

Auralisation des Vorbeifahrtsgeräusches aus einer Multimikrofonaufnahme im Außengeräuschprüfstand

Hubert Hoffsummer, Klaus Genuit, Udo Müsch

HEAD acoustics GmbH, Deutschland; E-Mail: Hubert.Hoffsummer@HEAD-acoustics.de

Einleitung

Aus Umweltschutzgründen wird das Geräusch eines vorbeifahrenden Kraftfahrzeugs in den meisten Ländern der Welt gesetzlich überwacht. Dabei wird jedoch nur der erlaubte A-bewertete Vorbeifahrtspegel festgeschrieben. Nach der ISO 362 werden die Geräuschemissionen bei der Vorbeifahrt unter Volllast ermittelt, wobei für die verschiedenen Fahrzeugkategorien unterschiedliche Festlegungen für die Geschwindigkeit, die Motordrehzahl und die Auswahl der Gänge für die Vorbeifahrt an den Mikrofonen gelten. Die erlaubten Höchstgrenzen wurden vom Gesetzgeber immer weiter reduziert und dadurch wurden innerhalb der letzten 30 Jahre Personenkraftwagen um etwa 10 dB(A) und Nutzfahrzeuge sogar um etwa 14 dB(A) leiser.

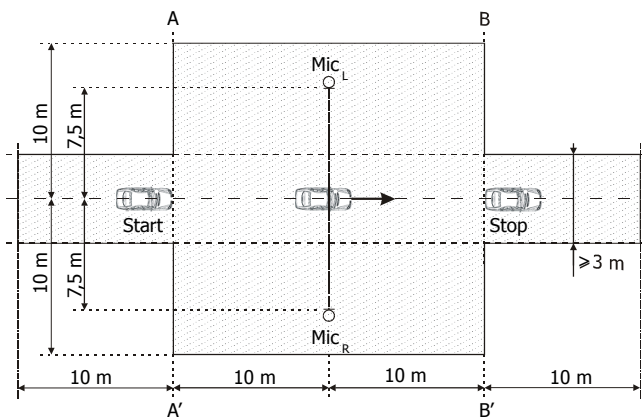


Abbildung 1: Vorbeifahrtsmessung nach ISO 362 im Freifeld

Bekanntlich korreliert aber die subjektive Bewertung des Fahrzeugaußengeräusches nicht immer mit dem A-bewerteten Vorbeifahrtspegel, da nicht nur der Schalldruckpegel für die qualitative Bewertung eines Geräusches ausschlaggebend ist.

Das heutige Prüfverfahren gestattet es nicht, das im tatsächlichen Fahrbetrieb angetroffene Geräusch angemessen zu erfassen und wirksame Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Deshalb wird auch an einer Überarbeitung des Geräuschprüfverfahrens ISO 362 gearbeitet, was sicherlich zur Festlegung verschiedener Fahrsituationen führen wird.

Notwendigkeit binauraler Geräuschaufnahmen

Es ist hinreichend bekannt, dass die vom Menschen subjektiv wahrgenommene Geräuschqualität nicht nur mit einem einfachen dB(A) Pegelwert für einen ganz bestimmten Arbeitspunkt bestimmt werden kann. Die KFZ-Innengeräusche werden daher von der Automobilindustrie und deren Zulieferern seit langem mit sehr komplexen Geräuschanalysen untersucht und in der Folge stetig verbessert. Die hierbei gewonnenen Kenntnisse können bei der Analyse des KFZ-Außengeräusches hilfreich sein. Komplexere Geräuschanalysen basieren meist auf binaural aufgezeichneten Zeitsignalen, da diese die zur Analyse und Bewertung notwendigen Informationen enthalten. Um bei der Verbesserung der KFZ-Außengeräusche nun ebenso erfolgreich vorgehen zu können,

braucht man auch hier binaural aufgezeichnete Zeitsignale von verschiedenen Fahrsituationen. Diese sind im Falle der realen Vorbeifahrtsmessung recht einfach zu erzielen, indem man zusätzlich zu den Mikrofonen einen Kunstkopf zur Aufzeichnung des Vorbeifahrtsgeräusches einsetzt.

Aufzeichnung eines Vorbeifahrtsgeräusches auf einem Außengeräuschprüfstand

Um Kosten zu sparen und von der Witterung unabhängig zu sein, wird jedoch oft anstelle der Teststrecke ein Außengeräuschprüfstand (reflexionsarmer Raum mit Rollenprüfstand) bevorzugt. Die Aufnahme des Vorbeifahrtsgeräusches erfolgt hierbei mittels



Abbildung 2: Messung in einem reflexionsarmen Raum

mehrere in einer Reihe angeordneter Mikrofone. Insbesondere für drehzahlbasierte Analysen bietet das Verfahren Vorteile, da die unter Umständen aufwendige Aufzeichnung der Drehzahlinformation mittels Telemetrie entfällt und der Dopplereffekt nicht wie bei der realen Vorbeifahrtsmessung erst herausgerechnet werden muss, weil es sich bei der Aufzeichnung in der Halle ja um ein stehendes Objekt handelt.

