

White Paper Schalldruckpegel

#togetherforsafety



Kockum Sonics – Wir sind Experten im Bereich grossflächiger Alarmierungs- und Warnsysteme seit 1961.

White Paper Schalldruckpegel

1. Einleitung

Sirenen sind ein unverzichtbares Instrument im Bevölkerungs- und Zivilschutz, um die Öffentlichkeit vor Gefahren, Katastrophen und Notfällen zu warnen. Bei der Planung von Sirenen müssen wichtige Fragen bezüglich der Leistungsanforderungen und der Umweltfaktoren geklärt werden. Hier kommt häufig der Begriff Schalldruckpegel ins Spiel, ein komplexes Thema, das oft mit falschen Annahmen behaftet ist. In diesem Artikel erfahren Sie das Wichtigste zum Thema Schalldruckpegel, die menschliche Wahrnehmung von Schall und was bei der Planung von Sirenenanlagen zu beachten ist.

2. Schall erklärt

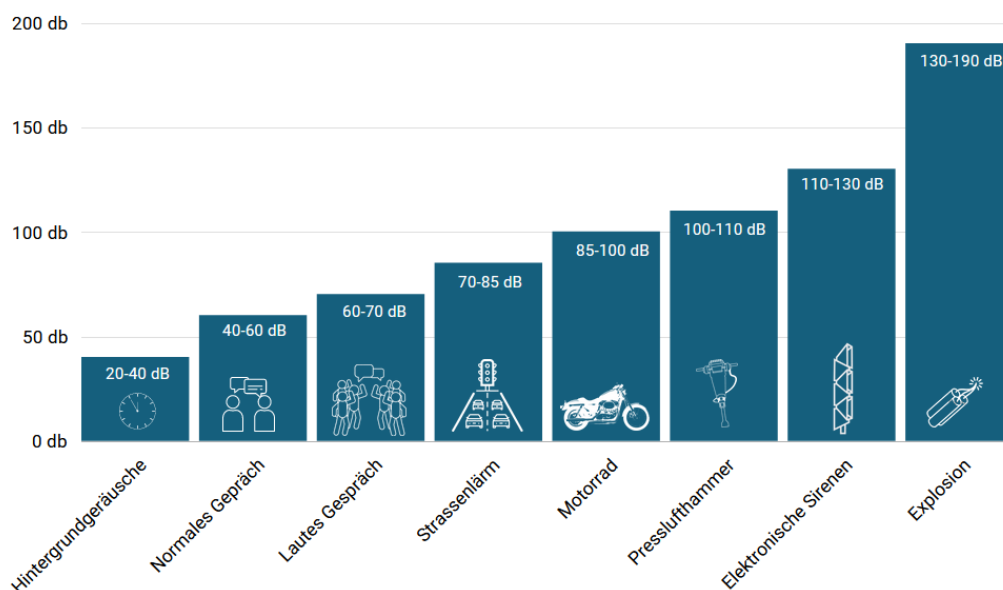
Schall breitet sich in Form von Schwingungen aus, die als Schallwellen bezeichnet werden (Ronner, n.d.). Die Schallwellen stimulieren das Trommelfell und werden vom Gehirn als Klang wahrgenommen. **Schallwellen** können sich **in Amplitude und Frequenz unterscheiden**.

2.1 Amplitude - Schalldruckpegel (dB)

Die Amplitude beschreibt die Ausbreitung der Schwingungen einer Schallwelle und bestimmt damit die Lautstärke eines Geräusches. Die Lautstärke eines Geräusches wird üblicherweise mit **Schalldruckpegel, Maßeinheit Dezibel (dB)**, angegeben. Zur Berechnung des Schalldruckpegels wird der tatsächlich gemessene Schalldruck in ein logarithmisches Verhältnis zu einem in der Akustik gebräuchlichen Bezugswert gesetzt. Vereinfacht gesagt, wird die Intensität des Schalldrucks in eine für den Alltag praktikable Dimension umgewandelt.

