

Das Fahrzeugaußengeräusch im urbanen Verkehr und seine Bedeutung für die Interaktion Fußgänger – Fahrzeug

In den letzten Jahren brachte das Komfort- und Umweltdenken von Fahrzeugindustrie und Kunden eine stetige Reduktion der Geräuschemission von Kraftfahrzeugen mit sich. Gleichzeitig rücken in Ortsgebieten Fahrzeuge und Fußgänger immer näher zusammen, wodurch Fahrzeuggeräusche als akustische Warnsignale für Fußgänger zunehmend an Bedeutung gewinnen. Dieser Beitrag der Arbeitsgruppe Technische Akustik des Lehrstuhls für Mensch-Maschine-Kommunikation der TU München geht auf diesen Aspekt des Fahrzeugaußengeräusches ein.



1 Einleitung

Die Bedeutung des Fahrzeugaußengeräusches in Bezug auf die Lärmentwicklung ist seit langem Gegenstand umfangreicher Untersuchungen. Der vor kurzem erschienene Entwurf der Norm DIN ISO 362 [1] hat diesen Umstand erneut ins Gedächtnis gerufen. Ein Aspekt des Außengeräusches, der sehr wenig diskutiert wird, ist dessen warnende Wirkung für andere Verkehrsteilnehmer, insbesondere für Fußgänger und Radfahrer. So stellt vor allem in Situationen, in denen die freie Sicht behindert wird, das Außengeräusch eines Fahrzeugs die einzige Möglichkeit dar, dieses wahrzunehmen und entsprechend zu reagieren. Das wiederum setzt voraus, dass die Geräuschentwicklung des Fahrzeugs eine gewisse untere Grenze nicht unterschreitet.

Sieht man sich die Verkehrsstatistiken aus dem Statistischen Jahrbuch 2004 [2] an, so fällt auf, dass jeder achte getötete (812 Personen), und jeder zwölfte verletzte (35015 Personen) Verkehrsteilnehmer ein Fußgänger ist. Auch die Gründe, die zu solchen Unfällen führen und die Orte, wo diese geschehen sind im Statistischen Jahrbuch näher angeführt, **Tabelle 1**.

So passieren drei Viertel der Unfälle beim Überqueren der Fahrbahn an Stellen ohne Fußgängerüberweg, wobei als Hauptunfallgründe das plötzliche Hervortreten hinter Sichthindernissen und das Nichtbeachten des Fahrzeugverkehrs genannt werden. Beides sind Situationen, bei denen man als Fußgänger stark auf seinen auditiven Sinn angewiesen ist, da dieser als ungerichteter Sinn ständig Informationen aufnimmt und diese entsprechend verarbeitet. Es ist somit zu vermuten, dass ein großer Teil dieser Unfälle darauf zurückzuführen ist, dass Fußgänger nicht in der Lage waren, das Geräusch eines herannahenden Fahrzeugs rechtzeitig zu erkennen und zu reagieren.

2 Kollisionsvermeidung im urbanen Verkehr

2.1 Minimale Abstände zur sicheren Kollisionsvermeidung

Aufgrund physikalischer Betrachtungen zur gleichförmig beschleunigten Bewegung und aus Untersuchungen zu Reaktionszeiten [3] kann eine Strecke errechnet werden, die als Abstand zwischen Fußgänger und Fahrzeug nötig ist, um eine Kollision sicher zu vermeiden. Es ist dies der Abstand, bei welchem ein Fahrzeug von einem Fußgänger spätestens wahrgenommen werden muss, damit es nicht zur Kollision kommt. Dazu sollen im folgenden zwei Fälle unterschieden werden:

- alleinige Reaktion des Fußgängers: Es wird angenommen, dass nur der Fußgänger auf ein mit gleichförmiger Geschwindigkeit v_{Fahrzeug} herannahendes Fahrzeug reagiert. Aus der Reaktionszeit t_{Reakt} eines Fußgängers ergibt sich die Strecke, die das Fahrzeug in dieser Zeit zurücklegt, nach Gl. (1)

$$s_{\text{Fahrzeug1}} = v_{\text{Fahrzeug}} \cdot t_{\text{Reakt}}$$

Da Fußgänger zu den wenigsten Verkehrsteilnehmern zählen, kann hier die Zeit die der Fußgänger für die eigentliche Reaktion des Stehenbleibens benötigt zu null angenommen werden.

- alleinige Reaktion des Autofahrers: Etwas komplizierter gestaltet sich die Situation, wenn man annimmt, dass nur der Autofahrer reagiert, um eine Kollision zu verhindern. Auch dieser benötigt eine gewisse Zeit t'_{Reakt} bis er den Bremsvorgang einleitet, um das gleichförmig bewegte Fahrzeug zum Stillstand bringen zu können. Allerdings kann hier die Zeit vom Betätigen der Bremse bis zum Stillstand des Autos nicht mehr vernachlässigt werden. Für die Berechnung hier wird angenommen, dass es sich beim Bremsen um eine gleichmäßig verzögerte Bewegung mit $a=8 \text{ m/s}^2$ handelt. Der Anhalteweg ergibt sich nach Gl. (2).

$$s_{\text{Fahrzeug2}} = v_{\text{Fahrzeug}} \cdot t'_{\text{Reakt}} + \frac{v_{\text{Fahrzeug}}^2}{2 \cdot a}$$

Um nun eine Kollision sicher verhindern zu können, muss ein Fußgänger das Fahrzeug in einem Abstand hören, die dem Anhalteweg gemäß Gl. (2) entspricht. In diesem Abstand muss entweder der Fußgänger selbst reagieren, oder der Autofahrer muss sehen,

Der Autor



Dipl.-Ing. (univ.)
Stefan Kerber
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Technische Akustik von Prof. Dr.-Ing. Hugo Fastl am Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation der TU München.