Auralisation des Vorbeifahrtsgeräusches

Um auch komplexere Analysen, wie z.B. Lautheit, Schärfe oder Rauigkeit berechnen zu können, oder aber um vergleichende Hörtests durchführen zu können, wird das binaurale Zeitsignal benötigt. Es wurde daher ein Verfahren entwickelt, das aus einer im Außengeräuschprüfstand gewonnenen mehrkanaligen Mikrofonaufnahme ein monaurales und ein binaurales Signal berechnet. Das berechnete monaurale Signal ist vergleichbar mit einer Mikrofonaufnahme und das binaurale Signal entspricht einer Kunstkopfaufnahme bei einer realen Vorbeifahrtsmessung.

| Mic. | X [m] | Y [m] |
|------|-------|-------|
| 1 | -9.60 | 7.50 |
| 2 | -8.40 | 7.50 |
| 3 | -7.20 | 7.50 |
| 4 | -6.00 | 7.50 |
| 5 | -4.80 | 7.50 |
| 6 | -3.60 | 7.50 |
| 7 | -2.40 | 7.50 |
| 8 | -1.20 | 7.50 |
| 9 | 0.00 | 7.50 |
| 10 | 1.20 | 7.50 |
| 11 | 2.40 | 7.50 |
| 12 | 3.60 | 7.50 |
| 13 | 4.80 | 7.50 |
| 14 | 6.00 | 7.50 |
| 15 | 7.20 | 7.50 |
| 16 | 8.40 | 7.50 |
| 17 | 9.60 | 7.50 |

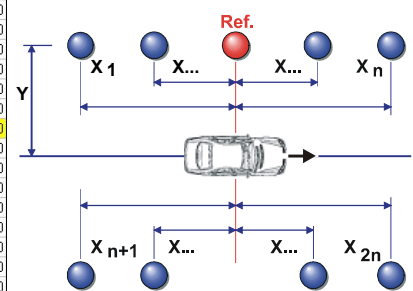


Abbildung 3: Tabelle mit (x, y) Werten der Mikrofonpositionen und schematische Darstellung der Mikrofonanordnung

Für die Auralisation müssen die Positionen der Mikrofone bekannt sein (vgl. Abbildung 3, die Mikrofone müssen nicht zwingend in einer Reihe angeordnet sein), außerdem der Abstand des Referenzmikrofons zur Fahrzeugfront, da sich die Wegachse daran orientiert. Das Fahrzeug wird nun als Punktquelle angenommen und es werden alle Abstände und Winkel der einzelnen Mikrofone zu dieser Punktquelle berechnet.

Setzt man eine Multimikrofonaufnahme mit Geschwindigkeits- und Drehzahlinformationen voraus, dann lässt sich anhand dieser Informationen nun die Auralisation des Vorbeifahrtsgeräusches in differenzierten Schritten berechnen.

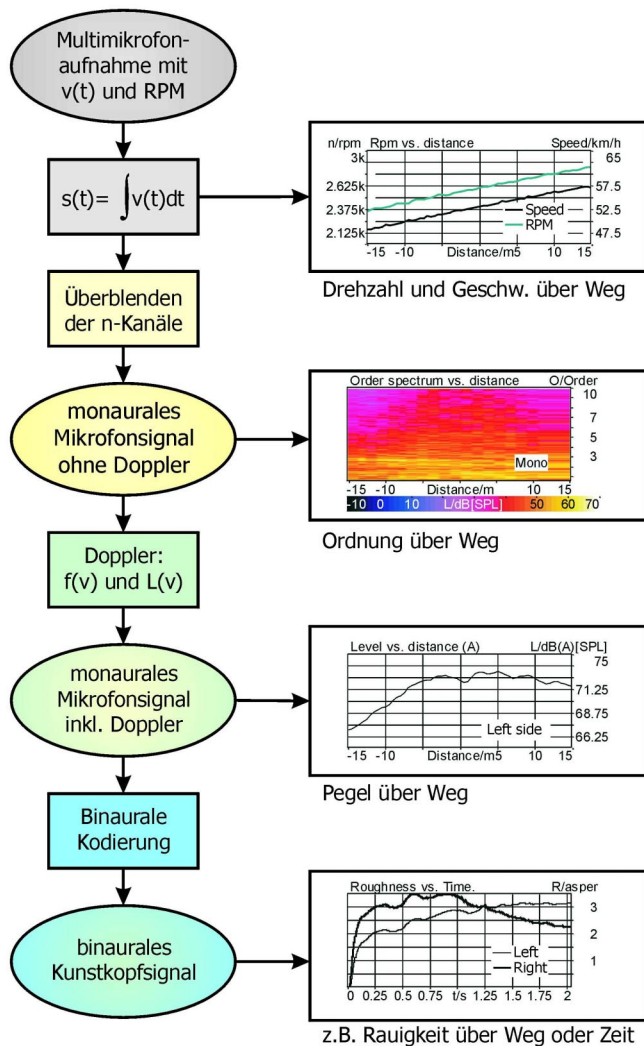


Abbildung 4: Signal- und Verarbeitungsflussdiagramm sowie daraus gewonnene Resultate

