

Lautstärke	Die empfundene Lautstärke eines Schalls (Phon) ist eine nicht-lineare Funktion des Schalldruckpegels und der Frequenz (siehe Abb. 6).
SPL	Schalldruckpegel, gemessen in Dezibel. Nicht mit Lautstärke zu verwechseln.
Dezibel (dB)	Das Dezibel ist ein logarithmisches Maß und gibt die Änderung der relativen Stärke einer akustischen Welle an. Es ist eine Standardeinheit, die das Verhältnis zwischen Schalldruck und einem Referenzdruck bezeichnet. Eine Zunahme von 10dB entspricht einer Verdoppelung der wahrgenommenen Lautstärke. Das Dezibel ist kein absolutes Maß, sondern kennzeichnet die Beziehung bzw. das Verhältnis zwischen zwei Schalldrücken.
dBA	Der nach der 'A' Kurve bewertete Schalldruckpegel.
Frequenz	Misst wie oft sich eine Schallschwingung pro Sekunde wiederholt. Angabe in Hertz (Hz). Hohe Frequenzen schwächen sich schnell ab und legen nur kurze Wege zurück. Tiefe Frequenzen schwächen sich langsam ab und legen lange Wege zurück (z. B. Nebelhörner).
Dämpfung	Reduzierung des Schalldruckpegels mit zunehmender Entfernung.
Tonaler Schall	Schall, dessen Druck zeitlich sinusförmig variiert. Wird auch als Einzelton bezeichnet, wie sie z. B. von einer Stimmgabel erzeugt wird. Hohe Töne besitzen eine hohe Frequenz, niedrige Töne eine niedrige Frequenz.
Breitbandton	Schall, dessen akustische Energie über ein sehr breites Frequenzspektrum verteilt ist. Das Spektrum ist größtenteils gleichförmig und konstant - außer an den Grenzwerten.
Phon	Maß der empfundenen Lautstärke.
Ortbarkeit	Grad der Ortungsgenauigkeit einer Schallquelle durch einen Hörer.
Lokalisierung	Begrenzung eines Schallmusters auf einen Ort.
Richtwirkung	Misst die Ausstrahlung einer Schallquelle in verschiedene Richtungen.

Braun & Braun
Heiligenstädter Straße 173, A-1190 Wien
Tel.: 01 / 370 45 37 Fax: 01 / 370 55 78
E-Mail: office@braun-braun.at
Web: www.braun-braun.at & www.rückfahrwarner.at

Breitbandton

Der sichere und lärmfreie* Rückfahrwarner

Ein Informationsbericht von Brigade
März 2008



**Definition des Begriffs ‚Lärm‘ aus Meyers Lexikon: „jedes als störend empfundene laute Geräusch“. Dagegen ist der Schall eines passend ausgewählten und installierten breitbandigen Alarms nur im Gefahrenbereich wahrnehmbar – dort, wo er gehört werden soll.*

Einführung	3
Sicherheit – Funktionseignung	4
Sicherheit – Fehlerbaumanalyse	4
Sicherheit – Zentrale Faktoren	5
Querverweise:	5
Allgemeines	6
Hörbarkeit	6
Erkennung - Allgemeines	6
Ortbarer Schall	6
Auf den Gefahrenbereich beschränkter Schall	7
Wie wird dies erreicht?	8
Nettoeffekt	9
Nettoeffekt - Abbildung	10
Fehlalarm	10
Reaktion	10
Resonanz	10
Tonalalarme stiften Verwirrung	11
Hörbarkeit beim Tragen von Gehörschutz	12
Vermindertes Risiko der Maskierung eines Alarmsignals	12
Schnelle Schalldämpfung	12
Weniger störend	12
Schluss mit dem absichtlichen Abklemmen	12
Bessere Wahrnehmung für Schwerhörige	12
Vermindertes Risiko von Gehörschäden	13
Reduzierte Gefahr für das Herz aufgrund des Überraschungseffekts	13
Technische Informationen	13
Schall und Entfernung	14
Psychoakustik	14
Tonale Aspekte	14
Anhang A	15
Glossar	16

In diesem Dokument sollen die Vorteile des breitbandigen Schalls hinsichtlich Sicherheit und Umwelt im Zusammenhang mit Rückfahrwarnern vorgestellt werden. Die Gründe für deren Einführung als Standardausrüstung für Lkw, Gabelstapler und mobile Arbeitsmaschinen sind offensichtlich.

Im Sommer 2007 kam es bei einem Unternehmen zu zwei getrennten Todesfällen während des Zurücksetzens von Fahrzeugen. In beiden Fällen waren die beteiligten Lkws und mobilen Maschinen mit voll funktionstüchtigen und konformen Rückfahrwarnern ausgestattet. Untersuchungen ergaben, dass beide Opfer die Alarmtöne „herausgefiltert“ hatten. Die normale Reaktion auf einen Rückfahralarm besteht in der Erkennung als Gefahrensignal. Die nicht erfolgte Reaktion gibt zu erkennen, dass das Signal als irrelevantes Hintergrundgeräusch herausgefiltert wurde, oder dass eine unbewusste Annahme stattfand, dass das Signal von einem anderen zurücksetzenden Lkw stammte. Dieser Effekt tritt bei Tonsignalen stärker auf, da sie im Vergleich zu breitbandigem Schall eine längere Strecke zurücklegen können.

Eine Analyse von Rückfahralarmen und wissenschaftlichen Untersuchungen bestätigt, dass sich der Standort einer breitbandigen Schallquelle sehr gut orten lässt. Im Jahr 2002 forderte das amerikanische Blindeninstitut (American Council for the Blind) die Verwendung ortbarer Schallquellen und äußerte in Bezug auf aktuell verwendete Tonwarner, dass diese „blinde und sehbehinderte Menschen eher desorientieren, als ihnen zu helfen“¹.

„Lärm schadet vielfach der Gesundheit des Menschen und beeinträchtigt seine Aktivitäten in der Schule, am Arbeitsplatz, zuhause und in der Freizeit“. „Wenn man den Lärm als lästig bezeichnet, dann ist das so, als ob man den Smog eine Unannehmlichkeit nennen würde“ und „Lärm muss als Bedrohung der Gesundheit für die Menschen überall betrachtet werden“ sind häufig zitierte Aussagen des ehemaligen amerikanischen Gesundheitsministers Dr. William H. Stewart.

Im Vergleich zu konventionellen Rückfahralarmen mit Tonsignalen, ist ein ebenso lauter breitbandiger Schall (in Phon) gleichermaßen wirkungsvoll, um Personen auf zurücksetzende Fahrzeuge aufmerksam zu machen, jedoch viel leiser außerhalb des Gefahrenbereichs. Somit entfallen Beschwerden wegen Lärmbelästigung und die Gefahr, dass der Alarm aufgrund „übermäßiger Vertrautheit“² ignoriert wird.