Tabelle 1: Fehlverhalten und Ortsabhängigkeit von Fußgängerunfällen bei polizeilich festgestellten Straßenverkehrsunfällen in Deutschland im Jahre 2003 [2]

Table 1: Typical lapses and locations of pedestrian accidents determined by the police in Germany in 2003 [2]

Mangelnde Verkehrstüchtigkeit	9,09 %
Falsches Verhalten beim Überschreiten der Fahrbahn	77,92 %
Nichtbenutzung des Gehweges	1,68 %
Nichtbenutzung der vorgeschriebenen Straßenseite	0,89 %
Spielen auf oder neben der Fahrbahn	1,36 %
Andere Fehler des Fußgängers	9,06 %
an Fußgängerüberwegen mit Regelung	8,92 %
an Fußgängerüberwegen ohne Regelung	0,76 %
in der Nähe von Kreuzungen, Fußgängerüberwegen, bei dichtem Verkehr an anderen Stellen:	7,37 %
– durch plötzliches Hervortreten hinter Sichthindernissen	20,12 %
– ohne auf den Fahrzeugverkehr zu achten	55,12 %
– sonstiges falsches Verhalten	7,70 %

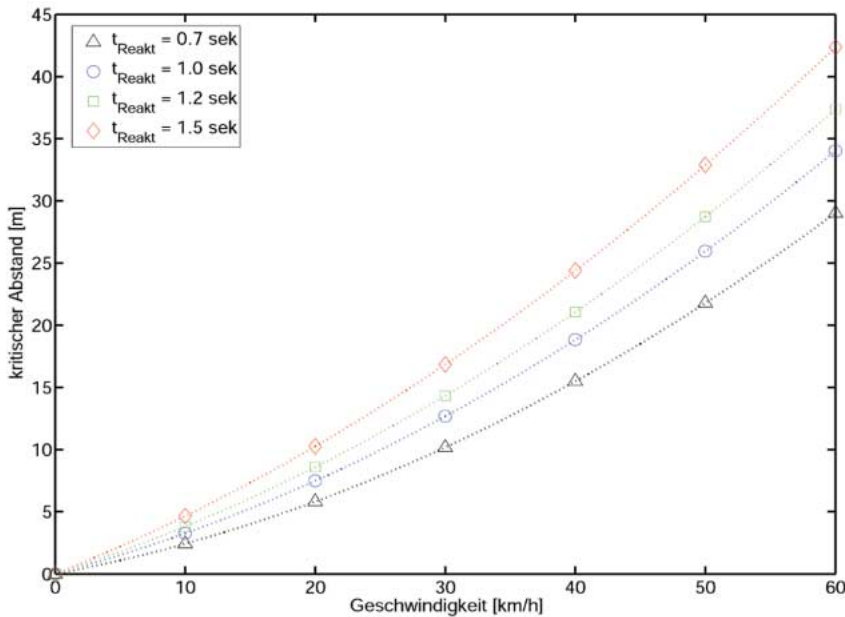


Bild 1: Kritische Abstände nach Gleichung 2 für verschiedene Reaktionszeiten von Autofahrern und Fußgängern

Figure 1: Critical distances acc. to equation 2 based on different pedestrian and driver reaction times

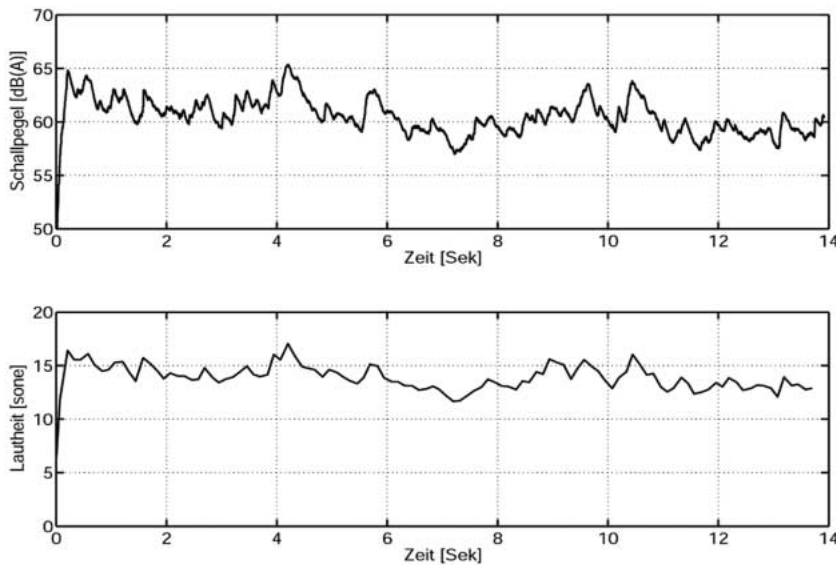


Bild 2: Pegel- und Lautheits-Zeitverlauf des im Experiment verwendeten Maskierers (Stimmengewirr)

Figure 2: Masker level/loudness vs. time pattern (babble)

das keine Reaktion erfolgt und eine Bremsung einleiten. Diese „kritischen Abstände“ sind in **Bild 1** für verschiedene Geschwindigkeiten und Reaktionszeiten dargestellt. Dabei gilt die Annahme, dass Fußgänger und Autofahrer die selben Reaktionszeiten haben, wobei die niedrigste Reaktionszeit im Bild ($t_{\text{Reakt}} = 0,7 \text{ s}$) laut Green [3] für konzentrierte Verkehrsteilnehmer gilt. Sind die Personen abgelenkt, kann sich die Reaktions-

zeit laut dieser Studie auf Werte bis zu 1,5 s verschlechtern.