Zuerst wird aus dem Geschwindigkeitsverlauf durch Integration die Wegstrecke bestimmt. Anhand dieser Information kann man dann z.B. den Geschwindigkeits- und Drehzahlverlauf über dem Weg darstellen. Durch Überblenden der einzelnen Mikrofonsignale lässt sich nun aus den n Mikrofonaufnahmen ein einzelnes monaurales Signal berechnen, welches noch nicht dopplereffektbehaftet ist. Hieraus lassen sich nun alle drehzahlbezogenen Analysen, wie z.B. die Ordnungsanalyse, berechnen. Bei allen erzeugten Zeitsignalen wird sowohl der Geschwindigkeits- als auch Drehzahlverlauf sowie die Weginformation gespeichert. Somit lassen sich in der Folge sowohl

zeitbasierte als auch drehzahl- oder wegbasierte Analysen berechnen. Im nächsten Schritt wird der Dopplereffekt, d.h. die Frequenzverschiebung und die Pegeländerung in Abhängigkeit der Geschwindigkeit eingerechnet. Eine zusätzliche, entfernungsabhängige Pegelkorrektur erfolgt, solange die virtuelle Fahrzeugposition außerhalb der äußeren Mikrofone liegt. Liegt sie innerhalb der realen Mikrofonanordnung, dann ist der entfernungsabhängige Pegel bereits durch die Entfernung der Mikrofone zum Fahrzeug berücksichtigt. Das resultierende Signal entspricht nun einem Mikrofonsignal einer realen Vorbeifahrtsmessung und kann somit für weitere Analysen oder auch die Pegelberechnung verwendet werden. Im letzten Schritt wird mittels binauraler Synthese das linke und rechte Ohrsignal bestimmt, um ein räumlich korrektes Vorbeifahrtsgeräusch zu erhalten. Dabei wird das Signal jeweils mit der zu seiner aktuellen (virtuellen) Position zugehörigen, kopfbezogenen Impulsantwort verrechnet. Das Ausgangssignal entspricht nun der Kunstkopfaufnahme einer realen Vorbeifahrt (unter Vernachlässigung des Windgeräusches). In der Folge können auf das berechnete, binaurale Signal alle psychoakustisch motivierten Analysen angewendet werden, es kann auch für die subjektive Bewertung in Hörtests verwendet werden.

Um nicht nur die von der ISO 362 vorgeschriebene Fahr situation auralisieren zu können, sind sowohl die Grenzen AA' und BB' (vgl. Abbildung 1) sowie der zu simulierende Wegbereich einstellbar. Weiterhin lassen sich über verschiedene Triggermöglichkeiten an der Linie AA' unterschiedlichste Vorbeifahrbedingungen simulieren: Konstantfahrt, beschleunigte Fahrt mit wählbarer Eintrittsgeschwindigkeit oder vorgebarbarer Drehzahl bzw. Triggerung durch einen Steuerkanal.

Zusammenfassung

Aus der Multimikrofonaufnahme des Vorbeifahrtsgeräusches in einem reflexionsarmen Raum werden folgende Resultate erzielt:

- ♦ Monaurales Zeitsignal ohne Dopplereinfluss. Eine solche Aufnahme ist besonders für drehzahlbezogene Analysen geeignet.
- ♦ Monaurales Zeitsignal vergleichbar zu einer Mikrofonaufnahme bei einer Messung nach ISO 362 im Freifeld auf der Teststrecke. Geeignet zur Bestimmung des z.Zt. noch gesetzlich vorgeschriebenen Vorbeifahrtspegels in dB(A).
- ♦ Binaurales Zeitsignal vergleichbar zu einer Kunstkopfaufnahme bei einer Messung nach ISO 362 im Freifeld auf der Teststrecke. Geeignet für subjektive Evaluation in Hörtests bzw. für psychoakustische Analysen wie Lautheit, Schärfe, Rauigkeit oder andere komplexe Analysen über Zeit, Geschwindigkeit oder Weg.
- ♦ Alle erzeugten Zeitsignale enthalten neben Geschwindigkeits- und Drehzahlverläufen auch die Weginformationen.
- ♦ Verschiedenste Fahrbedingungen lassen sich auralisieren.
- ♦ Vorbeifahrtsgeräusche lassen sich nachträglich filtern, um unangenehme Frequenzanteile zu lokalisieren. So lassen sich die dominanten Geräuschquellen wesentlich einfacher ermitteln.

Literatur

- [1] ISO 362 Acoustics – Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles – Engineering method
- [2] VDA – Auto 2002: Weniger Geräuschemissionen
- [3] Landesanstalt für Umweltschutz (LFU) Baden-Württemberg: Lärmbekämpfung - Ruheschutz