

# Umweltlärm



# Inhalt

Über diese Broschüre .....	3
Einführung .....	4
Was ist Schall? .....	7
Geräuscharten .....	14
Ausbreitung von Umweltlärm .....	16
Identifizieren von Schallquellen .....	23
Schallmessung .....	25
Kalibrierung .....	28
Beurteilungspegel – Lästigkeit und Zuschläge .....	29
Erfassung (Grenzwerte) .....	31
Der Messbericht .....	37
Berechnung von Schallpegeln (Lärmprognose) .....	39
Planung .....	45
Lärmminderung .....	49
Beaufsichtigte oder unbeaufsichtigte Messung .....	51
Permanente Überwachung .....	54
Internationale Normen .....	57
Parameter und Terminologie für den Umweltlärm .....	60
Über Brüel & Kjær .....	65

Copyright © 2000 Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S.

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich und durch internationale Abkommen geschützt.

Der Inhalt darf ganz oder teilweise kopiert und weitergegeben werden, vorausgesetzt, daß als Quelle Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S angegeben wird.

Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S trägt keine Verantwortung für direkte oder indirekte Verluste oder Schäden aller Art, die als Folge der Anwendung dieser Veröffentlichung auftreten könnten.

# Über diese Broschüre

Diese Broschüre beschäftigt sich mit Umweltlärm – zum Beispiel Lärm von Industrieanlagen, Straßen- und Schienenverkehr, Flughäfen und Vergnügungsparks. Nicht behandelt werden verwandte Gebiete wie Bauakustik, Schwingungen an Gebäuden und im Wohnbereich erzeugter Lärm. Ebenfalls nicht behandelt werden Wirkungen von Schwingungen auf den Menschen sowie industrielle Anwendungen von Schall- und Schwingungsmessungen. Bitte wenden Sie sich an Ihr Brüel & Kjær Verkaufsbüro, wenn Sie weitere Informationen zu diesen Themen brauchen.

Auch wenn wir uns große Mühe gegeben haben, einen aktuellen Überblick zu Normen, Praxis und Methoden zu geben, können wir nicht garantieren, daß alle relevanten Aspekte erschöpfend behandelt werden. Bitte wenden Sie sich an Ihre zuständigen Behörden, um weitere Einzelheiten zu erfahren, die für ihr Land oder ihre Region gelten.

# Einführung

Lärmprobleme sind häufig Thema von Zeitungsartikeln. Konflikte in Sachen Umweltlärm sind zwar recht selten ausgesprochen dramatisch, aber oft sehr beschwerlich und kostspielig.

Umweltlärm ist ein globales Problem, das von Land zu Land sehr unterschiedlich gehandhabt wird. Kultur, Wirtschaft und Politik spielen eine Rolle. Das Problem verschwindet nicht einmal dort, wo mit dem Schallschutz großer Aufwand betrieben wird. Zum Beispiel wurden gewaltige Anstrengungen unternommen, um Verkehrslärm an der Quelle zu reduzieren. Moderne Autos sind auch viel leiser als die vor 10 Jahren produzierten, aber das Verkehrsaufkommen ist derartig gewachsen, daß die Wirkung der Anstrengungen mehr als neutralisiert wurde und die Belästigung insgesamt zugenommen hat. Die Herstellung leiserer Autos hat das Problem eine Zeitlang in Schach gehalten, aber bestimmt nicht beseitigt.

Es gibt keine weltweiten Abschätzungen über Ausmaß und Kosten von Umweltlärm, doch eine Dokumentation, die den größten Teil Europas umfaßt – das Grünbuch der Europäischen Kommission zur künftigen Lärmschutzpolitik (1996).



000062

- Das Grünbuch schätzt, daß, ausgedrückt in der Anzahl betroffener Personen, 20% der Bevölkerung (d.h. 80 Millionen Menschen) unter unakzeptablen Schallpegeln leiden, die Schlafstörungen, Belästigung und Gesundheitsstörungen verursachen. Weitere 170 Millionen europäischer Bürger sind ernsthaften Lärmbelastigungen am Tage ausgesetzt
- Finanziell ausgedrückt kostet Umweltlärm die Gesellschaft etwa 0,2% bis 2% des Bruttosozialprodukts. Selbst die niedrigere Zahl repräsentiert riesige Summen

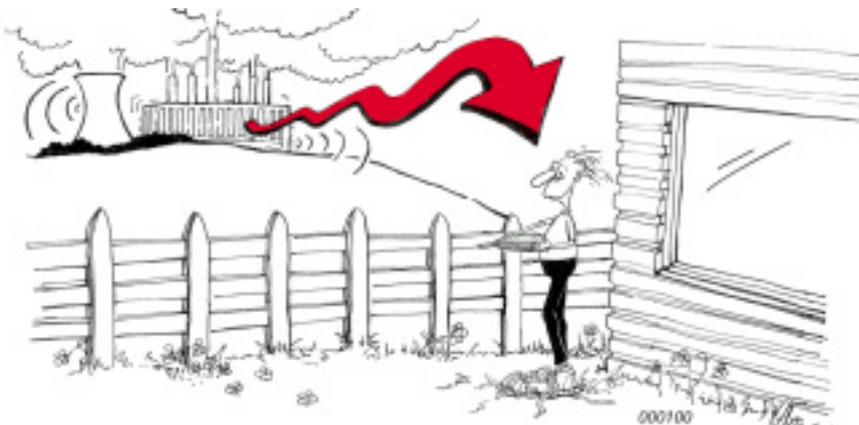
## Schutz vor Umweltlärm

Lärmschutzprogramme unterscheiden sich in den einzelnen Ländern – es gibt Unterschiede hinsichtlich Rechtsvorschriften, Meßverfahren und politischer Schwerpunkte. Doch einige Aspekte gelten für alle, die auf diesem Gebiet tätig sind.

- Planung von Neuentwicklungen – Wohngebiete, Industriegebiete, Autobahnen, Flughäfen, etc.
- Behandlung der Beschwerden von Bürgern, während der Planung und später
- Kontrolle, ob Schallquellen (Industrieanlagen, Freizeitparks, Flughäfen, Autobahnen, Bahnstrecken, etc.) Richtlinien und Rechtsvorschriften einhalten

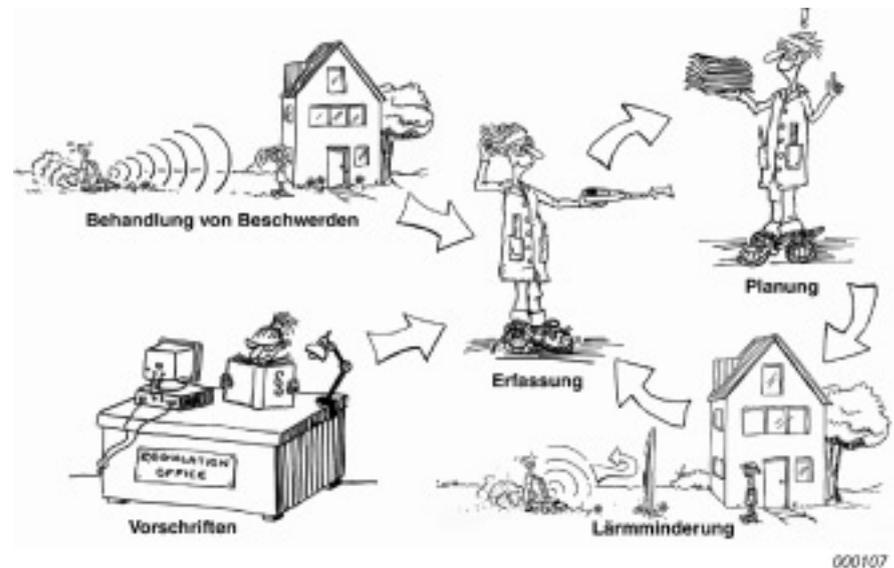
Innerhalb dieser wichtigsten Arbeitsgebiete kann ein Umweltbeauftragter mit vielen Aufgabenstellungen konfrontiert werden, darunter:

- Messungen vor Ort
- Schallmessungen an bestimmten Schallquellen
- Vorausberechnung zu erwartender Schallpegel
- Schallquellenkartierung
- Vorbereitung von Berichten für Bürger oder Entscheidungsträger
- Archivierung und Einlesen von Daten
- Tätigkeit als Sachverständiger



Diese Aufgaben stellen hohe Anforderungen und angesichts von Ausmaß und Bedeutung der Lärmbelästigung ist ein Verständnis der Problematik auf recht hohem Niveau erforderlich. Dies gilt nicht nur für die vor Ort tätigen Fachleute, sondern auch für Entscheidungsträger und Bürger. Dieses Heft wendet sich an alle.

Die Broschüre beschreibt, welche Problemstellungen bei der Arbeit mit Umweltlärm vorkommen, und stellt aktuelle Lösungen vor. Leider fehlt uns der Platz, um jedes Thema zu vertiefen. Wir können zum Beispiel nationale und regionale Rechtsvorschriften nicht im einzelnen erörtern. Wir haben uns jedoch sehr angestrengt, einen umfassenden Überblick der wichtigsten Themen zu geben. Bitte wenden Sie sich an das Brüel & Kjær Verkaufsbüro in Ihrer Nähe, wenn Sie weitere Informationen benötigen.



# Was ist Schall?

## Was ist Schall?

Schall kann als Druckschwankung definiert werden, die für das menschliche Ohr wahrnehmbar ist. Wie bei einem Dominoeffekt wird eine Wellenbewegung ausgelöst, wenn ein Element den nächsten Luftpartikel in Bewegung setzt. Die Bewegung pflanzt sich zu den benachbarten Luftpartikeln fort, die weiter von der Quelle entfernt sind. Je nach Medium breitet sich Schall mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aus, in der Luft mit ca. 340 m/s. In Flüssigkeiten und Festkörpern ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit höher – 1500 m/s in Wasser und 5000 m/s in Stahl.

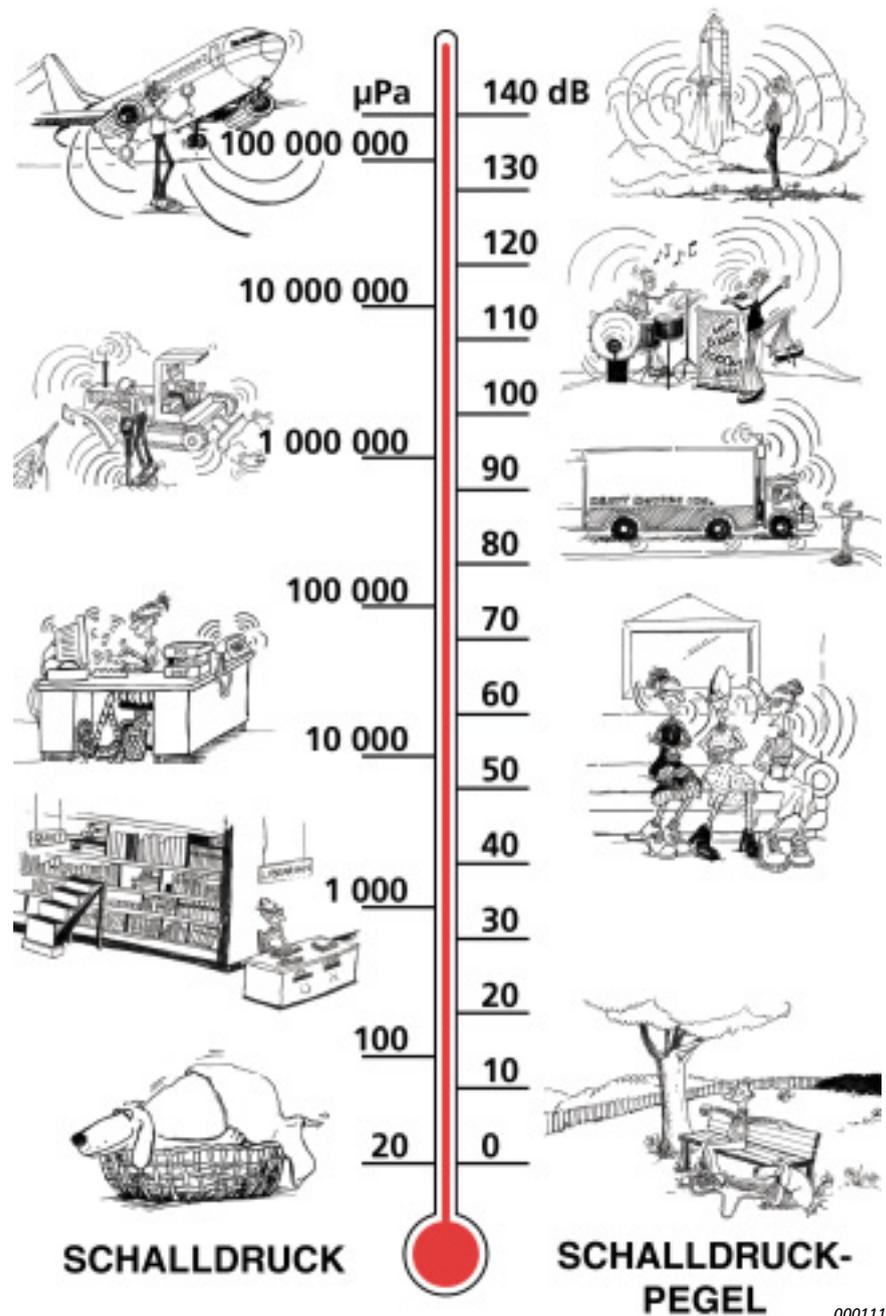
## Typische Schallpegel

Gegenüber dem statischen Luftdruck ( $10^5$  Pa) sind die hörbaren Schalldruckschwankungen sehr gering und liegen im Bereich von ca.  $20 \mu\text{Pa}$  ( $20 \times 10^{-6}$  Pa) bis 100 Pa.

$20 \mu\text{Pa}$  entspricht der Hörschwelle beim Normalhörenden. Ein Schalldruck von ca. 100 Pa ist so laut, daß er als schmerzhaft empfunden wird, deshalb die Bezeichnung Schmerzschwelle. Das Verhältnis aus diesen beiden Eckwerten beträgt mehr als eine Million zu eins.

Eine lineare Skala (in Pa) würde bei der Messung von Schalldrücken zu großen und unhandlichen Zahlen führen. Da gleichzeitig das Ohr eher logarithmisch als linear auf Reize reagiert, ist es naheliegend, akustische Parameter als logarithmisches Verhältnis eines Meßwertes zu einem Bezugswert auszudrücken. Dieses logarithmische Verhältnis wird als Dezibel oder dB bezeichnet. Das Bild auf der nächsten Seite zeigt deutlich den Vorteil der Anwendung von dB. Hier wird die lineare Skala mit ihren großen Zahlen in eine handliche Skala von 0 dB an der Hörschwelle ( $20 \mu\text{Pa}$ ) bis 130 dB an der Schmerzschwelle (ca. 100 Pa) umgewandelt.

Unser Gehör erstreckt sich über einen außerordentlich großen Schalldruckbereich – ein Verhältnis von mehr als einer Million zu eins. Die dB-Skala sorgt für handliche Zahlen

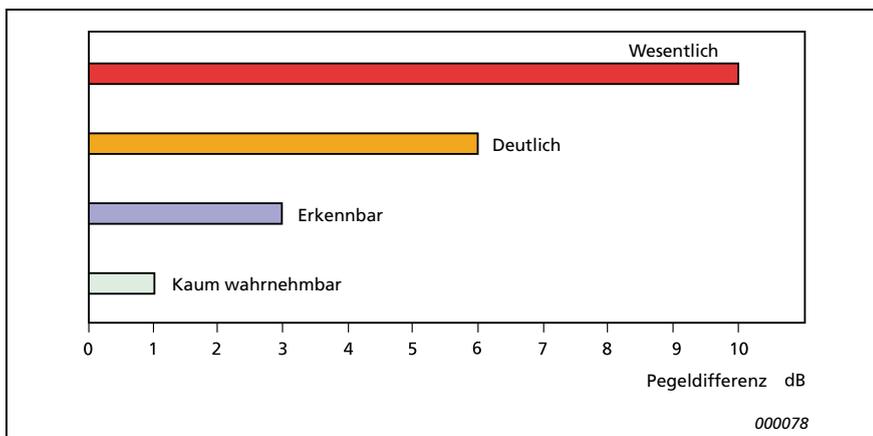


00011

## Schallwahrnehmung

Wir haben bereits den Schall als Druckschwankung definiert, die das menschliche Ohr wahrnehmen kann. Die Anzahl der Druckschwankungen pro Sekunde wird als Schallfrequenz bezeichnet und in Hertz (Hz) gemessen. Das normale Gehör eines gesunden jungen Menschen reicht von ca. 20 Hz bis 20000 Hz (20 kHz).