2.2 Experimentelle Ermittlung von Reaktionszeiten auf Fahrzeuggeräusche

2.2.1 Hintergrund

Um die oben errechneten kritischen Abstände in Relation zu den tatsächlichen Reaktionszeiten zu setzen, welche benötigt wer-

den, um auf das Außengeräusch eines Fahrzeugs zu reagieren, wurde ein Experiment zur Messung der Reaktionszeiten im Labor durchgeführt. Dabei wurde Augenmerk auf einen möglichst realistischen Transfer einer realen Situation aufmerksamer Verkehrsteilnehmer in eine Laborsituation gelegt. Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin, auf ein in einem Hintergrundgeräusch (Maskierer) hörbares Fahrzeuggeräusch möglichst rasch zu reagieren, was der Aufgabe des Fußgängers in einer realen Situation entspricht.

2.2.2 Versuchsteilnehmer

Am Versuch nahmen siebzehn normalhörende Personen im Alter zwischen 24 und 61 Jahren teil (Median: 27 Jahre). Zwei Personen waren weiblich, der Rest männlich. Ein Versuch setzte sich aus zwei Teilen zusammen, die Gesamtdauer belief sich auf zirka 10 min.

2.2.3 Geräusche

Alle Geräusche, die im Experiment Verwendung fanden waren Aufnahmen von realen Schallen. Als Maskierer wurde eine Aufnahme verwendet, welche am Marienplatz in München entstanden war, und im wesentlichen als Stimmengewirr zu charakterisieren ist. Eine Darstellung des Pegel- beziehungsweise Lautheits-Zeitverlaufs ist in **Bild 2**, das zugehörige Lautheits-Tonheitsmuster in **Bild 3** gegeben. Diese dargestellten 14 s des Geräusches wurden „geloopt“ und den Versuchspersonen kontinuierlich dargeboten.

Als Testschalle wurden im Experiment die Vorbeifahrten von zwei verschiedenen Fahrzeugen (ein Dieselfahrzeug, ein Benzinfahrzeug) bei jeweils drei Geschwindigkeiten aufgenommen. Sämtliche Vorbeifahrten wurden einmal als reine Rollgeräusche, ein zweites Mal als Konstantfahrten im Gang D aufgezeichnet. Diese Aufnahmen fanden auf einer Standardprüfstrecke, wie sie für die Messung von Normvorbeifahrten (DIN ISO 362) Verwendung findet, statt, **Bild 4**.

Die zwei Mikrofone bei der Aufnahme befanden sich auf einer Linie in der Mitte der Teststrecke in einem seitlichen Abstand von 2 und 7,5 m links und rechts vom Fahrzeug, auf einer Höhe von 1,2 m. Im Experiment selbst wurde den Versuchspersonen nur der zwei Sekunden dauernde Ausschnitt des Fahrzeugaußengeräusches präsentiert, der durch das nähere Mikrofon bis zum Erreichen der Verbindungslinie zwischen den zwei Mikrofonen aufgezeichnet wurde. Dies entspricht dem Geräusch, das ein Fußgänger hört, bis es schlussendlich zu einer Kollision mit dem Fahrzeug kommen würde, was es ermöglicht, im Labor eine realistische Alltagssituation nachzustellen. Der Pegel-

ziehungswise Lautheits-Ortsverlauf einer Vorbeifahrt (Dieselfahrzeug, Konstantfahrt mit 50 km/h) ist in **Bild 5** dargestellt.

2.2.4 Psychoakustisches Experiment

Vor Beginn des eigentlichen Versuchs wurden die Teilnehmer schriftlich über ihre Aufgabe informiert. Diese bestand aus zwei Teilen: Im ersten Teil wurde den Personen ein kurzer Tonimpuls (Pegel 75 dB, Frequenz 1000 Hz, Länge 0,1 s) im Reflexionsarmen Raum über Lautsprecher vorgespielt, auf welchen sie mittels eines Handtasters möglichst schnell zu reagieren hatten. Der Lautsprecher (Klein & Hummel, Typ O98) stand dabei, versteckt hinter einem akustisch transparenten Vorhang, in zwei Metern Abstand frontal vor der Versuchsperson. Dieser Teil des Experimentes diente zum Ermitteln der minimal möglichen Reaktionszeiten auf einen akustischen Stimulus.

Im zweiten Versuchsteil wurden die Versuchsteilnehmer kontinuierlich mit dem unter 2.2.3 beschriebenen Hintergrundgeräusch beschallt. Dabei war der mechanische und elektrische Aufbau derselbe wie im ersten Versuchsteil. In diesen Maskierer wurden zusätzlich zu verschiedensten Zeitpunkten die aufgenommenen Fahrzeugannäherungen eingespielt, auf welche möglichst rasch zu reagieren war. Aus dem Reaktionszeitpunkt, korrigiert um die im ersten Versuchsteil ermittelte minimale Reaktionszeit, konnte dann der Abstand des Fahrzeugs zum Zeitpunkt der Wahrnehmung berechnet werden. Eine Wahrnehmung sollte da möglich sein, wo der aufgrund der Annäherung des Fahrzeugs ansteigende Summenpegel sich um 1 dB(A) erhöht hat.