Ein niedriger Schalldruckpegel entspricht einer leisen, ein hoher Pegel einer lauten Geräuschumgebung (Dr. Antwerpes et al., 2019). Die Hörschwelle des menschlichen Gehörs, also dem leisesten Geräusch, das die meisten Menschen gerade noch hören können, liegt bei 0 dB. Die Schmerzschwelle des menschlichen Gehörs liegt je nach Frequenz hingegen zwischen 120 und 140 dB, das ist der Schalldruckpegel, ab dem der Schalldruck in den Ohren Schmerzen und Hörschäden verursacht. Nachfolgend einige Beispiele für Geräusche mit Angabe der Lautstärke in Schalldruckpegel (dB).

Geräusche und ihr Schalldruckpegel in dB



2.2 Frequenz (Hz)

Bei der Wahrnehmung von Lautstärke spielt jedoch nicht nur die Amplitude, sondern auch die Frequenz eines Geräusches, eine Rolle. Denn, das **menschliche Gehör ist nicht, für alle Tonhöhen gleich empfindlich** (International Organization for Standardization, 2023). Die **Tiefe oder Höhe** eines Tones wird von der **Frequenz (Hz)** eines Geräusches bestimmt, das ist die **Anzahl der Schwingungen einer Schallwelle pro Sekunde**.

Das Brummen eines Basses hat eine Frequenz von ca. 100 Hz, also ca. 100 Schwingungen pro Sekunde (Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, n.d.). Um sehr tiefe oder sehr hohe Töne gut wahrnehmen zu können, müssen diese Töne einen deutlich höheren Schalldruck aufweisen, d.h. die Schallwellen müssen eine grössere Amplitude haben. Das menschliche Gehör ist besonders empfindlich für Geräusche im Bereich von 3'000 - 4'000 Hz. In der Illustration unten sind Beispiele von Geräuschen und ihrer Frequenz in Hz aufgelistet.

Die Wahrnehmung von Schall und das **subjektive Lautstärkeempfinden** sind **komplexe** Phänomene, die von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden. So sind neben der Frequenzcharakteristik auch die Umgebungsbedingungen und die Art der Schallquelle entscheidend dafür, wie wir die Lautstärke eines Tones oder einer Schallquelle empfinden.

3. Umgebungsbedingungen und ihr Einfluss auf den Schalldruck

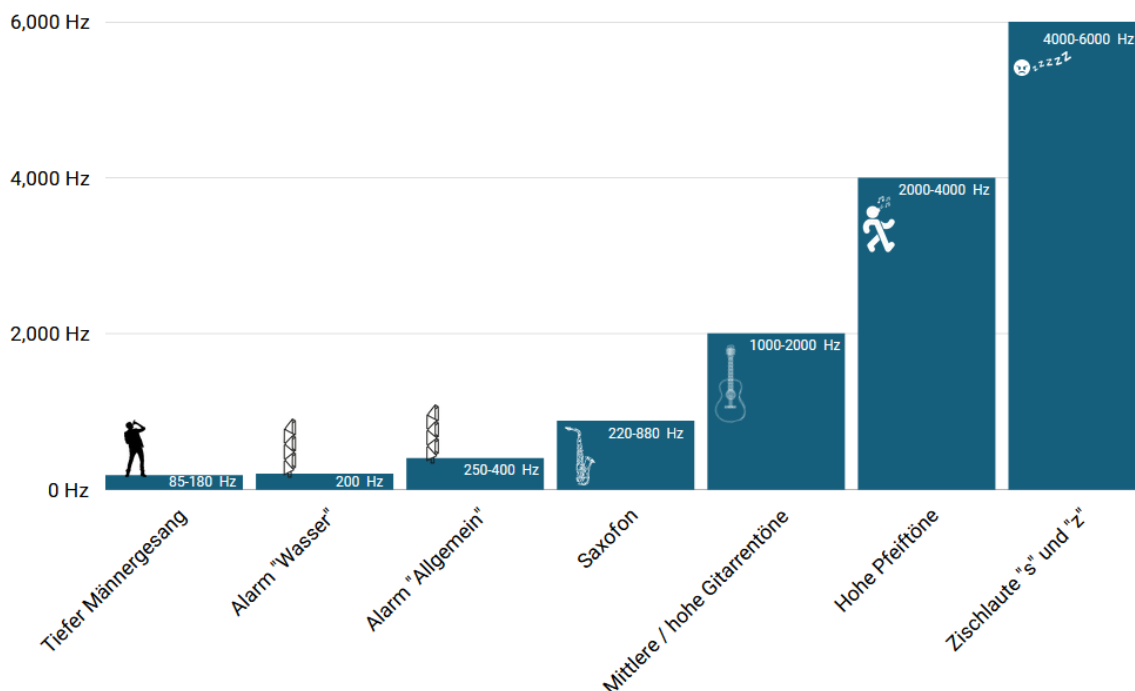
Die Beschaffenheit der Umgebung, insbesondere das Vorhandensein von Hindernissen, hat einen grossen Einfluss auf die Schallausbreitung. In einem geschlossenen Raum kann der Schall reflektiert und verstärkt werden, während er im Freien abgestrahlt und gedämpft werden kann. Trifft der Schall auf ein Hindernis wie eine Wand, ein Gebäude oder einen Hügel, kann er absorbiert, reflektiert oder gebeugt werden.