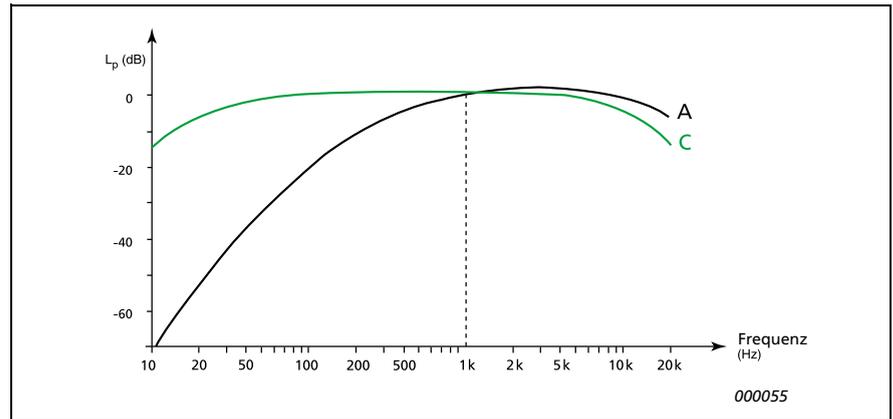
In Schalldruckpegeln ausgedrückt reicht der hörbare Schallbereich von der Hörschwelle bei 0 dB bis zur Schmerzschwelle bei 130 dB und darüber. Obwohl eine Zunahme um 6 dB eine Verdopplung des Schalldrucks bedeutet, ist eine Zunahme um 8 – 10 dB erforderlich, bevor der Schall subjektiv als wesentlich lauter empfunden wird. Die kleinste wahrnehmbare Änderung beträgt ca. 1 dB.



## Frequenzbewertungskurven

Unser Gehör ist bei sehr niedrigen und hohen Frequenzen weniger empfindlich. Um dies zu berücksichtigen, können bei der Schallmessung Bewertungsfiler angewendet werden. Die zur Zeit gebräuchlichste Frequenzbewertung ist die "A-Bewertung", wobei die Ergebnisse häufig als dB(A) bezeichnet werden, was etwa der Empfindlichkeit des menschlichen Ohrs entspricht.

Es wird auch eine "C-Bewertung" verwendet, insbesondere bei sehr lauten oder sehr tieffrequenten Geräusche.

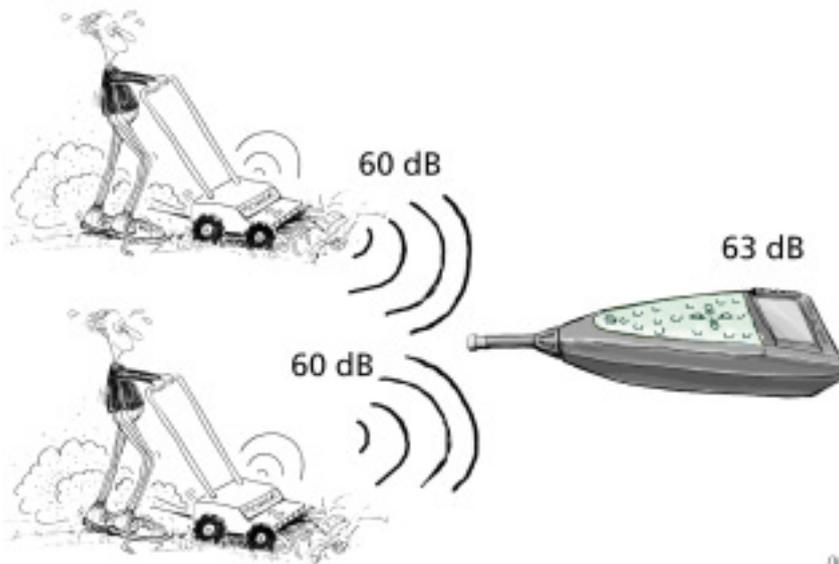


## Addition und Subtraktion von Schallpegeln

### Addieren von Schallpegeln

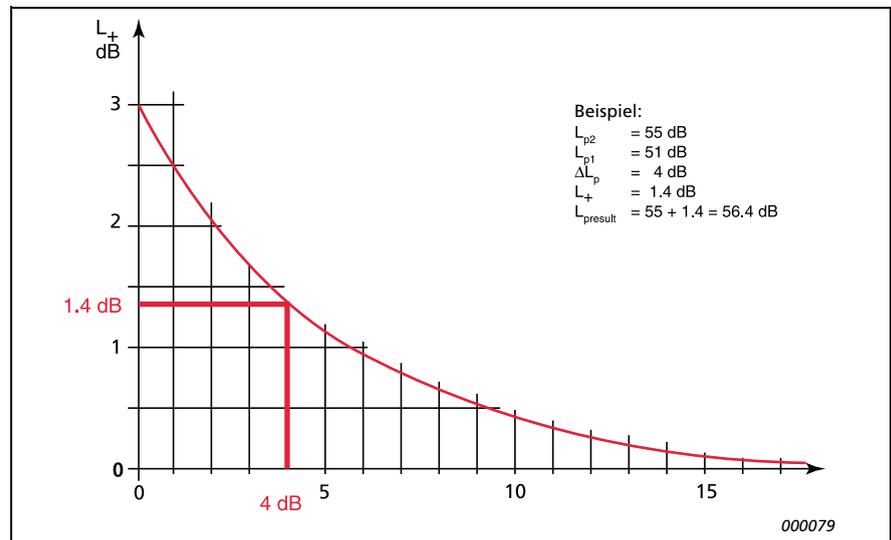
Wenn die Schallpegel von zwei oder mehr Schallquellen separat gemessen wurden und Sie den Gesamtschalldruckpegel ermitteln wollen, müssen die Schallpegel addiert werden. Da die dB-Werte logarithmisch sind, können sie nicht einfach "normal" addiert werden.

$$L_{p\text{Ergebnis}} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + 10^{\frac{L_{p3}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)$$



000131

Einfacher geht es mit dem folgenden Diagramm:



1. Den Schalldruckpegel (SPL) jeder einzelnen Schallquelle messen ( $L_{p1}$ ,  $L_{p2}$ ).
2. Die Differenz ( $\Delta L$ ) zwischen diesen Pegeln ermitteln ( $L_{p2} - L_{p1}$ ).
3. Diese Differenz auf der waagerechten Achse des Diagramms aufsuchen. Bis zum Schnittpunkt mit der Kurve nach oben gehen und links den Wert auf der senkrechten Achse ablesen.
4. Den auf der senkrechten Achse angezeigten Wert ( $L_+$ ) zum Pegel der lauterer Schallquelle ( $L_{p2}$ ) addieren. Dies ergibt die Summe der SPL für beide Quellen.
5. Bei drei oder mehr Schallquellen sind die Schritte 1 bis 4 zu wiederholen. Dabei ist die Summe der ersten beiden Schallquellen und der SPL für jede weitere Schallquelle zu verwenden.

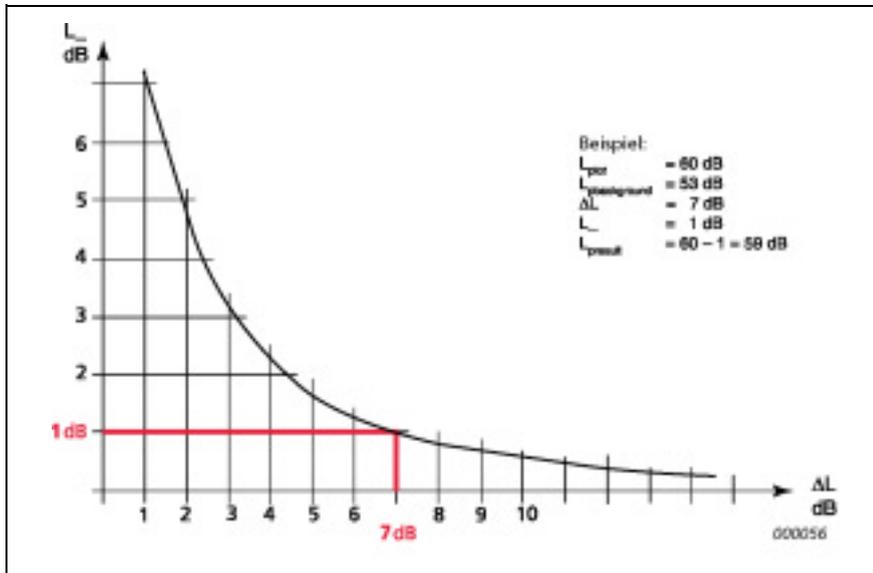
Beachten Sie, daß eine Differenz von  $\Delta L = 0$  der Situation von der vorigen Abbildung entspricht, wo 3 dB zum Schallpegel der einen Quelle addiert wurden. Beträgt die Differenz zwischen den beiden Schalldruckpegeln mehr als 10 dB, kann der Beitrag der leiseren Quelle vernachlässigt werden.

### Subtrahieren von Schallpegeln

Manchmal muß Hintergrundgeräusch vom Gesamtgeräusch subtrahiert werden. Diese Korrektur kann erfolgen, indem das Hintergrundgeräusch ( $L_{pbackground}$ ) vom Gesamtgeräuschpegel ( $L_{ptot}$ ) nach folgender Gleichung oder Kurve subtrahiert wird:

$$L_{presult} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{ptot}}{10}} - 10^{\frac{L_{pbackground}}{10}} \right)$$

Wenn  $\Delta L$  weniger als 3 dB beträgt, ist das Hintergrundgeräusch zu stark, um präzise Messungen zu ermöglichen. Der korrekte Schallpegel läßt sich dann erst ermitteln, wenn das Hintergrundgeräusch reduziert wurde. Wenn andererseits die Differenz mehr als 10dB beträgt, kann das Hintergrundgeräusch ignoriert werden.



# Geräuscharten

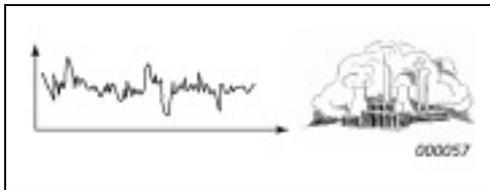
## Lärm ist nicht gleich Geräusch

Zu Hause und bei der Arbeit hören wir oft Geräusche von Heizungs- und Lüftungssystemen, die kaum wahrnehmbar sind, weil sie keine hervortretenden Merkmale besitzen. Das Geräusch ist kontinuierlich und enthält keine Töne, aber wenn der Lüfter plötzlich stoppt oder zu heulen beginnt, kann die Änderung stören oder sogar belästigen. Unser Gehör erkennt Informationen in dem, was wir hören. Informationen, die wir nicht brauchen oder wollen, sind Lärm. Merkmale, die uns aufhorchen lassen, sind Töne oder Schallpegeländerungen. Je aufdringlicher ein Ton ist und je rascher sich der Schallpegel ändert, desto eher wird das Geräusch als Lärm empfunden.

Bei der Lärmmessung müssen wir den Charakter des Geräusches kennen, um Meßparameter, Geräteausrüstung und Meßdauer wählen zu können. Oft müssen wir mit dem Gehör die lästigen Merkmale der Geräusche identifizieren, bevor wir sie messen, analysieren und dokumentieren können.

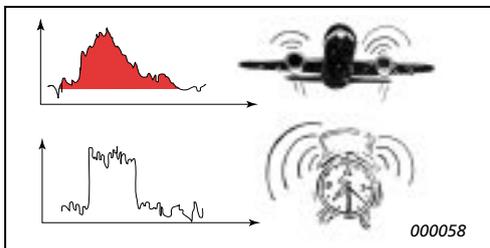
## Kontinuierlicher Lärm

Kontinuierlicher Lärm wird von Maschinen erzeugt, die pausenlos auf dieselbe Weise arbeiten, z.B. Gebläse, Pumpen und Verarbeitungsmaschinen. Wenige Minuten Messung mit einem handgehaltenem Meßgerät reichen aus, um den Schallpegel zu ermitteln. Falls Töne oder tiefe Frequenzen wahrgenommen werden, kann das Frequenzspektrum gemessen und für die Dokumentation oder weitere Analysen verwendet werden.



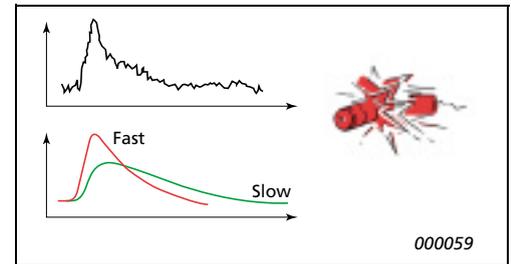
## Intermittierender Lärm

Wenn eine Maschine zyklisch arbeitet oder einzelne Fahrzeuge oder Flugzeuge vorbeipassieren, steigt der Schallpegel rasch an und fällt wieder ab. Für den einzelnen Zyklus einer Maschinenschallquelle läßt sich der Schallpegel wie bei kontinuierlichem Lärm messen, jedoch muß die Länge des Zyklus beachtet werden. Ein vorbeikommendes Fahrzeug/Flugzeug wird als Ereignis bezeichnet. Um das Geräusch eines Ereignisses zu messen, wird der Schall-expositionspegel gemessen, der Pegel und Dauer in einer Kenngröße kombiniert. Auch der maximale Schalldruckpegel kann verwendet werden. Mehrere gleichartige Ereignisse können gemessen werden, um einen repräsentativen Mittelwert zu erhalten.



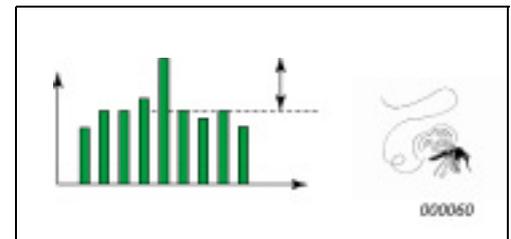
## Impulslärm

Der Lärm von Schlägen oder Explosionen, z.B. von einer Ramme, Stanze oder Schüsse, wird als Impulsgeräusch bezeichnet. Es ist kurz und abrupt und wirkt durch seine alarmierende Wirkung lästiger, als nach einer normalen Schalldruckpegelmessung zu erwarten wäre. Um die Impulshaltigkeit von Geräuschen zu quantifizieren, kann die Differenz zwischen einem schnell reagierenden und einem langsamer reagierenden Parameter verwendet werden (siehe unteres Diagramm). Die Wiederholungsrate (Anzahl Impulse pro Sekunde, Minute, Stunde oder Tag) sollte ebenfalls dokumentiert werden.



## Tonalität von Geräuschen

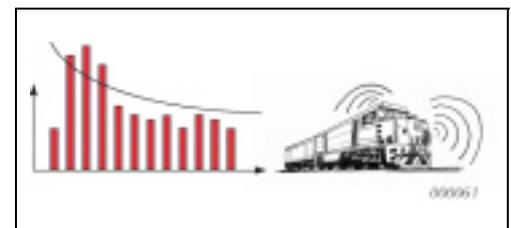
Lästige Töne werden auf zweierlei Art erzeugt: Maschinen mit rotierenden Teilen wie Motoren, Getriebe, Lüfter und Pumpen erzeugen häufig Töne. Unwuchten oder sich wiederholende Stöße erzeugen Schwingungen, die von Oberflächen in die Luft übertragen und als Töne gehört werden. Pulsierende Flüssigkeits- oder Gasströme können ebenfalls Töne erzeugen, verursacht durch Verbrennungsvorgänge oder Verengungen. Töne können subjektiv durch Abhören oder objektiv durch Frequenzanalyse identifiziert werden. Die Hörbarkeit wird berechnet, indem der tonale Pegel mit dem Pegel der benachbarten Spektralkomponenten verglichen wird. Auch die Tondauer sollte erfasst werden.