Während der nachträgliche Einbau eines Rückfahralarms mit Breitbandschall unter spezifischen Umständen erforderlich sein mag, wird in diesem Dokument für eine generelle Einführung im Rahmen eines professionell umgesetzten Prozesses argumentiert.

Obwohl dieses Dokument für alle Arten von Arbeitswegalarmen Gültigkeit besitzt, bezieht es sich dennoch speziell auf Rückfahrwarner.



¹ American Council for the Blind resolution ACB 2002-22.

² New York State – Department of Health Case Report 03NY036; "Oft gewöhnen sich Menschen, die regelmäßig in der Nähe von Rückfahr-Warnpiepern arbeiten an dieses Geräusch, sodass der Warneffekt verpufft." <http://www.health.state.ny.us/environmental/investigations/face/03ny036.htm>

Sicherheit – Funktionseignung

Eine vergleichende Tabelle der relativen Wirksamkeit von Warnern mit Intervallton und Breitbandton in Arbeitsumgebungen:

	Faktoren	tonal	bbs®
Sicherheit	Erkennung		
	Lautstärke/ Hörbarkeit	<i>Es sollte ein Alarm mit angemessener Lautstärke installiert werden</i>	
	Dient der Ton als effektive Warnung vor Gefahr?	<i>Abhängig von den Umständen</i>	Ja
	Ist die Gefahr relevant?	<i>Abhängig von den Umständen</i>	Ja
	Rückmeldung	<i>Unzuverlässig</i>	Gut
	Wahrnehmung bei Schwerhörigkeit	<i>Riskant</i>	Gut
	Führt zu Irritation	<i>Wahrscheinlich</i>	Unwahrscheinlich
Umwelt	Durchdringend	Ja	Nein
	Beschwerden aufgrund von Lärm	Ja	Nein
Gesundheit	Risiko von Gehörschäden & Stress	<i>Höher</i>	Niedriger

Abbildung 1

Abbildung 1 (oben) zeigt, dass Breitbandtöne in Hinsicht auf Sicherheit, Gesundheit und Umwelt eine effektivere Warnfunktion bieten als Intervalltöne.

Sicherheit – Fehlerbaumanalyse

Die „Fehlerbaumanalyse“ ist ein nützliches Hilfsmittel zur Überprüfung der möglichen Ursachen für einen Unfall (siehe Abb. unten). In Großbritannien z. B. kann die amtliche Untersuchung eines Todesfalls zu einer von drei möglichen Entscheidungen führen: natürlicher Tod; Unfalltod (wo weder der Verstorbene noch Dritte den Tod verursacht haben) oder widerrechtliche Tötung. Im folgenden Fehlerbaum beziehen sich die rot dargestellten „Ursachen“ auf den Rückfahralarm, wobei die Gefahr in jedem Fall größer ist, wenn es sich um einen Intervalltonalarm handelt. Eine vollständige „Fehlerbaumanalyse“ finden Sie in Anhang A.

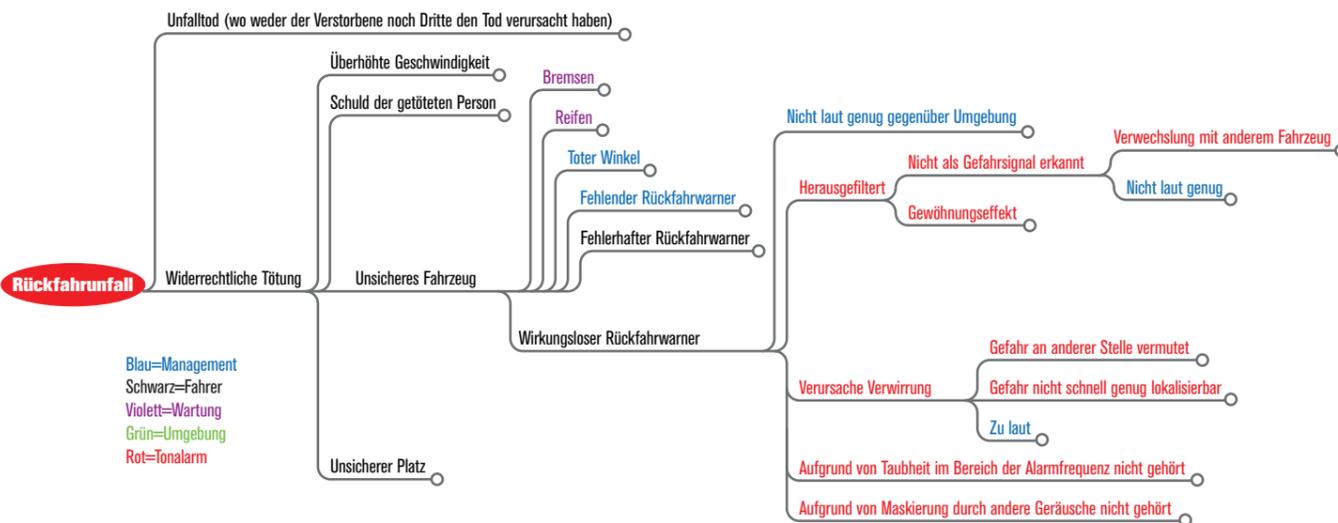


Abbildung 2

Sicherheit – Zentrale Faktoren

Rückfahrwarnen werden zur Verbesserung der Sicherheit eingebaut. Sie sollen alle Personen, die sich im Gefahrenbereich aufhalten, darauf aufmerksam machen, dass das Fahrzeug zurücksetzt. Auf diese Weise kann die Gefahr erkannt werden, um ihr aus dem Weg zu gehen. Das Warnsignal muss in der gesamten Gefahrenzone hörbar sein. Die Gefahrenzone ist der Bereich, in dem sich eine Person entweder bereits auf dem Fahrweg eines zurücksetzenden Fahrzeugs befindet, oder in diesen hineinlaufen könnte. Außerhalb dieses Bereichs ist der Warnton nicht notwendig und daher unerwünscht.

