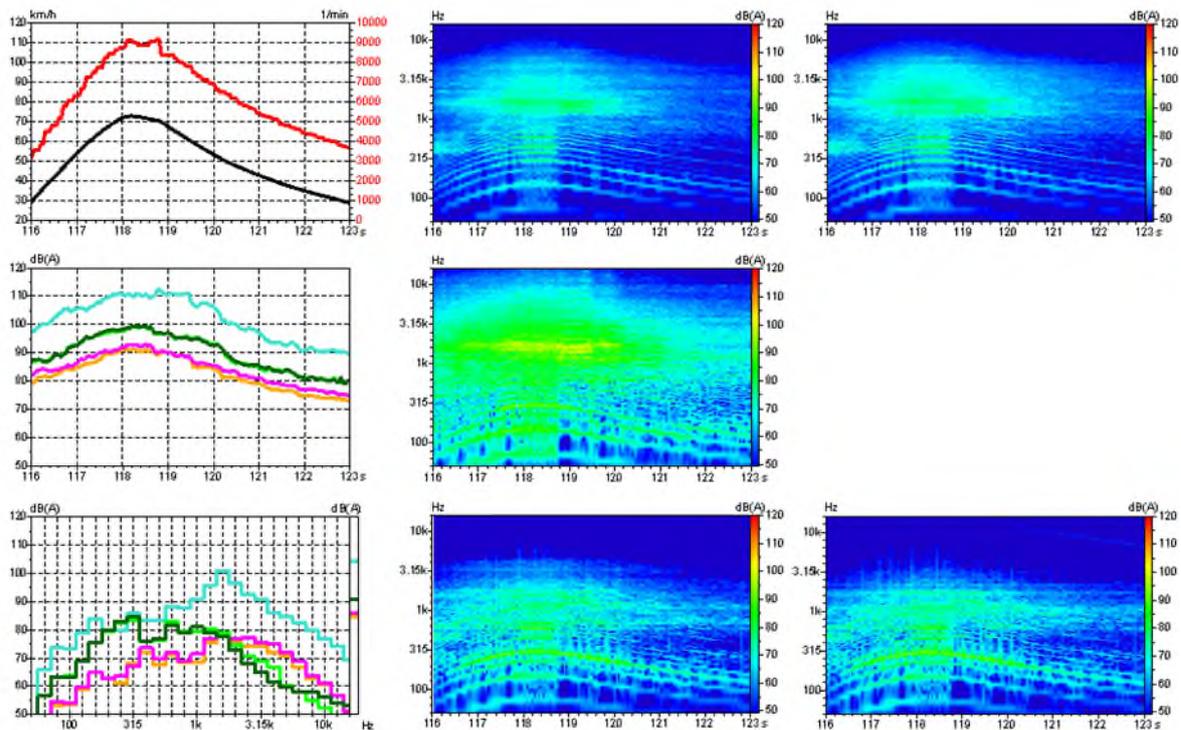


Legende der Diagramme linke Spalte: Geschwindigkeit, Motordrehzahl, Array links, Array rechts, Standgeräuschmikrofon, Helm links, Helm rechts

Bild 27:

»BMW CE04« bei Vollast-Beschleunigung im 1. Gang. Schalldruckpegel über der Zeit als Spektrogramme am linken und rechten Mikrofonarray (oben, maximaler Pegel nicht abstandskorrigiert), an der Standgeräuschposition (Mitte) sowie an den Ohrpositionen im Helm (unten).

Erwartungsgemäß sind beim Elektromotorrad geringere Pegel erkennbar, wie die Diagramme in Bild 27. Zahlreiche Ordnungen sind hier nahezu über den gesamten Frequenzbereich sichtbar. Gegenüber den überwiegend im unteren Frequenzbereich liegenden charakteristischen Ordnungen eines Verbrennungsmotors sind diese auch bei höheren Frequenzen dominant. Zudem sind für E-Fahrzeuge typische hochfrequente und auch zur Drehzahl gegenläufige Ordnungen vorhanden. Wenngleich auch durch die relativ hohe Dichte an Ordnungen eine breitbandige Geräuschabstrahlung vorhanden ist, ergeben einzelne dominierende Ordnungen einen für E-Fahrzeuge charakteristischen Sound.

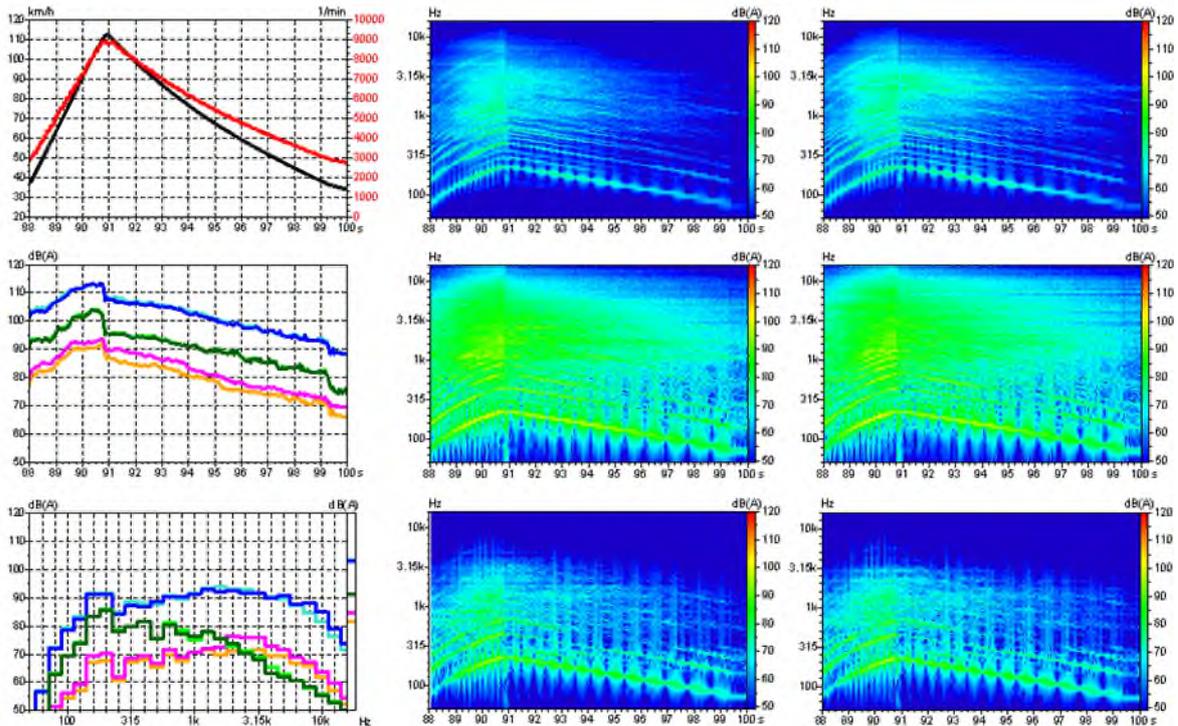


Legende der Diagramme linke Spalte: Geschwindigkeit, Motordrehzahl, Array links, Array rechts, Standgeräuschmikrofon, Helm links, Helm rechts

Bild 28:

»Husqvarna 701 Supermoto« bei Vollast-Beschleunigung im 1. Gang. Schall- druckpegel über der Zeit als Spektrogramme am linken und rechten Mikro- fonarray (oben, maximaler Pegel nicht abstandskorrigiert), an der Standge- räuschposition (Mitte) sowie an den Ohrpositionen im Helm (unten).

Auch bei der Husqvarna 701 Supermoto ist eine Pegelanhebung beim Erreichen bzw. kurzzeitigen »Halten« der Maximaldrehzahl in Bild 28 zu sehen. Gegen- über den beiden zuvor gezeigten BMW-Verbrennungsmotor-Fahrzeugen sind hier jedoch kaum Modulationen der Pegel im unteren Frequenzbereich an den Mikro-Arrays erkennbar. Auffallend ist bei diesem Fahrzeug ein drehzahlun- abhängiges breites Frequenzband im Bereich um 2 kHz. Da dieses auch nach der Gaswegnahme bestehen bleibt, ist im Summenpegel an dieser Stelle keine ab- rupte Pegelabsenkung vorhanden.

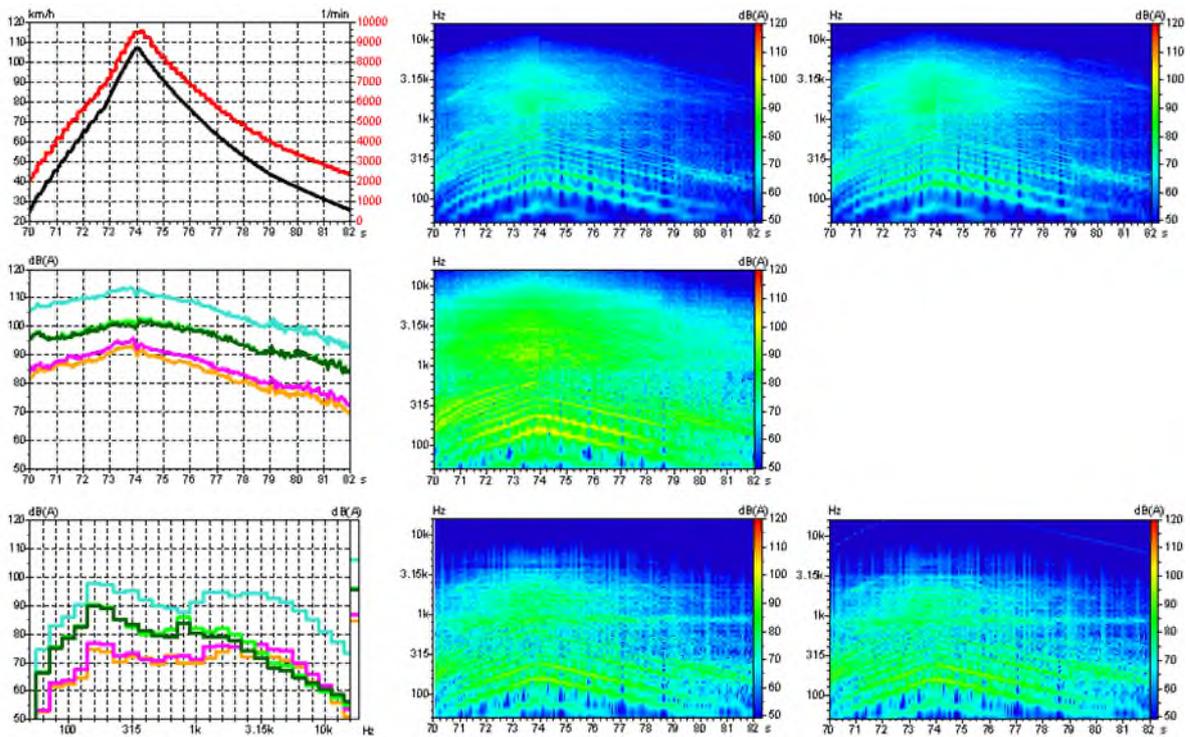


Legende der Diagramme linke Spalte: Geschwindigkeit, **Motordrehzahl**, **Array links**, **Array rechts**, **Standgeräuschmikrofon**, **Standgeräuschmikrofon**, **Helm links**, **Helm rechts**

Bild 29:

»Yamaha Tracer« bei Vollast-Beschleunigung im 1. Gang. Schalldruckpegel über der Zeit als Spektrogramme am linken und rechten Mikrofonarray (oben, maximaler Pegel nicht abstandskorrigiert), an der Standgeräuschposition (Mitte) sowie an den Ohrpositionen im Helm (unten).

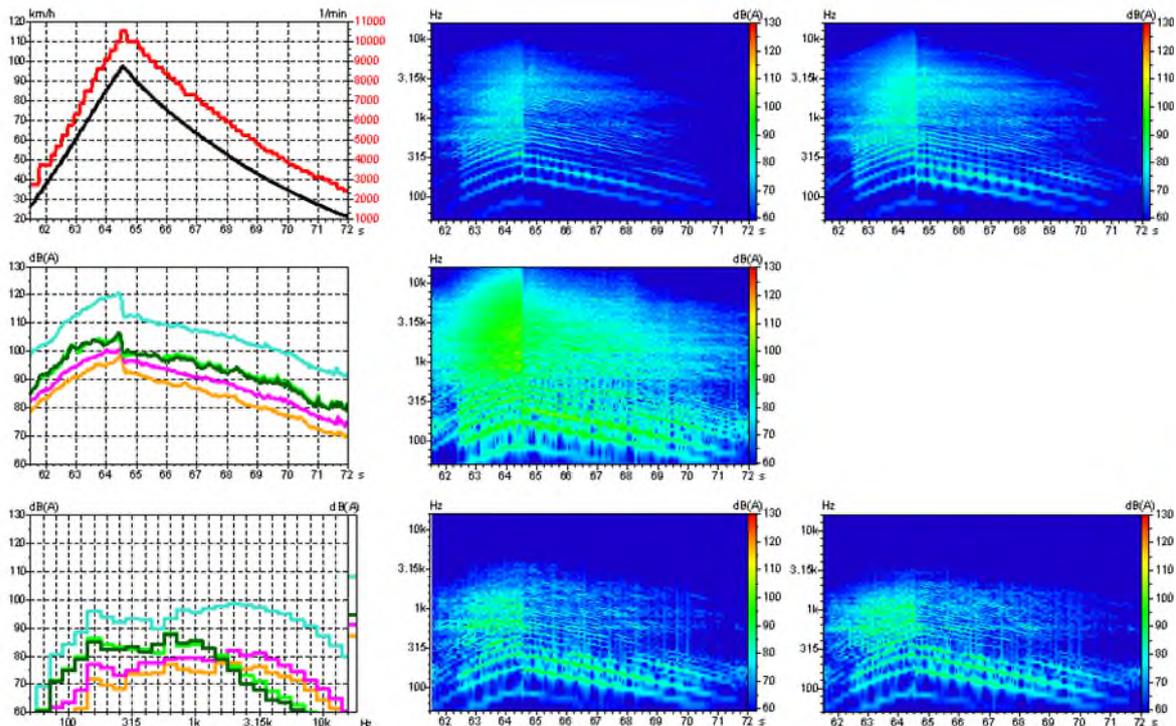
Die akustische Charakteristik des Fahrzeugs Yamaha Tracer nach Bild 29 entspricht ebenfalls überwiegend derjenigen der BMW-Verbrennungsmotor-Fahrzeuge mit einem allerdings scharf ausgeprägten Abfall der Pegel beim Übergang in den Schubbetrieb. Dies fast schlagartige Verhalten ist auch deutlich in den Spektrogrammen erkennbar. Die nachfolgend in Bild 30 dargestellten Ergebnisse der Ducati Panigale zeigen ein der Yamaha sehr ähnliches Verhalten.