## Tieffrequente Geräusche

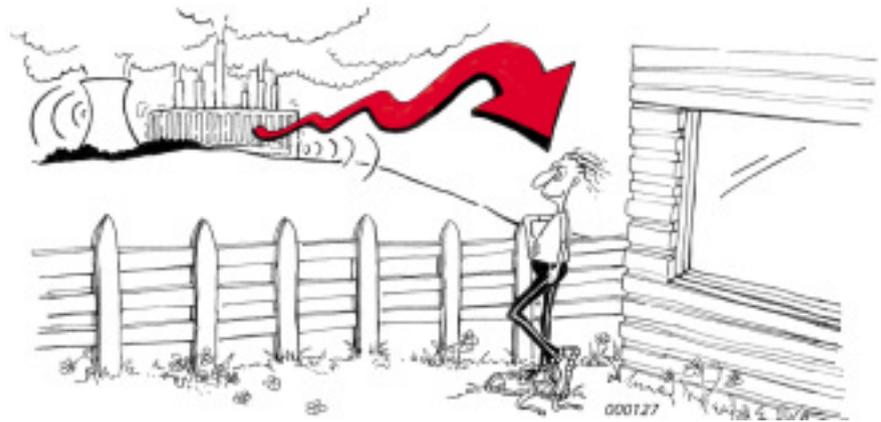
Tieffrequente Geräusche besitzen beträchtliche akustische Energie im Frequenzbereich von 8 bis 100 Hz. Geräusche dieser Art sind typisch für große Dieselmotoren in Lokomotiven, Schiffen und Kraftwerken, und da sie schwer zu dämpfen sind und sich leicht in alle Richtungen ausbreiten, können sie über große Entfernungen gehört werden. Tieffrequenter Lärm ist lästiger, als man nach dem A-bewerteten Schalldruckpegel erwarten würde. Die Differenz zwischen dem A- und C-bewerteten Pegel kann einen Hinweis geben, ob es sich um ein Problem mit tiefen Frequenzen handelt. Um die Hörbarkeit tieffrequenter Komponenten zu berechnen, wird das Spektrum gemessen und mit der Hörschwelle verglichen. Infraschall besitzt ein Spektrum mit wesentlichen Komponenten unter 20Hz. Wir empfinden ihn nicht als Schall, sondern eher als Druck. Die Erfassung und Bewertung von Infraschall ist noch im Experimentalstadium und bisher noch nicht in internationalen Normen enthalten.

In Deutschland dagegen beschreibt eine nationale Norm DIN 45680 die "Messung und Bewertung tieffrequenter Geräusche in der Nachbarschaft". Die Messung wird durchgeführt mittels einer Terzanalyse im Frequenzbereich von 10–80Hz. Die gemessenen Werte werden auf Einzeltoncharakteristik oder Breitbandigkeit untersucht und mit der Hörschwelle verglichen. Bei Überschreitung vorgegebener Richtwerte müssen Maßnahmen zur Minderung getroffen werden. Die Messung und Bewertung von niederfrequenten Geräuschen gilt nur in Gebäuden.



# Ausbreitung von Umweltlärm

Wie laut ist ein 10-Tonnen-LKW? Das hängt davon ab, wie weit Sie von ihm entfernt sind und ob Sie sich vor einer Wand oder dahinter befinden. Viele weitere Faktoren beeinflussen den Schalldruckpegel. Daher können sich Meßergebnisse für dieselbe Schallquelle um viele Dezibel unterscheiden. Um dies zu erklären, müssen wir die Schallabstrahlung von der Quelle betrachten, die Schallausbreitung in der Luft und das Auftreffen am Immissionspunkt.



## Die wichtigsten Faktoren für die Schallausbreitung sind:

- Schallquellentyp (Punkt oder Linie)
- Abstand von der Quelle
- Atmosphärische Absorption
- Wind
- Temperatur und Temperaturgradient
- Hindernisse wie Lärmschutzwände und Gebäude
- Bodenabsorption
- Reflexionen
- Feuchte
- Niederschlag

Um zu einem repräsentativen Ergebnis zu gelangen, müssen diese Faktoren berücksichtigt werden. Vorschriften legen oft für jeden Faktor Bedingungen fest.

## Schallquellentypen

### Punktquelle

Sind die Abmessungen einer Schallquelle klein gegenüber dem Abstand vom Zuhörer, wird sie als Punktquelle bezeichnet, z.B. Lüfter oder Schornsteine. Die Schallenergie breitet sich kugelförmig aus, so daß der Schalldruckpegel an allen Punkten mit demselben Abstand zur Schallquelle gleich ist und pro Abstandsverdopplung um 6dB abnimmt. Dies trifft zu, solange Boden- und Luftdämpfung den Pegel nicht merklich beeinflussen.

Für eine Punktquelle mit dem Schalleistungspegel  $L_W$  (siehe Abschnitt über Parameter und Terminologie für Umweltlärm) in Bodennähe läßt sich der Schalldruckpegel  $L_p$  in beliebigem Abstand  $r$  (in m) von der Quelle nach dieser Gleichung berechnen:

$$L_p = L_W - 20 \log_{10}(r) - 8 \text{ dB}$$

### Linienquelle

Ist eine Schallquelle schmal in einer Richtung und lang in der anderen, verglichen mit dem Abstand vom Zuhörer, wird sie als Linienquelle bezeichnet. Es kann sich um eine einzelne Quelle handeln wie ein langes Rohr mit einer turbulenten Flüssigkeit. Sie kann aber auch aus vielen gleichzeitig abstrahlenden Punktquellen bestehen, wie der Fahrzeugstrom auf einer belebten Straße.

Der Schallpegel breitet sich zylindrisch aus, so daß der Schalldruckpegel an allen Punkten mit demselben Abstand von der Linie gleich ist und per Abstandsverdopplung um 3dB abnimmt. Dies trifft zu, solange Boden- und Luftdämpfung den Pegel nicht merklich beeinflussen. Für eine Linienschallquelle mit Schalleistungspegel  $L_W/m$  per Meter in Bodennähe läßt sich der Schalldruckpegel ( $L_p$ ) in beliebigem Abstand  $r$  (in m) von der Quelle nach dieser Gleichung berechnen:

$$L_p = L_W - 10 \log_{10}(r) - 5 \text{ dB}$$

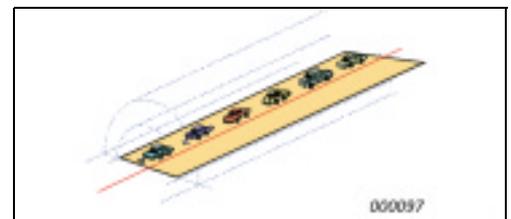
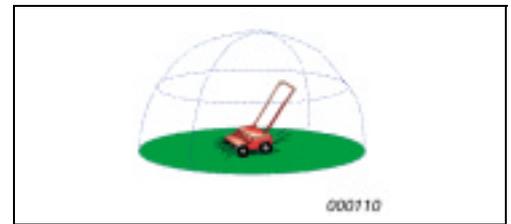
### Lärmschutzwand

Die Schalldämmung einer Wand hängt von zwei Faktoren ab:

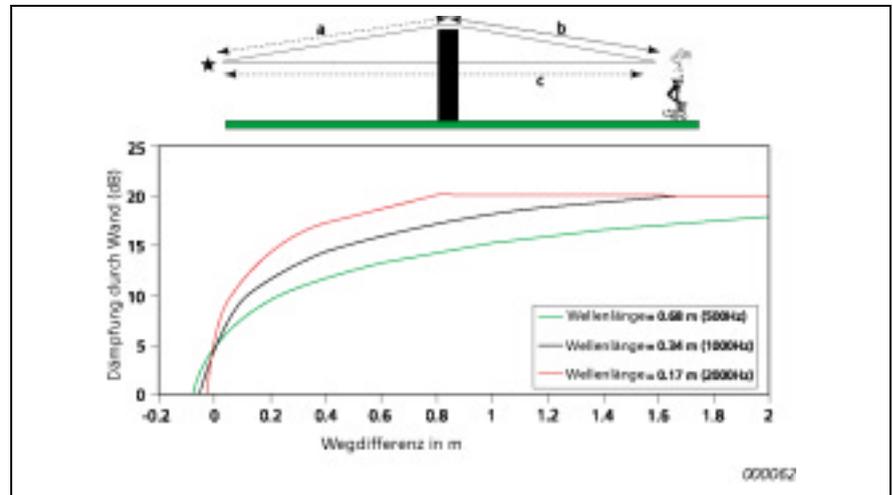
1. Wegdifferenz der Schallwelle über die Wand verglichen mit der direkten Übertragung zum Immissionspunkt ( $a + b - c$  im Diagramm)
2. Frequenzinhalt der Geräusche



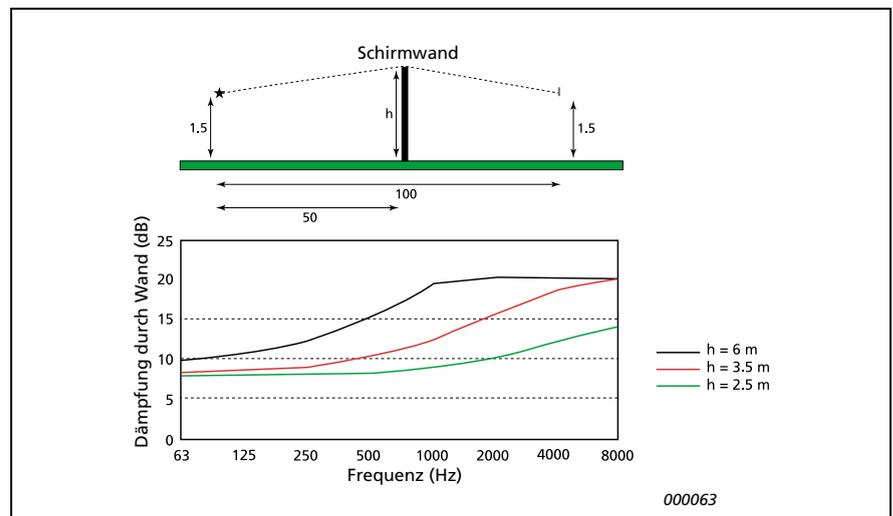
000103



Die kombinierte Wirkung dieser beiden zeigt das Diagramm. Es wird deutlich, daß tiefe Frequenzen mit Schutzwänden schwierig zu reduzieren sind.



Das nächste Diagramm zeigt die Dämpfung für eine typische Abschirmung als Funktion der Wandhöhe. Eine Schutzwand ist am wirkungsvollsten, wenn sie sich dicht an der Schallquelle oder dem Immissionspunkt befindet.

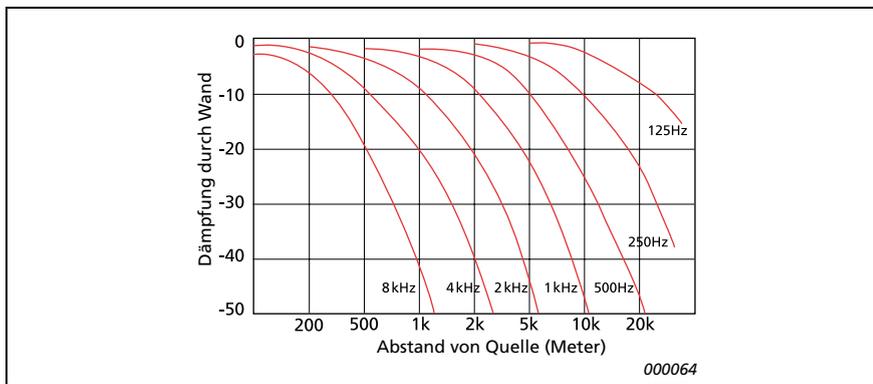


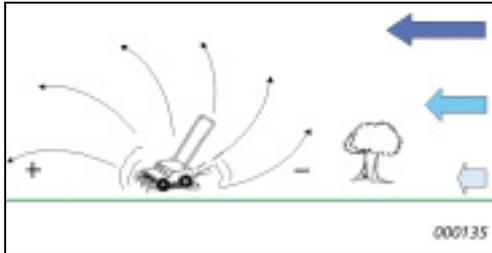
### Atmosphärische Dämpfung

Dieses komplexe Thema kann hier nur kurz angerissen werden. Die Lärmdämpfung durch Luft hängt von vielen Faktoren ab, darunter:

- Abstand von der Schallquelle
- Frequenzinhalt der Geräusche
- Lufttemperatur
- Relative Feuchte
- Luftdruck

Die beiden erstgenannten Faktoren sind die wichtigsten und werden im folgenden Diagramm dargestellt. Es sei wiederum hervorgehoben, daß tiefe Frequenzen durch die Atmosphäre nicht gut gedämpft werden.





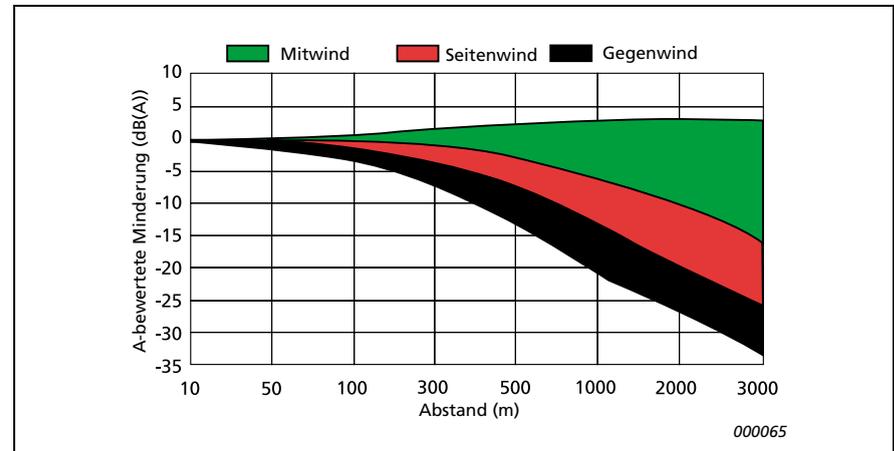
## Wind und Temperatur

Die Windgeschwindigkeit nimmt mit der Höhe zu und lenkt damit den Schallstrahl ab, so daß der Schall auf der Mitwindseite der Quelle "fokussiert" wird, während es auf der Gegenwindseite zur "Schattenbildung" kommt.

### Warum wird bei Mitwind gemessen?

Bei kurzen Distanzen bis 50 m hat der Wind nur geringen Einfluß auf den gemessenen Schallpegel. Mit größerem Abstand nimmt die Wirkung zu.

Bei Mitwind kann der Pegel um einige dB zunehmen, abhängig von der Windgeschwindigkeit. Bei der Messung im Gegen- oder Seitenwind kann der Pegel jedoch um mehr als 20 dB absinken, je nach Windgeschwindigkeit und Abstand. Deshalb wird die Messung bei Mitwind bevorzugt – die Abweichung ist kleiner und das Ergebnis liegt auf der sicheren Seite.