3 Ergebnisse

3.1 Reaktionszeiten auf Fahrzeugannäherungen

Bild 6 zeigt die Reaktionszeiten auf die verschiedenen Fahrzeugannäherungen. Interessant ist hier der Unterschied in den Reaktionszeiten zwischen den zwei verschiedenen Betriebszuständen Rollen und Konstantfahrt. Wie zu sehen ist, besteht bei „Rollen“ eine erhöhte Reaktionszeit bei niedrigen Geschwindigkeiten, gerade in jenem Bereich, in welchem das Antriebsgeräusch fehlt und das Rollgeräusch sehr leise ist. Bei höheren Geschwindigkeiten liegen die Reaktionszeiten für beide Betriebszustände im selben Bereich, was damit zu begründen ist, dass das Fahrzeuggeräusch hauptsächlich vom Reifen-Fahrbahn-Geräusch bestimmt wird.

In **Bild 7** sind als schraffierte Flächen die aus **Bild 1** bekannten kritischen Abstände eingetragen, wobei die obere Begrenzung

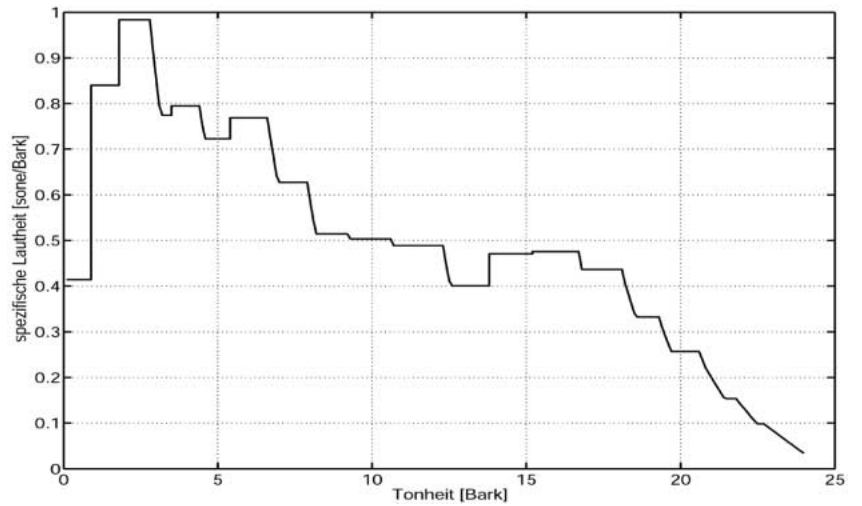


Bild 3: Mittleres Lautheits-Tonheitsmuster des in den Experimenten verwendeten Maskierers (Stimmengewirr)

Figure 3: Average masker loudness vs. critical band rate pattern (babble)

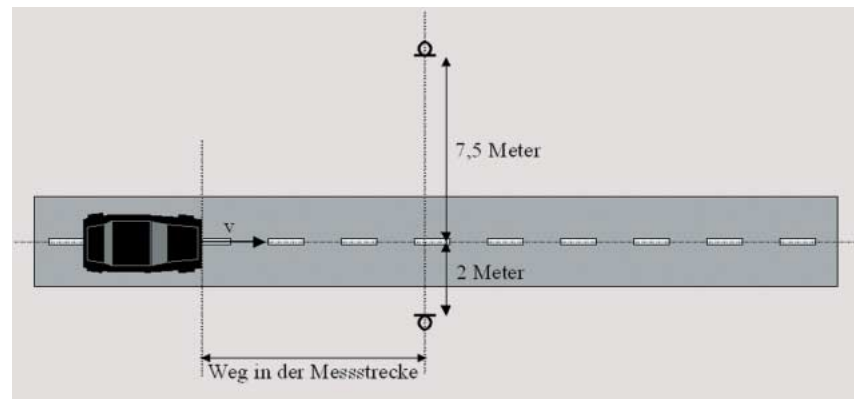


Bild 4: Setup bei der Messung der Fahrzeugaußengeräusche für das beschriebene Experiment

Figure 4: Test setup for vehicle exterior noise measurements

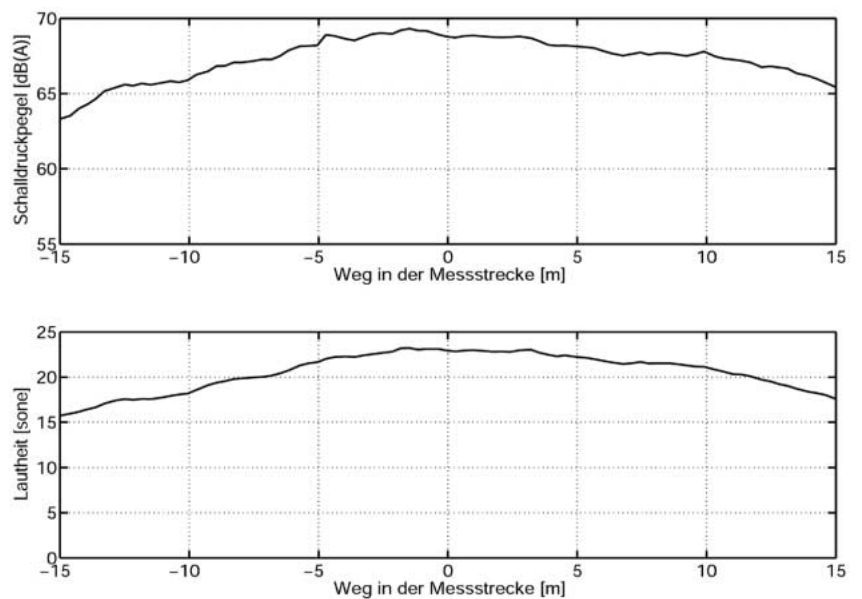


Bild 5: Pegel- beziehungsweise Lautheits- Ortsverlauf für die Vorbeifahrt eines Dieselfahrzeugs mit Automatikgetriebe bei 50 km/h