Die **Absorption von Schall** führt dazu, dass ein Teil der Energie des Schalls von einem Hindernis aufgenommen wird. Das führt zu einer **Verringerung der Lautstärke** und der **Reichweite** des Schalls.

Bei der **Reflexion von Schall** treffen Schallwellen auf ein Hindernis mit einer glatten, festen Oberfläche und werden von dieser Oberfläche zurückgeworfen. Dadurch **kehrt der Schall zum Ursprungsort zurück** und es entsteht ein Echo oder Nachhall.

Die **Beugung von Schall** tritt auf, wenn Schallwellen in Ausbreitungsrichtung auf eine Kante oder ein Hindernis treffen. Im Gegensatz zur Reflexion, bei der die Schallwellen von der Oberfläche zurückgeworfen werden, breiten sich die **Schallwellen** bei der Beugung des Schalls **um das Hindernis herum** in neue Bereiche aus. So können Schallwellen auch in den Schattenbereich hinter einem Hindernis gelangen.

Geräusche und ihre Frequenz in Hz





3.1 Richtcharakteristik

Die Richtung der Schallausbreitung (Richtcharakteristik) ist ebenfalls entscheidend für die Wahrnehmung der Lautstärke. Einige Lautsprecher oder Sirenen verfügen über eine gerichtete Schallabstrahlung, d.h. der Schall wird gebündelt und auf die gerichtete Fläche übertragen. Im Bevölkerungsschutz ist in der Regel eine flächendeckende Alarmierung erwünscht.

Qualitativ hochwertige Sirenen strahlen omnidirektional.

Dies führt zu einer gleichmässigen Schallverteilung in alle Richtungen. So können alle von einer Notlage betroffenen Personen alarmiert werden.

3.1 Entfernung und Schalldruckpegel

Die Entfernung zum Schallerzeuger hat einen grossen Einfluss auf den Schalldruckpegel einer Schallwelle. **Je grösser der Abstand** zum Schallerzeuger ist, **desto geringer** ist der **Schalldruckpegel** der Schallwelle, d.h. die Lautstärke des Geräusches nimmt ab. Der Grund dafür ist, dass Schall die Moleküle von Stoffen, aber auch von Luft, in Bewegung versetzt. Dabei wird die Energie der Schallwelle abgegeben und nach und nach absorbiert (Tontechnik-Seminar, n.d.).

Das **reziproke Abstandsgesetz** besagt dabei, dass bei einer **Verdoppelung der Entfernung** zu einem Schallgeber der **Schalldruckpegel um ca. 6 dB abnimmt** (Sengpielaudio, n.d.). In der Realität ist jedoch häufig eine stärkere Abnahme des Schalldruckpegels bei Verdoppelung des Abstandes zum Schallgeber zu beobachten. Dies liegt daran, dass die Schallwellen eines Geräusches auf Hindernisse treffen, die den Schalldruck absorbieren oder reflektieren.