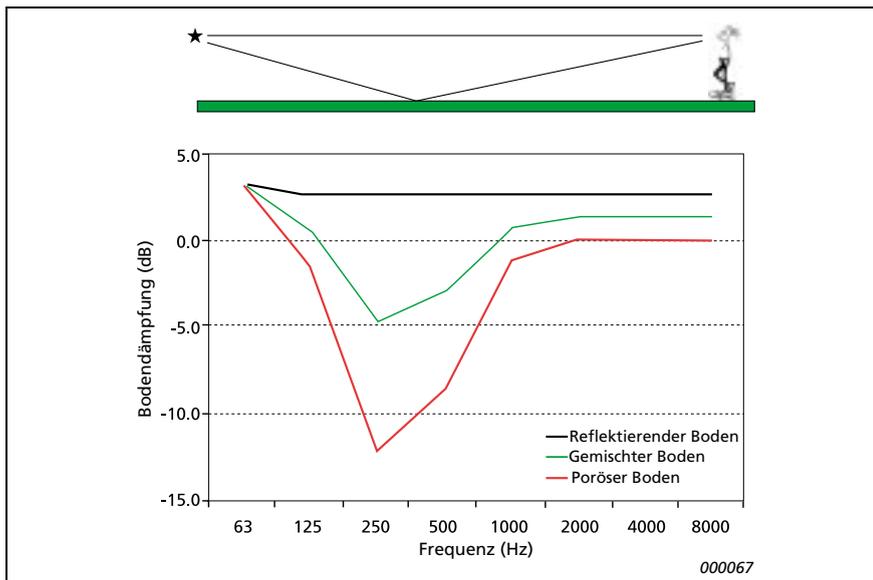
## Temperatur

Temperaturgradienten haben eine ähnliche Wirkung wie Windgradienten, doch sie wirken gleichartig in alle Richtungen. An sonnigen, windstillen Tagen nimmt die Temperatur mit der Höhe ab, was für den Schall eine "Schatten"-Wirkung ergibt. In klaren Nächten kann die Temperatur mit der Höhe zunehmen und den Schall auf dem Erdboden "fokussieren".

## Bodeneinflüsse

Vom Boden reflektierter Schall beeinflusst den direkt abgestrahlten Schall.

Der Bodeneffekt ist unterschiedlich für akustisch harte (z.B. Beton oder Wasser), weiche (z.B. Gras, Bäume oder Vegetation) und kombinierte Oberflächen. Bodendämpfung wird oft in Frequenzbändern berechnet, um den Frequenzinhalt der Schallquelle und den Bodentyp zwischen Quelle und Immissionspunkt zu berücksichtigen. Niederschlag kann die Bodendämpfung beeinflussen. Schnee kann eine beträchtliche Dämpfung oder auch hohe positive Temperaturgradienten ergeben. Vorschriften raten oft von Messungen unter solchen Bedingungen ab.



*Einfluß der Bodenbeschaffenheit bei 100m Abstand zwischen Quelle und Immissionspunkt. Höhe von Schallquelle und Immissionspunkt 2 m*

## Lärm am Immissionspunkt

### Reflexion

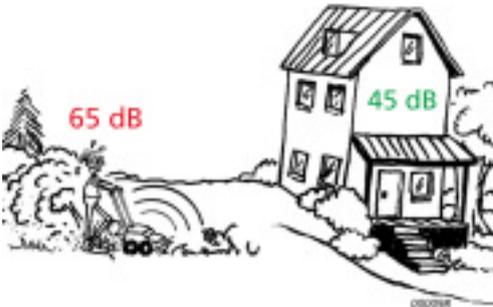
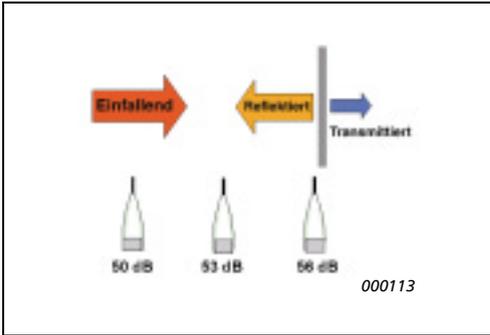
Wenn Schallwellen auf eine Oberfläche treffen, wird ein Teil ihrer akustischen Energie reflektiert, ein Teil geht hindurch und ein Teil wird absorbiert. Bei geringer Absorption und Transmission (trifft generell auf Gebäude zu) wird die Schallenergie größtenteils reflektiert und die Oberfläche als akustisch hart bezeichnet. Der Schalldruckpegel in der Nähe der Fläche stammt demnach von direkt abgestrahltem Schall sowie ein- oder mehrfach reflektiertem Schall.

Typisch ist der Pegel in 0,5 m Abstand von einer ebenen Wand 3 dB(A) höher als ohne Wand. Vorschriften fordern oft, daß dieser Effekt die angegebenen Ergebnisse nicht beeinflussen darf (Freifeldbedingungen).

### Offene und geschlossene Fenster

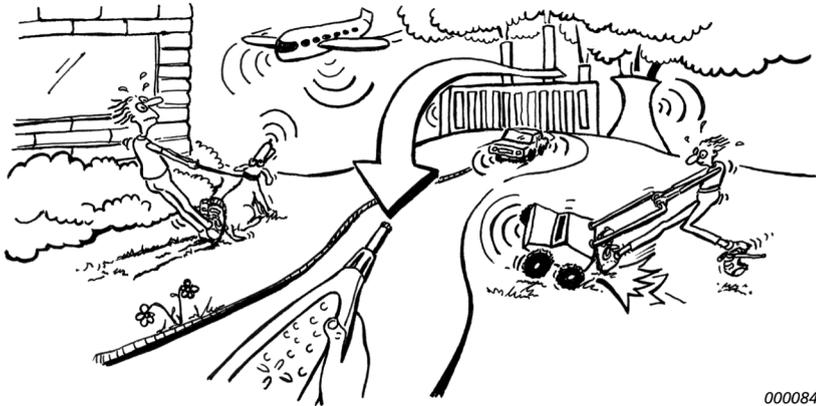
In manchen Gegenden lebt man überwiegend mit geschlossenen Fenstern – aus klimatischen Gründen oder Tradition. Störgeräusche aus der Nachbarschaft werden dann durch das Gebäude gedämpft, ein Schutz von typisch 20 – 30 dB (Fassenschalldämmung). Fenster sind häufig akustisch schwache Punkte, die sich durch Spezialbauweisen verbessern lassen.

In anderen Ländern und Klimazonen pflegt man die Fenster offenzulassen und nimmt Störgeräusche in voller Stärke wahr. Vorschriften für Umweltlärm müssen daher die Bauweise und die Art der Nutzung von Wohngebäuden berücksichtigen.



# Identifizieren von Schallquellen

Bei der Lärmerfassung handelt es sich im allgemeinen um die Bewertung einer spezifischen Schallquelle, z.B. das Geräusch einer bestimmten Produktionsanlage. Dies ist nicht immer eine leichte Aufgabe. In der Praxis tragen viele verschiedene Schallquellen zum Umgebungsgeräusch an einem bestimmten Punkt bei.



**Umgebungsgeräusch** ist das kombinierte Geräusch sämtlicher Schallquellen – Fabriklärm, Verkehrslärm, Vogelgesang, fließendes Wasser, etc.

**Spezifisches Geräusch** ist das Geräusch der zu untersuchenden Schallquelle. Es stellt eine Komponente des Umgebungsgeräuschs dar, die sich identifizieren und der spezifischen Quelle zuordnen läßt.

**Fremdgeräusch** ist das Umgebungsgeräusch minus dem spezifischen Geräusch. Das Fremdgeräusch ist das an einem Punkt unter bestimmten Bedingungen verbleibende "Restgeräusch", wenn das Geräusch der spezifischen Schallquelle unterdrückt wird.

Diese Terminologie stammt aus der ISO 1996 und ist weit verbreitet. Der Ausdruck **Hintergrundgeräusch** (von ISO 1996 nicht verwendet) ist ebenfalls verbreitet, sollte aber nicht mit dem Fremdgeräusch verwechselt werden. Manchmal bedeutet es den gemessenen Pegel, wenn die spezifische Schallquelle nicht hörbar ist und manchmal den Wert eines Lärmparameters wie  $L_{A90}$  (Pegel, der während 90% der Meßzeit überschritten wird).

In Verbindung mit der Bauplanung wird der Ausdruck **Anfangsgeräusch** verwendet, um das Geräusch an einem bestimmten Punkt vor geplanten Änderungen zu bezeichnen, z.B. vor der Erweiterung einer Produktionsanlage oder dem Errichten von Lärmschutzwänden.

Zur Erfassung von spezifischen Geräuschen werden zahlreiche Verfahren verwendet, von denen einige in dieser Broschüre beschrieben sind. Diese Methoden reichen von drastischen Eingriffen wie dem Abschalten einer Produktionsanlage, um das Fremdgeräusch zu isolieren, bis zu ausgeklügelten Systemen, die simultane und korrelierte Messungen an mehreren Punkten in verschiedener Entfernung von der Schallquelle umfassen. Das gemessene Geräusch wird häufig mit einem DAT-Recorder (Digital Audio Tape) oder direkt auf einem PC aufgenommen, um die Schallquelle zu identifizieren und zu dokumentieren.

# Schallmessung

## Lärmmessungen

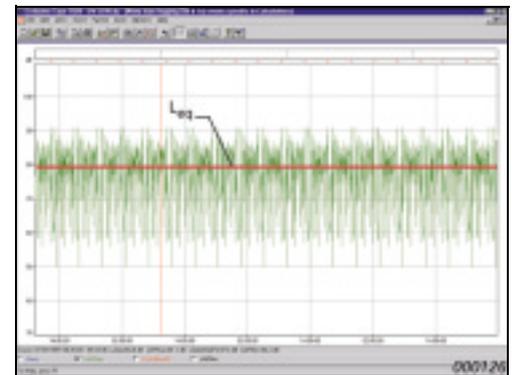
Objektive Schallpegelmessungen sind ein unverzichtbarer Teil eines jeden Lärmschutzprogramms. Umweltlärm kann sehr verschiedenartig sein – häufig ist er impuls- oder tonhaltig. Zusätzlich müssen Störungen durch Fremdgeräuschquellen – Hundegebell, Flugzeuge oder spielende Kinder – berücksichtigt werden.

Normen und Richtlinien legen fest, welche Parameter gemessen werden müssen. In den meisten Fällen schreiben sie auch vor, wie die Meßgeräte eingestellt und Faktoren wie meteorologische Bedingungen behandelt werden. Ferner gibt es bewährte Regeln. Das Ergebnis einer Lärmmessung ist niemals einfach eine Zahl wie 77 dB. Es ist der Wert für bestimmte Parameter oder Kenngrößen, die unter bekannten und dokumentierten Bedingungen ermittelt wurden.

## Bestimmung eines Mittelwerts

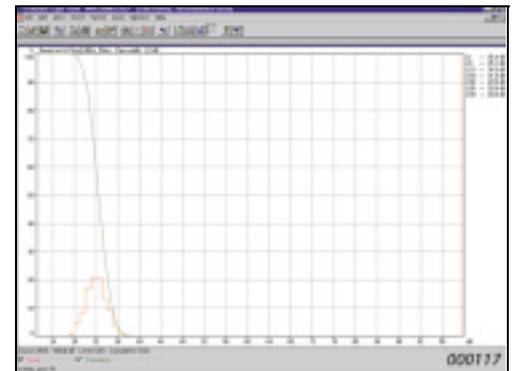
Um einen schwankenden Schallpegel in einem Wert zu erfassen, muß ein mittlerer Pegel bestimmt werden. Die Mittelung nach Augenmaß bei einem Drehspulinstrument gehört der Vergangenheit an. Der  $L_{A50}$  (der in 50% der Meßzeit überschrittene Pegel) wird heute nur selten als Mittelwert verwendet.

Der "äquivalente Dauerschallpegel" oder  $L_{eq}$  wird weltweit als entscheidender gemittelter Parameter anerkannt. Der  $L_{eq}$  repräsentiert denselben Energieinhalt wie der gemessene schwankende Schalldruckpegel (wenn dieser während der Meßdauer konstant gewesen wäre). Der  $L_{eq}$  wird mit integrierenden Schallpegelmessern direkt gemessen. Er stellt ein Maß für die mittlere Energie im schwankenden Schallpegel dar, aber er ist kein direktes Maß für die Lästigkeit. Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß der  $L_{eq}$  recht gut mit der Lästigkeit korreliert. Es ist jedoch z.B. einleuchtend, daß ein Schallpegel, der Mittwoch nachmittag akzeptabel ist, Sonntag früh lästig erscheinen kann. Deshalb können Korrekturen für die Tageszeit verwendet werden.



## Einsatz von Statistik

Die Analyse der statistischen Verteilungsfunktionen von Schallpegeln ist ein wertvolles Werkzeug. Sie liefert nicht nur nützliche Informationen über die Spannweite der Schallpegel, sondern wird auch in vielen Normen als Basis zur Ermittlung des Hintergrundgeräuschs verwendet. So wird  $L_{90}$ , der in 90% der Meßzeit überschrittene Pegel, als Kenngröße für Hintergrundgeräusch verwendet,  $L_{10}$  oder  $L_5$  dagegen zuweilen als Kenngrößen für Schallereignispegel.



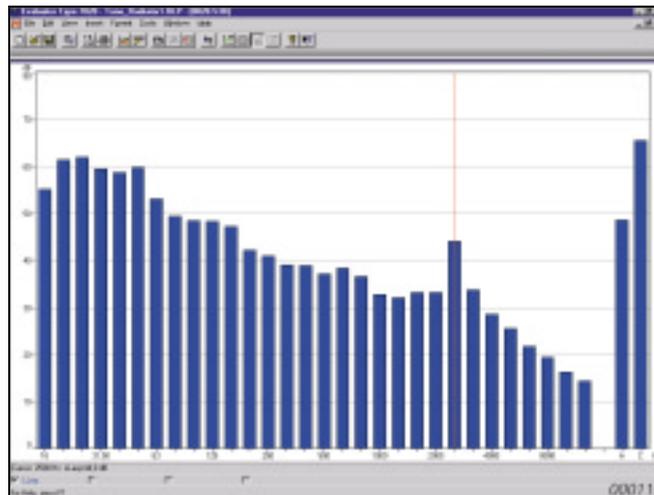
## Messung über 7 Tage oder zwei Stunden?

Ideal ist die Lärmmessung über die gesamte Bezugsperiode. Dies könnte Messungen über zwei Stunden oder Wochen bedeuten. Manchmal wird aus guten Gründen monate- oder jahrelang gemessen. In solchen Fällen werden protokollierte Werte (jede Sekunde, Minute oder Viertelstunde) verwendet, um den zeitlichen

Verlauf der Schallpegel zu ermitteln. Langzeitmessungen können jedoch kostspielig und schwierig zu realisieren sein. Deshalb begnügt man sich häufig mit der Messung repräsentativer Stichproben und faßt die Ergebnisse in einer kompletten Übersicht zusammen. Die lückenlose Auswertung auf der Basis repräsentativer Stichproben ist eine sehr mühsame Arbeit. Moderne Software kann diesen Prozeß automatisieren und präzise, zuverlässige Ergebnisse effizient und kostengünstig liefern. Wo Vorschriften jedoch absolute Höchstgrenzen für Pegel fordern, ist eine Dauerüberwachung der Schallpegel notwendig.

### Breitband oder Frequenzanalyse?

Der  $L_{eq}$  oder besser, der  $L_{Aeq}$  (der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel) ist der wichtigste Parameter. Breitbandmessungen, d.h. Messungen, die den gesamten hörbaren Frequenzbereich umfassen, erfolgen für Umweltlärm mit "A"-Frequenzbewertung. Die verwendete Frequenzbewertung sollte immer angegeben werden. Geräusche mit hervortretenden Einzeltönen, z.B. Lüfter, Kompressoren oder Sägen, wirken generell weit lästiger als andere Geräuschtypen. Diese Lästigkeit wird bei der Breitbandmessung nicht berücksichtigt. Dafür kann eine Spektralanalyse erforderlich sein. Reintöne können subjektiv erfaßt werden, da das menschliche Ohr Töne gut erkennt. Zur Unterstützung der subjektiven Bewertung können zusätzlich Terz- und Schmalbandanalysen durchgeführt werden. Auch an dieser Stelle ist die Normung, sowohl national als auch international über das Entwurfsstadium noch nicht herausgekommen.