Legende der Diagramme linke Spalte: Geschwindigkeit, **Motordrehzahl**, **Array links**, **Array rechts**, **Standgeräuschmikrofon**, **Helm links**, **Helm rechts**

Bild 30:

»Ducati Panigale« bei Vollast-Beschleunigung im 1. Gang. Schalldruckpegel über der Zeit als Spektrogramme am linken und rechten Mikrofonarray (oben, maximaler Pegel nicht abstandskorrigiert), an der Standgeräuschposition (Mitte) sowie an den Ohrpositionen im Helm (unten).

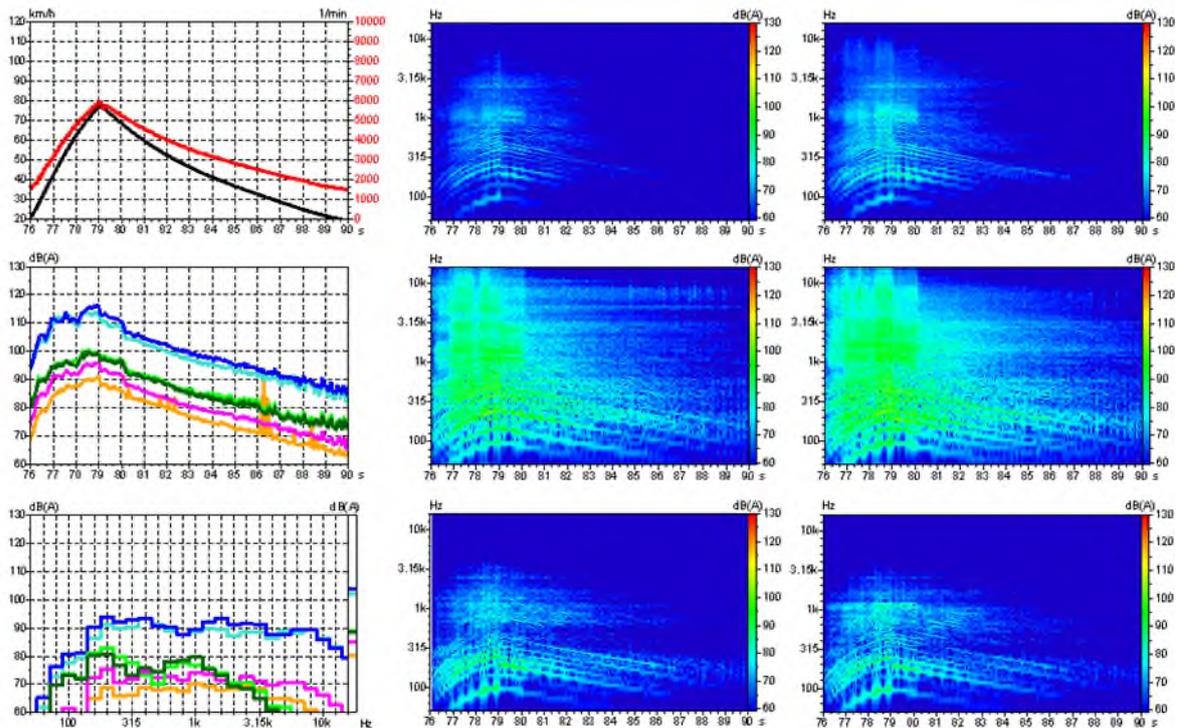


Legende der Diagramme linke Spalte: Geschwindigkeit, **Motordrehzahl**, **Array links**, **Array rechts**, **Standgeräuschmikrofon**, **Helm links**, **Helm rechts**

Bild 31:

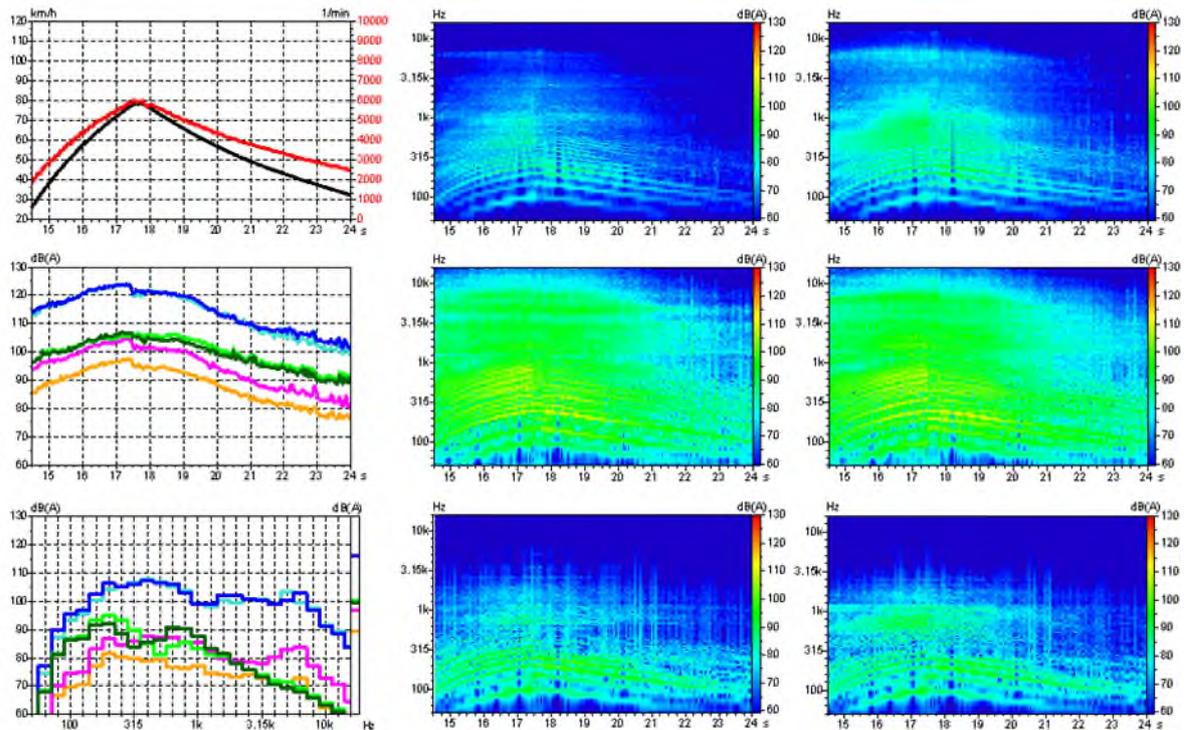
»Ducati Diavel« bei Vollast-Beschleunigung im 1. Gang. Schalldruckpegel über der Zeit als Spektrogramme am linken und rechten Mikrofonarray (oben, maximaler Pegel nicht abstandskorrigiert), an der Standgeräuschposition (Mitte) sowie an den Ohrpositionen im Helm (unten).

Bei der Ducati Diavel nach Bild 31 fällt auf, dass zum Beginn der Beschleunigungsphase mit einer zeitlichen Verzögerung die Pegel breitbandig sprunghaft ansteigen. Dabei ist zu beachten, dass dieses Fahrzeug mit einer elektronisch gesteuerten Klappe im Abgasstrang ausgerüstet ist, die vom Fahrer jedoch nicht beeinflusst werden kann. Im Rahmen der Untersuchungen konnte der Klappenstellwinkel nicht mit aufgezeichnet werden. Es liegt jedoch die Vermutung nahe, dass eine Klappenöffnung ursächlich für dieses Phänomen ist.



Legende der Diagramme linke Spalte: Geschwindigkeit, Motordrehzahl, Array links, Array rechts, Standgeräuschmikrofon, Helm links, Helm rechts

Bild 32a:  
 »Harley-Davidson mit geschlossener Klappenauspuffanlage« bei Vollast-Beschleunigung im 1. Gang. Schalldruckpegel über der Zeit als Spektrogramme am linken und rechten Mikrofonarray (oben, maximaler Pegel nicht abstandskorrigiert), an der Standgeräuschposition (Mitte) sowie an den Ohrpositionen im Helm (unten).



Legende der Diagramme linke Spalte: Geschwindigkeit, Motordrehzahl, Array links, Array rechts, Standgeräuschmikrofon, Helm links, Helm rechts

Bild 32b:

»Harley-Davidson mit geöffneter Klappenauspuffanlage« bei Vollast-Beschleunigung im 1. Gang. Schalldruckpegel über der Zeit als Spektrogramme am linken und rechten Mikrofonarray (oben, maximaler Pegel nicht abstandskorrigiert), an der Standgeräuschposition (Mitte) sowie an den Ohrpositionen im Helm (unten).

Bei den Ergebnissen der Harley-Davidson nach Bild 32a und Bild 32b ist insbesondere mit geöffneter Klappenauspuffanlage auch der Pegel auf der Seite der AGA im Schubbereich sehr hoch. Die Pegelabnahme beim Übergang in den Schubetrieb erfolgt schneller bei geschlossener Abgasklappe. Bei geöffneter Klappe bleibt über einen längeren Zeitraum der hohe Pegel bestehen. Modulationen sind bei diesem Fahrzeug jedoch kaum zu erkennen

## 10.5 Einfluss Anbauteile

Die Charakteristik der abgestrahlten Geräusche kann, wie anhand Bild 33 ersichtlich, durch angebaute Fahrzeugteile beeinflusst sein. Bei der BMW sind es zum Beispiel seitlich und auch im Bereich der Abgasanlage angebrachte Original Hersteller Gepäckkoffer. Im Frequenzbereich zwischen ca. 500 Hz und 4 kHz sind beim Setup ohne Koffer bei höheren Geschwindigkeiten deutlich höhere Pegel erkennbar.

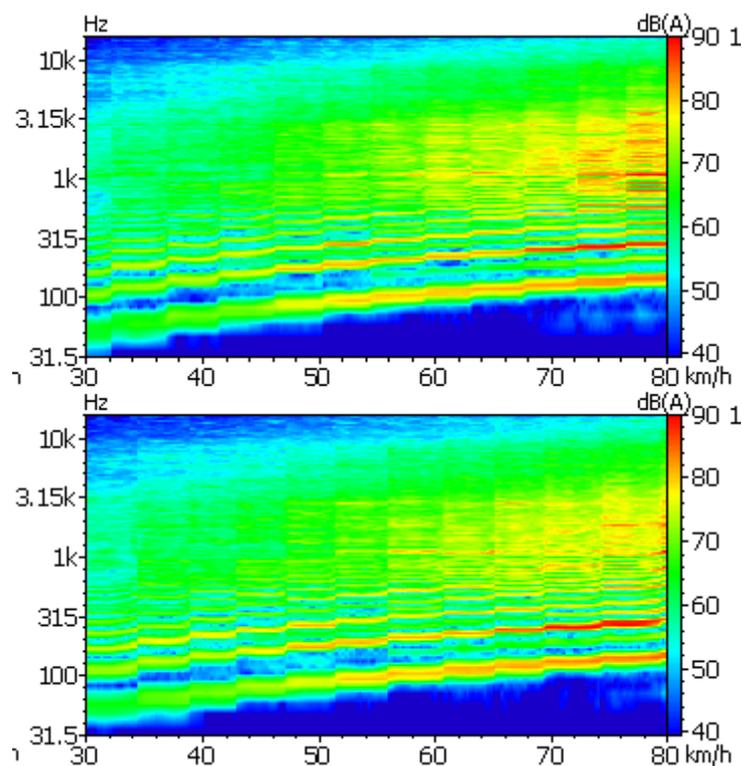


Bild 33:  
Beschleunigung BMW R1250GS, 1. Gang, Volllast ohne (oben) und mit  
seitlichem Gepäckkoffer (unten). Schalldruckpegel am rechten Mikrofonarray  
maximal gemessener, nicht abstandskorrigierter Pegel als Spektrogramm über  
der Geschwindigkeit.

### 10.5.1 Akustisch optimierte Nachrüst-Abgasanlagen

Durch die geräuschoptimierte AGA können gegenüber der originalen Hersteller-AGA dominante Motorordnungen, wie hier die 2. und 4. Ordnung, sowohl bei der Standgeräuschmessung (Bild 34 »Fernfeld« und Bild 35 »Nahfeld«) als auch im Fahrbetrieb (Bild 36) deutlich reduziert werden. Dies gilt sowohl im Nahbereich der Auspuffmündung und hinter dem Motorrad (Bild 35) als auch im Fernfeld. Dort zeigt das zeitlich gemittelte Spektrum aus Bild 34, dass sowohl bei tieferen Frequenzen als auch im breiten hochfrequenten Bereich Pegelminderungen von ca. 6 – 8 dB erreicht werden. Zudem kommt vor allem auch beim in Bild 36 dargestellten Schubetrieb diese Pegelreduzierung gut zur Geltung.