Niederfrequente Schallwellen verlieren deutlich weniger an Schalldruck als hochfrequente. So halbiert eine Schallwelle mit einer Tonhöhe von 1'000 Hz ihre Schalldruckintensität und verliert bei Verdoppelung der Entfernung zum Schallgeber 6 dB Schalldruckpegel (Tontechnik-Seminar, n.d.). Dagegen verliert eine Schallwelle mit einer Tonhöhe von 250 Hz bei Verdoppelung des Abstandes zum Schallgeber nur einen Bruchteil ihrer Schalldruckintensität und ihres Schalldruckpegels (-1 dB).

Man kennt das **im Alltag, Töne mit niedriger Frequenz wie Bässe sind von einer viel grösseren Distanz wahrnehmbar** als Töne mit hohen Frequenzen wie Obertöne. Für eine Halbierung der subjektiv empfundenen Lautstärke eines Tones mit einer Standardfrequenz von 1000 Hz muss die Entfernung zum Bezugsort mehr als verdreifacht werden, sofern keine Hindernisse die Schallwelle absorbieren oder reflektieren.

4. Schalldruckpegel und irrtümliche Annahmen

Beim Thema Schalldruckpegel kommt es oft zu fehlerhaften Annahmen, vor allem bezüglich subjektiv empfundener Lautstärke und Leistung (in Watt).

Denn, die **subjektiv empfundene Lautstärke steigt nicht linear, sondern logarithmisch, mit der Leistung** (gemessen in Watt) an. Das bedeutet, dass eine Verdopplung der Leistung (in Watt) des Schallgebers nicht zu einer Verdopplung der wahrgenommenen Lautstärke führt.

Die Verdoppelung der Leistung (in Watt) eines Schallgebers bringt eine Erhöhung des Schalldruckpegels um ca. 3 dB. Das menschliche Gehör empfindet eine Erhöhung um 3 dB jedoch nur als geringfügige Änderung der Lautstärke. Um eine **Verdoppelung der Lautstärke** wahrzunehmen, ist in der Regel eine Erhöhung um etwa 10 dB erforderlich. Anders gesagt, um die wahrgenommene Lautstärke zu verdoppeln, müsste die **Leistung (in Watt) der Schallgeber etwa verzehnfacht werden**. Dies erklärt, warum leistungsstarke Verstärker oft nicht so laut klingen, wie man es vielleicht erwartet.

4.1 Sind pneumatische Sirenen lauer als elektronische Sirenen?

Im Vergleich zwischen pneumatischen und elektronischen Sirenen erscheinen pneumatische Sirenen vielen Menschen lauter. Dies liegt daran, dass bei **pneumatischen Sirenen der Schall mehr Eigenschwingung erhält und somit Obertöne**, auf die das menschliche Gehör empfindlich reagiert, verstärkt abgestrahlt werden. Dennoch bieten elektronische Sirenen, im Frequenzbereich 250 - 400 Hz, in dem die Alarmierung erfolgt, die gleiche Leistung dB(A) wie pneumatische Sirenen. Pneumatische Sirenen erzeugen also keinen höheren Schalldruckpegel, werden aber vom menschlichen Gehör als lauter empfunden.

4.2 Sind Motorsirenen lauer als elektronische Sirenen?

Moderne elektronische Sirenen und alte Motorsirenen wie die E57 weisen aufgrund ihrer unterschiedlichen Bauweise sehr **unterschiedliche Schallcharakteristiken** auf.

Bei der **E57 Sirene** (siehe Bild am Ende der Seite) wird der **Schall**, aufgrund des pilzförmigen Sirenen Schutzdaches, **verstärkt in Richtung Boden abgestrahlt**. Bei modernen elektronischen Sirenen breitet sich der Schall horizontal von der Sirene aus. Dieser Unterschied hat erhebliche Auswirkungen auf die **Reichweite** der Sirene zur Alarmierung. So haben **E57-Sirenen**, mit einem Schalldruckpegel von mindestens 65 dB, je nach Bebauung weit **weniger als 1,000 m Reichweite**. **Elektronische Sirenen** hingegen können, je nach Modell, eine Reichweite von **mehr als 1,200 m** erreichen.