Figure 5: Noise level/loudness versus displacement curves of a diesel-engine-powered vehicle passing by at 50 km/h

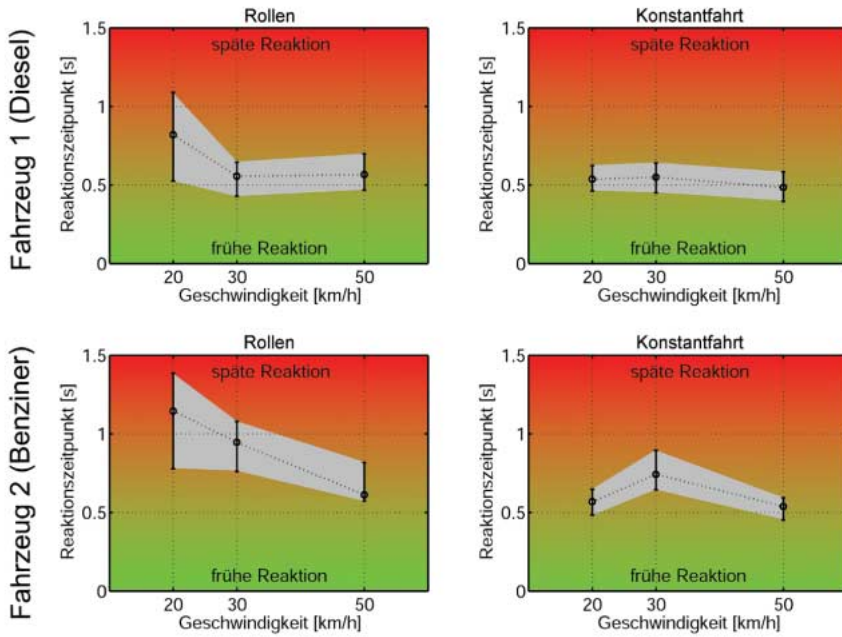


Bild 6: Reaktionszeiten auf Fahrzeugannäherungen bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Betriebszuständen – die linke Spalte enthält den Betriebszustand Rollen, die rechte die Konstantfahrsituation

Figure 6: Reaction times to approaching vehicles for different operating modes and driving speeds; upper diagrams: results obtained with the diesel-engine-operated vehicle; lower diagrams: results obtained with the gasoline-engine-operated vehicle; left-hand diagrams: coasting-by mode; right-hand diagrams: constant-speed passing-by mode

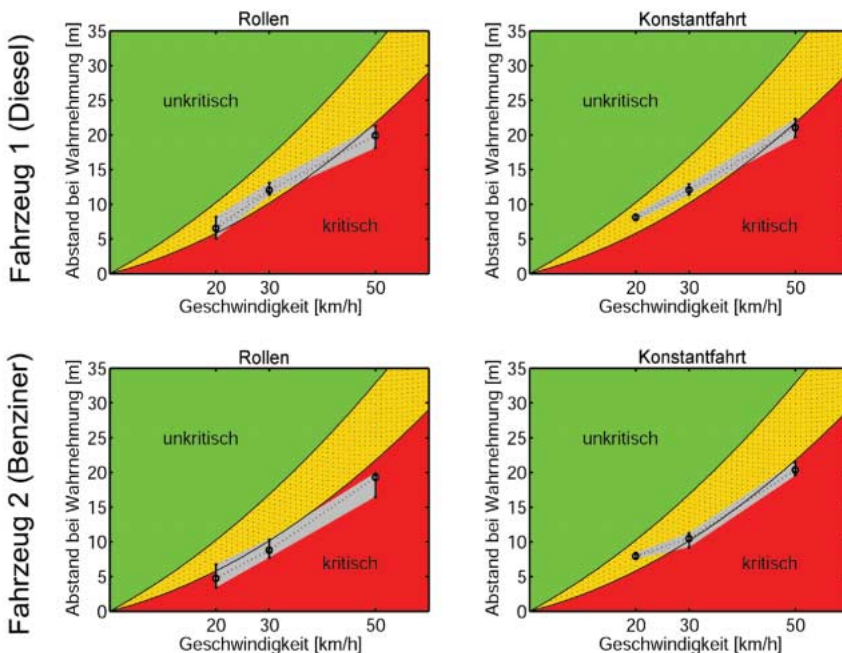


Bild 7: Wahrnehmungsabstände verschiedener Fahrzeuge für die zwei Betriebszustände Rollen (links) und Konstantfahrt (rechts) bei verschiedenen Geschwindigkeiten – zusätzlich sind als schraffierte gelbe Flächen die kritischen Wahrnehmungsabstände aus Bild 1 eingetragen; nur eine Wahrnehmung durch Fußgänger im grünen Bereich kann eine Kollision sicher verhindern