Der Rückfahralarm sollte so gewählt werden, dass er maximale Sicherheit im Gefahrenbereich bietet. Zu diesem Zweck müssen zwei Kriterien erfüllt werden:

1. Erkennung.

a. Hörbarkeit. Der Alarm muss ausreichend hörbar sein, um eine Person warnen zu können, die sich auf eine Arbeit konzentriert. ISO-7731 definiert die Hörbarkeitsanforderungen³ für Gefahrensignale. ISO-7731 gilt für akustische Tonsignale und empfiehlt die Verwendung mehr als eines Tons, um eine effektive Warnwirkung zu erreichen⁴.

b. Warnt der Ton vor einer Gefahr? Die Hauptanforderung für einen Rückfahralarm ist ein eindeutiges Tonmuster⁵. Nach SAE J994 muss dieses Muster von 0,8KHz auf 1,8KHz wechseln, wobei die Länge der Ein- und Auszeiten innerhalb von 20% konstant sein muss⁶.

c. Ist die Gefahr bedeutsam? Falls viele Fehlalarme auftreten, geht die Gefahrenassoziation verloren. Eine niedrige Fehlerrate verbessert die Sicherheit und die Akzeptanz durch Arbeiter/Öffentlichkeit. „Fehlalarme wirken sich negativ auf die Sicherheit aus“⁷ Fehlalarme werden mit einem anderen zurücksetzenden Fahrzeug assoziiert.

2. Reaktion. Der Alarm sollte eine sofortige Reaktion von Personen im Gefahrenbereich auslösen. Eine schnellere Reaktion ergibt sich, wenn die Richtung der Schallquelle (und damit die Identifikation des zurücksetzenden Fahrzeugs) sofort ausgemacht werden kann.

Querverweise:

Faktoren	Relevanter Abschnitt	Seite	
Erkennung	Allgemeines	6	
	Erkennung - Allgemeines	6	
	Bessere Wahrnehmung für Schwerhörige	12	
Hörbarkeit	Hörbarkeit	6	
	Hörbarkeit beim Tragen von Gehörschutz	12	
	Vermindertes Risiko der Maskierung eines Alarmsignals	12	
Ist der Warnton ein effektives Signal?	Alle		
	Ist die Gefahr relevant?	Auf den Gefahrenbereich beschränkter Schall	7
		Schnelle Schalldämpfung	12
Reaktion		Resonanz	10
		Fehlalarm	10
		Ortbarer Schall	6
	Tonalalarme stiften Verwirrung	11	

³ ISO 7731, 4.2.2 Audibility

⁴ ISO 7731, 6.3 Special Characteristics

⁵ ISO 11429, 4.2

⁶ SAE J994, Section 6.2; "Cyclic Pulsation Rate and Duty Cycle"

⁷ www.grc.nasa.gov/WWW/RT/2005/RI/RIS-hunter.html

Fortsetzung....

Andere Faktoren:

Sicherheit – andere Faktoren	Schluss mit dem absichtlichen Abklemmen	12
	Vermindertes Risiko der Maskierung eines Alarmsignals	12
Umgebung	Schnelle Schalldämpfung	12
	Weniger störend	12
	Tonale Aspekte	14
	Resonanz	10
Gesundheit	Einführung	3
	Vermindertes Risiko von Gehörschäden	13
	Reduzierte Gefahr für das Herz aufgrund des Überraschungseffekts	13

Allgemeines

Das Warnsignal sollte so gestaltet sein, dass Personen im Hörbereich auf das Signal wie beabsichtigt reagieren.

Hörgeschädigte Personen und Träger von Sicherheitshelmen, Gehörschutz usw. erfordern spezielle Vorsichtsmaßnahmen. Die Signaleigenschaften müssen der jeweiligen Situation angepasst sein⁸.

Hörbarkeit

Ein akustisches Warnsignal „muss deutlich hörbar sein. Die effektive Hörgrenze muss auch bei Signalmaskierung eindeutig überschritten werden. Gegebenenfalls muss die Möglichkeit des Hörverlusts untersucht und berücksichtigt werden.“ Beim Einsatz von Gehörschutz muss die jeweilige Schalldämpfung bekannt sein und bei der Untersuchung berücksichtigt werden.⁹ Schalldruckpegel (Dezibel) und Lautstärke (Phon) sind nicht identisch. (Siehe Glossar.)

Erkennung - Allgemeines

Die wichtigste Anforderung an ein Warnsignal besteht darin, dass es unter den jeweils vorzutreffenden Bedingungen klar und eindeutig wahrgenommen wird¹⁰.

Ortbarer Schall

Das amerikanische Blindeninstitut berichtete auf der 2002 in Houston, Texas stattfindenden Jahreskonferenz, dass herkömmliche Alarmsignale blinde Menschen eher verwirren, als ihnen zu helfen und forderte die Verwendung ortbarer Töne.

Die sofortige Lokalisierung einer Schallquelle gehört zu den Überlebensmechanismen in der Natur. Ein Tier unter akuter Angriffsgefahr lokalisiert sofort das Geräusch des herannahenden Angreifers durch natürlich entstehende Breitbandgeräusche, wie das Brechen eines Zweiges oder das Rascheln der Blätter, um so genau die Angriffsrichtung zu bestimmen und in die entgegengesetzte Richtung fliehen zu können.

Bei der Ortung einer Schallquelle werden drei Bestandteile des Frequenzspektrums gleichzeitig als einziger Laut wahrgenommen:

1. Niedrige Frequenzen. Bei niedrigen Frequenzen (ca. 1,5 kHz und darunter) kann das Gehirn den Zeitunterschied zwischen dem Eintreffen des Schalls an beiden Ohren erkennen. Dies wird als interaurale Laufzeitdifferenz (ITD) bezeichnet¹¹. Dadurch ergibt sich ein sog. „Kegel der Verwirrung“ – siehe Abbildung 3 unten. (Auf der Kegeloberfläche befindliche Schallquellen weisen die gleiche Zeitdifferenz zwischen beiden Ohren auf.)

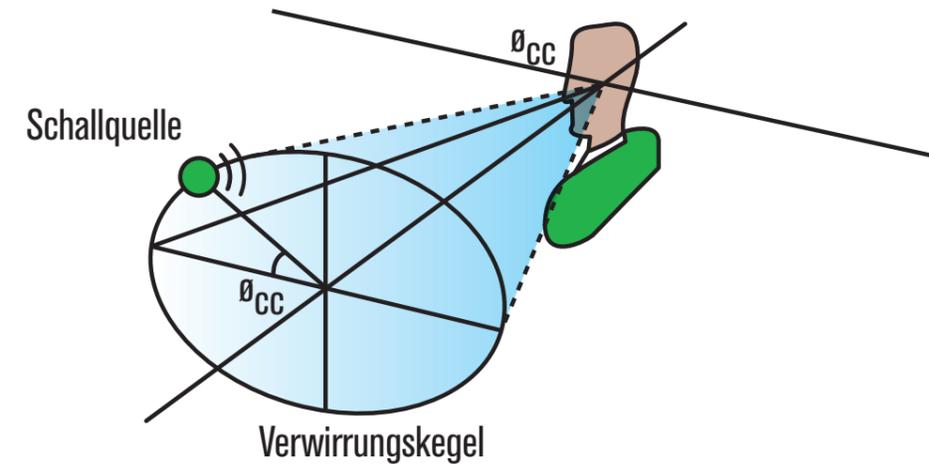


Abbildung 3

2. Mittlere Frequenzen. Bei mittleren Frequenzen (3 kHz bis 5 kHz¹²) nimmt das Gehirn den Intensitätsunterschied des Signals an beiden Ohren wahr, d. h. das Gehirn stellt fest, dass sich das Ohr mit der größeren Schallintensität näher an der Schallquelle befindet. In diesem Frequenzbereich kann festgestellt werden, ob das Signal von links oder rechts kommt. Dies wird als interaurale Pegeldifferenz (ILD) bzw. als interaurale Intensitätsdifferenz (IID)¹³ bezeichnet.

