

Dipl.-Ing. Rolf Grüner  
und Werner Kukuk, Paderborn

# Verbesserung der Warnwirksamkeit von bevorrechtigten Fahrzeugen

## 1. Einführung

Wenn sich ein bevorrechtigtes Fahrzeug mit blauem Blinklicht zusammen mit dem Einsatzhorn im Straßenverkehr bewegt, haben alle übrigen Verkehrsteilnehmer sofort freie Bahn zu schaffen. So die Vorschrift laut StVO.

Diese Anordnung kann natürlich von den Verkehrsteilnehmern nur dann befolgt werden, wenn die optischen oder akustischen Signale des bevorrechtigten Fahrzeugs rechtzeitig wahrgenommen werden. Die Praxis zeigt, daß in verschiedenen Situationen die Signale nicht im erforderlichen Umfang registriert werden, so daß Einsatzfahrzeuge aus Sicherheitsgründen häufig mit großer Vorsicht fahren müssen, um sich und andere Verkehrsteilnehmer nicht zu gefährden. Verspätetes Eintreffen am Einsatzort kann z. B. die Folge dieses Sachverhaltens sein.

In der Vergangenheit wurden verschiedene Überlegungen angestellt sowie begleitende Versuche durchgeführt hinsichtlich Verbesserung dieses Zustands. Wesentliche Verbesserungen auf dem akustischen und optischen Gebiet konnten erzielt werden, so z. B. durch eine elektronische Erzeugung der Klangfolge verbunden mit wirkungsvoller Abstrahlung über Lautsprecher, die auf dem Fahrzeugdach angebracht sind. Das brachte einen deutlichen Fortschritt im Vergleich zu den häufig in geringer Höhe oberhalb der Fahrbahn angebrachten Starktonhörnern. Lichttechnisch konnte eine graduelle Verbesserung dadurch erreicht werden, daß die Halogenglühlampe sich mit dem Reflektor dreht und Toleranzeinflüsse durch Glühlampenwechsel hiermit weitgehend ausgeschaltet werden. Dennoch ist der erreichte Zustand für besondere Verkehrssituationen noch nicht befriedigend. Bevor weitere Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt werden, soll zunächst der heute zulässige Ausrüstungsstand skizziert werden.

## 2. Heutiger Ausrüstungsstand

### 2.1 Akustischer Teil

Die Technischen Anforderungen an Fahrzeugteile bei der Bauartprüfung nach § 22a StVZO – Nr. 32 fordern einen Schalldruckpegel für beide Einzelklänge

von mindestens 110 dB(A) gemessen in 3,5 m Abstand (= 115 dB(A) in 2 m Entfernung) im reflektionsfreien Raum. Die aufgenommene Leistung darf 250 Watt nicht übersteigen. Die internationale ISO-Norm will einen Maximalwert von 125 dB(A) in 2 m Entfernung einführen. Bekannte Serienprodukte wurden bis zu 124 dB(A) in 2 m Entfernung vermessen. Die aufgenommene Leistung beträgt bei diesen Geräten ca. 100 Watt.

### 2.2 Lichttechnischer Teil

Für Kennleuchten fordern die Technischen Anforderungen an Fahrzeugteile bei der Bauartprüfung nach § 22a StVZO – Nr. 13 Mindestwerte von 20 Candela für die Abstrahlung unter einem Winkel von 0° parallel zur Fahrbahnebene und von 10 Candela unter  $\pm 4^\circ$  zur Fahrbahnebene. Vermessungen von Serienleuchten haben ergeben, daß unter 0° Werte von über 50 Candela erzielt werden, unter  $\pm 4^\circ$  die geforderten Werte um ca. 40 % überschritten werden. Auf konstruktive Maßnahmen zur Beibehaltung dieser über dem Soll liegenden Werte wurde bereits in der Einführung hingewiesen (Glühlampe dreht mit Reflektor).