Figure 7: Perception distances of various vehicles – hatched areas representing the critical perception distances taken from Figure 1; only perceptions by pedestrians inside the green areas can avoid collisions safely; upper diagrams: Diesel-engine-powered vehicles; lower diagrams: gasoline-engine-powered vehicles; left-hand: coast-by mode; right-hand: constant-speed pass-by mode

die kritischen Abstände für abgelenkte Verkehrsteilnehmer darstellt, nach unten errechnet sich die Begrenzung aus Reaktionszeiten für auf den Verkehr konzentrierte Personen. Zusätzlich sind für beide Fahrzeuge und Betriebszustände als Mediane mit wahrscheinlichen Schwankungen die verbleibenden Abstände bis zur Kollision für drei Geschwindigkeiten eingetragen. Diese errechnen sich als Produkt aus Reaktionszeitpunkt und Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Deutlich ist zu sehen, dass für sämtliche Fahrzeuge eine rechtzeitige Wahrnehmung bei unkonzentrierten Verkehrsteilnehmern nicht möglich ist. Alle Fahrzeuggeräusche würden im besten Fall bei konzentrierten Personen rechtzeitig wahrgenommen, so dass sich ein Unfall gerade noch beziehungsweise gerade nicht mehr verhindern ließe. Auch eine Abhängigkeit von der Geschwindigkeit lässt sich erkennen: bei höheren Geschwindigkeiten wird die rechtzeitige Wahrnehmung zusätzlich schwieriger.

Ein weiterer interessanter Punkt ist der Pegel, den das Fahrzeug zum Zeitpunkt der Wahrnehmung am 2 m entfernten Mikrofon erzeugt. Eine Darstellung dieser Pegel für sämtliche Fahrzeuge, Geschwindigkeiten und Betriebszustände fasst **Tabelle 2** zusammen.

3.2 Wahrnehmungspegel bei den kritischen Abständen

Für einen Anwender wäre es interessant, aus den im Experiment ermittelten Daten eine Vorhersage zu treffen, wie laut ein Fahrzeug an den kritischen Grenzen sein müsste, um eben noch gehört zu werden. Dazu muss aus den Daten des Experiments auf die notwendigen Pegel bei den kritischen Abständen geschlossen werden. Vereinfachend wird hierzu angenommen, dass sich die Klangfarbe des Fahrzeugs mit dem Abstand zum Mikrofon nur wenig ändert, die Wahrnehmungsschwelle also bei verschiedener Entfernung des Fahrzeugs ungefähr gleich bleibt. Da der kritische Abstand aus den physikalischen Betrachtungen bekannt ist, kann aus dem Pegel-Orts-Diagramm, Bild 5, auf den tatsächlichen Pegel bei diesem Abstand geschlossen werden. Dazu wurde dieser Pegelverlauf nach Gl. (3) (mit x in Metern) interpoliert.

$$L(x) = A - 10 \cdot n \cdot \log(2^2 + x^2)$$

Dies entspricht im wesentlichen einer hypothetischen Schallquelle, deren Pegel mit jeder Abstandsverdopplung um das zehnfache von n abnimmt. Es wurden für beide Fahrzeuge, beide Betriebszustände und alle gemessenen Geschwindigkeiten die Parameter A und n aus Gl. (3) mittels Gauss-Newton Verfahren angepasst. Diese Interpolation ist



Global Motorsports Congress 2006

Performance Technology Transfer

- _ Advanced Engine Technology
- _ Chassis Development
- _ Aerodynamics
- _ Performance Materials
- _ Toyota site visit

powered by

ATZ

Auto**Technology**

MTZ

Get on our mailing list NOW!

Name	Surname
Company	
Department	
Address	
Postcode/City	Country
Phone	Fax
E-Mail	

vieweg technology forum
Abraham-Lincoln-Straße 46
65189 Wiesbaden | Germany
Phone +49(0)6134. 557170
E-Mail motorsports@vieweg.de
www.globalmotorsportscongress.com

FAX +49(0)6134. 557171

notwendig, da bei höheren Geschwindigkeiten die kritischen Abstände größer werden, da nicht mehr in jedem Fall für ein Fahrzeug in großen Entfernungen ein gemessener Pegelwert vorliegt.

Damit das Fahrzeug im kritischen Abstand gerade noch wahrnehmbar wird, muss der Pegel des Fahrzeugs so hoch sein, dass in eben dieser Entfernung ein Pegel, der mindestens der Wahrnehmungsschwelle, **Tabelle 2**, entspricht, erreicht wird. Die Pegel, die das Fahrzeug an den Grenzen in Anlehnung an ISO 362 im Abstand von 7,5 m haben müsste, um im Hörversuch wahrnehmbar zu sein, wurden errechnet und sind in **Bild 8** dargestellt. Der Anwender hat mit **Bild 8** also ein Hilfsmittel, um die Wahrnehmbarkeit für ein spezielles Fahrzeug zu überprüfen.

4 Schlussfolgerungen für die Praxis

Die bisher beschriebenen Methodiken erlauben, für akustisch ähnliche Fahrzeuge, deren Pegelmaxima bei Konstantfahrt bekannt sind, die Abstände abzuschätzen, in welchen diese wahrnehmbar werden. Diese liegen aus Vorbeifahrtmessungen (Strecke und Mikrofonanordnung nach DIN ISO 362, Konstantfahrt in urban relevanten Gängen und Rollen bei 50 km/h) vor. Im Folgenden sollen Fahrzeuge verschiedener Hersteller betrachtet und die Daten mit den aus den physikalischen Betrachtungen gewonnenen kritischen Abständen verglichen werden. Diese Umrechnung der Pegel in Wahrnehmungsabstände erfolgt in zwei Schritten:

Die Näherungen, die mittels Gl. (3) berechnet wurden, müssen in diesem Schritt auf das aktuelle Fahrzeug angewandt werden. Dabei bleibt der Parameter *n* unverändert, lediglich der Parameter *A* muss so angepasst werden, dass die interpolierte Kurve den Originalpegel des aktuellen Fahrzeugs annähert um die Extrapolation auf größere Entfernungen vornehmen zu können.