3. Höhere Frequenzen. Aufgrund der Form der Ohrmuschel und des Körpers werden höhere Frequenzen (5 kHz und darüber) verändert, bevor sie in den Gehörgang gelangen. Dies ist individuell unterschiedlich und bezieht sich auf den hochfrequenten Teil der kopfbezogenen Übertragungsfunktion (HRTF). Dieses Phänomen erhält Bedeutung, wenn die Wellenlänge des Schalls den Abmessungen der Ohrmuschel entspricht oder diese unterschreitet. Es handelt sich hierbei um eine angeeignete Fähigkeit, die bei der Lokalisierung einer Schallquelle von vorne oder hinten hilft.

Mithilfe dieser verschiedenen Frequenzbereiche kann das Gehirn die Richtung der Schallquelle bestimmen. Je mehr Frequenzen vorhanden sind, desto besser – bei breitbandigen Signalen beträgt die Genauigkeit der sofortigen Ortung etwa 5 Grad.

Tonsignale schaffen oft Verwirrung an der Arbeitsstelle. Die Ortung der Tonschallquelle geschieht nicht zuverlässig und nimmt wertvolle Zeit in Anspruch. (Siehe Abschnitt – Tonalarme stiften Verwirrung auf Seite 7.)

Auf den Gefahrenbereich beschränkter Schall

Breitbandiger Schall beschränkt sich auf den Gefahrenbereich. Daraus ergeben sich zwei wesentlich Vorteile:

1. Die Eliminierung von Lärmbelästigung und Beschwerden von Personen außerhalb des Gefahrenbereichs, die von den Warnsignalen nicht betroffen sind.
2. Tonsignale, die auch weit außerhalb des Gefahrenbereichs hörbar sind, werden „bedeutungslos“,¹⁴ sodass sie selbst innerhalb einer Gefahrenzone ignoriert werden. Dagegen ist ein breitbandiger Alarm nur innerhalb des Gefahrenbereichs hörbar und wird daher als wirkliche Warnung akzeptiert.

⁸ ISO 7731, 4.1

⁹ ISO 7731, 4.2.2.1

¹⁰ ISO 11429, 4.2

¹¹ Human Localisation, Binaural cues <http://www.isvr.soton.ac.uk/FDAG/VAP/html/localisation.html>

¹² Verschiedene Quellen geben Frequenzen zwischen 1,5 kHz und 3 kHz an.

¹³ http://en.wikipedia.org/wiki/Sound_localization

¹⁴ Toyota Industrial Equipment booklet; 00698-20036-04 06TMH35158; mit Bezug auf Tonalarme – „Fußgänger gewöhnen sich an den Alarm und ignorieren ihn als bedeutungsloses Warnsignal.“

Wie wird dies erreicht?

1. Niedrigerer Schalldruckpegel

Abbildung 4 zeigt einen Tonalarm und einen Breitbandalarm jeweils mit 100 dBA. Beim Tonalarm ist die gesamte akustische Energie auf ein schmales Frequenzspektrum konzentriert. Der Breitbandalarm strahlt seine Energie dagegen über einen größeren Frequenzbereich aus (in der Regel mit einem Schallpegel, der etwa 10 dB unter dem eines Tonalarms liegt), obwohl die gesamte Schallenergie bei beiden Quellen etwa gleich ist

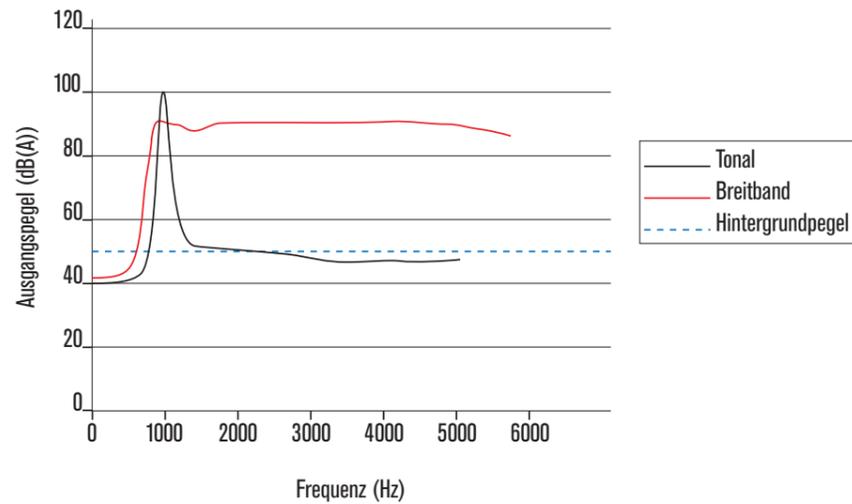


Abbildung 4

2. Dämpfung im Winkel zur Achse. Während ein Tonalarm größtenteils kugelförmig abstrahlt, ist der Breitbandalarm auf den Gefahrenbereich gebündelt. Das Diagramm in Abbildung 5 unten (aufgezeichnet durch Hanson Aggregates¹⁵) ist typisch für mehrere Studien, bei denen die Dämpfung des Breitband-Schallpegels im Winkel zur Achse untersucht wurde. Obwohl im Gefahrenbereich keine wesentliche Schalldämpfung stattfindet, gibt es eine erhebliche Reduzierung außerhalb der Gefahrenzone (in der Regel etwa 10 dBA im 90 Grad Winkel an der Fahrzeugseite). Die immanente Richtwirkung eines Alarms bei nicht vorhandenen reflektierenden Oberflächen unterscheidet sich von der Bündelung eines am Fahrzeug montierten Alarms. So zeigt ein 102 dBA Breitbandalarm in offener Umgebung eine Reduzierung von lediglich 8 dBA bei einem Winkel von 90 Grad, während sich am Fahrzeug eine Verminderung von 13 dBA oder mehr ergeben kann.