## 3. Suche nach Verbesserungsmöglichkeiten

### 3.1 Akustischer Teil

Das akustische Signal für vorfahrtsberechtigte Wegebewerber besteht aus einer Folge von zwei Klängen unterschiedlicher Tonhöhe. Jeder dieser Klänge setzt sich aus mehreren Teiltönen zusammen. Die frequenzmäßige Lage der stärksten Teiltöne geben dem Klang seinen typischen „musikalischen“ Charakter und sind gleichzeitig entscheidend für seine Reichweite. Der günstige Bereich für die Lage der stärksten Teiltöne ist von den Umgebungsbedingungen (Verkehrssituation) abhängig.

Zwei häufig vorkommende Verkehrssituationen werden im folgenden analysiert.

In **Bild 1** ist ein Überholvorgang bei schneller Fahrt auf der **Autobahn** dargestellt. Der Fahrer des hinteren Wagens betätigt einen akustischen Signalgeber, dessen Klang der Fahrer des vorderen Wagens hören soll. **Bild 2** zeigt die zu erwartenden Einflüsse bei schneller Autobahnfahrt in grafischer Darstellung. In den Kurvenzügen sind einige der hauptsächlichsten Abschwächefekte innerhalb der hörbaren Frequenzskala

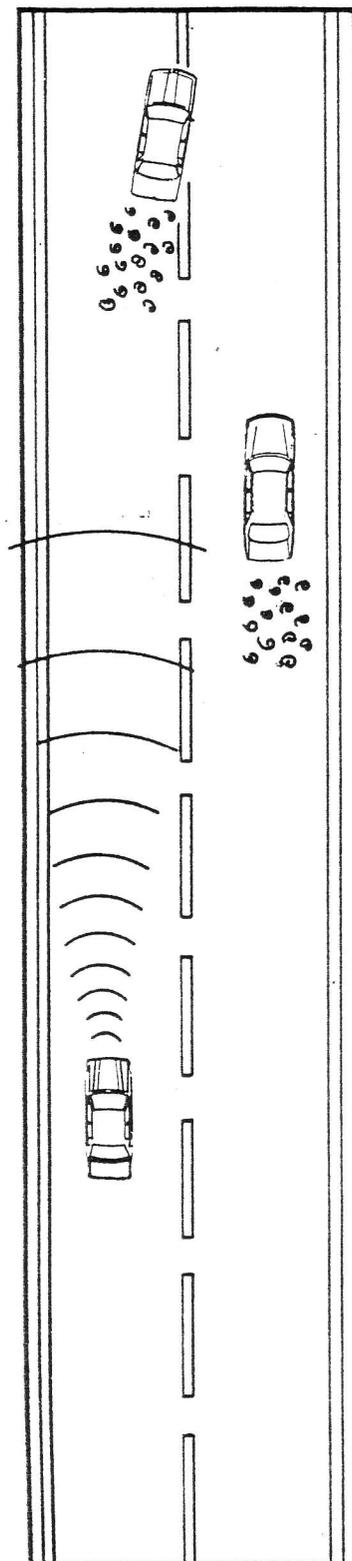


Bild 1

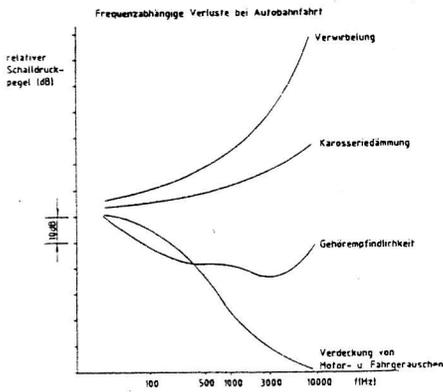


Bild 2

dargestellt. Aus den Kurven läßt sich also ablesen, wie stark die Teiltöne in bestimmten Frequenzbereichen abgestrahlt werden müssen, damit sie gut beim Fahrer des voranfahrenden Fahrzeugs ankommen. Auf dem Wege vom Signalgeber zum Ohr des Fahrers passieren die Schallwellen eine Luftschleppe, die am voranfahrenden Fahrzeug hängt. Sie ist durch starke Luftbewegungen und Turbulenzen gekennzeichnet und hat die Eigenschaft, Schallwellen abzulenken, zu brechen, zu zerstreuen. Teiltöne mit hoher Frequenz werden stärker gestreut als tiefe Teiltöne. Der Fahrer im Empfängerfahrzeug wird also ein Signal, das sich vorwiegend aus tiefen Teiltönen zusammensetzt, besser wahrnehmen können als eins mit hohen Teiltönen (Bild 2, Kurvenzug „Verwirbelung“).