Der Wahrnehmungsabstand auf der neu interpolierten Kurve lässt sich nun ablesen: Es ist dies der Abstand, in welchem das Fahrzeug den Wahrnehmungspegel erzeugt. Der Wahrnehmungspegel der zur entsprechenden Näherung und Geschwindigkeit gehört kann hierzu **Tabelle 2** entnommen werden.

Um die Qualität der beschriebenen Methode zur Vorhersage der Wahrnehmungsabstände zu beurteilen, wurden die Ergebnisse des Hörversuchs mit den nach obigem Schema berechneten Abständen verglichen. Dazu wurden die bei der Aufzeichnung der Fahrzeuge zusätzlich gewonnenen Pegel bei 7,5 m seitlichem Abstand verwendet und mit diesen eine Vorhersage der Wahrneh-

Tabelle 2: Pegel bei Wahrnehmung der im Experiment untersuchten Fahrzeuge – die Pegel wurden an der näheren Mikrofonposition gemessen

Table 2: Vehicle noise levels at the moment of perception recorded at the closer microphone position

	Dieselfahrzeug			Benziner		
	20 km/h	30 km/h	50 km/h	20 km/h	30 km/h	50 km/h
Rollen	56,5 dB(A)	59 db(A)	59 db(A)	56,5 db(A)	58,5 db(A)	59 db(A)
Konstantfahrt	58 db(A)	58,5 db(A)	59 db(A)	56,5 db(A)	59 db(A)	59 db(A)

mungsabstände kalkuliert. Diese Abschätzungen können dann direkt mit den Ergebnissen aus dem Hörversuch verglichen werden, was in **Bild 8** zusätzlich durch Quadrate dargestellt ist. Die vorhergesagten Werte stimmen bis auf eine Ausnahme bei 20 km/h sehr gut mit den Ergebnissen aus den Hörversuchen überein. Es bleibt zu klären, inwieweit die Methodik für die Vorhersage der Wahrnehmungsabstände langsamer Fahrzeugannäherungen geeignet ist.

Nachdem die Methodik zur Vorhersage der Wahrnehmungsabstände erklärt und validiert wurde, soll abschließend für verschiedene Fahrzeuge mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 km/h gezeigt werden, wo deren Wahrnehmungsabstände im Vergleich zu den kritischen Pegeln zu liegen kommen. Die Ergebnisse sind in **Bild 9** als Histogramme zusammengefasst und gemeinsam mit den kritischen Abständen darge-

stellt. Wie zu sehen ist, liegt ein sehr großer Teil der Wahrnehmungsabstände für Fahrzeuge unterschiedlichen Typs und diverser Hersteller unterhalb des kritischen Abstandes bei konzentrierten Verkehrsteilnehmern. Es ist also damit zu rechnen, dass eine Kollision nur dann sicher zu verhindern wäre, wenn das Fahrzeug nicht nur aufgrund rein akustischer Information wahrgenommen wird. Keines der untersuchten Fahrzeuge weist ein Außengeräusch auf, welches im betrachteten Störgeräusch bei unkonzentrierten Personen rechtzeitig wahrnehmbar wäre.

5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ausgehend von der Betrachtung von Reaktionszeiten und physikalischen Zusammenhängen auf kritische Entfernungen geschlossen, innerhalb welcher die Wahrnehmung eines Fahrzeugs er-

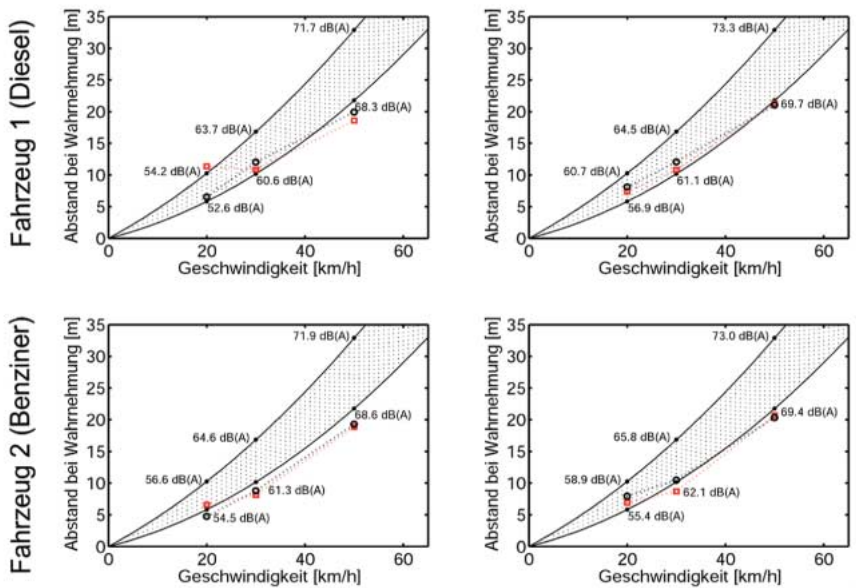


Bild 8: Pegel der Fahrzeuge (Messanordnung nach ISO 362, Konstantfahrten) die nötig wären, um an den kritischen Grenzen für die Betriebszustände Rollen (links) und Konstantfahrt (rechts) rechtzeitig hörbar zu sein – zusätzlich sind die im Experiment ermittelten (○) und die aus dem Originalpegel berechneten Wahrnehmungsabstände (□) eingezeichnet (vgl. Kapitel 4)

Figure 8: Noise levels (after ISO 362, constant speed pass by) needed for a vehicle to be only just perceptible in time at a critical distance; perception distances obtained by way of testing (○) and calculation (□) (cp. figure 4); left-hand: coast-by mode, right-hand: constant-speed pass-by mode

For an English version of this article, see **ATZ worldwide**. For information on subscriptions, just call us or send an E-mail or fax.