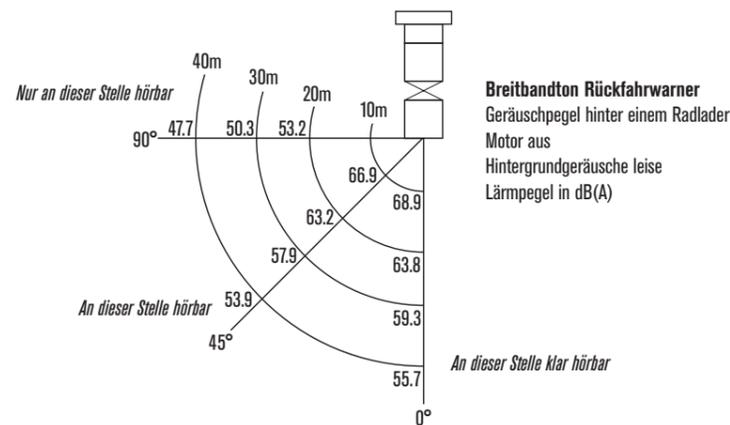


Abbildung 5

3. Niedrigerer dBA Wert. Wissenschaftliche Analysen haben ergeben, dass ein breitbandiger Rückfahralarm bei einem um 5dBA niedrigeren Schalldruckpegel genauso effektiv ist wie ein herkömmlicher Tonalarm.^{16 17} [Betrachten wir einmal die Messung der Lautstärke nach Abbildung 6. Aus ISO-226:2003. Die Kontur fällt in einen hörempfindlicheren Bereich. Die Absenkung um 3000 Hz ist auf Resonanzen im Gehörgang zurückzuführen, die den Schalleinfall in das Ohr verstärken. Abbildung 6. zeigt typische Breitband- (rotes Kästchen) und Tonal- (blaue Linie) Alarmschallpegel. Im Bereich von ca. 1 kHz bis 4 kHz arbeiten Tonalalarms auf einer Frequenz, für die das Ohr am wenigsten empfänglich ist. Dagegen umfasst ein Breitbandalarm auch Hörbereiche mit erhöhter Sensitivität und ist damit subjektiv lauter als ein Tonalarm bei gleichem Schalldruckpegel. Ein Tonalarm erfordert einen etwa 5 dBA höheren Schallpegel um die gleiche Lautstärke wie ein Breitbandalarm zu erzielen. Umgekehrt kann ein Breitbandalarm die gleiche Lautstärke wie ein Tonalarm bieten, wenn der Schallpegel um 5dBA niedriger ist.

¹⁵ Tom Hill, Environmental Manager, Hanson Aggregates, Whatley Quarry; Zeichnung von 15. Juli 2002

¹⁶ Martin Lever, HS&E Manager RMC (Cemex); verifizierte Ergebnisse mit 150 Testpersonen am South East Quarries Liaison Safety Day 2003.

¹⁷ UK Health & Safety Executive report "Improving the safety of workers" Contract Research Report 358/2001.

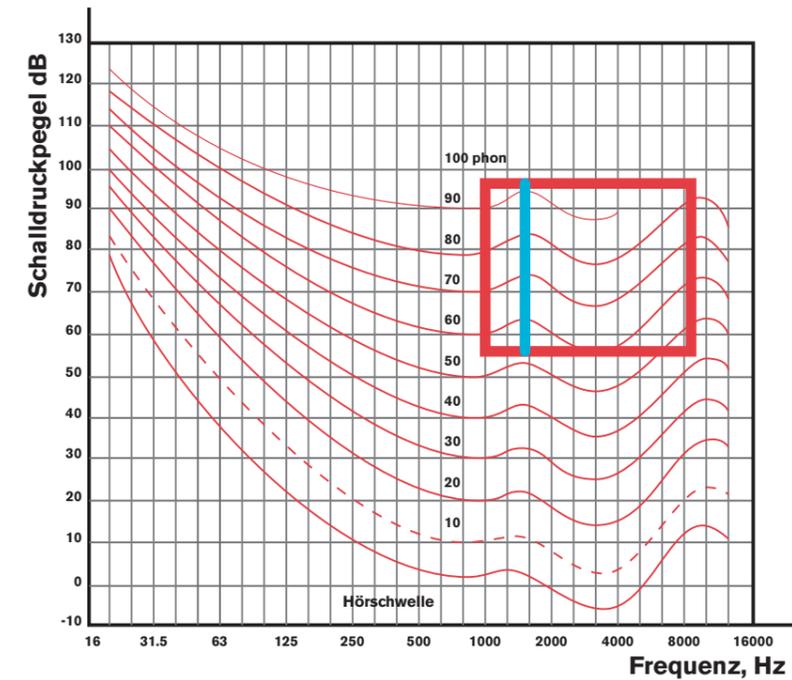


Abbildung 6

Nettoeffekt

Die Kombination dieser drei Faktoren verdeutlicht das volle Lärminderungspotential von Breitbandton. Bei verdoppelter Distanz zur Schallquelle ergibt sich eine Reduzierung des Schalldruckpegels von 6 dB. Die höheren Frequenzen des Breitbandsignals werden mit zunehmender Distanz noch weiter abgeschwächt.

In Abbildung 7 liegen die Komponenten des Breitbandalarms etwa 10 dB dichter an der allgemeinen Geräuschkulisse als der Tonalarm. Mit zunehmendem Abstand zum Warner reduziert sich der Schalldruckpegel, bis das Breitbandsignal schließlich ganz in den Hintergrund tritt, während das Tonsignal in der Regel 10 dB lauter bleibt. Der Schallpegel des Breitbandsignals schwächt stärker ab als der des Tonsignals, da die hohen Frequenzen schneller gedämpft werden