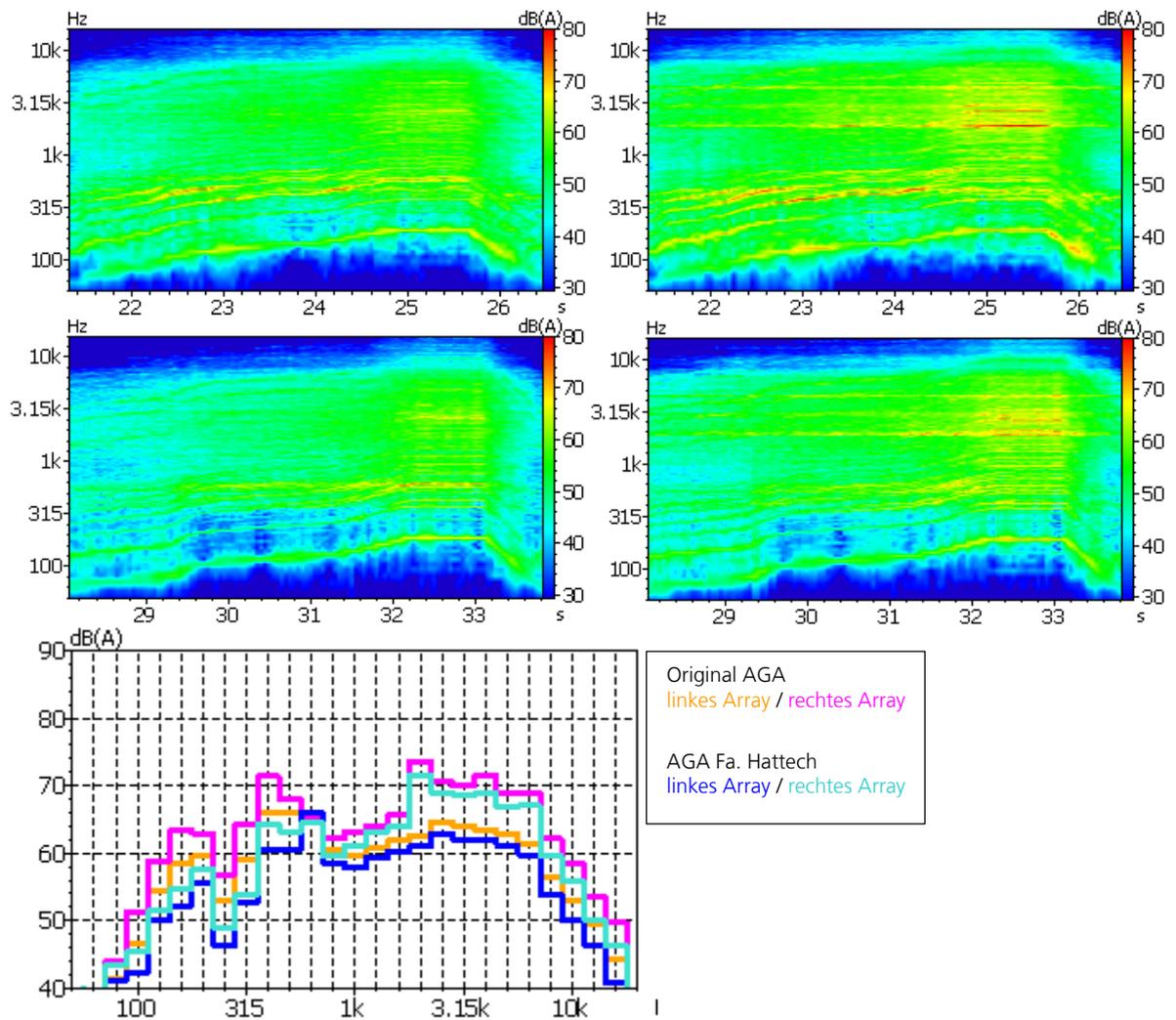


Bild 34:  
 »BMW S1000R« Standgeräuschmessung durch Hochlauf bis ca. 5500 rpm.  
 Maximaler Schalldruckpegel als Spektrogramm über der Zeit am linken und rechten Mikrofonarray (Pegel nicht abstandskorrigiert) mit original Hersteller AGA (oben) und mit schallgedämpfter AGA der Firma Hattech (Mitte), zeitlich gemittelttes Spektrum (unten).

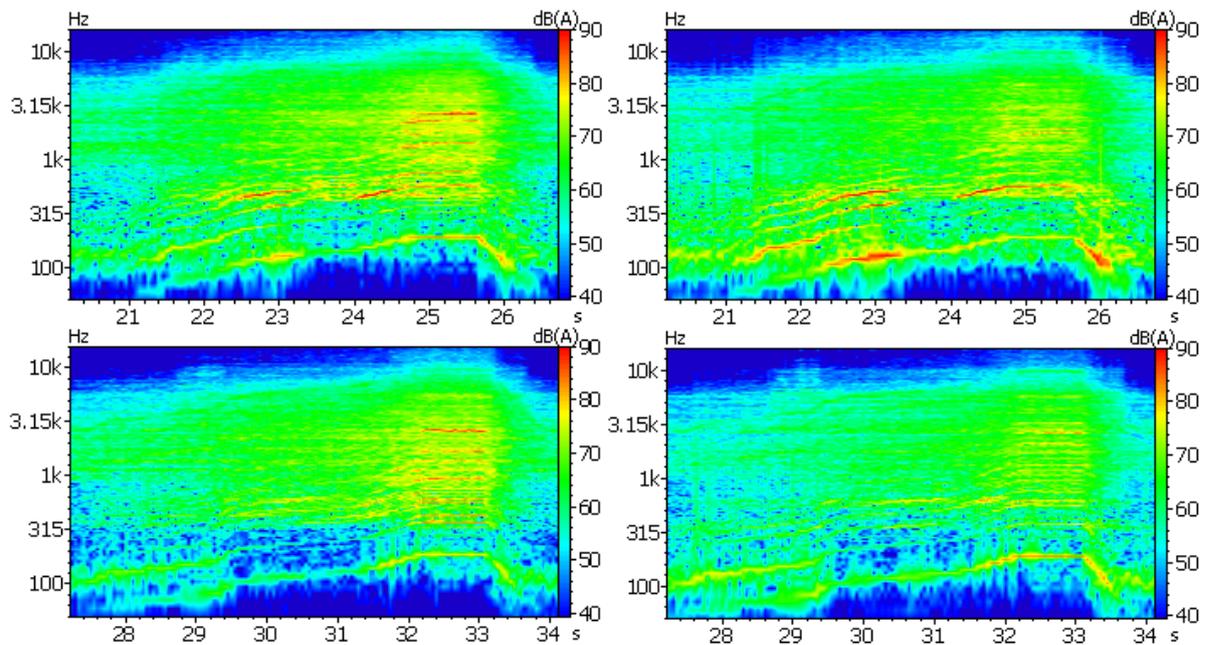


Bild 35:

»BMW S1000R« Standgeräuschmessung durch Hochlauf bis ca. 5500 rpm.  
 Maximaler Schalldruckpegel als Spektrogramm über der Zeit.  
 Messung neben Hinterrad in 50 cm Abstand und 50 cm Höhe über dem Boden (linke Diagramme) und im Bereich der Abgasmündung (rechte Diagramme),  
 Original AGA (oben) und mit schallgedämpfter AGA der Firma Hattech (unten).

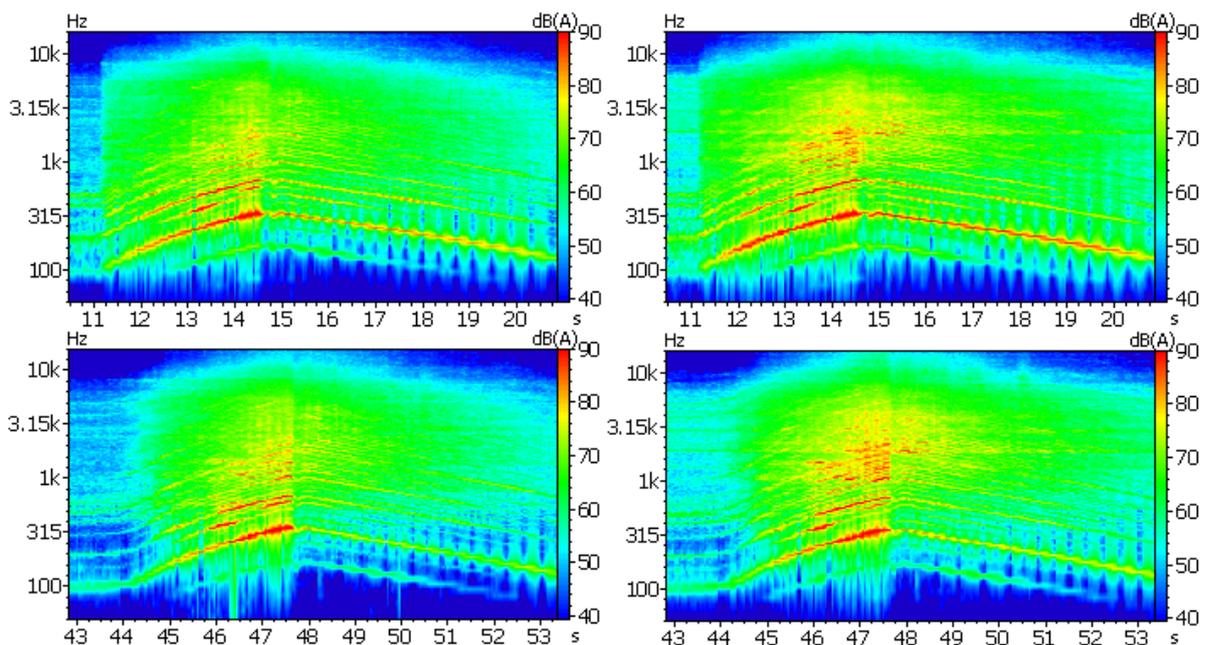


Bild 36:

BMW S1000R »Beschleunigung und Schub« (40 km/h bis ca. 105 km/h),  
 1. Gang, Volllast.  
 Maximaler Schalldruckpegel als Spektrogramm über der Zeit am linken und rechten Mikrofonarray (Pegel nicht abstandskorrigiert) mit original Hersteller AGA (oben) und mit schallgedämpfter AGA der Firma Hattech (unten).

## 10.6 Maximalpegel bei konstanter und beschleunigter Fahrt

In der Praxis wird erwartet, dass bei Vollast-Beschleunigung gegenüber Teillast-Beschleunigung die höchsten Pegel ermittelt werden können. Bei den Messungen mit konstanter Geschwindigkeit sind die Pegel in der Regel am geringsten. Damit dürfte der Pegelbereich zwischen konstanter und Vollast-beschleunigter Fahrt sämtliche Fahrsituationen repräsentieren. Für den Vergleich zwischen einer eher »moderaten« und »extremen« Fahrweise bietet es sich zudem an, neben der Betrachtung von Konstantfahrt zu Vollastbeschleunigung, die Beschleunigung aus einzelnen Gänge bei gleicher Geschwindigkeit gegenüberzustellen. Dabei entspricht die beschleunigte Fahrt in einem höheren Gang durch die niedrigere Beschleunigung und niedrigere Drehzahl eher der »moderaten« Fahrweise.

Durch frühzeitiges Hochschalten bzw. generell Nutzung höherer Gänge lassen sich bei den untersuchten Fahrzeugen die Pegel zum Teil merklich reduzieren. Die Untersuchungen hierzu sind in Bild 37 zusammengefasst. Beispielsweise lassen sich bei voller Beschleunigung die Pegel bei der Wahl von Gang zwei statt Gang eins für einzelne Fahrzeuge und je nach Fahrgeschwindigkeit im Mittel um bis zu rund 5 dB(A) reduzieren. Beim entsprechendem Vergleich zwischen Gang eins und vier fallen die Pegelunterschiede mit ca. 8 – 10 dB erwartungsgemäß noch deutlicher aus. Hierbei muss jedoch einschränkend erwähnt werden, dass die Unterschiede bei der Beschleunigung zwischen beiden Gängen erheblich sind und bei gewöhnlicher Nutzung des Fahrzeugs nicht in jeder Fahrsituation der höhere Gang der üblicherweise verwendeten Wahl entsprechen wird. Die Diagramme unterscheiden sich teilweise, da nicht zu allen Fahrzeugen und Geschwindigkeiten ein Ergebnis angegeben werden kann. Einige der Geschwindigkeits-Gangkonstellationen sind teilweise nicht fahrbar.

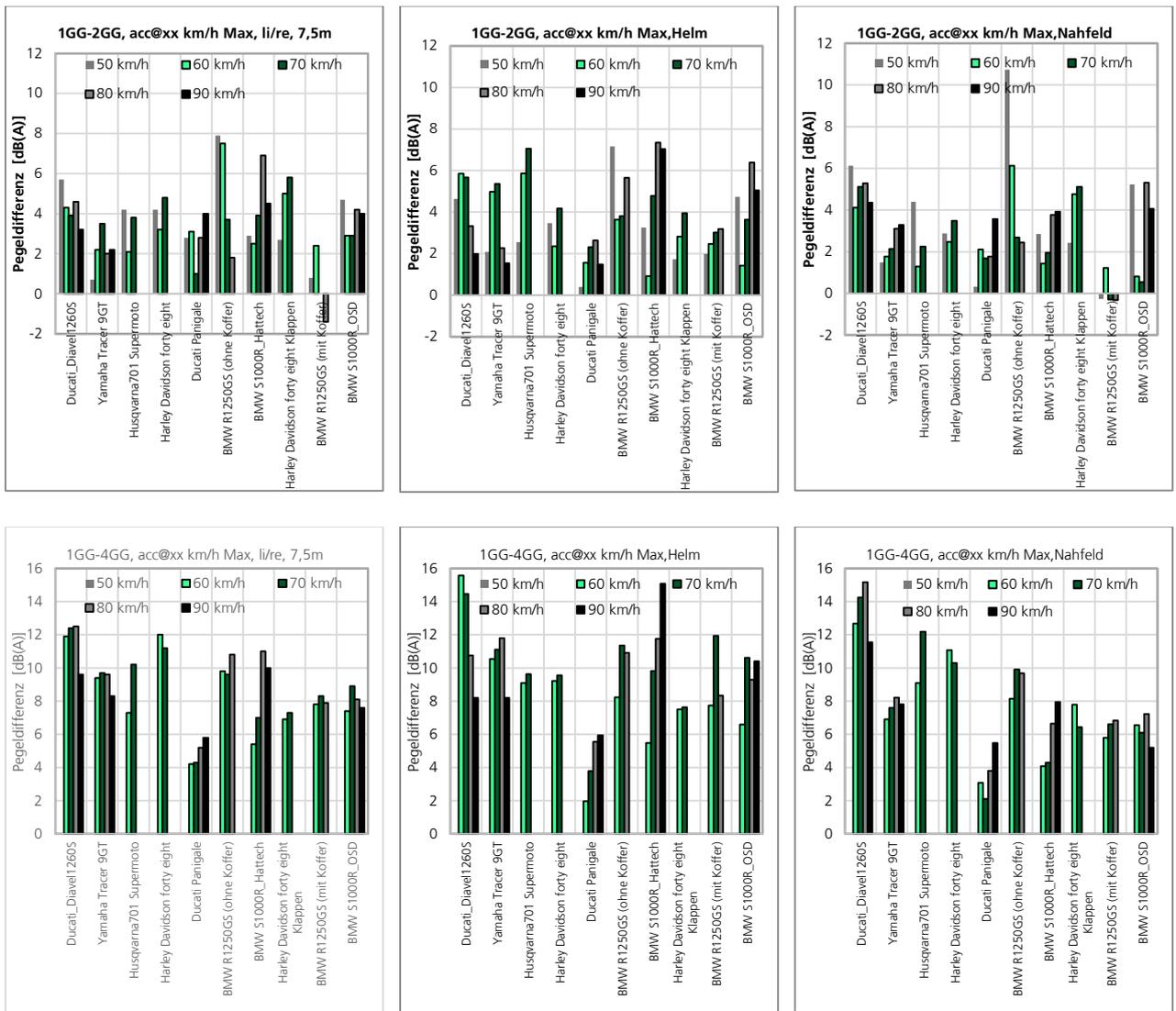


Bild 37: Differenz der Schalldruck-Summenpegel bei volllastbeschleunigter Fahrweise zwischen Gang eins und zwei (oben) bzw. Gang eins und vier (unten) am Mikrofon-Array, Helm und im Nahfeld bei verschiedenen Startgeschwindigkeiten.