ATZ Vieweg Verlag Postfach 1546 D-65173 Wiesbaden
Tel. +49 5241 80-1968 | E-mail: vieweg@abo-service.info

folgen muss, um Unfälle zu vermeiden. In einem Hörversuch wurde für zwei Fahrzeuge bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Betriebszuständen untersucht, wann diese tatsächlich von Personen in einem urban typischen Hintergrundgeräusch akustisch wahrnehmbar werden. Ausgehend von im Hörversuch ermittelten Reaktionszeiten wurde eine Methode entwickelt, um von den Pegeln eines Fahrzeugs bei konstanter Vorbeifahrt auf den Abstand zu schließen, bei welchem dieses hörbar wird. Damit wurde überprüft, ob für verschiedene Fahrzeuge und Betriebszustände bei 50 km/h Geschwindigkeit eine Wahrnehmung durch einen Fußgänger rechtzeitig möglich ist. Es zeigt sich, dass die meisten Fahrzeuge im untersuchten typischen Hintergrundgeräusch erst zu einem Zeitpunkt akustisch wahrnehmbar werden, zu welchem eine Kollision nicht mehr sicher vermeidbar ist. Weitere Untersuchungen auch bei anderen Umgebungsgeräuschpegeln sind notwendig, um die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse zu untermauern. Damit kann eine Diskussionsgrundlage zur Ab-

wägung der Priorität zwischen dem Interesse der Fußgängersicherheit und dem einer Geräuschpegelabsenkung des Einzelfahrzeugs erstellt werden.

Literaturhinweise

- [1] DIN ISO 362: Akustik-Messverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für das von beschleunigten Straßenfahrzeugen abgestrahlte Geräusch. Entwurf der deutschen Norm 2005
- [2] Statistisches Bundesamt Deutschland: Statistisches Jahrbuch 2004
- [3] Green M.: "How long does it take to stop?" Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times. Transportation human factors 2(3): 195-216, 2000

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei Prof. Dr.-Ing. Hugo Fastl für seine Unterstützung und für viele wertvolle Anregungen. Die Arbeit wurde gefördert von Firmen der deutschen Automobilindustrie. Die Messungen der Fahrzeuggeräusche wurden auf den Außengeräuschmessstrecken der Firmen BMW AG und Porsche durchgeführt.

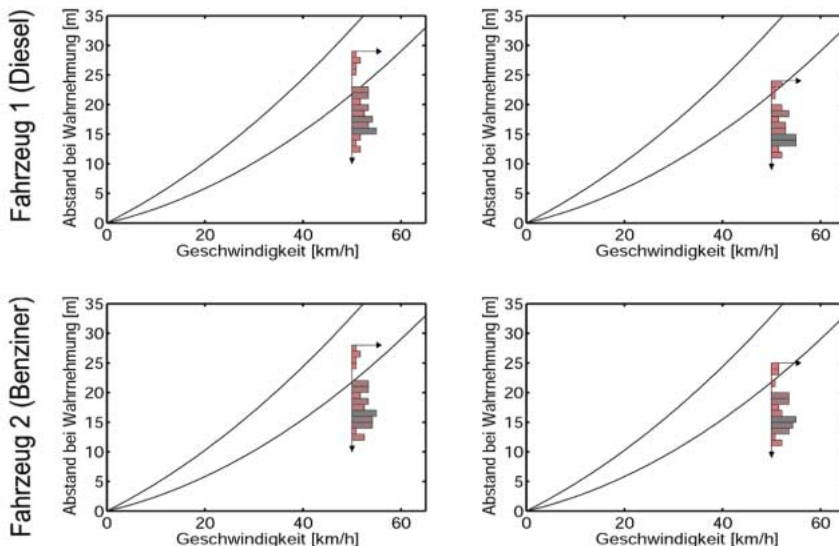


Bild 9: Berechnete Wahrnehmungsabstände verschiedener Fahrzeuge – die Grundlage der Berechnung erfolgte aufgrund der im Experiment ermittelten Daten in den zwei Betriebszuständen Rollen (links) und Konstantfahrt (rechts)

Figure 9: Calculated perception distances for various vehicles – calculation are based on data obtained from the auditory tests with diesel- (upper) and gasoline-engine-powered (lower) vehicles in two operating modes: coasting (left) and constant-speed (right)

High-calibre experts from the automotive and supply industry await you for a discussion of "Suppliers and automobile manufacturers: tomorrow's markets and fields of innovation" at the Original Equipment Forum of this year's Automechanika. Under the direction of Prof. Dr. Ferdinand Dudenhöffer (CAR – Center of Automotive Research), the renowned conference offers the ideal forum for discussing automotive visions.

For further information and programme details, visit www.automechanika.messefrankfurt.com