Die unterschiedliche Schallcharakteristik von E57 Motorsirenen und modernen elektronischen Sirenen kann irrtümlicherweise auch zu der falschen Annahme führen, dass E57-Sirenen lauter sind als moderne elektronische Sirenen. Dies liegt daran, dass der Schall der E57 stärker in Richtung Boden gerichtet ist. Dadurch erscheint die E57 im unmittelbaren Bereich (<30 m) etwas lauter, tatsächlich erreichen **moderne elektronische Sirenen** aber **höhere Schalldruckpegel**. Bereits das kleinste Modell der elektronischen Sirenen von Kockum Sonics, die Delta-2, hat einen Schalldruckpegel von 106 dB(A) bei einer Entfernung von 30 m Entfernung. Eine E57 Motorsirene liefert bei dieser Entfernung nur 101 dB(A) Schalldruckpegel.

Elektronische Sirenen haben nur Vorteile; denn, neben der grösserem Reichweite, dem wesentlich **geringeren Wartungsaufwand** und **mehr Steuerungsmöglichkeiten** ist auch die **Gefahr von Gehörschäden** in unmittelbarer Nähe zu einer elektronischen Sirene, aufgrund ihrer horizontalen Richtcharakteristik, im Vergleich zur E57 **deutlich geringer**.



5. Sirenen-Beschaffung was zu beachten ist

Das Thema Schalldruckpegel, in Verbindung mit der menschlichen Wahrnehmung, zeigt, dass die Planung zuverlässiger akustischer Warn- und Alarmierungssysteme keine leichte Aufgabe ist. Neben der technischen Leistungsfähigkeit der Sirenen sind vor allem die Umgebungsbedingungen des zu beschallenden Gebietes und die Beschaffenheit der möglichen Installationsorte zu berücksichtigen.

Die Schallausbreitung in städtischen Gebieten kann komplex sein, da Gebäude und Strassen die Schallwellen beeinflussen und diese absorbieren oder reflektieren können. Eine geeignete Standortwahl, Schalldruckpegelberechnungen und die Berücksichtigung von Gesetzen und Normen sind grundlegende Schritte, um sicherzustellen, dass die Sirenen effektiv funktionieren und die Bevölkerung rechtzeitig vor Gefahren warnen können.

Ein **dichtes Netz** an Sirenen bietet **Vorteile** - das Risiko, die Bevölkerung, aufgrund eines Ausfalles einer einzelnen Sirene, nicht warnen zu können, wird minimiert. Nachfolgend sind alle Aspekte aufgeführt, die die Schallausbreitung beeinflussen können und daher bei der Beschaffung und Planung von Sirenen berücksichtigt werden sollten.