Abkürzungen:

BMW S1000R\_Hattech bzw. \_OSD: mit akustisch optimierter AGA von Hattech bzw. original BMW-AGA.

Harley Davidson forty eight bzw. forty eight Klappen: geschlossene bzw. geöffnete Klappenauspuffanlage.

Die nachfolgenden Diagramme in Bild 38 bis Bild 45 geben für jedes Fahrzeug separat die bei den Konstantfahrten und Volllast-beschleunigten Fahrten ermittelten Schalldruck-Summenpegel bei den bekannten Geschwindigkeitsstützstellen in den untersuchten Gängen (Gang 1 bis 4, sofern fahrbar) wieder. Zudem ist das Stand- und Fahrgeräusch entsprechend der Zulassungsbescheinigung zum Vergleich als horizontale Linien mit eingezeichnet. Da Absolutpegel generell vom Abstand zwischen Mikrofon und Schallquelle abhängig sind, muss

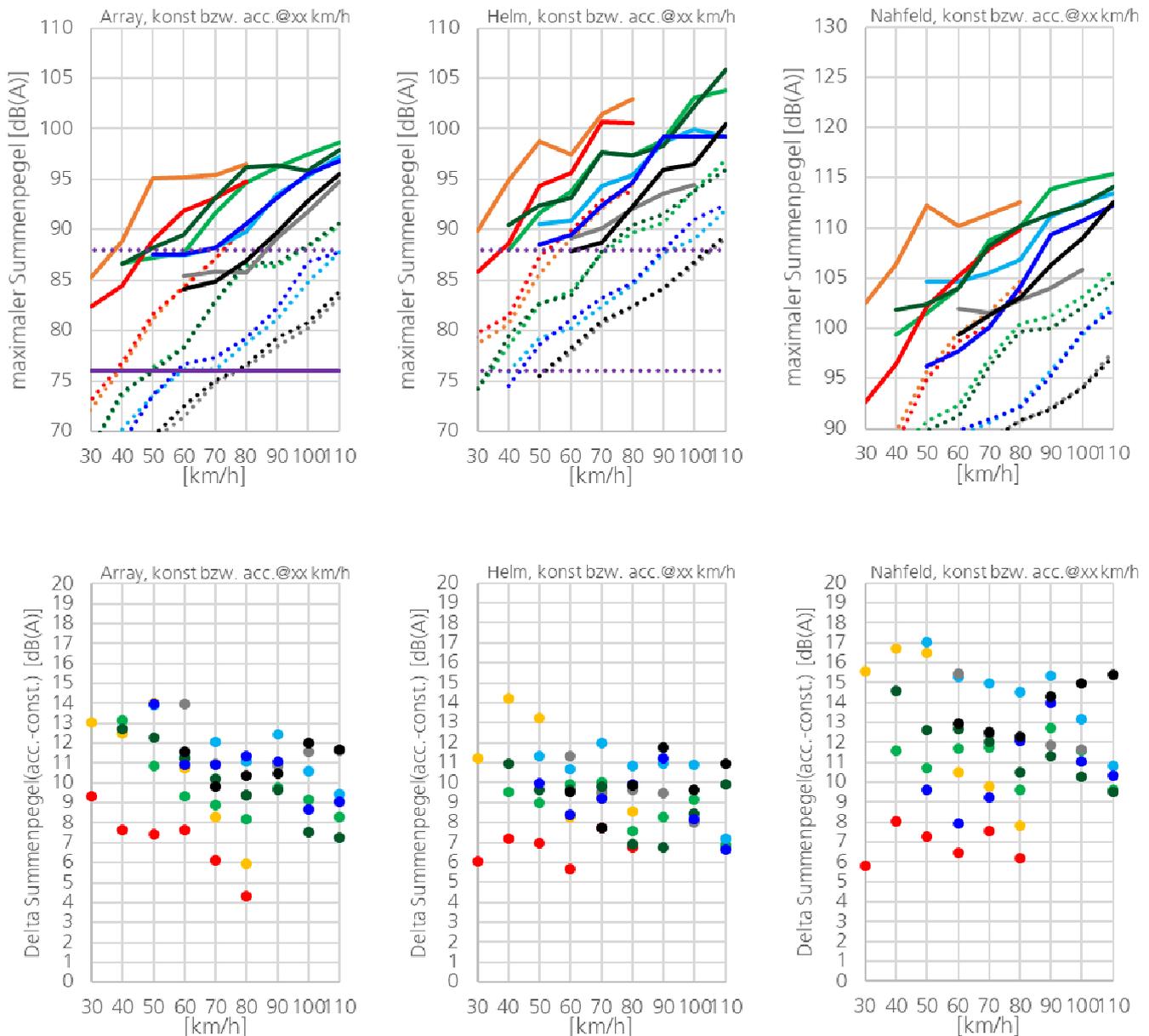
dies beim Vergleich mit den Messwerten berücksichtigt werden. Wo dieser Vergleich nicht direkt möglich ist sind die entsprechenden horizontalen Linien dann »gepunktet« eingezeichnet.

Bei den Fahrzeugen zeigt sich erwartungsgemäß ein Pegelanstieg mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit und die Pegel bei beschleunigter Fahrt sind bei gleicher Geschwindigkeit oberhalb denjenigen der konstanten Fahrten. Ausnahme bildet lediglich das E-Fahrzeug, bei dem die Pegel bei beschleunigter Fahrt, von Ausreißern bei 40 km/h abgesehen, fast konstant über der Geschwindigkeit bleiben. Mit maximal 80 dB(A) in 7,5 m Abstand liegen sie zudem gegenüber dem lautesten Fahrzeug mit einem Pegel von bis zu 105 dB(A) deutlich darunter.

Die bei beschleunigter Fahrt an den Array-Mikrofonen maximal aufgetretenen Summenpegel liegen bei nahezu allen Verbrennungsmotorfahrzeugen oberhalb des jeweils eingetragenen Fahrgeräusches. Auch wenn die Werte nicht direkt vergleichbar sind, so liegen die größten über alle Gänge an den Geschwindigkeitsstützstellen ermittelten Werte bis zu rund 23 dB(A) über den in den Zulassungsbescheinigungen eingetragenen Vorbeifahrtpegel. Besonders auffallend sind hier die Fahrzeuge »Ducati Panigale« und »Ducati Diavel«, bei denen selbst die Werte für die Konstantfahrt, außer bei 50 km/h in Gang drei bzw. Gang vier, ebenfalls oberhalb des Fahrgeräusches liegen.

An dieser Stelle sei daran erinnert, dass die in den Zulassungsbescheinigungen eingetragenen Fahrgeräuschpegel aus konstanter und beschleunigter Vorbeifahrt gebildet werden und damit einen Rechenwert darstellen. Während die ermittelten Pegel bei den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen für die Konstantfahrt denjenigen bei der Zulassungsmessung entsprechen dürften, sind die beschleunigten Fahrten, auch ohne Konstantfahrten nach ASEP, nicht direkt mit einem Vorbeifahrtpegel entsprechend Norm vergleichbar.

Bei der Vorbeifahrt nach Norm (ohne ASEP) fährt das Fahrzeug an einer feststehenden Mikrofonposition mit einer Zielgeschwindigkeit um 50 km/h auf Mikrofonhöhe vorbei. Die vom Fahrzeug »vor« bzw. »nach« Erreichen der Mikrofonposition abgestrahlten Geräusche sind auf Grund des größeren Abstands zwischen Quelle und Mikrofon im Pegel abgeschwächt. Bei den hier durchgeführten Messungen hingegen wird praktisch der rund um das Motorrad abgestrahlte Schall während der kompletten Beschleunigungsfahrt aufgezeichnet und die gemessenen Werte auf einen Abstand der Quelle zum Mikrofon von konstant 7,5 m umgerechnet. Dieser so gebildete Pegel wird daher in der Regel gegenüber der Normmessung höher ausfallen, dürfte jedoch in Bezug auf eine tatsächliche vom Motorrad ausgehende Geräuschbelastung den realistischeren Wert darstellen.



Legende:

»BMW 1250GS« mit seitlichem Koffer: **1. Gang**, **2. Gang**, **3. Gang**, **4. Gang**

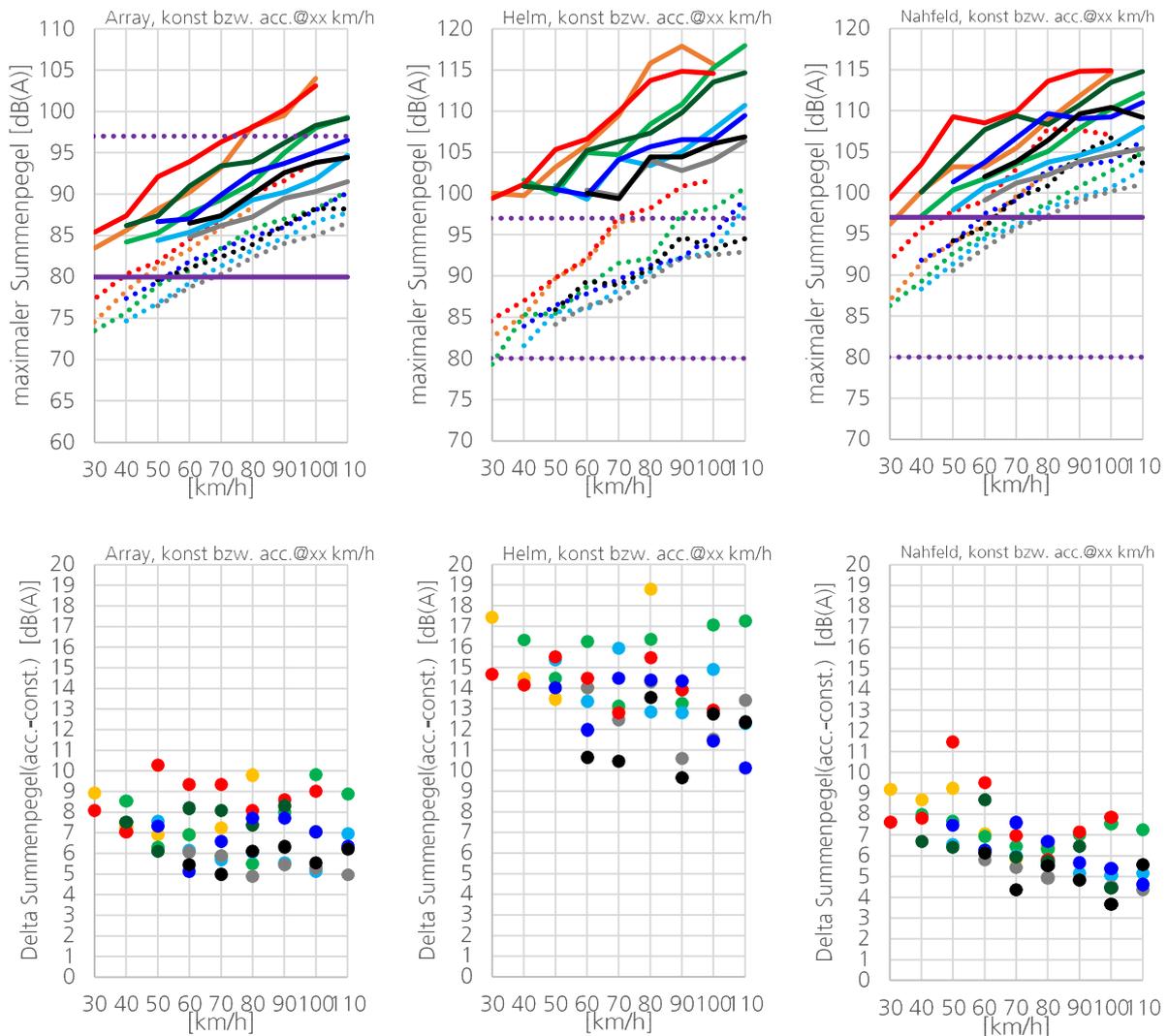
»BMW 1250GS« ohne Koffer: **1. Gang**, **2. Gang**, **3. Gang**, **4. Gang**

Fahrgeräusch bzw. Standgeräusch (gepunktet, falls Übereinstimmung der Mikrofonabstände zur Quelle nicht gegeben ist) als horizontale Linien.

Bild 38:

Oben: Schalldruck-Summenpegel für beschleunigte (durchgezogen) und konstante (gepunktet) Fahrten. Unten Pegeldifferenz aus beschleunigter und konstanter Fahrt.

Es sind nur geringe Unterschiede bei den Pegeln mit und ohne Koffer feststellbar. Auffällig ist lediglich der erste Gang ohne Koffer, der gerade bei 50 km/h einen erhöhten Pegel in der Vollast-Beschleunigung zeigt.