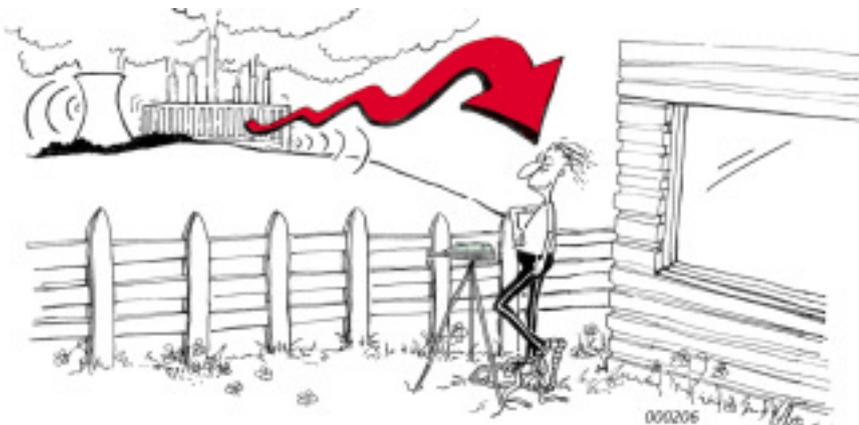
## Mikrofonstandort

Oft ist gesetzlich vorgeschrieben, wo die Messungen zu erfolgen haben, z.B. an Grundstücksgrenzen oder auf dem Grundstück eines Beschwerdeführers. Weitere Faktoren müssen bei der Messung berücksichtigt werden, da Schallpegel von der Höhe über dem Boden abhängen. Auch der Abstand zwischen Meßpunkt und Fassaden und Hindernissen spielt eine Rolle.

Die Beachtung dieser Forderungen bedeutet häufig für die Messungen:

- genügend Abstand von Fassaden
- genügend Abstand von Hindernissen
- bei Mitwind
- bei trockenem Wetter mit Windgeschwindigkeit unter 5 m/s
- mit dem Mikrofon 1,2 – 1,5 m über dem Bodenniveau

Messungen können jedoch auch an der Fassade oder anderen festgelegten Höhen erfolgen (die Europäische Union erwägt, 4 m als Standardhöhe einzuführen).



# Kalibrierung

## Ist Kalibrierung notwendig?

Es ist allgemein üblich, Schallpegelmesser vor und nach jeder Meßreihe mit einem akustischen Kalibrator zu kalibrieren.

Beim Kalibriervorgang wird die Empfindlichkeit des Meßgerätes bei einer bestimmten Frequenz und einem bestimmten Schalldruckpegel (meist 1 kHz und 94 dB) geprüft. Manche Anwender finden dies vielleicht übertrieben, da moderne Geräte und Mikrofone von Temperatur, Luftdruck und Feuchte nicht so stark beeinflußt werden. Obwohl dies für Spitzengeräte zutrifft, sollten aus drei Gründen stets Kalibrierdaten angegeben werden, abgesehen von orientierenden Messungen:

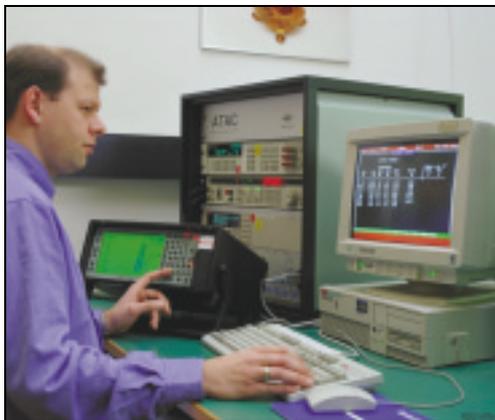
1. Kalibrierung sichert, daß die Arbeit eines Tages nicht vergebens war. Fehler am Meßwandler oder Gerät werden an Ort und Stelle entdeckt
2. Rechtsvorschriften und Normen fordern Kalibrierdaten
3. Extreme Umweltbedingungen können die Ergebnisse beeinflussen

Für den Fachmann gehören Schallpegelmesser und Kalibrator zusammen. Doch um präzise Ergebnisse über längere Zeit zu gewährleisten und für die Gültigkeit in Rechtssachen sind weitere Kalibrierungen und Prüfungen erforderlich.

## Kalibrierzeugnisse

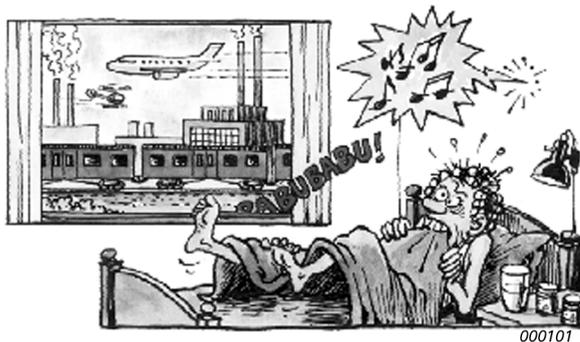
Alle seriösen Lieferanten von Schallmeßgeräten geben für jedes Gerät eine Konformitätserklärung (Certificate of Conformance, COC oder MCOC). Sie besagt, daß das Gerät die angegebenen technischen Daten einhält und relevante Normen erfüllt. Ein solches Zertifikat darf nicht mit einem Kalibrierzeugnis verwechselt werden. Die Kalibrierung eines Schallpegelmessers (oder eines Schallpegelkalibrators) beinhaltet eine umfassende Untersuchung, ob das Gerät die relevanten Normen erfüllt. Das Kalibrierzeugnis enthält alle Prüfergebnisse, Informationen zur Kalibrierunsicherheit, Ort und Umgebungsbedingungen der Kalibrierung und Angaben zur Rückführbarkeit. Es ist wichtig, daß alle Messungen auf relevante nationale oder internationale Normen rückführbar sind und das Kalibrierlaboratorium akkreditiert ist. Um dies sicherzustellen, wenden Sie sich an ein Laboratorium, das im Rahmen eines multilateralen Akkreditierungsabkommens anerkannt ist (z.B. European Accreditation). Schallpegelmesser und Kalibratoren für rechtsverbindliche Messungen von Umweltlärm müssen jährlich oder alle zwei Jahre durch ein akkreditiertes Kalibrierlaboratorium kalibriert werden.

Bei rechtsverbindlichen Messungen ist es in Deutschland notwendig, daß die verwendeten Geräte bauartgeprüft und alle zwei Jahre durch ein Eichamt geeicht werden.



# Beurteilungspegel – Lästigkeit und Zuschläge

Die Belästigung durch eine bestimmte Schallquelle wird individuell sehr unterschiedlich beurteilt und hängt auch von vielen nichtakustischen Faktoren ab wie die Auffälligkeit der Schallquelle, ihre wirtschaftliche Bedeutung für den Zuhörer und seine persönliche Haltung zum Geräusch. Seit vielen Jahren versuchen Akustiker, dies zu quantifizieren, um eine objektive Erfassung der Belästigung zu ermöglichen und sinnvolle Grenzwerte einzuführen. Wenn zahlreiche Menschen betroffen sind, ähneln die Reaktionen einer Verteilung um einen Mittelwert. Der Beurteilungspegel ( $L_r$ ) wurde als Parameter entwickelt, der die von der Durchschnittsbevölkerung empfundene Lästigkeit eines Geräusches in Form einer Zahl ausdrücken soll.



Quelle: Nationales dänisches Verbraucherzentrum

Der Beurteilungspegel ist in der ISO 1996–2 definiert (siehe Abschnitt über internationale Normen). Grundsätzlich handelt es sich um ein Maß für die Lärmbelastung mit Korrekturfaktoren für Einwirkungen, die besonders lästig sind. Der Beurteilungspegel wird verwendet, um Meßwerte mit Grenzwerten zu vergleichen, die meist vom Verwendungszweck des untersuchten Gebäudes abhängen (siehe Abschnitt über Erfassung). Grundparameter ist der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel oder  $L_{Aeq}$ .

Die Formel für den Beurteilungspegel (in allgemeiner Form):

$$L_r = L_{Aeq} + K_I + K_T + K_R + K_S$$

mit:

$K_I$  als Impulszuschlag

$K_T$  als Zuschlag für Töne und Komponenten mit Informationsinhalt

$K_R$  als Zuschlag für die Tageszeit

$K_S$  als Zuschlag (positiv/ negativ) für bestimmte Schallquellen und Situationen

ISO 1996-2 legt fest, daß der Beurteilungspegel über Bezugszeitintervalle ermittelt werden muß, die von der Charakteristik der Schallquelle(n) und Immissionspunkte abhängen. Diese Bezugszeitintervalle sind oft in nationalen/örtlichen Rechtsvorschriften und Normen festgelegt. Obwohl die Messung und Bewertung der Zuschläge von Land zu Land unterschiedlich ist, stimmt das Grundprinzip überein und soll im nächsten Abschnitt erläutert werden.

### Soundscapes – umweltbezogene Sound Quality

Die gegenwärtige Forschung zur Beziehung zwischen Schallquellen und den durch sie ausgelösten Reaktionen befaßt sich mit vielen Themen, darunter dem Konzept des Klangbilddesigns, wobei subjektiv angenehme Klangbilder im städtischen Lebensraum auf ähnliche Weise mit physikalischen Parametern verglichen werden wie bei der Optimierung von Produktgeräuschen.

Soundscape-Design kombiniert die Talente von Wissenschaftler, Sozialwissenschaftlern, Architekten und Stadtplanern. Es wird versucht, Prinzipien zu definieren und Verfahren zu entwickeln, durch die sich die Qualität der akustischen Umwelt oder "Klanglandschaft" verbessern läßt. Dies kann die Eliminierung bestimmter Geräusche bedeuten (Geräuschkämpfung), die Bewahrung bestimmter Klänge (Soundmarks) und die Kombination und Abstimmung von Klängen, um eine attraktive und stimulierende akustische Umwelt zu gestalten.



# Erfassung (Grenzwerte)

## Beurteilungspegel $L_r$ – Wieviel ist zu viel?

Internationale Normen beschreiben, wie der Beurteilungspegel  $L_r$  zu ermitteln ist, doch sie legen keine rechtsverbindlichen Grenzwerte fest. Diese werden durch die Länder oder örtliche Behörden reguliert. Unterschiedliche Lebensweise, Klima (Aktivitäten im Freien, offene oder geschlossene Fenster) und Bauweisen machen die internationale Harmonisierung von Lärmgrenzwerten unmöglich.



*Literatur für diesen Abschnitt: Regulations for Community Noise, Dieter Gottlob, Noise/News International, Dezember 1995*

Beispiel für die Anwendung von Lärmschutzzonen						
Zone	Planung		Änderungen		Alarm	
	Tag Grenze	Nacht Grenze	Tag Grenze	Nacht Grenze	Tag Grenze	Nacht Grenze
Erholung	50	40	55	45	65	60
Wohngebiet	55	45	60	50	70	65
Mischgebiet	60	50	65	55	70	65
Industrie	65	55	70	60	75	70

## Drei Anwendungen für Grenzwerte

Beispielsweise verwendet die nationale Rechtsvorschrift in der Schweiz drei Arten von Grenzwerten:

1. Planungswerte für neue industrielle, Verkehrs- oder Wohngebiete
2. Grenzwerte für Änderungen oder Neuinstallationen in Wohngebäuden
3. Alarmwerte, um Gebiete auszuweisen, wo Lärmschutz besonders dringlich ist

Schutzzonen (siehe Abbildung) mit unterschiedlichen Grenzwerten je nach Art und Verwendungszweck bestimmter Gebiete werden universell angewendet.

## Zwei Typen von Grenzwerten

Die meisten Länder verwenden absolute Grenzwerte. Man vergleicht den Beurteilungspegel  $L_r$  mit einem festen Grenzwert, z.B. 50 dB(A).

Relative Grenzwerte werden z.B. in Großbritannien verwendet. Man vergleicht den Beurteilungspegel  $L_r$  mit dem Hintergrundgeräusch, gemessen als  $L_{AF90}$ .

## Industrielärm

Fast alle Länder verwenden den Beurteilungspegel  $L_T$  gemäß ISO 1996 zur Erfassung von Industrielärm. Japan verwendet jedoch den  $L_{50}$  und Belgien den  $L_{95}$ . Der Grenzwert liegt normalerweise um 50 – 55dB(A). Oft unterliegen diese Grenzwerte auch noch der Nutzungsart des betreffenden Gebietes. So können diese Richtwerte auch bei nachts 35 dB(A) außen und 25 dB(A) innen liegen.

**Der Beurteilungspegel  $L_T$  wird aus dem  $L_{Aeq}$  berechnet.** Dies ist der äquivalente, A-bewertete Dauerschalldruckpegel, korrigiert durch die Zuschläge  $K_T$  für tonale Komponenten und  $K_I$  für Impusllärm.

Die **Bezugsperiode** unterscheidet sich in den Ländern. Manche verwenden einfach Tag und Nacht, andere kombinieren Tag und Nacht, wieder andere verwenden auch Ruheperioden. Für jede Bezugsperiode wird ein bestimmtes Verfahren verwendet

Einige Länder verwenden eine **lauteste Periode**, um intermittierenden Lärm härter zu bewerten. Je nach Land kann diese Periode von 5 Minuten bis zu einer Stunde lang sein.

Bezugsperioden			
Land	Tag	Abend	Nacht
	(lauteste Periode)	(lauteste Periode)	(lauteste Periode)
Österreich	6–22 (8 h)		22–6 (0,5 h)
Belgien	1 h	1 h	1 h
Kanada	7–23 (1 h)		23–7 (1 h)
Dänemark	7–18 (8 h)	18–22 (1 h)	22–7 (0,5 h)
Frankreich	7–20	6–7 20–22	22–6
Deutschland	6–22 (16 h)	Werktags: 6–7, 20–22 Wochenende: 6–9, 13–15, 20–22	22–6 (1 h)
Hongkong	7–23 (0,5 h)		23–7 (0,5 h)
Italien	6–22		22–6
Korea	6–18 (8 h)	18–24 (4 h)	24–6 (2 h)
Niederlande	7–19	19–23	23–7
Schweden	7–18	18–22	22–7
Schweiz	7–19		19–7
Großbritannien	7–23 (1 h)		23–7 (5 min)



000112

Der **Zuschlag für tonale Komponenten** variiert zwischen 0 dB (kein Zuschlag) und 6 dB. Manche Länder verwenden einen einheitlichen Zuschlag von 5 dB, andere hingegen zwei oder mehr Stufen. In den meisten Fällen wird die Anwesenheit von Tönen subjektiv ermittelt, doch objektive Methoden gewinnen an Bedeutung. Sie beruhen auf Terzband- oder FFT-Analyse (Fast Fourier Transformation).

Der **maximale Impulszuschlag** variiert zwischen den Ländern um bis zu 7 dB, wobei subjektive und objektive Methoden angewendet werden. Objektive Verfahren beruhen häufig auf der Differenz zwischen einem schnell reagierenden und einem langsamer reagierenden Meßparameter (z.B. zwischen A-bewerteten Pegeln mit den Zeitbewertungen Impulse und Fast). Es werden jedoch auch Bewertungen nach dem Schallquellentyp mit Hilfe einer Liste von Schallquellen (wie Hämmern, Sprengstoffe, etc.) vorgenommen.

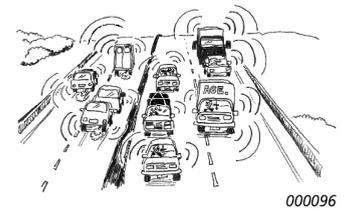
In Deutschland wird der Impulszuschlag aus der Differenz zwischen dem  $L_{Aeq}$  und dem nach dem Taktmaximalverfahren ermittelten  $L_{AFTeq}$  gebildet. Bei Auftreten einer Differenz zwischen den beiden unterschiedlichen Mittelungsverfahren entscheidet der Meßingenieur subjektiv, ob diese Differenz als Impulszuschlag angewendet wird.

Zuschläge für Tonalität und Impulshaltigkeit		
Land	$K_T$ dB	$K_I$ dB
Australien	2 oder 5	2 oder 5
Österreich	3 oder 6	3 wenn $L_{AIMax} - L_{AFMax} < 2$ dB 5 wenn $L_{AIMax} - L_{AFMax} \geq 2$ dB
Belgien	–	$L_{AIMax} - L_{AFMax}$ wenn $\geq 4$ dB
Dänemark	5	5
Frankreich	5	3, 5 oder 10 je nach Dauer und $L_{AFMax} - L_{Aeq}$
Deutschland	3 oder 6	$L_{AFTeq} - L_{Aeq}$
Hongkong	3 oder 6	3
Korea	–	5
Niederlande	5	5
Schweiz	2, 4 oder 6	2, 4 oder 6
Großbritann.	5	5

## Straßenverkehrslärm

Straßenverkehr ist in allen Ländern die am meisten verbreitete Lärmquelle und die häufigste Ursache für Belästigung und Konflikte. Maßnahmen zur Minderung von Straßenlärm haben deshalb höchste Priorität.