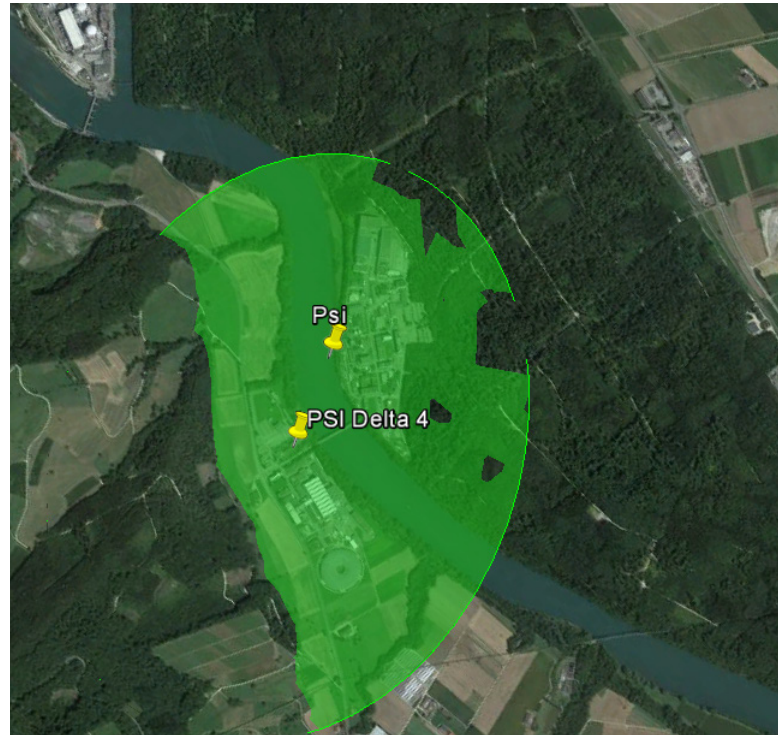
5.1 Standortauswahl

Eine sorgfältige Standortwahl ist der erste Schritt bei der Planung von Sirenenprojekten. Es ist wichtig, strategische Punkte zu identifizieren, an denen die Sirenen eine maximale Reichweite und Wirksamkeit haben. Ein Experte sollte vor Ort die potenziellen Auswirkungen, die topografischen Gegebenheiten und Hindernisse wie Gebäude, Umgebungsgeräusche und die üblichen Wetterbedingungen berücksichtigen:

- **Topografie:** Hügel, Täler und Gebäude können die Schallwellen reflektieren oder abschwächen, was die Reichweite der Warnsignale beeinflusst.
- **Umgebungsgeräusche:** In städtischen Gebieten kann ein hoher Lärmpegel die Wahrnehmung der Sirensignale erschweren.
- **Wetterbedingungen:** Windrichtung und Windgeschwindigkeit können die Schallausbreitung beeinflussen und dazu führen, dass die Warnsignale in bestimmten Richtungen besser oder schlechter gehört werden.

5.2 Schalldruckpegel-Berechnungen

Mithilfe professioneller **Schallausbreitungsmodelle** (Ausleuchtungen) kann der Schalldruckpegel an verschiedenen Standorten vorhergesagt werden. Diese Berechnungen sind unerlässlich, um sicherzustellen, dass die richtigen Sirenen in Bezug auf technische Leistung, Richtcharakteristik und Umgebungsbedingungen ausgewählt werden.



5.3 Qualität der Sirenen

Die Auswahl qualitativ hochwertiger Sirenen, die eine **omnidirektionale, flächendeckende Beschallung** und damit einen ausreichenden Schalldruckpegel liefern, ist entscheidend für ein effektives Warnsystem zur möglichen Alarmierung der Bevölkerung. Oft wird bei der Beurteilung der Sirenenqualität die Größe und das Gewicht der Sirenen außer Acht gelassen. Dies kann zu unnötigen Komplikationen bei der Installation von Sirenen führen. Denn nicht selten ist die **Installation von schweren und großen Sirenen nur mit erheblichem Mehraufwand** und zusätzlichen Kosten möglich.

5.4 Integration und Alarmierungssysteme

Moderne Sirensysteme können in integrierte Warnsysteme eingebunden werden, die auch andere Warnmedien wie mobile Anwendungen, SMS oder soziale Medien nutzen. Eine nahtlose Integration dieser Technologien gewährleistet eine breitere und effektivere Warnung der Bevölkerung.



6. Kockum Sonics

Kockum Sonics ist Spezialist für grossflächige Sirenen- und Warnsysteme. Wir bieten Ihnen **professionelle Beratung zu Alarmierungssystemen, Planung und Umsetzung Ihres Projektes** - Sicherheit liegt uns am Herzen. Als Sicherheitsexperten analysieren wir Ihre Problemstellung, identifizieren Optimierungspotenziale und erarbeiten eine transparente Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung eines Projektes. Wir betreuen Sie individuell und nach höchsten Qualitätsstandards, damit Ihr Projekt ein Erfolg wird.

Unsere Service-Leistungen umfassen:

- Unterstützung der Alarmierungsplanung – massgeschneiderte Lösungen für Ihre Bedürfnisse
- Lifecycle-Beratung
- Bedarfsanalyse
- Machbarkeitsanalyse
- Zentraler Ansprechpartner während des gesamten Projekts

Kockum Sonics Sirenen sind auf dem neuesten Stand der Technik, die einzigartige Konstruktion garantiert eine flächendeckende Beschallung und eine einfache Installation. Im Rahmen von Projekten agieren wir auf Wunsch als Total- oder Generalunternehmer. Kontaktieren Sie uns - wir besprechen gerne mit Ihnen Ihr Anliegen.