Legende:

»BMW S1000R mit original AGA«: **1. Gang**, **2. Gang**, **3. Gang**, **4. Gang**

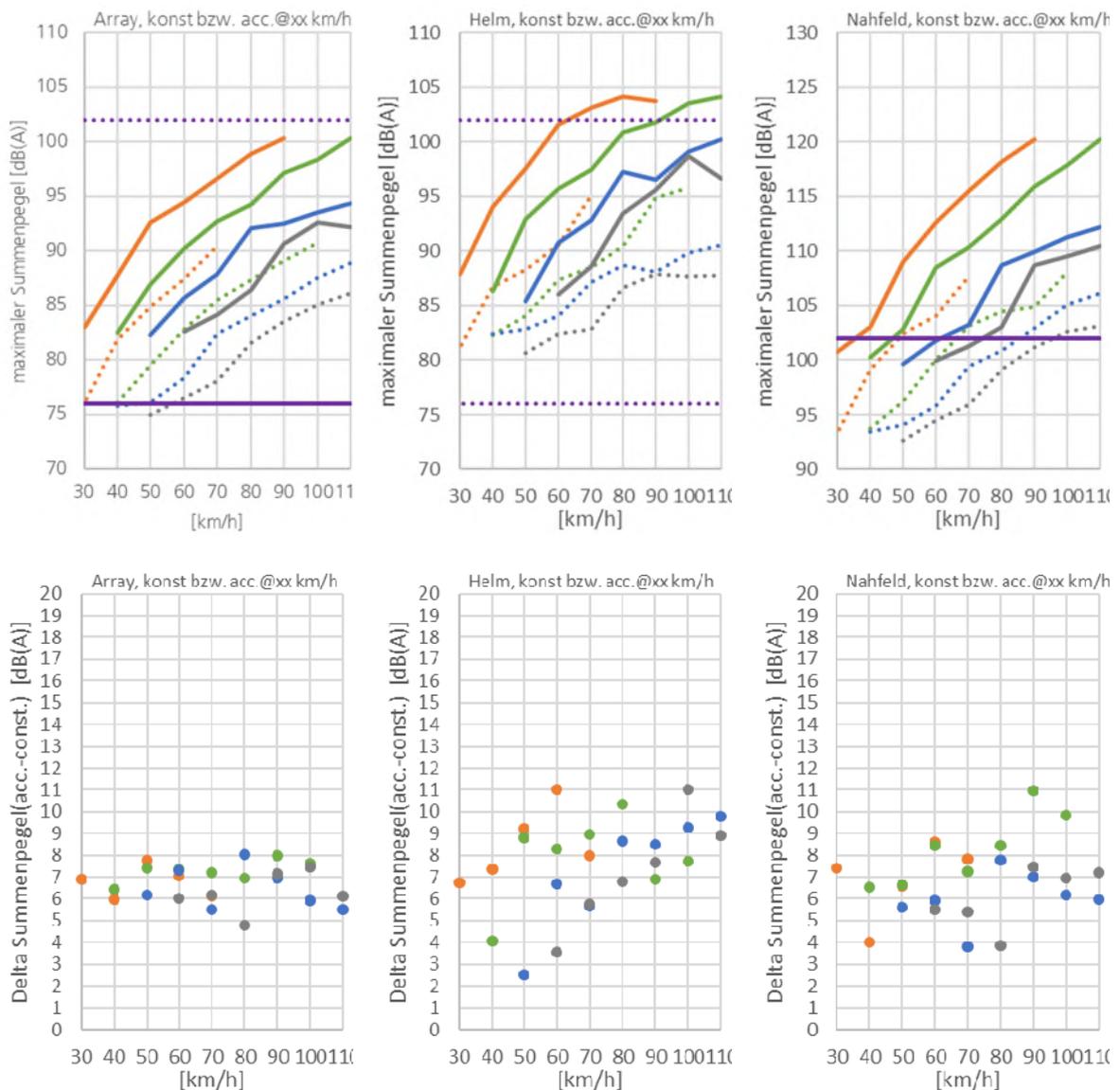
»BMW S1000R mit AGA der Fa. Hattech«: **1. Gang**, **2. Gang**, **3. Gang**, **4. Gang**

Fahrgeräusch bzw. Standgeräusch (gepunktet, falls Übereinstimmung der Mikrofonabstände zur Quelle nicht gegeben ist) als horizontale Linien.

Bild 39:

Oben: Schalldruck-Summenpegelpegel für beschleunigte (durchgezogen) und konstante (gepunktet) Fahrten. Unten Pegeldifferenz aus beschleunigter und konstanter Fahrt. Visier am Helm geöffnet.

Die Pegel der einzelnen Gänge sowie zwischen beschleunigter und konstanter Fahrt liegen im Nah- und Fernfeld relativ nahe beieinander, was auf ein ausgewogeneres Geräuschverhalten hinweist. Die Pegel bei geöffnetem Visier verdeutlichen die damit verbundene hohe Lärmbelastung des Fahrers vor allem in niedrigen Gängen.



Legende:

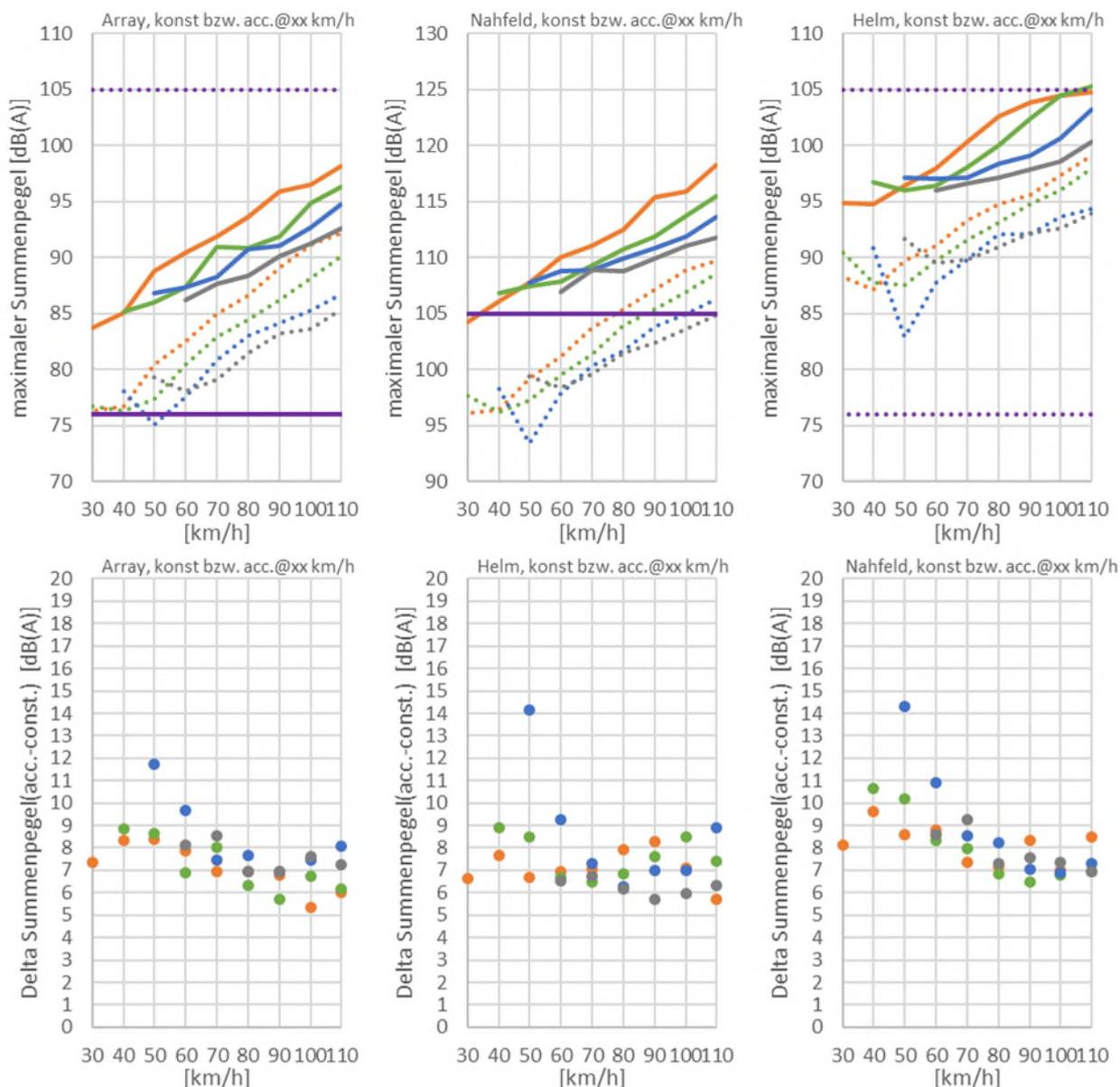
»Ducati Diavel«: **1. Gang**, **2. Gang**, **3. Gang**, **4. Gang**

Fahrgeräusch bzw. Standgeräusch (gepunktet, falls Übereinstimmung der Mikrofonabstände zur Quelle nicht gegeben ist) als horizontale Linien.

Bild 40:

Oben: Schalldruck-Summenpegel für beschleunigte (durchgezogen) und konstante (gepunktet) Fahrten. Unten Pegeldifferenz aus beschleunigter und konstanter Fahrt.

Auffallend ist die nahezu konstante Pegeldifferenz von ca. 7 dB zwischen Pegeln aus beschleunigter und konstanter Fahrt. Im Nahfeld ist diese Tendenz ebenfalls sichtbar, wenn auch mit deutlich größerer Streuung.



Legende:

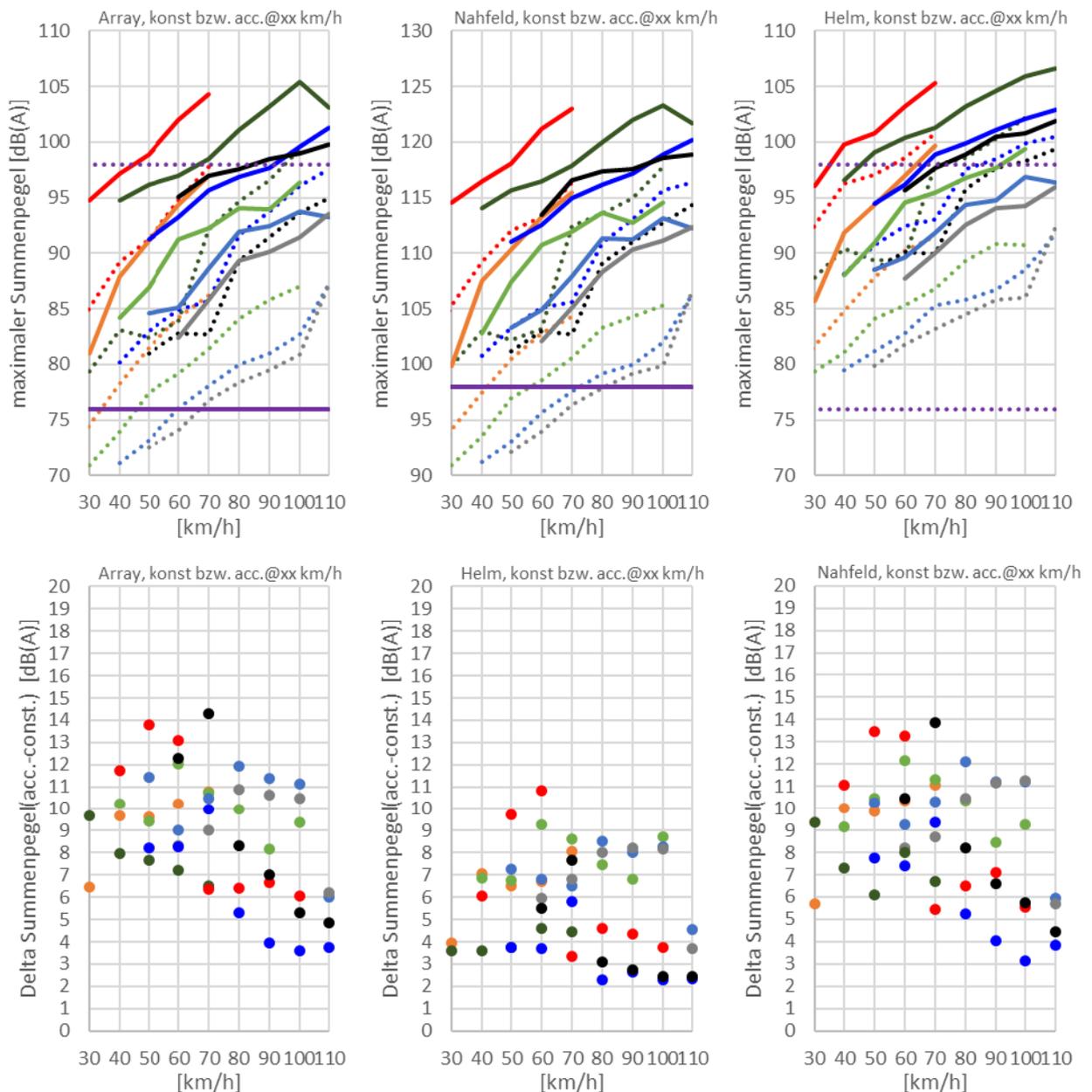
»Ducati Panigale«: **1. Gang**, **2. Gang**, **3. Gang**, **4. Gang**

Fahrgeräusch bzw. Standgeräusch (gepunktet, falls Übereinstimmung der Mikrofonabstände zur Quelle nicht gegeben ist) als horizontale Linien.

Bild 41:

Oben: Schalldruck-Summenpegel für beschleunigte (durchgezogen) und konstante (gepunktet) Fahrten. Unten Pegeldifferenz aus beschleunigter und konstanter Fahrt.

Bei der Panigale liegen die Pegel aus beschleunigter Fahrt selbst im vierten Gang über den Pegel aus konstanter Fahrt im ersten Gang und kann dem »sportlichen« Charakter des Fahrzeugs zugeschrieben werden.