Grenzwerte für Straßenlärm				
Land	Kenngröße	Tag Grenze	Abend Grenze	Nacht Grenze
Australien	$L_{10, 18h}$	60		55
Österreich	$L_{Aeq}$	50–55		40–45
Kanada	$L_{Aeq}$	5		50
Dänemark	$L_{Aeq, 24h}$	55		
Frankreich	$L_{Aeq}$	60–65		55–57
Deutschland	$L_r$	50–55		40–45
Niederlande	$L_{Aeq}$	50	45	40
Spanien	$L_{Aeq}$	60		50
Schweden	$L_{Aeq, 24h}$	55		
Schweiz	$L_r$	55		45
Großbritannien	$L_{Aeq}$	55		42



**Bevorzugte Kenngröße ist der  $L_{Aeq}$ .** Daneben werden auch der Beurteilungspegel  $L_r$  und die Perzentilpegel  $L_{10}$  und  $L_{50}$  verwendet.

Bei dichtem Verkehr kann davon ausgegangen werden, daß  $L_{10}$  ca. 3 dB über  $L_{Aeq}$  liegt und  $L_{50}$  ca. 1 – 2 dB darunter. Die Erfassung erfolgt mit länderspezifischen Bezugsperioden. Die Spannweite reicht von einer 24-Stunden-Periode bis zu drei separaten Intervallen für Tag, Abend und Nacht. Generell sind die nächtlichen Grenzwerte am schwierigsten einzuhalten. Die Tabelle zeigt Planungsgrenzwerte für neue Straßen in verschiedenen Ländern. Viele der Grenzwerte liegen über dem von der WHO (Weltgesundheitsorganisation) empfohlenen Pegel von 50 – 55 dB(A), so daß fast überall eine Ausbreitung von "Grauzonen" unvermeidlich ist.

## Schienenverkehrslärm

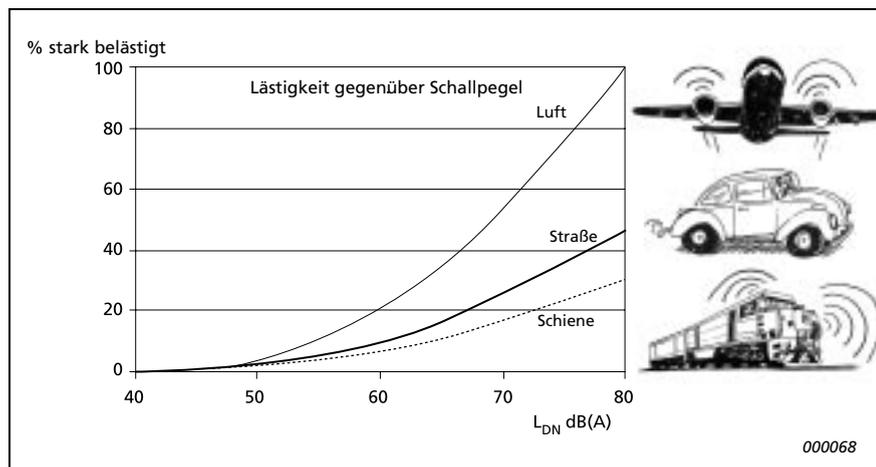
Wie beim Straßenlärm ist  $L_{Aeq}$  auch die bevorzugte Kenngröße für Schienenlärm. In manchen Ländern werden aus dem  $L_{Aeq}$  Beurteilungspegel berechnet, indem (meist) 5 dB subtrahiert werden, der sogenannte Schienenbonus.

In Japan wird der  $L_{ASmax}$  für die Hochgeschwindigkeitsbahn Shinkansen verwendet. Allgemein hat die Verwendung von Maximalpegeln als einzigem Grenzwert den Nachteil, daß die Anzahl der Züge vernachlässigt wird.

Die Erfassung erfolgt mit länderspezifischen Bezugsperioden. Die Spannweite reicht von einer 24-Stunden-Periode bis zu drei separaten Intervallen für Tag, Abend und Nacht.

Die Lärmgrenzwerte für neue Strecken in Wohngebieten variieren zwischen 60 und 70 dB. In manchen Ländern geht der Schienenbonus in die Grenzwerte ein.

Der Schienenbonus basiert auf Befragungen in mehreren Ländern, bei denen die Lästigkeit von Straßen- und Schienenverkehr verglichen wurde. Der Effekt ist bei höheren Pegeln stärker ausgeprägt.



Das Diagramm hierüber zeigt die Dosis-Wirkungs-Beziehungen für Luft-, Schienen- und Straßenverkehr. Die Prozentzahl stark belastigter Personen ist gegen den  $L_{DN}$ -Pegel aufgetragen ( $L_{Aeq}$  mit 10 dB-Zuschlag für hohe Belastungen nachts zwischen 22:00 und 07:00). Die Abbildung illustriert die geringere Lästigkeit des Schienenlärms und die höhere Lästigkeit des Fluglärms verglichen mit Straßenlärm beim gleichen  $L_{DN}$ -Wert. Wegen der großen Streuung der Datengrundlage dient das Diagramm nur zur Veranschaulichung.

## Fluglärm

Wichtigstes Hilfsmittel zur Lärmkontrolle auf Flughäfen ist die Einteilung in Lärmzonen für Flächennutzungs-, Planungs- und Lärmschutzprogramme. Lärm von Verkehrsflugzeugen stellt nur in der Umgebung von Flughäfen ein Problem dar, da dort eine Häufung von Maschinen in geringer Höhe und mit hoher Triebwerkleistung auftritt. Erhöhtes Flugaufkommen und Ausbreitung der Städte wird die Lärmprobleme verschärfen, während Lärminderung am Flugzeug und Verkehrseinschränkungen sie vermindern können. Als letzter Ausweg können existierende Wohnungen durch verbesserte Fenster und Dächer geschützt werden.

Lärmkonturen in der Umgebung eines Flughafens, berechnet mit INM (Integrated Noise Modelling) auf der Basis vorliegender Schallmessungen.

- 55 – 60 dB = Hellblau
- 60 – 70 dB = Dunkelblau
- 70 – 75 dB = Rot
- 75 – 80 dB = Grün
- 80 – 85 dB = Gelb
- > 85 dB = Pink

**Lärmkonturen** werden verwendet, um Ausmaß und Ort von Problembereichen zu zeigen. Die gezeigte Zahl bedeutet den in der jeweiligen Kontur überschrittenen Schallpegel. Auf einer Karte überlagert und mit Grenzwerten verglichen, zeigen sie Bereiche an, in denen Lärminderung erforderlich ist.

**Lärmteppiche** zeigen die Lärmkonturen für ein bestimmtes Flugzeug oder Flugzeugtyp. Lärmteppiche können aus Geräuschdaten für einzelne Flugzeuge berechnet werden, unter Berücksichtigung von Flugweg, Betriebsweise und Landschaftsform. Sie dienen zur Erfassung der gegenwärtigen und projektierten Lärmeinwirkung und helfen bei der Planung von Lärmschutzmaßnahmen.



Schutzzone für Fluglärm			
Land	Keine Einschränkung	Schalldämmung	Keine neuen Wohnungen
Australien	<53	53 – 58	> 58
Kanada	≤57	60 – 62	> 68
China	≤54		
Dänemark	≤51	>61	> 51
Frankreich	<62	62 – 71	
Deutschland	<62	67 –75	> 75
Japan	<54	>69	
Niederlande	≤50	53 – 60	> 50
Neuseeland	≤52	52 – 62	> 62
Norwegen	≤55	55 – 65	> 55
Schweden	<51		
Schweiz		62 – 72	> 62
Großbrit.	≤55	55 – 64	> 70
USA	≤62		> 72
<i>Hinweis:</i>	<i>Alle Grenzwerte als <math>L_{Aeq, 24h}</math></i>		

# Der Messbericht

Zu den am meisten unterschätzten Aspekten bei der Lärmbewertung gehört die Berichterstellung. Allzu oft werden nur wenige Daten, z.B. einzelne dB-Werte, angegeben. Das erschwert die Interpretation, da wichtige Informationen fehlen. Wie ausführlich ein Bericht sein muß, hängt von seinem Verwendungszweck ab. Ein vollständiger, stimmiger Bericht erfordert die sorgfältige Beachtung der aktuellen Bedingungen, unter denen die Messung erfolgt.

Normen und Richtlinien sind eine große Hilfe beim Erstellen von Meßberichten. Die folgenden Normen stecken den Rahmen für notwendige und wünschenswerte Informationen ab.

## **Gemäß ISO 1996 muß folgendes angegeben werden:**

- Ergebnisse
- Meßverfahren
- Typ der verwendeten Meßgeräte
- Vorgehensweise bei der Messung
- Verwendete Berechnungen
- Vorherrschende Bedingungen
- Atmosphärische Bedingungen (Windrichtung und -geschwindigkeit, Regen, Temperatur, Luftdruck, Feuchte)
- Art/Zustand des Bodens zwischen Schallquelle und Immissionspunkt
- Veränderlichkeit der Schallquelle
- Kalibrierdaten
- Meßdatum, Zeit von Meßbeginn und -ende
- Anzahl der durchgeführten Messungen
- Beschreibung der untersuchten Schallquellen

## **Darüber hinaus werden folgende weitere Angaben empfohlen:**

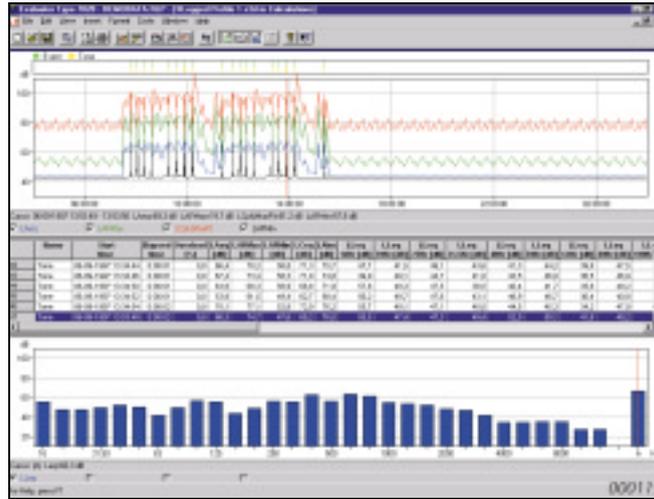
- Zweck der Messung
- Verwendete Norm
- Verwendete Ausrüstung, einschließlich Seriennummern
- Karte mit den Positionen der Schallquellen, relevanten Objekte und Immissionspunkten

Es ist auch wichtig, den Bericht in einem leicht verständlichen, lesbaren Stil zu schreiben. Je nach Zielgruppe kann die Anwendung von Grafik, Skizzen und Abbildungen manchmal helfen, die Daten zu erläutern. In anderen Fällen können Text und Abbildungen ausreichen.



000175

Wenn Sie zahlreiche Meßberichte erstellen, ist das sorgfältige Archivieren der Daten sehr wichtig. Strukturierte Verwaltung kann entscheidend sein, wenn frühere Daten eingelesen werden sollen, um mit neuen verglichen zu werden. Mehrere professionelle PC-Softwarepakete erfüllen die Anforderungen an moderne Verwaltung. Datenimport von Meßgeräten, Vorbereitung strukturierter Berichte, einfaches Archivieren und Einlesen von Daten und Funktionen zum direkten Drucken und Exportieren werden durch diese Programme erleichtert und sparen dem Akustiker wertvolle Zeit.



Schallpegel an einem Immissionspunkt können berechnet werden, anstelle sie zu messen. Auch die Schallausbreitung von einem Meßpunkt zu einem anderen kann berechnet werden.

In folgenden Fällen ist die Berechnung vorzuziehen oder sogar die einzig mögliche Methode:

- wenn die zu messenden Pegel durch starkes Hintergrundgeräusch beeinflusst werden, z.B. Ermittlung des Lärms einer Industrieanlage in der Nähe einer verkehrsreichen Straße
- wenn zukünftige Schallpegel vorausgesagt werden sollen
- wenn alternative Szenarien für neue Projekte und Lärminderungsmaßnahmen verglichen werden sollen
- wenn Lärmkonturkarten erstellt werden sollen
- wenn der Zugang zum Meßort begrenzt ist

Die Berechnung erfolgt gewöhnlich nach einem anerkannten Standardalgorithmus gemäß einer Norm, die in der Regel national oder nach Industriezweig definiert ist und oft vom Schallquellentyp abhängt.

Viele Algorithmen sind quellenbezogen und lassen sich deshalb nur auf bestimmte Schallquellen anwenden. Eine Ausnahme bildet die international anerkannte Norm ISO 9613, die Pegel an Immissionspunkten auf der Basis der Schalleistungspegel bekannter Schallquellen bestimmt. Dadurch ist die Norm unabhängig vom Schallquellentyp (obwohl es Einschränkungen hinsichtlich stark impulshaltiger und sich rasch bewegender Quellen gibt).

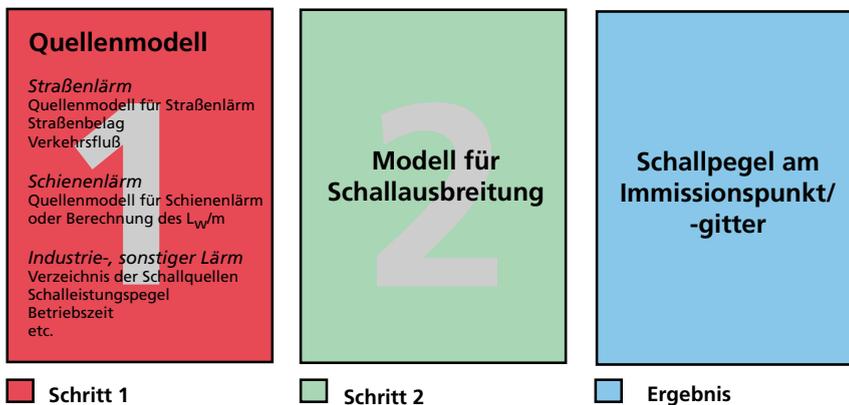
Die Algorithmen wurden in der Regel durch zahlreiche Messungen und für mehrere Prüfzenarien verifiziert und erreichen Genauigkeiten (Unsicherheit) von 3 dB, vergleichbar mit denen von Messungen.

# Berechnung von Schallpegeln (Lärmprognose)



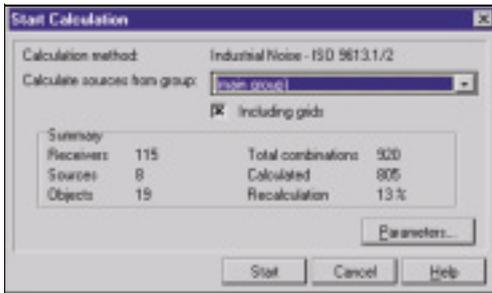
000088

Die Berechnung von Schallpegeln an einem Immissionspunkt oder von einem Punkt zum andern erfordert häufig einen Rechner wegen der großen Datenmengen, die in realen Situationen anfallen

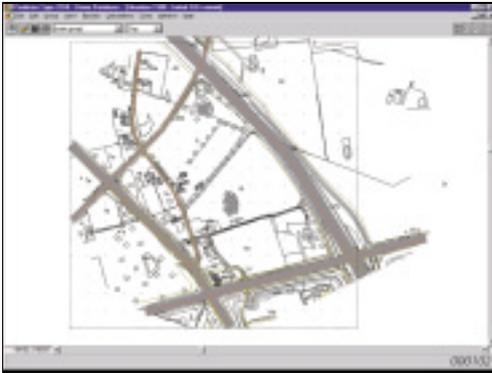


000128

Die Algorithmen beruhen alle auf einem zweiteiligen Modell – in einem Teil wird die Schallquelle modelliert, im andern die Ausbreitung von einem Bezugspunkt zum gewünschten Punkt, um Schallpegel an diesem Punkt zu ermitteln



*Berechnung des Schallpegels an 115 Immissionspunkten von 8 Schallquellen erfordert 920 Teilberechnungen bei jeder Frequenz und für jeden Dämpfungsausdruck*



*Das einfache Modell einer Autobahnkreuzes zeigt Straßen-Schallquellen, akustisch harte Bodenregionen, topographische Konturen und Immissionspunkte an Gebäudefassaden*

Obwohl komplexe Verfahren zur Verfügung stehen, werden in den Normen meist empirische Algorithmen verwendet, die auf einfachen physikalischen Regeln beruhen. Oft würden Stift und Papier ausreichen. Doch bei der meist großen Zahl von Berechnungspunkten und Quellen werden Rechner verwendet – dies bedeutet schnellere Berechnung, Analyse, Präsentation und Berichterstellung.