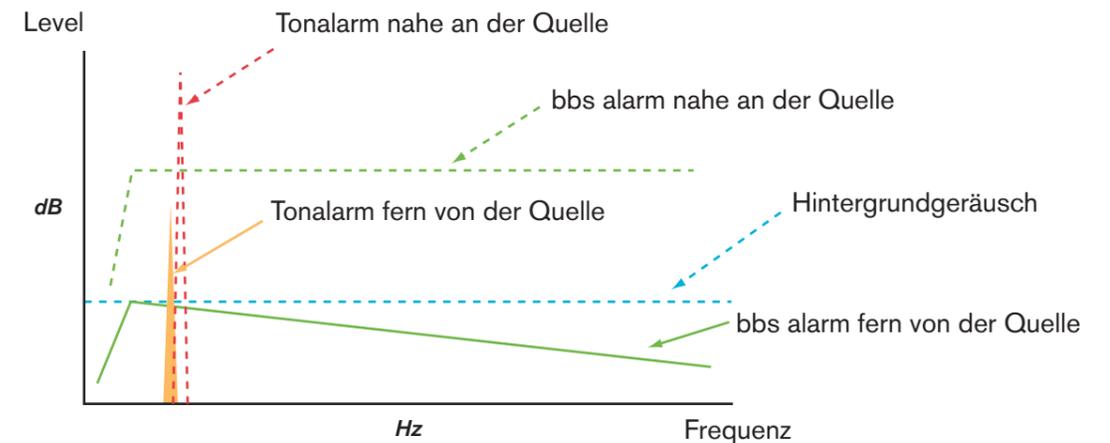


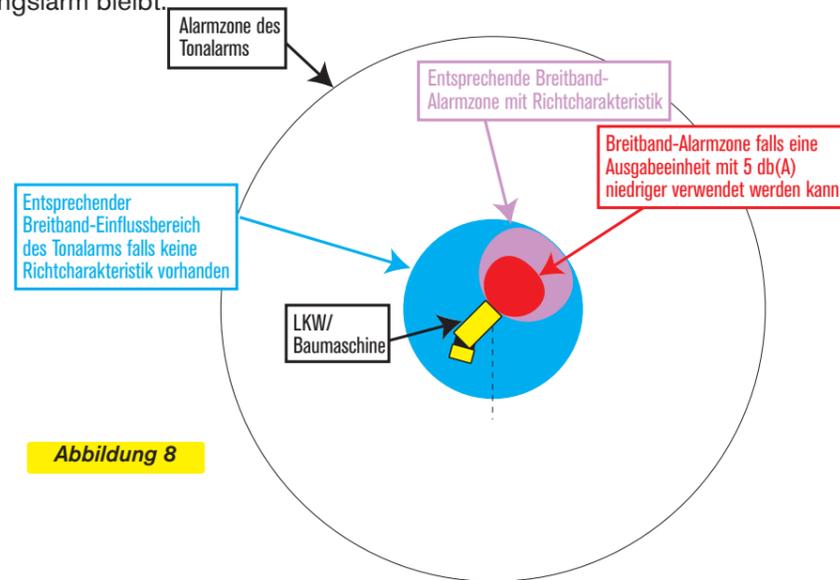
Abbildung 7

Da der Schallpegel des Breitbandalarms bei gleicher Lautstärke zudem etwa 5 dB niedriger liegt, kann der Unterschied 15 dB(A) betragen. Siehe Abbildung 8 unten.

Nettoeffekt – Abbildung

Darstellung der Hörbarkeit von Breitband- und Tonsignalen bei gleichem Schalldruckpegel, d. h. Radius in dem das Breitbandsignal in den Hintergrund tritt (blauer Kreis), während der Tonalarm (Außenkreis) weiterhin über dem Hintergrundpegel liegt.

1. Schwarzer Außenkreis. Alarmradius eines Tonalarms.
2. Blauer Kreis. Alarmradius eines Breitbandalarms mit gleichem Gesamtschallpegel wie ein Tonalarm (ohne Berücksichtigung der Richtwirkung). Wenn wir voraussetzen, dass der Tonalarm 10dB über dem Hintergrundgeräusch liegt, dann umfasst der vom Breitbandsignal beschallte Bereich etwa 10% des Tonalarms.
3. Magentafarbiger Kreis. Dies ist der Alarmradius des Breitbandsignals unter Berücksichtigung der Richtwirkung. Dieser Bereich umfasst weniger als die Hälfte des blauen Kreises
4. Roter Bereich. Alarmbereich des Breitbandalarms bei 5dB(A) niedrigerem Schallpegel als der Tonalarm. Dieser Bereich ist kleiner als der magentafarbige Kreis, da der Schallpegel mit zunehmendem Abstand von der Breitbandquelle auf Umgebungsniveau fällt, während der Tonalarm etwa 15dB über dem Umgebungslärm bleibt.



Tonalarme stiften Verwirrung

Während Breitband-Schallquellen lokalisierbar sind, ergibt sich bei Tonsignalen oft Verwirrung bei der Ortung.

Dieses Problem ist auf das akustische Phänomen stehender Wellen zurückzuführen. Ein typischer Intervallalarm besitzt eine Frequenz von ca. 1,25 kHz mit einer Wellenlänge von etwa 28 cm. Beim Abstrahlen eines Tons oszilliert der Lautsprecher mit einer konstanten Rate (Frequenz) und erzeugt so den Schall. Dabei wird die Luft vor dem Lautsprecher abwechselnd komprimiert und expandiert – diese Druckwellen erreichen das Trommelfell und wir hören einen Klang. Wenn ein Intervallalarm "piept" werden diese Komprimierungen und Expansionen vom Ohr entweder direkt oder über Reflexionen wahrgenommen. Beträgt die Distanz zwischen Schallwegen ein Mehrfaches der Alarmwellenlänge, so addieren sich die Kompressionen und können durch diese Intensivierung bis zu 3 dBA an Schalldruck gewinnen (siehe Abbildung 9 unten). Analog hierzu löschen sich die Komprimierungen und Expansionen gegenseitig aus, wenn die Schallwegdifferenz die Hälfte der Wellenlänge beträgt – bei einer starken Reflexion ist in diesem Fall gar kein Schall zu hören! "Reflexionen dieser Schallwellen am Boden oder Diffractionen an den Seitenflächen eines Fahrzeugs haben den Effekt, dass sie den Schall schwächen oder sogar löschen, bevor er den Hörer erreichen kann. In einem Bereich von nur wenigen Zentimetern fanden Laroche und Lefebvre Schallpegelschwankungen (auf Bauplätzen) von mehr als 15 dB²² hinter den Fahrzeugen."²³