Legende:

»Harley-Davidson« mit geöffneter Klappe: **1. Gang**, **2. Gang**, **3. Gang**, **4. Gang**

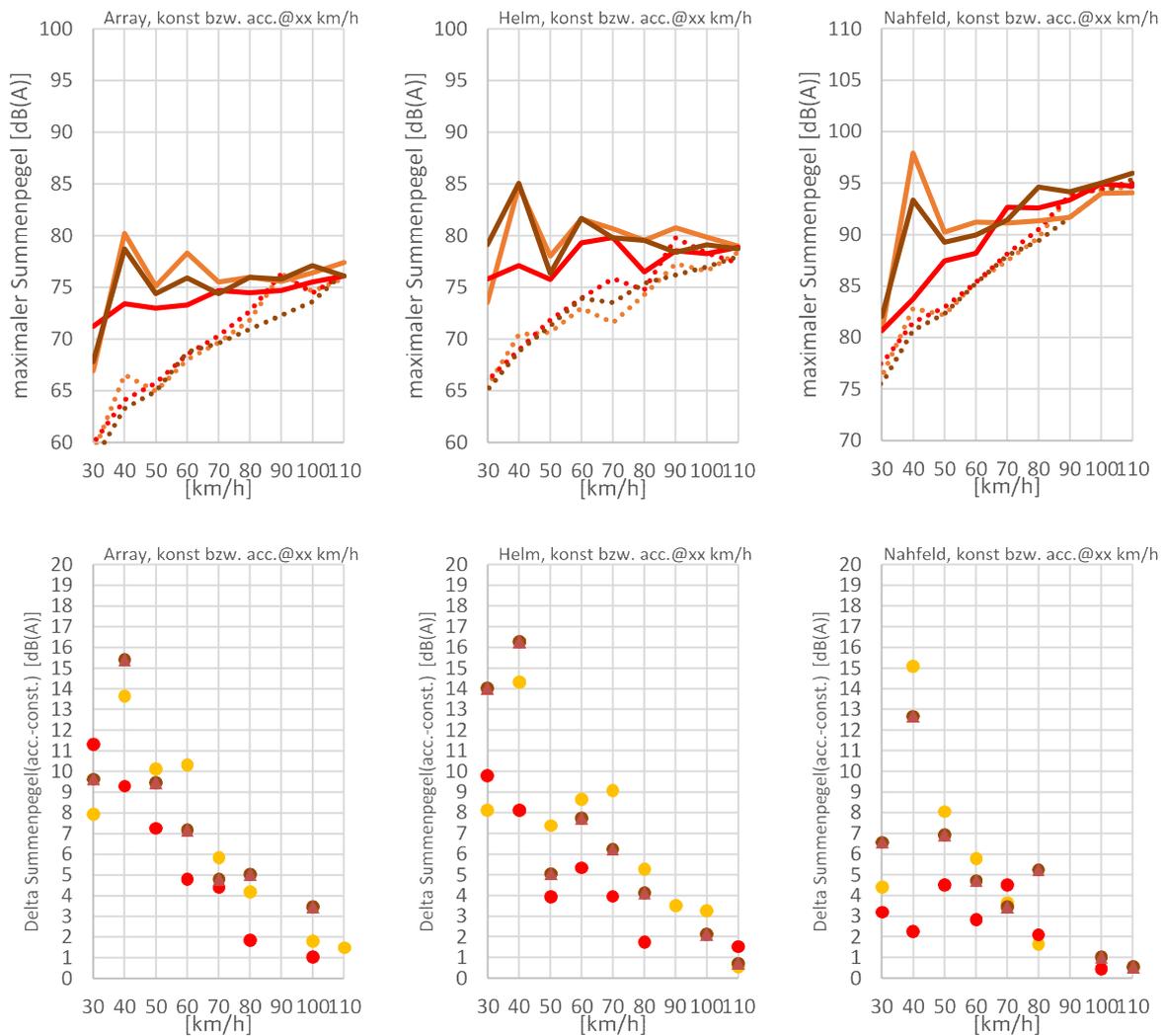
»Harley-Davidson« bei geschlossener Klappe: **1. Gang**, **2. Gang**, **3. Gang**, **4. Gang**

Fahrgeräusch bzw. Standgeräusch (gepunktet, falls Übereinstimmung der Mikrofonabstände zur Quelle nicht gegeben ist) als horizontale Linien

Bild 42:

Oben: Schalldruck-Summenpegel für beschleunigte (durchgezogen) und konstante (gepunktet) Fahrten. Unten Pegeldifferenz aus beschleunigter und konstanter Fahrt.

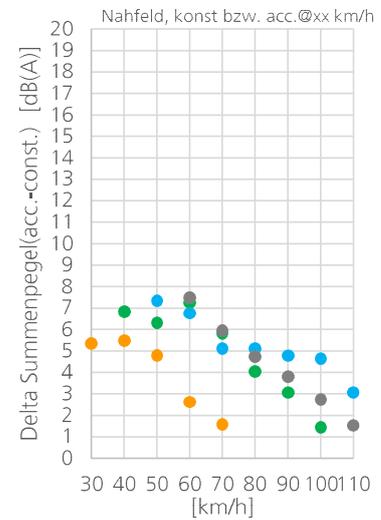
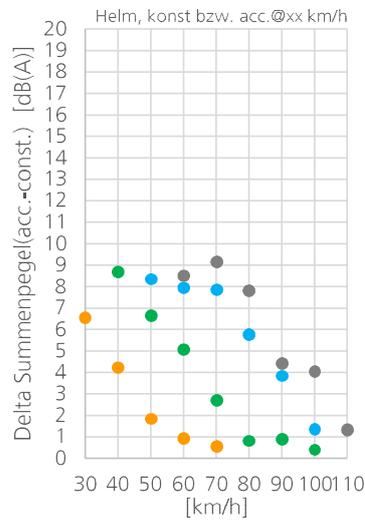
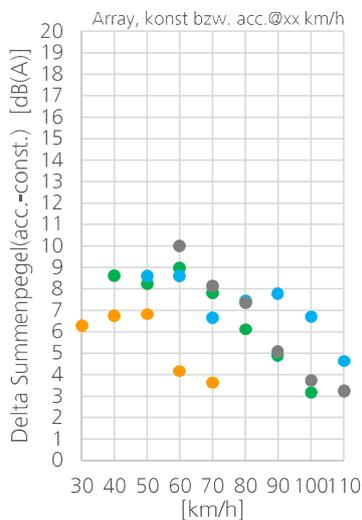
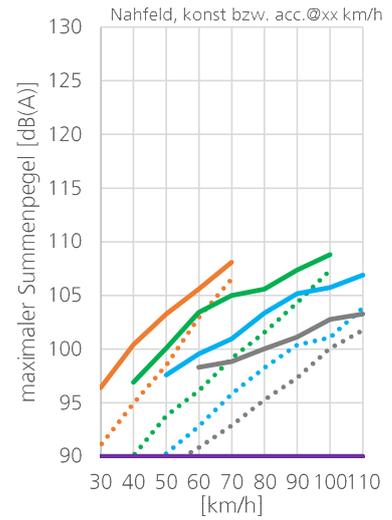
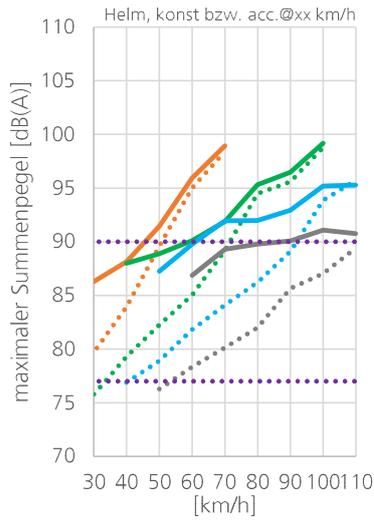
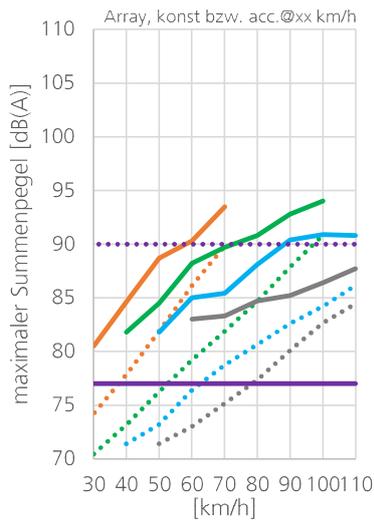
Auffällig sind die schon genannten großen Pegelunterschiede zwischen geöffneter und geschlossener Klappe in allen Fahrzuständen.



Legende:  
 »BMW CE04«: **Fahrmodus Dynamic, eco, road.**

Bild 43:  
 Oben: Schalldruck-Summenpegel für beschleunigte (durchgezogen) und konstante (gepunktet) Fahrten. Unten Pegeldifferenz aus beschleunigter und konstanter Fahrt.

Beim E-Fahrzeug bleiben die Pegel bei beschleunigter Fahrt fast konstant über der Geschwindigkeit. Bei 40 km/h und teilweise bei 60 km/h zeigen sich erhöhte Pegel, die auf die Schallabstrahlung mitschwingender Gehäusebauteile hindeuten. Dies kann in der Konstruktion als Groß-Roller begründet sein. Mit maximal 80 dB(A) in 7,5 m Abstand liegt das E-Fahrzeug zudem deutlich unter den Pegeln der übrigen Fahrzeuge.



Legende:

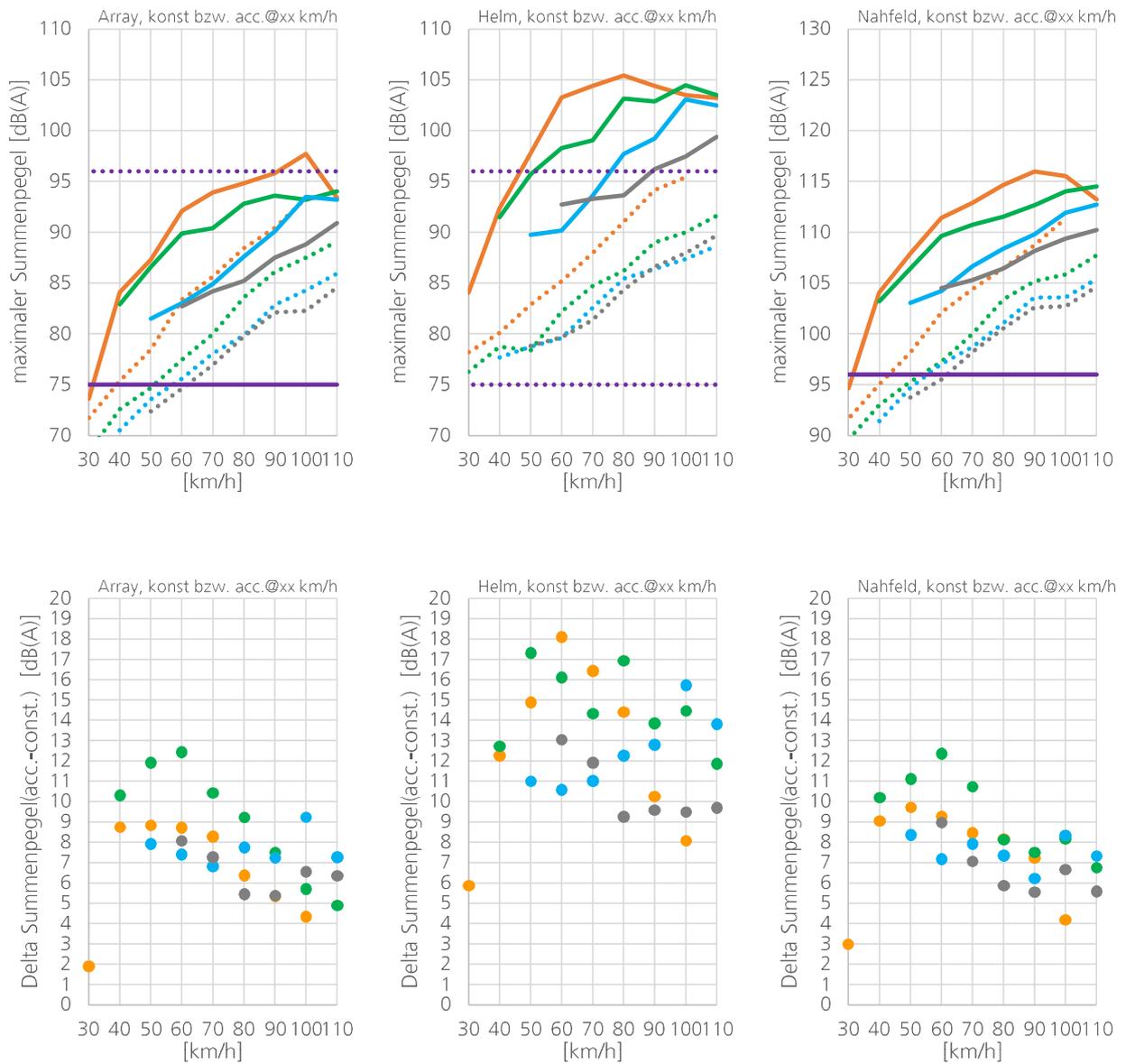
»Husqvarna«: **1. Gang**, **2. Gang**, **3. Gang**, **4. Gang**

Fahrgeräusch bzw. Standgeräusch (gepunktet, falls Übereinstimmung der Mikrofonabstände zur Quelle nicht gegeben ist) als horizontale Linien.

Bild 44:

Oben: Schalldruck-Summenpegel für beschleunigte (durchgezogen) und konstante (gepunktet) Fahrten. Unten Pegeldifferenz aus beschleunigter und konstanter Fahrt.

Bei der Husqvarna nähern sich die Pegel aus beschleunigter und konstanter Fahrt zu hohen Geschwindigkeiten an. Der Effekt der Beschleunigung wird somit zunehmend geringer.



Legende:

»Yamaha Tracer 9 GT«: **1. Gang, 2. Gang, 3. Gang, 4. Gang**

Fahrgeräusch bzw. Standgeräusch (gepunktet, falls Übereinstimmung der Mikrofonabstände zur Quelle nicht gegeben ist) als horizontale Linien.

Bild 45:

Oben: Schalldruck-Summenpegel für beschleunigte (durchgezogen) und konstante (gepunktet) Fahrten. Unten Pegeldifferenz aus beschleunigter und konstanter Fahrt

Wie bei der Ducati Panigale liegen bei der Yamaha die Pegel aus beschleunigter Fahrt deutlich über denen aus der Konstantfahrt, wenn auch nicht ganz so stark ausgeprägt. Damit weist sie ebenfalls bei Beschleunigung eine deutliche Pegelzunahme auf.

Insgesamt zeigen die Pegeldifferenzen zwischen einer »moderaten« Fahrweise, hier repräsentiert durch die Fahrten bei konstanter Geschwindigkeit, und »extremer« Motorradnutzung durch Vollast-beschleunigte Fahrten sowohl zwischen den Fahrzeugen als auch bei unterschiedlichen Gängen oder Fahrgeschwindigkeiten kein einheitliches Bild. Sie reichen an den Arraypositionen, abgesehen von einzelnen Ausreißern, über alle Verbrennungsmotorfahrzeuge betrachtet je nach Geschwindigkeit-Gangkonstellation von rund 3 dB(A) bis 14 dB(A). Damit ist in einigen Fahrsituationen ein großes Potential zwischen den beiden Fahrweisen vorhanden, die dem Fahrer als Option zur Verfügung stehen. Beim E-Fahrzeug beträgt die Differenz bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten je nach gewähltem Fahrmodus sogar bis zu rund 15 dB(A). Es weist dabei allerdings gegenüber den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor deutlich geringere Absolutpegel auf.

## 11 Zusammenfassung und Fazit

In dieser Arbeit wurde ein kurzer Überblick zu verschiedenen Motorradkategorien, Motoren und Antriebskonzepten gegeben sowie auf die gesetzlichen und normativen Rahmenbedingungen eingegangen. Hierbei ist erkennbar, dass die aktuell geltenden Vorschriften und Regelungen mit den ASEP-Umfängen tendenziell hin zu leiseren Fahrzeugen führen. Mit zusätzlichen Grenzwerten, z.B. für das Standgeräusch, und Verschärfungen, sowie weiterer Verfeinerung bei der Pegelermittlung ist sicherlich noch einiges Potential vorhanden.