Berechnungen erfolgen anhand eines Computermodells der Umgebung mit definierten Schallquellen, Topographie und Merkmalen, welche die Schallausbreitung zu den gewünschten Immissionspunkten beeinflussen. Nachdem in das Modell ein oder mehrere Berechnungspunkte eingegeben wurden, läßt man den Computer die Schallpegel im Modell berechnen. Normalerweise werden  $L_{Aeq}$ -Langzeitpegel berechnet, manchmal auch Oktavpegel.

## Die Algorithmen

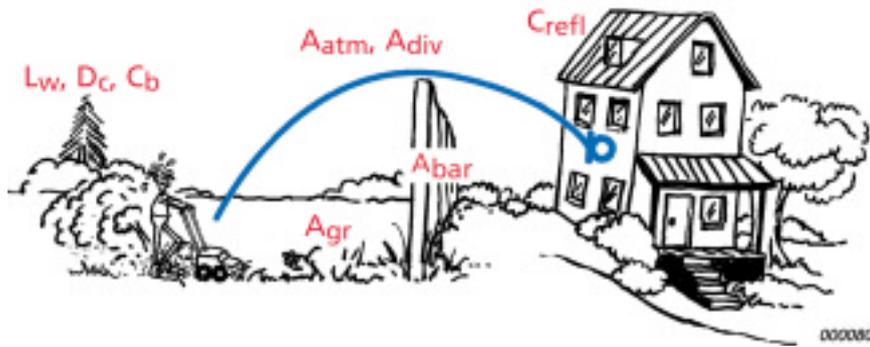
Die Algorithmen sind prinzipiell einfach zu verstehen. Der an einem definierten Punkt durch eine Schallquelle bestimmter Stärke verursachte Schalldruckpegel kann durch folgende Gleichung bestimmt werden:

$$L_p = L_W + D_c + C_b - A_{\text{propagation}}$$

mit:

$L_p$	Äquivalenter Schallpegel am Immissionspunkt in dB
$L_W$	Schalleistungspegel der Schallquelle in dB (ref = 1 pW)
$D_c$	Richtungskorrektur in dB, wenn die Schallquelle den Schall nicht gleichmäßig in alle Richtungen abstrahlt
$C_b$	Korrektur in dB, wenn die Schallquelle nicht immer in Betrieb ist. Zum Beispiel nimmt der Langzeitpegel um 3 dB ab, wenn die Schallquelle täglich 12 Stunden aktiv ist
$A_{\text{propagation}}$	Ausbreitungsdämpfung in dB

Der Dämpfungsausdruck kann in mehrere rein physikalische Effekte aufgeteilt werden, siehe die folgende Abbildung:



Die einzelnen Algorithmenausdrücke und wo sie auftreten

Der Dämpfungsausdruck kann in mehrere rein physikalische Effekte aufgeteilt werden, siehe die folgende Abbildung:

$$A_{\text{propagation}} = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{gr}} + A_{\text{bar}} + A_{\text{misc}} + C_{\text{refl}}$$

wobei:

$A_{\text{div}}$	Dämpfung durch geometrische Streuung
$A_{\text{atm}}$	Dämpfung durch Luftabsorption
$A_{\text{gr}}$	Dämpfung durch Bodenabsorption/Reflexion
$A_{\text{bar}}$	Dämpfung durch Freifeld-Beugung an einer Wand
$A_{\text{misc}}$	Dämpfung durch sonstige Effekte (witterungsbedingt, Streuung durch komplexe akustische Strukturen wie Rohrleitungen)
$C_{\text{refl}}$	Korrektur durch den Beitrag von Reflexionen

Alles dies kann als Gesamtpegel (dB(A)) oder in Oktavpegeln berechnet werden, die zu einem Gesamtpegel aufsummiert werden. Allgemein sind Oktavbandberechnungen präziser und nützlicher für die nachfolgende Analyse und eventuelle Lärmschutzmaßnahmen.

## Nachweis der Gültigkeit sichert optimale Genauigkeit

Wie die Messungen sollten auch Berechnungen kalibriert werden. Dafür sind in der Regel gültige Messungen bestimmter Art an gewählten Positionen auszuführen, wo die gemessenen Pegel mit den berechneten verglichen werden können.

Im Gegensatz zu Messungen wird die Kalibrierung erst nach der ersten Berechnung durchgeführt und dazu verwendet, die Ergebnisse bis zur optimalen Genauigkeit zu verfeinern.

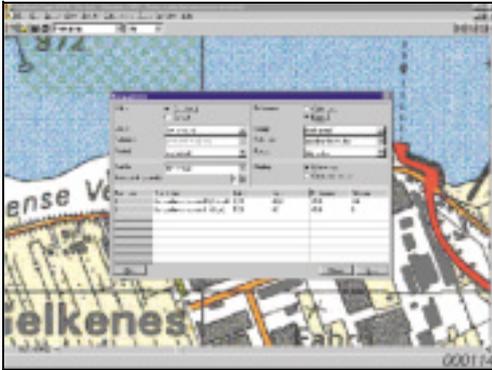
Es muß sorgfältig darauf geachtet werden, daß die Betriebszeit der Schallquelle bei Messung und Berechnung übereinstimmt. Die Berechnung verwendet normalerweise eine meteorologische Langzeitkorrektur für den Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$ . Der Vergleich zwischen Messung und Berechnung sollte jedoch unter stabilen Wetterbedingungen bei Windrichtung von der Quelle zum Immissionspunkt (Mitwind) erfolgen. Messungen an nur einem Tag können systematische Fehler ergeben, verursacht durch nichtrepräsentative Windbedingungen und den Zustand der Bodenbedeckung. Der Fehler kann bis zu 10 dB betragen. Außerdem sind gemessene Daten nicht quellspezifisch und enthalten Beiträge anderer Schallquellen als der untersuchten. Deshalb wird eine längere Überwachung und die Nachverarbeitung der Ergebnisse empfohlen, um unerwünschte Beiträge auszuschließen.

In manchen Fällen, z.B. beim Untersuchen möglicher Szenarien, ist die Bewertung mit Messungen nicht möglich. Hier ist eine sorgfältige Analyse der Ergebnisse oder der Vergleich mit ähnlichen Situationen erforderlich, um die optimale Genauigkeit zu erreichen.

## Genauigkeit

Die Genauigkeit einer Berechnung hängt von mehreren Faktoren ab. Die wichtigsten sind Szenario, Pegel, Bereich, Eingangsgrößen und Können des Anwenders. Algorithmen sind für bestimmte Szenarien optimiert. So beruhen Berechnungsnormen für Straßen- und Schienenverkehr auf nationalen Datenbanken der Verkehrslärmemissionen, deren Wert in anderen Ländern begrenzt sein kann, wo z.B. Alter und Zusammensetzung der Fahrzeuge und Fahrweise/Einsatzbedingungen unterschiedlich sind. Deshalb kann die Genauigkeit für berechnete Schallpegel variieren, wobei der Pegelbereich mit der optimale Genauigkeit schmaler oder breiter sein kann. Bei den meisten Algorithmen ist für Genauigkeit über einen großen Schallpegelbereich gesorgt.

Ein größeres Problem ist die Qualität der Eingangsdaten, da die Genauigkeit der Ergebnisse stark davon abhängt. Topographische Daten, Schalleistungspegel von Maschinen und Verkehrsflußdaten sind mit Sorgfalt zu behandeln.



*Meßergebnisse verbesserten das Modell, so daß die mittlere Differenz unter 2 dB liegt und die maximale Differenz bei 2,6 dB*



Mit Hilfe aktueller GIS- oder AutoCAD-Dateien für topographische Daten, Messung von Schalleistungspegeln vor Ort und Verkehrsflußzählungen an ausgewählten Kontrollpunkten läßt sich das Fehlerrisiko einschränken. Schließlich spielen Qualifikation und Erfahrung des Anwenders in bezug auf die Messung und den Algorithmus eine wichtige Rolle bei der Optimierung der Ergebnisse.

Bei korrekter Anwendung innerhalb der Szenarien, für die sie bestimmt sind, sichern die Algorithmen Gesamtgenauigkeiten innerhalb von 3 dB.



## Berechnung im Vergleich zur Messung

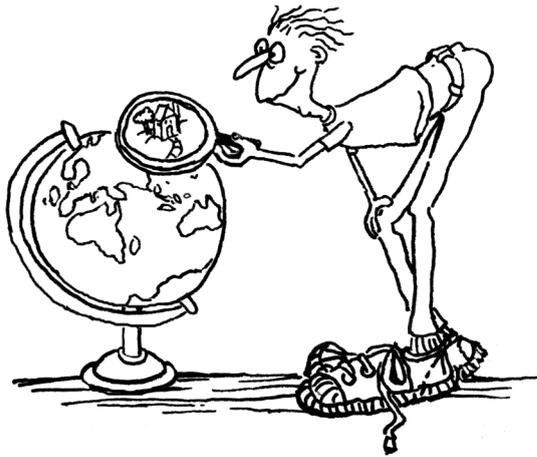
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ausführliche Informationen zu kritischen Schallquellen an vielen Positionen</li><li>• Unabhängig von meteorologischen Bedingungen</li><li>• Bewertung von Hypothesen</li><li>• Einfach zu aktualisieren</li><li>• Weniger empfindlich gegenüber Hintergrundgeräusch</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Umfangreiche Datensammlung (Geräuschdaten und Geometrie)</li><li>• Ergebnisgenauigkeit in stärkerem Maße abhängig von akustischen Kenntnissen und Erfahrung mit Modellierung</li></ul>



Berechnungen können – wie Messungen – zur Erfassung von Umweltlärm verwendet werden. Weitere Anwendungen umfassen die Bestimmung auffälliger Schallquellen zwecks Lärminderung, Untersuchung der Wirkung künftiger Änderungen in der akustischen Umgebung und Lärmkartierung (siehe nächster Abschnitt über Planung).

Planung ist ein wichtiger Teil des städtischen Lärmschutzes und kann auf zwei Ebenen betrachtet werden:

- Global – die akustische Situation eines großen Gebietes wird kontinuierlich kontrolliert, um zu verhindern, daß Lärmprobleme entstehen und um den Einsatz der begrenzten Ressourcen zu optimieren
- Lokal – einzelne Projekte werden vor ihrer Implementierung bewertet. Dies wird in der Regel als Umweltverträglichkeitsprüfung bezeichnet und häufig als Basis für Genehmigungsverfahren verwendet oder auch für strategische Lärmkarten zur Optimierung der Lärmkontrolle



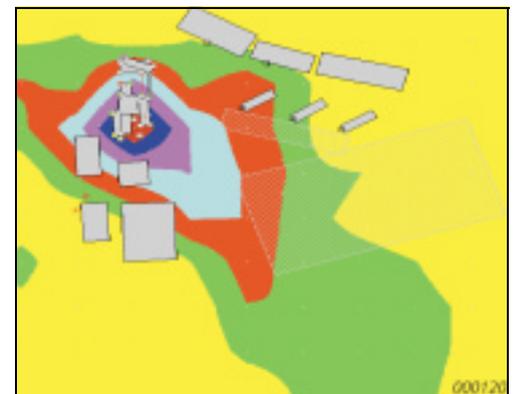
000099

## Lokal

In vielen Ländern muß eine Umweltverträglichkeitsprüfung erfolgen, bevor z.B. eine Planungsgenehmigung für eine neue Fabrik oder eine Autobahnerweiterung erteilt wird. Oft wird gefordert, das Überschreiten eines festen Grenzwertes zu verhindern oder Lärmwirkung und andere Umweltfaktoren gegenüber den sozial-ökonomischen Vorteilen des Projektes abzuwägen. Dies kann zu alternativen Vorschlägen führen, um den Lärmschutz vor der Genehmigung zu optimieren.

Zu den Werkzeugen für die Erfassung der Lärmwirkung gehören:

- Lärmkarten
- Berechnung einer bewerteten Lärmkennziffer
- Ermittlung der Kosteneffektivität und Wirkung von Schallschutzmaßnahmen
- Tabelle der Lärmbetroffenen und der Grad ihrer Betroffenheit



Lärmkarte über einen Industriekomplex

## Lärmkennziffern

Lärmkennziffern quantifizieren die Belästigung, denen Einwohner durch die zu untersuchende Lärmquelle ausgesetzt sind. Die Kennziffer kann so aufgebaut werden, daß der Wert 0 akzeptable Pegel bedeutet (alle Pegel liegen unter den empfohlenen Grenzwerten). Ein Beispiel bildet die dänische Vorschrift für neue Straßen.

*Eine Lärmkennziffer wird durch Multiplikation der Einwohnerzahl mit der Lärmexposition berechnet. Gezeigt wird ein hypothetisches Beispiel, das einen Index von 170 ergibt*

1	2	3	4
L <sub>DEN</sub>	Expos. faktor	Personen (1000)	Bevölkerungs-expos. (2 × 3)
< 45	0.0	20	0
46 – 50	0.1	30	3
51 – 55	0.2	40	8
56 – 60	0.4	65	26
61 – 65	0.8	60	48
66 – 70	1.5	20	30
71 – 75	3.0	10	30
< 76	5.0	5	25
<b>TOTAL</b>		<b>250</b>	<b>170</b>

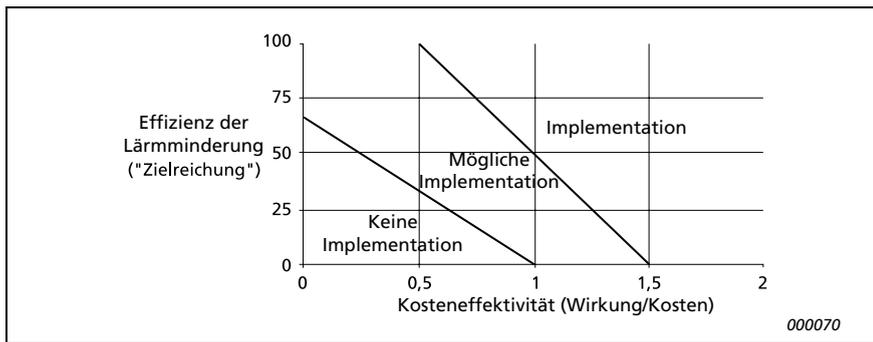
Um eine typische Lärmkennziffer zu berechnen, werden die Grundstücke im untersuchten Gebiet nach Nutzung (z.B. Wohn-, Gewerbe- oder Industriebereich) gruppiert und Schallpegeln in 5 dB-Kategorien zugeordnet. Die Anzahl der Grundstücke in jeder Kategorie ist mit einem Lästigkeitsfaktor zu multiplizieren. Je höher der Schallpegel, desto größer der Lästigkeitsfaktor.

Die Addition der obigen Kennziffern für die einzelnen Klassen führt zu einer bewerteten Lärmkennziffer, die verwendet werden kann, um die Lärmwirkung des Projekts zu erfassen und Alternativen zu vergleichen. Je niedriger die Lärmkennziffer, desto umweltfreundlicher (bezogen auf Lärmschutz) ist das Projekt.