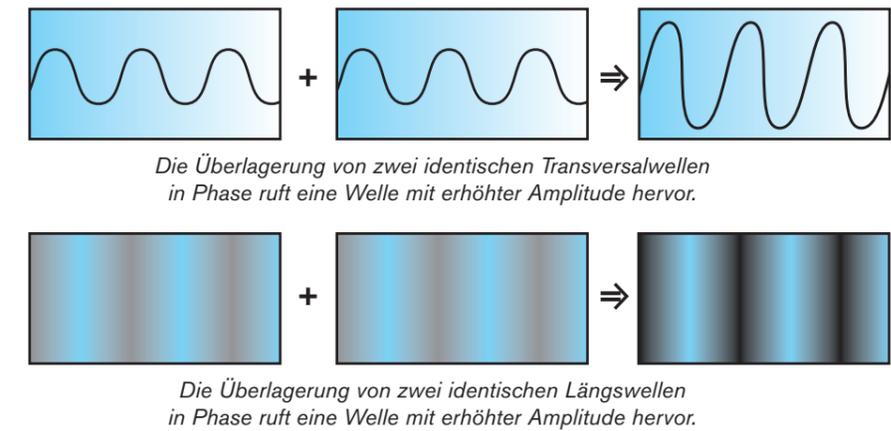


Abbildung 9

Fehlalarm

Ein Fehlalarm ist ein außerhalb der Gefahrenzone gehörter Alarm. "Fehlalarme sind nutzlos und erhöhen lediglich den allgemeinen Geräuschpegel. Im Laufe der Zeit werden sie immer weniger effektiv, da die Menschen unterbewusst ihre Reaktion auf die Häufigkeit von Fehlalarmen anpassen."¹⁸ So erzeugt ein zu 90% echter Alarm eine fast 100%ige Reaktion, während ein nur 10% echter Alarm auch nur in 10% der Fälle eine Reaktion hervorruft. Fehlalarme kommen teuer zu stehen – sowohl in Hinsicht auf die Belästigung, als auch leistungsmäßig¹⁹. Fehlalarmhäufigkeiten für Tonalarme sind generell zu hoch.

Resonanz

Ein Tonalarm kann eine Resonanzwirkung bei Karosserieteilen hervorrufen. Dadurch erhöhen sich Lärmpegel, Verwirrung hinsichtlich der Schallquelle und Lärmbelästigung bei gleichzeitiger Reduzierung der Alarmwirkung.

Die Lärmzunahme kann überraschend hoch sein: 5 dBA²⁰ bei einem Müllwagen und über 20 dBA²¹ bei einem Gabelstapler der in Nähe von Metallblechen arbeitet .

Während der schmale Frequenzbereich eines Tonalarms keine Wahrnehmung der subtilen Intensitätsschwankungen zwecks Ortung der Schallquelle erlaubt²⁴, entstehen oft viel stärkere Intensitätsunterschiede aufgrund von Reflexionen. Der Hörer nimmt an, dass der höhere Schallpegel in einem Ohr auf die größere Nähe zur Schallquelle zurückzuführen ist, obwohl dies durchaus auf Druckunterschiede stehender Wellen zurückzuführen sein kann.

Zudem variiert der Schallpegel innerhalb weniger Zentimeter noch mehr, wenn sich der Hörer der vermeintlichen Schallquelle zuwendet – und trägt so zu einer weiteren Verwirrung bei. Dies ist bei einem Breitbandalarm nicht möglich, da die Wellenlänge aufgrund des breiten Frequenzspektrums zwischen weniger als 5 und mehr als 43 cm variiert. Eine Frequenzanalyse zeigt zwar Intensitätsschwankungen aufgrund stehender Wellen auf, jedoch bleibt der Gesamtschallpegel konstant.

²² Laroche, C., and L. Lefebvre: Determination of optimal acoustic features for reverse alarms: Field measurements and the design of a sound propagation model. Ergonomics 41:1203–1221 (1998).

²³ Alice H Suter: Construction Noise: Exposure, Effects, and the Potential for Remediation; A Review and Analysis - AIHA Journal (63) November/December 2002. Diese Arbeit von Suter ist abrufbar unter <http://www.cdc.gov/elcosh/docs/d0100/d000054/d000054.html>

²⁴ Siehe Abschnitt "Ortbarer Schall, 2. Mittlere Frequenzen.

Hörbarkeit beim Tragen von Gehörschutz

Niedrige Frequenzen durchdringen feste Körper leichter. Wenn laute Musik in einem Gebäude oder Fahrzeug bei geschlossenen Türen und Fenstern gespielt wird, ist ein dumpfes „Bum-Bum“ am ehesten zu hören. Niedrige Frequenzen können sich im Körper fortsetzen und werden dann trotz Gehörschutz wahrgenommen. Nebelhörner verwenden niedrige Frequenzen, da diesen eine große Reichweite haben, um Ecken gebeugt werden und feste Gegenstände wie Fenster, Wände usw. durchdringen können.

Mit einem Gehörschutz werden bestimmte Frequenzen besser abgeschwächt als andere. Ein Breitbandalarm mit seinem breiten Frequenzspektrum ist durch einen Gehörschutz generell besser zu hören, als ein Tonsignal.

Vermindertes Risiko der Maskierung eines Alarmsignals

Tonwarner werden leicht von Hintergrundgeräuschen mit ähnlicher Frequenz überdeckt. Ein breitbandiges Frequenzspektrum verhindert diese Gefahr.

Schnelle Schalldämpfung

Durch das breite Frequenzspektrum des Breitbandsignals ist ein geringerer Schalldruckpegel erforderlich, um die gleiche Lautstärke zu erreichen. Obwohl die niedrigen Frequenzen weiter reichen, sind sie weniger schädlich. Die schlechter verträglichen hohen Frequenzen werden von Luft und Boden stärker absorbiert, sodass sich der Gesamtschallpegel bei zunehmendem Abstand von der Schallquelle stärker reduziert.

Weniger störend

Tonsignale werden als aufdringlich und störend wahrgenommen. Breitbandsignale sind „umweltfreundlicher“. (Siehe Technische Informationen; Psychoakustik und Tonale Aspekte weiter unten).

Schluss mit dem absichtlichen Abklemmen

Durch die Sabotage von Tonalarmen ergeben sich erhöhte Gefahren und Reparaturkosten. Breitbandalarne werden kaum, wenn überhaupt, sabotiert.

Bessere Wahrnehmung für Schwerhörige

Die Ohrschnecke (Innenohr) besitzt eine Reihe von Reizempfängern, die lochstreifenähnlich aufgereiht sind. Jeder Reizempfänger ist für ein enges Frequenzspektrum zuständig. Ein Hörschaden beschränkt sich auf die jeweils geschädigten Reizempfänger. Abbildung 10 zeigt einen Fall, bei dem die geschädigten Reizempfänger den Frequenzen des Tonalarms entsprechen. Aus diesem Grund wird der Tonalarm nicht wahrgenommen. Indessen sind alle anderen Frequenzen eines Breitbandsignals zu hören.