Als nächstes Hindernis erreicht das Signal die Karosserie des vorausfahrenden Fahrzeugs. Akustisch verhält es sich wie jede Wand, d. h. sie dämmt den Schall. Insgesamt gesehen sind zur Überwindung des Dämmeffektes tiefe Frequenzen günstiger als hohe (Bild 2, Kurvenzug „Karosseriedämmung“).

Nach diesen selektiven Abschwächungen trifft der Schall auf das Ohr des Fahrers. Das menschliche Gehör ist für tiefe und hohe Töne unempfindlicher als in einem mittleren Frequenzbereich (Bild 2, Kurvenzug „Gehörempfindlichkeit“).

Wesentlich ist eine weitere Eigenart des menschlichen Ohres: Bei lautem (Stör-)Schall wird die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres herabgesetzt, so daß leisere (Nutz-)Schallanteile nicht mehr wahrgenommen werden können. Diese Herabsetzung der Gehörempfindlichkeit kann sich aber auch auf einzelne Frequenzbereiche beschränken. Im vorliegenden Fall verdeckt das laute tiefe Dröhnen von Motor und Fahrgeräusch die leiseren tieferen Töne eines Warnsignals. Ein Signal mit vor-

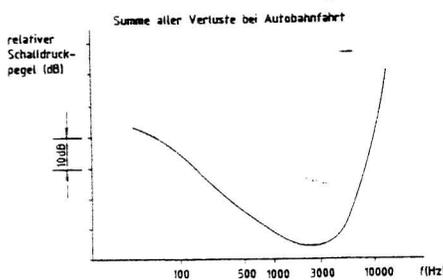


Bild 3

wiegend tiefen Frequenzanteilen würde durch diese Verdeckung also unwirksam werden (Bild 2, Kurvenzug „Verdeckung Motor- und Fahrgeräusche“).

Summiert man nun diese dargestellten Einflüsse, so ergibt sich als Resultat der Kurvenzug in Bild 3. Die Kurve weist ein deutliches Minimum zwischen 2 000 und 4 000 Hz auf.

Daraus läßt sich ableiten: Ein akustisches Warnsignal ist bei Autobahnfahrt mit hoher Geschwindigkeit desto wirksamer, je stärker seine Teiltöne im Frequenzbereich von 2 000 bis 4 000 Hz ausgeprägt sind. Die Teiltöne in den übrigen Frequenzbereichen sind mehr oder weniger wirkungslos; sie erhöhen vielleicht den Lautstärkeindruck (bei einer Standvorführung) oder sie tragen zu einem besonders schönen Klangbild bei, sie dienen aber nicht dem eigentlichen Zweck, das Überholersignal möglichst wirkungsvoll zu machen.

Bild 4 gibt eine vorteilhafte Verteilung der Teiltöne für Signalabstrahlung bei Autobahnfahrten an.

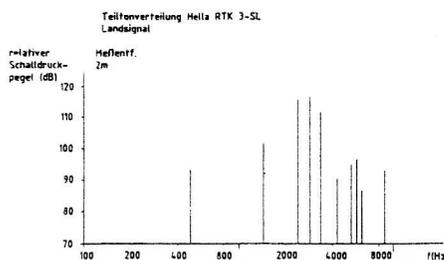


Bild 4

Im Stadtverkehr ist die Situation anders als bei schneller Autobahnfahrt. Die Geschwindigkeit ist niedriger, der Verkehr ist dicht, die Ausbreitung des Schalles wird durch Hindernisse – wie Pkw's, Häuserblocks, winklig zueinander laufenden Straßenfluchten – gestört. Das Warnsignal braucht im Stadtgebiet nicht sehr weit zu reichen, dafür sollte es sich aber gut um Hindernisse – wie Pkw's – herumbeugen und gut in Kreuzungsgebiete eindringen können.