Kockum Sonics

Kockum Sonics AG info@kockumsonics.ch
Oberdorfstrasse 64 Tel. +41 44 820 31 91
CH-8600 Dübendorf www.kockumsonics-ag.ch

Member of the Kockumation Group
Our strength is your benefit.

7. Quellen-Verzeichnis

Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft. (n.d.). Frequenzen, Schalldruck und Lautstärken. Abgerufen am 25. Juli, 2023 auf: <https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/laerm-und-vibrationen/frequenzen-schalldruck-und-lautstaerken>

Dr. Antwerpes, F.; Dr. Michel, O; Krüger, T.; Herzberg, M. (2019, Juni 1). Schalldruckpegel. DocCheck Flexikon. <https://flexikon.doccheck.com/de/Schalldruckpegel>

Dr.-Ing. Maue, J. H. (n.d.). Akustische Grundbegriffe. <https://www.arbeitsplatz-laerm.de/fachinfos/akustische-grundbegriffe/>

International Organization for Standardization. (2023, March). ISO 226:2023 Acoustics - Normal Equal-Loudness-Level Contours. Abgerufen am 26. Juli, 2023 auf: <https://www.iso.org/standard/83117.html>

Reitemeyer, D. (n.d.). Allgemeine Begriffe der Akustik. Driesen-Kern. <https://www.driesen-kern.de/produkte/schallpegelmesser/allgemeine-begriffe-der-akustik.php>

Ronner, M. (n.d.). Frequenz - Physikalische Einheit für Schwingungen pro Sekunde. Audisana. <https://www.audisana.ch/blog/frequenz>

Sengpielaudio. (n.d.). Abnahme (Dämpfung) des Schallpegels in Dezibel (dB) in Abhängigkeit von der Änderung der Entfernung. Abgerufen am 27. Juli, 2023 auf: <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-entfernung.htm>

Tontechnik-Seminar. (n.d.). Raumakustik. Abgerufen am 27. Juli, 2023 auf: <https://www.tontechnik-semi->

Warum unsere Stärken Ihr Nutzen sind.

Persönlich engagiert



Wir sind Ihre zentrale Ansprechpartnerin. Wir holen Ihre Bedürfnisse im persönlichen Gespräch ab und begleiten Sie auf dem ganzen Weg, von der Planung bis zur Übergabe und dem störungsfreien Betrieb Ihrer Anlage.

Lifecycle Management



Wir sind weit mehr als eine Lieferantin. Wir stehen unseren KundInnen während des gesamten Lebenszyklus des Alarmierungs- und Warnsystems zur Seite. Mithilfe unserer Lifecycle-Management-Services wird der Lebenszyklus Ihrer Anlage analysiert, optimiert und verlängert.

Kompetenz und Know-How



Unser Fachwissen basiert auf jahrzehntelanger Erfahrung. Unsere langjährigen MitarbeiterInnen sind kompetent, engagiert und bringen eine hohe Fach- und Branchenkompetenz mit.

Technischer Support



Schnelle Problemlösung und Support durch hoch qualifizierte Kockum Sonics MitarbeiterInnen. Unser Servicetechnik-Team ist bei einem Ausfall oder einer Störung rasch vor Ort um das Problem auf schnellste Weise zu beheben. Bei technischen Fragen und Störungsanalyse unterstützen wir Sie gerne auch online oder telefonisch.

Ganzheitliche Projekt- planung und -Betreuung



Wir unterstützen Sie bereits in der Anfangsphase Ihres Vorhabens bis hin zum Projektabschluss professionell und lösungsorientiert. Wir sind in der Lage komplexe Problemstellungen zu lösen, sowie kreative und massgeschneiderte Lösungen zu entwickeln. Eine gute und sorgfältige Planung bedeutet für uns Wertschätzung gegenüber unserer Kundschaft.

Exzellenter und schneller Kundenservice



Wir gewährleisten einen exzellenten Kundenservice in allen Belangen. Unsere Serviceleistungen werden effizient, schnell und mit höchstem Qualitätsanspruch bearbeitet.

Hersteller- / Ersatzteilgarantie



Wir stellen sicher, dass die Original-Ersatzteilverfügbarkeit jederzeit gewährleistet ist.