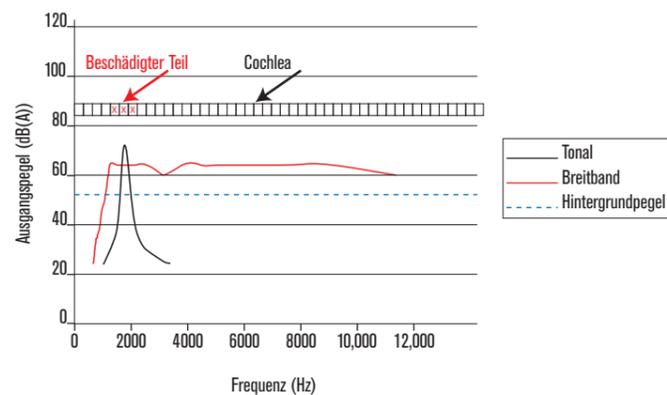


Abbildung 10

Vermindertes Risiko von Gehörschäden

Durch einen höheren Anteil niedriger Frequenzen bei ähnlichem Schallpegel reduziert sich die Gefahr von Gehörschäden.

Reduzierte Gefahr für das Herz aufgrund des Überraschungseffekts

ISO-7731 besagt: „Durch einen zu hohen Schallpegel (z. B. mehr als 30 dB in 0,5 Sekunden) können Schreckreaktionen verursacht werden.“ Durch „Erstarren“ findet eine Flucht aus dem Gefahrenbereich nur verzögert oder gar nicht statt.

Die Gefahr eines Schocks/Schreckeffekts ist bei Breitbandalarmen aufgrund des niedrigeren Schallpegel und des multifrequenten Frequenzspektrums unwahrscheinlich.

Technische Informationen

Schalldruckmessungen und Spektrumanalyse

Bei einer Messung des Schalldrucks mit einem SPL-Meter (nach ANSI S1.4 oder IEC 60651) – Spezifikation für Schallpegelmesser) wird der Schalldruck in den einzelnen Frequenzbereichen ‘gemittelt’ und als Einzelmesswert dargestellt – je nach eingestellter Gewichtung.

In der Industrie erfolgt die SPL-Messung normgemäß mit der Gewichtung ‘A’ (dBA), die dem Frequenzgang des menschlichen Ohrs entspricht.

Die Kurve in Abbildung 11 unten zeigt den zu erwartenden Schalldruckpegel eines Tonalarms (mit einer Mittelfrequenz von 1250Hz) und eines Breitbandalarms. Definitionsgemäß ist der Frequenzgehalt bei einem Breitbandsignal erheblich größer im Vergleich zum Tonsignal, besitzt jedoch einen niedrigeren Schallpegel. Diese Schallpegel lassen sich mit einem Geräuschemessgerät (einschl. Filter) nach ANSI S1.4 & S1.11 (oder IEC 60651 & 61260) messen, das auf Terzbereichmessung eingestellt ist.

Obwohl das Breitbandspektrum einen niedrigeren Schallpegel in jedem Terzband aufzeigt, entspricht er in der Gesamtsumme dennoch dem Tonalarm – 100 dBA auf 1 m

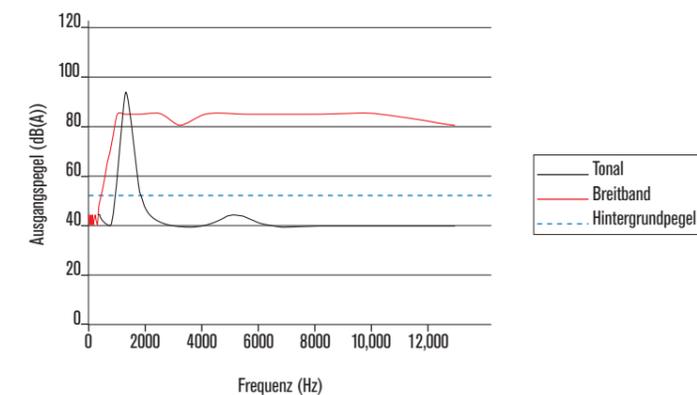


Abbildung 11

Schall und Entfernung

Im freien Feld (offener dreidimensionaler, kugelförmiger Raum) nimmt der Schalldruck von einer Punktquelle ausgehend umgekehrt proportional quadratisch zur Entfernung ab. Die Abnahme in dB verglichen mit 1 m Abstand von der Schallquelle wird berechnet als:-

$$SPL = 20 \log \left[\frac{1}{r} \right]$$

wobei 'r' die Distanz des Hörers von der Schallquelle bezeichnet. Daraus ergibt sich die bekannte Abnahme von 6 dB bei Verdoppelung des Abstands. Allerdings sind die meisten Schallquellen keine idealen Punktquellen und strahlen daher nicht gleichförmig in alle Richtungen ab.

Die Stärke der Schalldämpfung hängt von zahlreichen anderen Faktoren ab, einschließlich Frequenzspektrum. In Luft wird Schall mit höheren Frequenzen stärker gedämpft (d. h. schneller pro Abstandsverdoppelung). Atmosphärische Bedingungen (Feuchte, Temperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit etc.) wirken sich ebenfalls auf die Schallgeschwindigkeit aus. Die Schalldämpfung durch Objekte zwischen Schallquelle und Hörer (Gebäude, Zäune, Bäume etc.) ist ebenfalls frequenzabhängig.

Psychoakustik

Die Wahrnehmung von Schall ist äußerst subjektiv. Was für den einen Musik ist, ist Krach für den anderen. Die Hörempfindlichkeit ist im Bereich 1 bis 4 kHz größer, sodass Schall in diesem Bereich lauter wahrgenommen wird (dies ist auch die Grundlage für den 'A' Bewertungsfilter). Tonalarmersignale werden immer als störend wahrgenommen, auch bei hohem Umgebungslärm.

Tonale Aspekte

Der 'tonale' Aspekt ist immerhin ausreichend wichtig, dass die amerikanische Flugverkehrsbehörde (Federal Aviation Administration) „Töne“ im Zusammenhang mit Flugzeuglärm speziell bewertet. (Title 15 - Aeronautics and Space, Chapter 1, part 36.803 - Noise evaluation and calculation). Die FAA gewichtet tonale Geräusche mit fast 7 dBA. Mit anderen Worten: Flugzeuglärm, der Töne enthält, wird als genauso störend bewertet wie ein 7dBA lauterer Geräusch ohne Töne.

Weitere Informationen erhalten Sie von:

Ing. Michael Wutzlhofer / Technischer Vertrieb
E-Mail: michael.wutzlhofer@braun-braun.at

Sabine Grilnberger / Marketing & Sachbearbeitung
E-Mail: sabine.grilnberger@braun-braun.at

Braun & Braun
Heiligenstädter Straße 173
A-1190 Wien
Tel.: 01 / 370 45 37-73, Mobil: 0664 / 84 66 181

Braun & Braun
Heiligenstädter Straße 173
A-1190 Wien
Tel.: 01 / 370 45 37-77, Fax: 01 / 370 55 78

www.braun-braun.at www.rückfahrwarner.at

Anhang A - Fehlerbaumanalyse