In Bild 5 sind analog zur Autobahnfahrt die frequenzabhängigen Einflüsse im Stadtverkehr dargestellt.

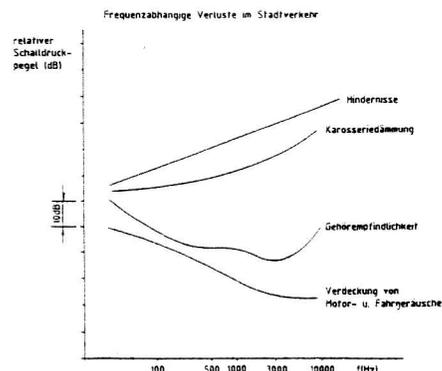


Bild 5

Im Kurvenzug „Hindernisse“ sind alle Einflüsse zusammengefaßt, die durch Lkw's, Häuserfronten, durch Reflektion oder Beugung auftreten können. Insgesamt ergibt

sich hierbei ein günstiges Abschneiden der tiefen Frequenzen. Zu bemerken ist, daß dieser Kurvenzug stark idealisiert ist; die Ergebnisse sind abhängig von der jeweiligen Situation.

Die Einflüsse von „Karosseriedämmung“ und „Gehörempfindlichkeit“ sind die gleichen, wie sie schon bei Autobahnfahrten berücksichtigt wurden.

Die Verdeckungskurve für Motor- und Fahrgeräusche hat aber wegen der niedrigeren Motordrehzahl und der geringen Fahrgeräusche einen flacheren Verlauf.

Die Summierungskurve aller Verluste in Bild 6 zeigt ein flaches Minimum zwischen 500 bis 2 000 Hz. Man sieht, daß ein stadttangepaßtes Signal im wesentlichen die tieferen Teiltöne abstrahlen sollte.

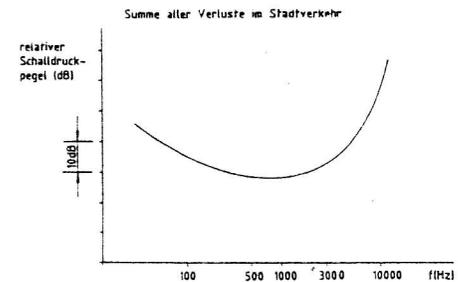


Bild 6

Eine vorteilhafte Verteilung der Teiltöne für den Stadtverkehr ist in Bild 7 angegeben.

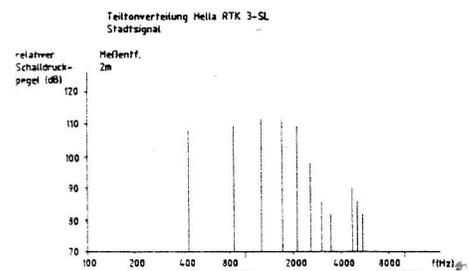


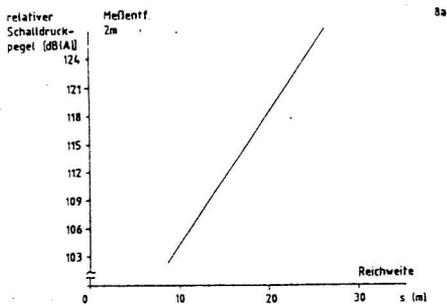
Bild 7

Konsequenz hieraus ist, daß eine optimale Schallabstrahlung nur dann zu erzielen ist, wenn für die jeweilige Verkehrssituation das passende Signal verwendet wird. Die Möglichkeit der Abstrahlung beider Signalarten wurde neuerdings in den Geräten RTK 3-SL und RTK 4-SL (Rundum-Tonkombination – Stadt/Land) realisiert, so daß je nach Einsatzgebiet die Signalart für Stadtverkehr (S) oder Überlandverkehr (L) fest eingestellt werden kann oder über einen Umschalter der wahlweise Betrieb ermöglicht wird.