Darüber hinaus wurde kritisch auf einzelne Punkte bei der Durchführung und Dokumentation von Kontrollen sowie Sanktionierungen eingegangen. Ebenfalls wurden Hürden und Hindernisse bei der Zulassung geräuscharmer Zubehörteile, wie beispielsweise die aufwändige Typgenehmigung bei zu großer Leistungsabweichung geräuscharmer Abgasanlagen oder eine unklare Gesetzeslage in Bezug auf möglicherweise kommende Fahrbeschränkungen, diskutiert. Bei diesen regulatorischen Themen sind die entsprechenden gesetzgebenden und durchführenden Organe für eine Anpassung der Vorschriften und Prozesse gefordert.

Neben statistischen Auswertungen zum Motorradaufkommen und den in den Zulassungsbescheinigungen angegebenen Geräuschpegeln für das Stand- und Fahrgeräusch wurde über Aktionen und Initiativen gegen Motorradlärm, wie z.B. Apelle zu einer geräuschärmeren Fahrweise, Lärmblitzer oder Lärmdisplays berichtet. Daraus ergaben sich Denkanstöße, die zu weiteren Maßnahmen führen könnten. Dazu zählen z.B. die Deckelung der Verbrennungsmotordrehzahl, aktive Soundanreicherung am Fahrerohr als Anreiz und Kompensation für ein leiseres Fahrgeräusch, finanzielle Anreize zum Kauf geräuscharmer Fahrzeuge oder Anbauteile sowie bauliche Maßnahmen oder Verkehrseinschränkungen, wie z.B. Überholverbote für Motorräder.

Der Hauptteil der Arbeit konzentrierte sich auf Akustikmessungen auf dem Rollenprüfstand im Fraunhofer Institut für Bauphysik. Hierfür wurden aus den gängigen Motorrad-Kategorien Tourenmotorrad, Adventure Tourer, Supersport, Naked Bike, Chopper, Allrounder und Enduro/Supermoto sowie E-Motorrad je ein

Vertreter ausgewählt. Dies soll eine möglichst große Bandbreite an verschiedenen Fahrzeugen und Charakteren repräsentieren. Zusätzlich wurden zwei der acht Fahrzeuge mit einer zuschaltbaren Klappenauspuffanlage bzw. einer geräuscharmen Zubehör-Abgasanlage untersucht. Die Verwendung des Akustik-Rollenprüfstand ermöglicht erstmals die Bestimmung der Schallpegel bei vergleichbaren und reproduzierbaren Fahrzuständen für das gewählte Ensemble von Fahrzeugen und ließe sich um weitere Fahrzeuge beliebig erweitern.

Für die gewählten Fahrzeuge wurde Standgeräuschmessungen, wie sie die Polizei beispielsweise auch bei Kontrollen anwendet, durchführt. Das aktuelle Verfahren der Standgeräuschmessung entsprechend UN-ECE R41 war nicht bei allen untersuchten Fahrzeugen einfach durchzuführen und es zeigte sich, dass hierbei ebenfalls ein gewisser Spielraum bei der Wertermittlung besteht. Neben der Tatsache, dass die ermittelten Werte zwar grundsätzlich in den Zulassungspapieren eingetragen sein müssen, aber aktuell keine Obergrenzen oder (zumindest in Deutschland) keine Fahrbeschränkungen bei hohen Pegeln existieren, ist das Verfahren zur Pegelermittlung insgesamt sicherlich optimierungsbedürftig. Falls damit neben der Detektion von Manipulationen am Fahrzeug auch in Bezug auf den realen Fahrbetrieb »laute« Fahrzeuge ermittelt werden sollen, muss das Verfahren modifiziert bzw. erweitert werden. Insbesondere eine Pegelermittlung, die nicht den gesamten Drehzahlbereich der Verbrennungsmotoren abdeckt, wird als weniger geeignet erachtet. Bei der Standgeräuschermittlung über den gesamten Drehzahlbereich hat sich bei einzelnen Fahrzeugen gezeigt, dass Frequenzbereiche mit einer erhöhten Schallabstrahlung ggf. nur unzureichend berücksichtigt werden.

Bei den durchgeführten Akustikmessungen im Stand (auch bei erweiterter Drehzahl) und den Geräuschmessungen im Fahrbetrieb konnte jedoch kein allgemein gültiger Rückschluss vom Summenpegel des Standgeräuschs auf das Fahrergeräusch und der damit einhergehenden potentiellen Lärmbelastigung vom fahrenden Motorrad-Verkehr abgeleitet werden. Dies liegt im Wesentlichen an den unterschiedlichen Motorkonzepten in Kombination mit den Abgassystemen und führen damit zu sehr stark variierender Geräuschcharakteristik. Hierzu sind sicherlich weitere Versuchsreihen mit angepassten Setups (z.B. erhöhte Anzahl an Mikrofonen im Nahbereich, langsame und schnelle Drehzahlhochläufe, Start-/ Enddrehzahlvariation,...) und einer größeren Anzahl an Fahrzeugen in Kombination mit statistischen Analysen empfohlen.

Neben dem Standgeräusch wurden Messungen während »moderaten« (Fahrten bei konstanter Geschwindigkeit) und »extremen« (Vollast-Beschleunigung) Fahrsituationen jeweils in den Gängen eins bis vier (sofern vorhanden) durchgeführt. Ermittelt wurden jeweils Summenpegel in Abhängigkeit der »Fahrbarkeit« im gewählten Gang an Geschwindigkeitsstützstellen in 10 km/h-Schritten. Durch diese Messungen wurde eine Datenbasis zu den im Fahrbetrieb mit unterschiedlichen Fahrzeugen und unter Abdeckung einer großen Bandbreite an Fahrzuständen tatsächlich vorhandenen Pegeln geschaffen.

Diese Pegel stellen Messwerte dar und damit reale Schallpegel im Vergleich zu den Vorbeifahrtpegel in den Zulassungspapieren, die aus Berechnungen über mehrere Fahrzustände entstehen und so einen Rechenwert angeben. Gegenüber den Vorbeifahrtpegeln ergeben sich damit höhere Werte, die jedoch in Bezug auf die tatsächlich abgestrahlten Geräusche realitätsnähere Werte liefern und somit als Maß einer möglichen Lärmbelastung durch die jeweiligen Motorräder herangezogen werden könnten.

Die untersuchten Fahrzeugen zeigten erwartungsgemäß ein Pegelanstieg mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit und die Pegel bei beschleunigter Fahrt lagen bei gleicher Geschwindigkeit oberhalb denjenigen der konstanten Fahrten. Ausnahme war hier lediglich das E-Fahrzeug, bei dem die Pegel bei beschleunigter Fahrt nahezu konstant über der Geschwindigkeit blieb. Die größten über allen Gängen und Geschwindigkeiten ermittelten Werte gegenüber dem jeweiligen in der Zulassungsbescheinigung eingetragenen Vorbeifahrtpegel waren um bis zu rund 23 dB(A) höher. Allerdings muss hierbei die unterschiedliche Pegelmittlung, wie im vorigen Abschnitt erläutert, berücksichtigt werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die einzelnen Fahrzeuge nicht nur aufgrund ihrer Bauweise und Kategorisierung unterscheiden, sondern auch deutlich in den abgestrahlten Schalldruckpegeln und ihrer Klangcharakteristik. Letztere ist geprägt durch einzelne Motorordnungen und Betonung von Frequenzbereichen, auch der zeitliche Verlauf des Geräusches ist zum Teil deutlich unterschiedlich ausgeprägt. Diese Phänomene lassen sich mit psychoakustischen Kenngrößen näher beschreiben, die im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter untersucht wurden. Es ist jedoch erstrebenswert, Metriken wie z.B. Tonalität, Modulation, Schärfe und Rauigkeit hinsichtlich der Störwirkung von Motorradlärm bei zukünftigen Untersuchungen mit einzubeziehen. Im Hinblick auf Überarbeitungen von zulassungsrelevanten Mess- und Bewertungsverfahren kann über die Eignung einzelner Metriken zur Kennzeichnung von Motorradgeräuschen und ggf. Aufnahme in die Regelwerke nachgedacht werden.

Ein Vergleich zwischen verschiedenen Abgasanlagen bzw. dem Umschalten bei Klappensystemen zeigte, dass mit ein und demselben Fahrzeug der »Sound«, aber auch der Pegel sowie die Klangcharakteristik deutlich beeinflussbar sind. Der Nachweis von technischen Lösungen für besonders »laute« Fahrzeuge hin zu einer »leiseren« Fortbewegung wurde damit prinzipiell erbracht. Inwieweit hieraus ggf. regulative Einschränkungen oder gar Verbote resultieren könnten, sei hier nicht bewertet. Solange Kunden jedoch eine uneingeschränkte Wahl zwischen »lauten« und »leisen« Fahrzeugen bzw. Systemen besitzen, werden derartige Fahrzeuge wohl auch auf den Straßen und in unseren Ohren präsent bleiben.

Bei Fahrzeugen mit Klappenabgasanlage zeigte sich jedoch auch, dass der Fahrer, selbst wenn er es wollte, das Öffnen der Klappe trotz moderater Fahrweise nicht immer verhindern kann. Hier regelten die entsprechenden Systeme nicht immer wie gewünscht oder erwartet. Die Messungen haben gezeigt, dass Fahr-

zeuge mit selbstregelnder Abgasklappe beispielsweise bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h lauter ist als bei 50 km/h und damit eine dort mögliche Geschwindigkeitsbegrenzung konterkariert. Zudem muss berücksichtigt werden, dass dieses mit geringerer Geschwindigkeit fahrende Motorrad aufgrund der längeren Verweildauer zu einer erhöhten Lärmeinwirkung beiträgt.

Zur Beurteilung durch Käufer wie »laut« oder »leise« ein Fahrzeug tatsächlich ist oder ggf. bei Auswahl entsprechender Modifikationen sein könnte, liegen diesem von gesetzlicher Seite nur die in der Zulassungsbescheinigung eingetragenen Pegel für das Stand- und Fahrgeräusch vor. Weitere akustische Daten, die idealerweise aus realen und für die entsprechende Fahrzeugkategorie typischen Fahrzyklen gewonnenen werden, könnten dem Käufer möglicherweise eine zusätzliche Entscheidungshilfe bieten. Untersuchungen, die wie hier auf dem Rollenprüfstand unter reproduzierbaren und klar definierbaren Randbedingungen durchgeführt werden, können sich als Datenbasis für einen »akustischen Fingerabdruck« eignen. Dieser könnte z.B. ein äquivalenter Schallpegel aus einem Hochlauf über alle Gänge bis zur jeweiligen Nenndrehzahl gebildet werden.

Die Fahrweise kann durch die Gangwahl einen merklichen Einfluss auf das abgestrahlte Geräusch bewirken. Hier ließen sich beispielsweise bei voller Beschleunigung die Pegel bei der Wahl von Gang zwei oder höher statt Gang eins für einzelne Fahrzeuge um mehr als 5 dB(A) reduzieren. Noch höher fielen die Unterschiede bei »moderater« zu »extremer« Fahrweise aus. Die Pegeldifferenz betrug hierbei über das gesamte Untersuchungsgebiet 3 dB(A) bis 14 dB(A). Damit ist in einigen Fahrsituationen ein großes Potential zwischen den beiden Fahrweisen vorhanden, die dem Fahrer als Option zur Verfügung stehen. Beim E-Fahrzeug beträgt die Differenz bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten je nach gewähltem Fahrmodus sogar bis zu rund 15 dB(A). Es weist dabei allerdings gegenüber den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor deutlich geringere Absolutpegel auf.

Abschließen bleibt zu sagen, dass mit diesen unabhängigen Untersuchungen deutliche Pegelunterschiede bei unterschiedlichen Fahrweisen aufgezeigt werden konnten, die neben der Fahrzeugausführung selbst auch überwiegend vom Fahrer beeinflussbar sind. Sicherlich sind diese Potenziale im Hinblick auf Fahrspaß und einer zügigen Fortbewegung nicht immer und vollumfänglich erfüllbar, aber bereits geringe Anpassungen des Fahrstils oder auch bauliche Veränderungen könnten dem einen oder anderen Anwohner einen höheren akustischen Wohlfühlfaktor bereiten.

## 12 Literaturverzeichnis

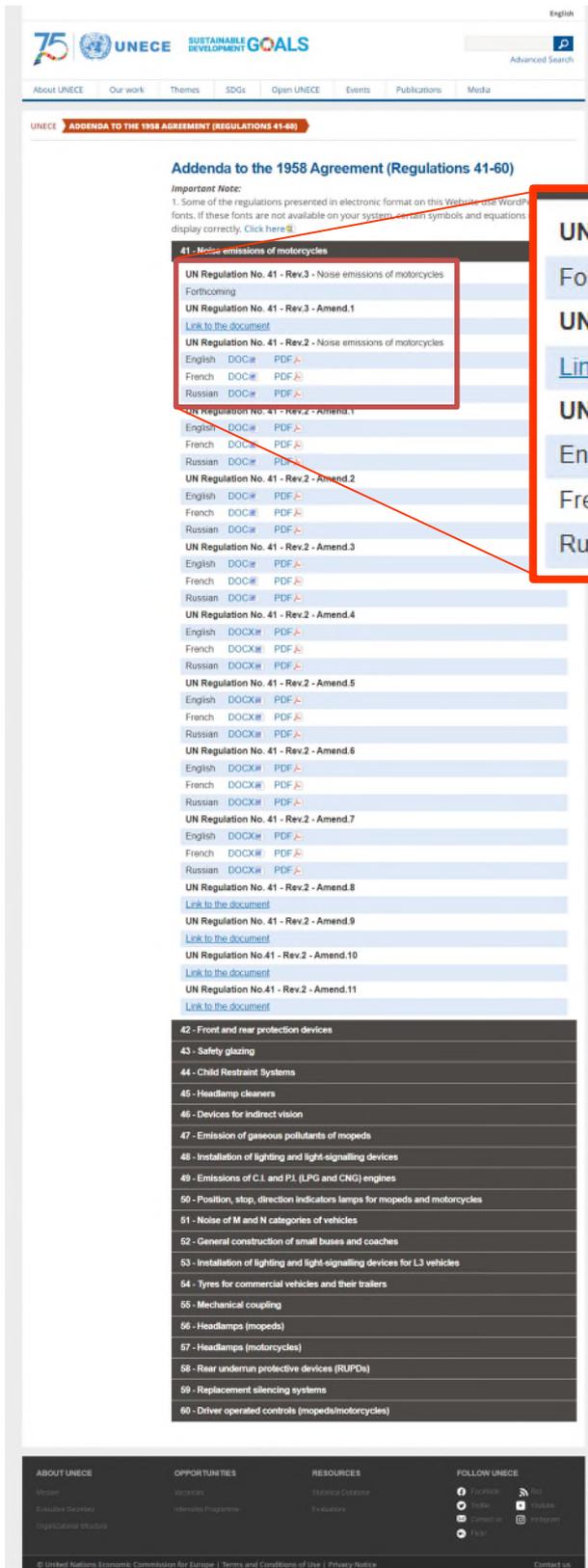
- [1] <https://kfz-serviceportal.de/fahrzeugtypen/kraftrad/motorrad/>).
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=KBeTjeopkfw>, 1000PS - die starke Motorradseite im Internet.
- [3] 3. VERORDNUNG (EU) Nr. 168/2013 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 15. Januar 2013 über die Genehmigung und Marktüberwachung von zwei- oder dreirädrigen und vierrädrigen Fahrzeugen.
- [4] DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) Nr.134/2014 DER KOMMISSION vom 16. Dezember 2013 zur Ergänzung der Verordnung (EU) Nr. 168/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Anforderungen an die Umweltverträglichkeit und die Leistung der Antriebseinheit sowie zur Änderung ihres Anhangs V .
- [5] 2013/483/EU: Beschluss des Rates vom 30. September 2013 über die Anwendung der Regelung Nr. 41 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) - Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Krafträder hinsichtlich ihrer Geräusche.
- [6] Regelung Nr. 41 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa ( UN-ECE) - Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Krafträder hinsichtlich ihrer Geräuschentwicklung.
- [7] ADAC. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/zweirad/motorrad-roller/kauf-verkauf/motorradlaerm-fahr-standgerauesche/>).
- [8] Regelung Nr. 63 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN-ECE).
- [9] Regelung Nr. 9 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN-ECE).
- [10] Regelung Nr. 92 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN-ECE) - Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von nicht originalen Austauschschalldämpferanlagen (NORESS) für Fahrzeuge der Klassen L1 , L2 , L3 , L4 und L5. hinsichtlich der Geräuschemissionen [2018/1707] Einschließlich aller gültigen Texte bis: Ergänzung 2 zur Änderungsserie 01. Tag des Inkrafttretens: 10. Oktober 2017 .
- [11] Straßenverkehrsordnung Österreich 1960, BGBl. 159/1960, zuletzt geändert durch das Gesetz BGBl. I Nr. 24/2020.
- [12] Arge2Rad: dreiste Lügen-Märchen zum Tirol-Modell, <https://motorradlaerm.de/>. 17. September 2021.
- [13] Kratschmar, Jens. Von 102 auf 95 Dezibel ab 2024 . 23.06.2022. Bde. <https://www.motorradonline.de/ratgeber/rennstrecken-frankreich-leiser/>.
- [14] Initiative Motorradlärm - FORDERUNGSKATALOG ZUR REDUZIERUNG VON MOTORRAD-LÄRM. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg.
- [15] FVT - Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik. Experimental Noise Source Ranking . Part 1 Measurements according to UNECE-R 41.04. / Annex 3 . Bde. Report no. FVT-045/21/Sch K&A 2021/04/4123 from 28/07/2021.
- [16] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), fdzoff.zfzrbt.2020.1, doi: 10.25525/kba-fdzoff.zfzrbt.2020.1.
- [17] DTV-Verkehrsconsult GmbH. Analyse von Motorradlärm in Baden-Württemberg. Ministerium für Verkehr des Landes Baden-Württemberg, Ref. 43 Lärmschutz und Luftreinhaltung.
- [18] Klappenauspuffanlagenhersteller <https://www.kestech.de/produkte/>.
- [19] Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) § 49 Geräuschentwicklung und Schalldämpferanlage, Bundesamt für Justiz.
- [20] Studie Lärmdisplay Bern, Untersuchungsbericht: Empa-Nr. 5214.026665 Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), CH-8600 Dübendorf .

- [21] <https://www.spiegel.de/auto/frankreich-neuartiges-laerm-radar-soll-laute-biker-und-auto-fahrer-stoppen-a-e08d49db-abfe-43eb-b2c5-251bacf8a88b>, 24.08.2021, 11.35 Uhr, Foto: Bruitparif / dpa.
- [22] Kratschmar, Jens. IMMER ÖFTER SIND LÄMRADAR-SYSTEME IM EINSATZ. <https://www.motorradonline.de/ratgeber/wo-stehen-laermblitzer/>, 19.10.2022.
- [23] <https://www.autoweek.com/news/technology/a39906304/california-targets-loud-exhaust-with-sound-activated-camera-enforcement/>, BY EMMET WHITE MAY 5, 2022.
- [24] <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/zweirad/motorrad-roller/kauf-verkauf/motorrad-laerm-fahr-standgeraeusche>.
- [25] Spiegel. Nils Viktor Sorge, 19.8.2020: "Große Mehrheit will Fahrverbote für laute Motorräder", <https://www.spiegel.de/auto/motorraeder-grosse-mehrheit-will-fahrverbote-fuer-laute-maschinen-a-4902d189-04ed-4598-a5db-3d6cae34bccf>.
- [26] Krötenschutz vor Anwohnerschutz? VAGM e.V. Vereinigter Arbeitskreis gegen Motorradlärm, 6. Mai 2016. <https://motorradlaerm.de/2321-2/>.
- [27] [https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/PM\\_Anhang/Forderungskatalog\\_23-11-20.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/PM_Anhang/Forderungskatalog_23-11-20.pdf).
- [28] Maue, Dr.-Ing. Jürgen H. Beratung/Begutachtung bei Arbeitslärm - Lärmbelastung für Motorradfahrer. [Online] <https://www.arbeitsplatz-laerm.de/fachinfos/freizeit-laermbelastung/laermbelastung-fuer-motorradfahrer/>.
- [29] Ross, B C. Noise exposure of motorcyclists. *Ann Occup Hyg.* 1989; 33(1):123-7.
- [30] Rafał Młyński 1, Emil Kozłowski, Jan Zera. Attenuation of noise by motorcycle safety helmets. *Int J Occup Saf Ergon.* 2009;15(3).
- [31] A W McCombe 1, J Binnington, D Nash. Two solutions to the problem of noise exposure for motorcyclists. *Occup Med (Lond).* 1994 Dec;44(5).
- [32] Pascal Teller, Peter Brandstät. Labor Für Fahrzeugakustik und simulierte Vorbefahrt. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, 38 (2011).

## Anhang

### A.1 Recherche offizieller Dokumente

Am Beispiel der UN-ECE R41 soll die Problematik beim Bezug vor allem aktueller offizieller Dokumente eingegangen werden. Selbst gegen Ende der Projektbearbeitung (Stand 17. Oktober 2022) konnte auf der offiziellen Homepage der »United Nations Economic Commission for Europe« (<https://unece.org/transport/vehicle-regulations-wp29/standards/addenda-1958-agreement-regulations-41-60>) die aktuelle Version, UN Regulation No. 41 – Rev.3: 41.05, nicht bezogen werden. Version UN Regulation No. 41 – Rev.2 ist die letzte vollständige Version, in der die »04«-Serie enthalten ist. Lediglich eine Anmerkung zu Rev.3, die jedoch nicht die »04«-Serie enthält, sondern lediglich auf vier geänderte Textstellen im Hauptdokument verweist, deutet auf die Existenz der am 7. Januar 2022 in Kraft getretenen »04«-Serie hin. Auch auf der Seite des Bundesministerium für Digitales und Verkehr (<https://www.bmdv.bund.de/Shared-Docs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/un-ece-regelungen.html>) war zu diesem Zeitpunkt nur ein Verweis auf die UN-Homepage bzw. zur »04«-Serie vorhanden.



**UN Regulation No. 41 - Rev.3 - Noise emissions of motorcycles**

Forthcoming

**UN Regulation No. 41 - Rev.3 - Amend.1**

[Link to the document](#)

**UN Regulation No. 41 - Rev.2 - Noise emissions of motorcycles**

English [DOC](#) [PDF](#)

French [DOC](#) [PDF](#)

Russian [DOC](#) [PDF](#)

Bild A 1:

Screenshot der Homepage der »United Nations Economic Commission for Europe« zur UN Regulation No. 41 (<https://unece.org/transport/vehicle-regulations-wp29/standards/addenda-1958-agreement-regulations-41-60>).

---

## Agreement

### Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions\*

(Revision 2, including the amendments which entered into force on 16 October 1995)

---

## Addendum 40: Regulation No. 41

### Revision 2

Incorporating all valid text up to:

03 series of amendments to the Regulation – Date of entry into force: 5 February 2000

Supplement 1 to the 03 series of amendments to the Regulation – Date of entry into force: 10 October 2006

Corrigendum 1 to Revision 1 of the Regulation – Date of entry into force: 25 June 2008

04 series of amendments to the Regulation - Date of entry into force: 13 April 2012

### Uniform provisions concerning the approval of motor cycles with regard to noise



UNITED NATIONS

---

\* Former title of the Agreement: Agreement concerning the adoption of uniform conditions of approval and reciprocal recognition of approval for motor vehicle equipment and parts, done at Geneva on

GE.12-

Please recycle 

Bild A 2::  
Screenshot zum Titelblatt der UN Regulation No. 41 – Rev. 2.

17 March 2022

---

## Agreement

### **Concerning the Adoption of Harmonized Technical United Nations Regulations for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these United Nations Regulations\***

(Revision 3, including the amendments which entered into force on 14 September 2017)

---

#### **Addendum 40 – UN Regulation No. 41**

##### **Revision 3 - Amendment 1**

Supplement 1 to the 05 series of amendments – Date of entry into force: 7 January 2022

#### **Uniform provisions concerning the approval of motor cycles with regard to noise**

This document is meant purely as documentation tool. The authentic and legal binding text is: ECE/TRANS/WP.29/2021/76.



UNITED NATIONS

---

\* Former titles of the Agreement:  
Agreement concerning the Adoption of Uniform Conditions of Approval and Reciprocal Recognition of Approval for Motor Vehicle Equipment and Parts, done at Geneva on 20 March 1958 (original version);  
Agreement concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions, done at Geneva on 5 October 1995 (Revision 2).

GE.22-03914(E)

Please recycle 



Bild A 3:  
Screenshot zum Titelblatt der UN Regulation No. 41 – Rev. 3 – Änderung 1.

## A.2 Untersuchte Fahrzeuge



Bild A 4:  
Ducati Monster +



Bild A 5:  
Ducati Diavel 1260



Bild A 6:  
Husqvarna 701 Supermoto



Bild A 7:  
Ducati Panigale V4 mit elektronischem Klappen-auspuff (keine manuelle Steuerung der Klappe möglich).



Bild A 8:  
Harley-Davidson Forty Eight mit Kess Tech Klappenauspuffanlage (manuelle Steuerung der Klappe möglich).



Bild A 9:  
Original Typenschild Kess Tech Auspuffanlage (für Harley-Davidson Forty Eight).



Bild A 10:  
Kess Tech Auspuffklappe (links: geschlossen, rechts: geöffnet)



Bild A 11:  
BMW GS 1250 mit montierten Reisekoffern



Bild A 12:  
BMW GS 1250 ohne Reisekoffer



Bild A 13:  
Yamaha Tracer 9 GT



Bild A 14:  
BMW C04 elektrischer Großroller

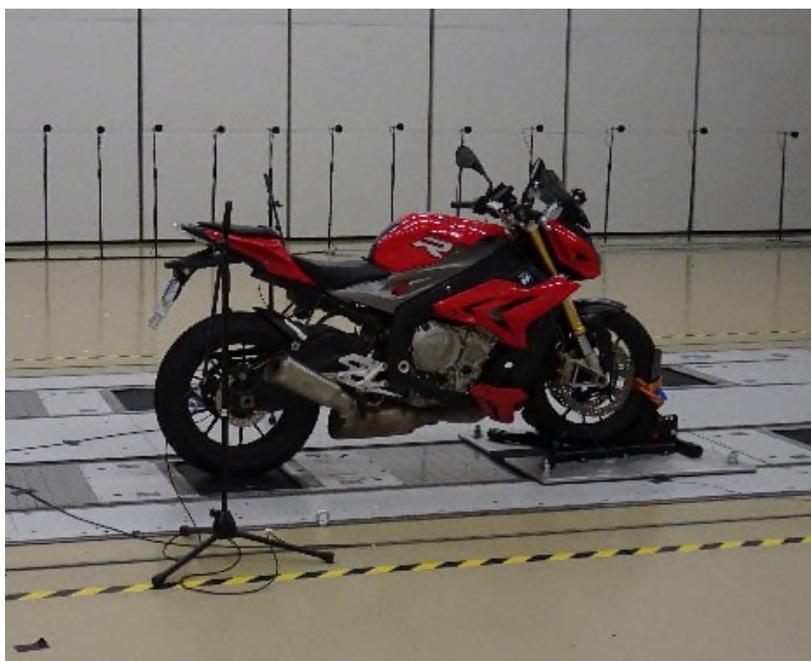


Bild A 15:  
BMW S 1000R mit Original Auspuffanlage



Bild A 16:  
BMW S 1000R mit Hattech Auspuffanlage

### A.3 Allrad-Rollenprüfstand mit Vorbeifahrt-Messhalle

#### Allrad-Rolle

- Vier einzeln angetriebene Rollen
- Rollendurchmesser: 1,90 m (75")
- Zugkraft pro Rolle: 7500 N
- Elektrischer Antrieb: 4 × 300 KW
- Prüfungsgeschwindigkeit: 0–320 km/h
- Präziser Gleichlauf der Rollen: Abweichung max. 0,05 km/h, pro Achse max. ± 1 mm
- Rollenbreite: 550 mm
- Spurweite: 1100 mm
- Fahrtwind: 20–100 km/h, geschwindigkeitsgeregelt, min. 7000 m<sup>3</sup>/h, max. 42 000 m<sup>3</sup>/h, Anströmhöhe max. 800 mm
- für Fahrzeuge bis 4 t Gesamtmasse mit einer max. Achslast von 2 t und 2200 mm bis 4000 mm Radstand
- Glattbelag Safety walk oder Rauasphalt-Nachbildung

#### Halbfreifeldraum

- Untere Grenzfrequenz 40 Hz,
- Raumgröße: 25 m × 18,9 m × 6 m (L × B × H)
- Simulierte Vorbeifahrt
- PAK-Messsystem mit 2 × 30 Mikrofonen
- Austauschbare Paletten
- Geschlossene Außengeräuschpalette
- Offene Innengeräuschpalette mit Aussparung für Grubenlift
- Fahrzeugfesselung
- Ketten- /Stangenfesselung
- Radnabenfesselung
- Anlieferungszone
- Prototypengerechte LKW-Abladestelle
- Prüfstandeinfahrt 3,4 m × 3,4 m