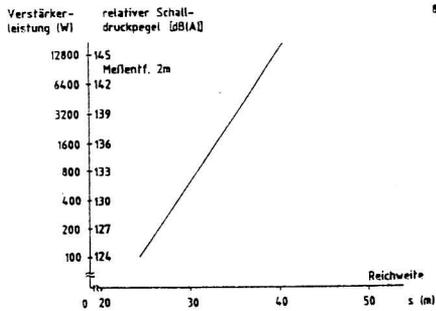
Aussagen über die Reichweite solcher Signale lassen sich nur durch Fahrversuche ermitteln. Die Ergebnisse hängen natürlich von den Umweltbedingungen, den Versuchsfahrzeugen und den Testpersonen ab.

Im Bild 8a ist das Teilergebn einer solchen Testreihe wiedergegeben. Es bezieht sich auf Personewagen der Mittelklasse, die sich mit erhöhter Geschwindigkeit auf einer geraden Autobahnstrecke mit betonierter Fahrbahn von mittlerer Rauigkeit bewegen; die Böschung ist leicht abfallend, der Boden trocken, es herrscht Windstille.

Reichweite des RTK 3-Signals auf der Autobahn  
bei unterschiedlichen Schalldruckpegeln und  $V=130\text{km/h}$



Erhöhung der Reichweite nach 8a) bei  $130\text{km/h}$   
durch Leistungssteigerung (extrapoliert)



Bilder 8a und 8b

Dargestellt ist die Abhängigkeit der Reichweite eines angepaßten Autobahnsignals vom Schalldruckpegel des Signalgebers bei einer Fahrgeschwindigkeit von  $130\text{ km/h}$ .

Zuerst einmal fällt auf, daß bei den heute erreichbaren Schalldruckpegeln ( $120$  bis  $124\text{ dB(A)}$ ), bezogen auf eine Meßentfernung von  $2\text{ m}$ , die erzielbaren Reichweiten von  $20$  bis  $25\text{ m}$  sehr bescheiden sind.

Es ist auch ersichtlich, daß sich bei dieser Fahrgeschwindigkeit eine wesentliche Vergrößerung der Reichweite nur durch eine wesentliche Erhöhung des Schalldruckpegels erzielen läßt. Inwieweit dies praktikabel ist, zeigt folgende Abschätzung: Im **Bild 8b** ist die Gerade aus **8a** zu höheren Schalldruckpegeln hin extrapoliert. Gleichzeitig ist auf der y-Achse parallel zu den  $\text{dB(A)}$ -Werten die Ausgangsleistung des Lautsprecherverstärkers aufgetragen. Es wurde festgestellt, daß sich mit einer Ausgangsleistung von  $100\text{ W}$  ein Schalldruckpegel von  $124\text{ dB(A)}$  ( $2\text{ m}$ ) erzielen läßt. Zwischen der Verstärkerleistung und dem Schalldruckpegel besteht der physikalische Zusammenhang, daß bei Verdoppelung der Verstärkerleistung ein Schalldruckpegelzuwachs von  $3\text{ dB(A)}$  erzielt wird.

Interessant ist, daß für eine Erhöhung der Reichweite von  $25\text{ m}$  auf  $35\text{ m}$  nach dieser Überlegung die elektrische Leistung von  $100\text{ W}$  auf  $3200\text{ W}$  erhöht werden müßte! Weder Verstärker noch Lautsprecher einer solchen Anlage könnten für diesen Fall als „fahrzeuggerecht“ angesehen werden. Außerdem wäre der in diesem Fall erreichte Schalldruckpegel von  $139\text{ dB(A)}$  für die Umwelt nicht mehr zumutbar. Akustisch ist man offensichtlich an einer physikalischen Grenze angelangt.