Manche Kennziffern verwenden die Anzahl der Einwohner anstelle von Wohngebäuden, was eine Lärmkennziffer für Betroffene ergibt. Ein Beispiel dafür ist der von der Akademie der Wissenschaften der USA vorgeschlagene "Noise Impact Index".

## Kosteneffektivität und Wirkung von Lärmschutzmaßnahmen

In der Schweiz wird bei der Bewertung von Lärmschutzmaßnahmen die Wirksamkeit (Absenken des Pegels auf zulässige Werte) der Kosteneffektivität gegenübergestellt. Wenn die Lösung an allen gewählten Orten zu einer Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte führt und eine hohe Kosteneffektivität besitzt, wird sie implementiert. Wenn sie nicht zur Grenzwerteinhaltung führt und/oder nicht kosteneffektiv ist, wird sie nicht implementiert. Es gibt eine Grauzone, in der die Entscheidung durch andere Faktoren beeinflusst wird (siehe Abbildung).



*Ob eine Lärmschutzmaßnahme durchgeführt wird, hängt von ihrer Kosteneffektivität ab und ob sie geeignet ist, den Lärm unter die gesetzlichen Grenzwerte abzusenken*

## Global

Mit globaler oder strategischer Schallschutzplanung wird versucht, Lärmprobleme zu vermeiden und die begrenzten Ressourcen optimal einzusetzen – durch Kartierung und Überwachung eines großen Gebietes, z.B. einer Stadt.

Lärmkartierung wird bereits in großem Umfang bei der Fluglärmüberwachung eingesetzt. Hier wird der 65 dB- und 55 dB-Fluglärmteppich des Flughafens verwendet, um über Planungsgenehmigungen für neue Start- und Landebahnen und Entschädigungsansprüche für Anwohner zu entscheiden.

Lärmkarten lassen sich erstellen durch:

- Plots von Langzeit- oder Kurzzeit-Meßergebnissen
- Plots von permanenten Überwachungsstationen
- Berechnung



Die Europäische Union ist dabei, eine europäische Lärmschutzpolitik auf der Grundlage des Grünbuchs zur künftigen Lärmschutzpolitik von 1996 auszuarbeiten. Vorgesehen sind Richtlinien für die Anwendung von Lärmkarten, Beschreibungen der zu verwendenden Lärmkarten und Anleitungen zu ihrer Erstellung. Es werden Lärmkarten vorgeschlagen, die  $L_{DEN}$  und  $L_{night}$  ( $L_{Aeq}$  für die Nacht) für bestimmte Schallquellen (Straße, Schiene, Industrie, etc.) in 4m Höhe über dem Boden zeigen. Es wird auch eine Methode angegeben, nach der eine Zusammenfassung der Pegel von verschiedenen Schallquellen erfolgen kann. Die Europäische Union arbeitet darauf hin, daß alle Städte mit mehr als 250 000 Einwohnern Karten mit Verkehrs- und Industrielärm nach den zur Zeit gültigen Modellen erstellen. Später sollen diese Städte Lärmkarten mit harmonisierten Methoden erstellen.

# Lärminderung

Beim Bestreben, Menschen vor Umweltlärm zu schützen, sind folgenden Aspekte zu betrachten:

- Schallquellen
- Übertragungsweg
- Beschaffenheit der Wohngebäude

Die wichtigste Quelle für Umweltlärm ist der Straßenverkehr. Straßenlärm ist für mehr als 90% der zu hohen Schallpegel ( $L_{Aeq} > 65 \text{ dB(A)}$  am Tage) in Europa verantwortlich. Andere Formen des Verkehrslärms wie Schienen- und Fluglärm stellen ein eher örtliches Problem dar, aber belästigen ebenfalls viele Menschen.

Schallpegel im Freien nehmen im allgemeinen mit zunehmender Entfernung von der Quelle ab – wegen der geometrischen Streuung der Schallenergie über eine größere Oberfläche sowie Schallabsorption durch Atmosphäre und Boden. Durch Lärmschutzwände lassen sich weitere Verminderungen erreichen.

Die Schalldämmung von Gebäuden ist die letzte Möglichkeit zum Schutz vor potentiell belästigenden Lärmwirkungen.

## Die Schallquelle

Die meisten Länder fordern Hersteller durch Lärmgrenzwerte für das einzelne Fahrzeug zur Produktion leiserer Personen- und Lastwagen auf. Beurteilungspegel für die Vorbeifahrt wurden über die letzten 20 – 30 Jahre um ca. 8 dB(A) für Pkws und 15 dB(A) für Lkws gesenkt.

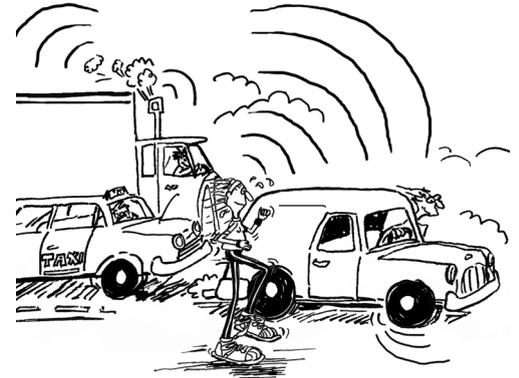
Einige Regierungen (z.B. Norwegen und Italien) haben Vorschriften erlassen, wonach die Schallemission von Fahrzeugen beim Normalbetrieb geprüft wird. Diese Tests werden meist durch Werkstätten als Teil der allgemeinen Prüfung des Fahrzeugzustands durchgeführt oder aber auch vor Ort. Trotzdem bedeutet die ständig wachsende Anzahl Fahrzeuge, daß die Gesamtschallpegel nicht abgenommen haben.

Straßenbeläge lassen sich geräuschärmer gestalten. Poröser Asphalt und die neuen "dünnen geräuscharmen Beläge" haben Minderungen von 2 – 6 dB(A) ergeben. Schienenlärm kann mit Hilfe geschweißter Schienen auf einem Betonbett mit elastischen/federndern Polstern oder Matten vermindert werden.

## Übertragungsweg

Eine Lärminderung ließe sich erreichen, wenn Menschen so weit wie möglich von den Schallquellen entfernt würden. Doch oft ist dies unmöglich, so daß zusätzliche Dämpfung in Gestalt von Lärmschutzwänden angewendet wird.

Entscheidend für die erreichbare Lärminderung sind die Höhe der Wand und die relative Position von Schallquelle und/oder Immissionspunkt. Als wirkungsvoll gelten Wände mit Höhen von 1,5 m (Schienenlärm Japan) bis 10 m (USA Flughafenlärm in Bodennähe). Schutzwände gegen Straßenlärm sind typisch zwischen 3 und 7 m hoch. Auch das Frequenzspektrum der Schallquelle beeinflusst die erreichbare Minderung. Verglichen mit hohen Frequenzen werden die tiefen Frequenzen durch Wände schlecht gedämpft. In einigen Fällen läßt sich die



000137



000137

Wirkung von Lärmschutzwänden durch schallabsorbierendes Material verbessern, durch Vermeiden paralleler, reflektierender Flächen und speziell geformte oder schräge Wände, um Mehrfachreflexionen zu vermeiden.



000104

## Schalldämmung von Gebäuden

Die letzte Stufe, um zu gewährleisten, daß Menschen in ihrem Heim nicht durch Umweltlärm belästigt werden, besteht in ausreichender Dämmung der von außen einwirkenden Schallpegel. Diese Fassadenschalldämmung wird als Nachhallzeit-reduzierte Pegeldifferenz ( $D_{nT,tr}$ ) oder Bauschalldämmmaß ( $R'_{tr}$ ) gemessen.

Verschiedene Länder behandeln dies auf unterschiedliche Weise, wie die folgenden Beispiele zeigen:

- Manche Länder fordern einen Mindestpegel der Fassadenschalldämmung
- Andere Länder (z.B. Großbritannien) verwenden zusätzliche Dämmung für besonders starke externe Schallquellen (Flughäfen und Verkehrslärm)
- Neue Häuser dürfen nicht dort gebaut werden, wo hohe Umweltlärmpegel vorliegen (z.B. Planning and Policy Guidance 24 in Großbritannien)
- Der resultierende Schallpegel in Räumen wird klassifiziert (über 35 dB(A) wird als schlecht eingestuft, unter 20 dB(A) als sehr gut)  
(Nordischer Vorschlag: Schallklassifizierung von Wohnungen, Draft INSTA 122:1997)



# Beaufsichtigte oder unbeaufsichtigte Messung

## Warum anwesend sein?

Heute gibt es automatische Ausrüstung, die man vor Ort aufstellen kann, um Lärmdaten aufzunehmen und Berichte ins Büro zurückzusenden. Oftmals ist dies der bequemste und wirtschaftlichste Weg zur Bewertung der Lärmsituation und unumgänglich für Langzeit- oder simultane Messungen.

In manchen Fällen ist es jedoch wichtig, daß ein Bediener anwesend ist, um:

- Meßeinstellungen zu ändern oder zu verbessern
- Repräsentative Messungen sicherzustellen
- Spezifische Schallquellen zu identifizieren und zu markieren
- Fremdgeräusch zu identifizieren und zu markieren
- Störeinflüsse für Geräte oder Messung zu verhindern
- Bediener von lauten Arbeitsgeräten zu beraten
- In Konflikten über Umweltproblematik zu vermitteln

Beaufsichtigte Messungen erfolgen oft unter schwierigen Bedingungen – Zeitdruck, schwieriger Zugang, keine Netzversorgung, unerwartete Ereignisse oder Unterbrechungen – und häufig gibt es keine Möglichkeit, die Messung zu wiederholen. Deshalb sind Geräte gefragt, die:

- Leicht zu transportieren, einzustellen und zu bedienen sind
- Markierung von Ereignissen und Schallquellen ermöglichen
- Alle Parameter gleichzeitig messen
- Alle aufgezeichneten Daten mit Zeitstempel versehen



000081



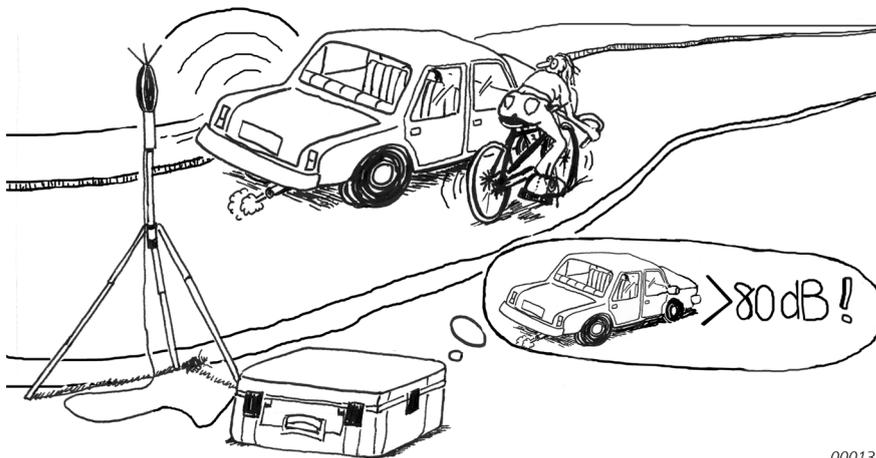
Die GPS-Einheit (Global Positioning System) überträgt die Koordinaten der Meßstelle zum Schallpegelmesser, wo sie den Schallpegeldaten zugeordnet werden können



Gleichzeitige Aufzeichnung aller Parameter liefert compatible Daten und erspart einen zweiten Besuch vor Ort (der vielleicht nicht möglich ist)

Bei unbeaufsichtigten Messungen muß die Vorbereitung der Geräte mit großer Sorgfalt und Weitsicht erfolgen, da das Gerätesystem völlig selbständig funktionieren muß. Dies erfordert:

- Breiter Dynamikbereich
- Datenprotokollierung (z.B. jede Sekunde oder Minute)
- Ereignistriggerung, um Schallereignisse zu erfassen



000132

- Sehr große Datenspeicherkapazität
- Gleichzeitige Messung aller Parameter
- Geräuschaufzeichnung für Schallquellenbestimmung
- Aufzeichnung von Wetterdaten
- Zeitstempel auf allen aufgenommenen Daten
- Automatische Kalibrierprüfung
- Fernzugriff auf Daten und Setup (wenn möglich)
- Reserveversorgung
- Wetterfestes Mikrofon und Gerätesystem
- Schutz vor unbefugtem Eingreifen und Tieren

### Wirkungsvolle Kombination

Häufig ist eine Kombination aus beabsichtigten und unbeabsichtigten Messungen die beste Lösung. Die beabsichtigte Messung wird hierbei für Voruntersuchungen und Überprüfungen eingesetzt, während unbeaufsichtigte Messungen zur Langzeit- oder Dauerüberwachung dienen.



*Bei unbeaufsichtigten Messungen muß das Mikrofon vor Wind, Regen und Vögeln geschützt werden! Gleichzeitig muß es für Kontroll- und Kalibrierzwecke leicht zugänglich sein*



*Ein Schallpegelmessgerät kann auch für unbeaufsichtigte Messungen im Schutzkoffer verwendet werden – hier mit extra Stromversorgung, DAT-Rekorder zur Schallquellenbestimmung und GSM-Modem für die drahtlose Übertragung der Meßdaten zum PC im Büro*

# Permanente Überwachung

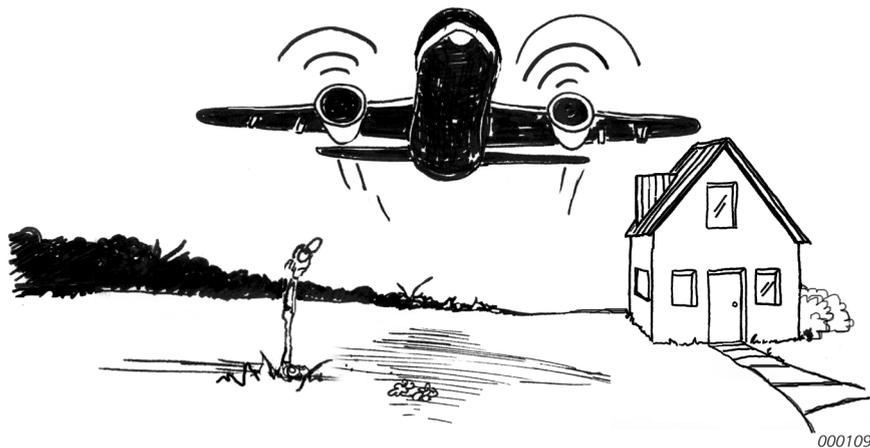
## Für Ruhe sorgen

Die Dauerüberwachung kontrolliert ununterbrochen Tag und Nacht die Einhaltung von Grenzwerten und hat viele andere Vorteile. Sie wird von immer mehr Organisationen angewendet.

## Flughäfen

Für viele größere Flughäfen ist die permanente Lärmüberwachung ein wichtiger Teil der täglichen Routine, da Lärm oft Beschwerdepunkt Nummer eins seitens der Anwohner ist. Flughafenbehörden haben Vorschriften erstellt, um die Lärmbelastung durch den Flugbetrieb so weit wie möglich zu reduzieren. Man hofft, damit kontrollieren zu können, daß Flugzeuge und Piloten ihre Vorgaben einhalten und versucht gleichzeitig Beschwerden vorzubeugen.

Oft ist es notwendig, außer akustischen Daten auch Informationen über die Flugbahnen beim Starten und Landen zu erhalten. Normalerweise liefert der Radar des Flughafens die benötigten Informationen. Nach Korrelation mit Schalldaten können sie auf einfache Weise dazu verwendet werden, Schallpegelüberschreitungen bei bestimmten Flugzeugen festzustellen.



## Städte

Dauerüberwachung von Lärm in Städten betrifft:

- Industrie
- Baustellen
- Hauptverkehrsstraßen
- Wichtige Bahnlinien
- Konzertstätten, Ausstellungs- und Sportgelände

Diese Überwachungsform wird in der Regel angewendet, wenn strikte Grenzwerte vorliegen oder als Schutz vor Rechtsverfahren, Beschwerden und Entschädigungsansprüchen. Die Dauerüberwachung kann Trends anzeigen und bei der Erstellung von Lärmkarten helfen.



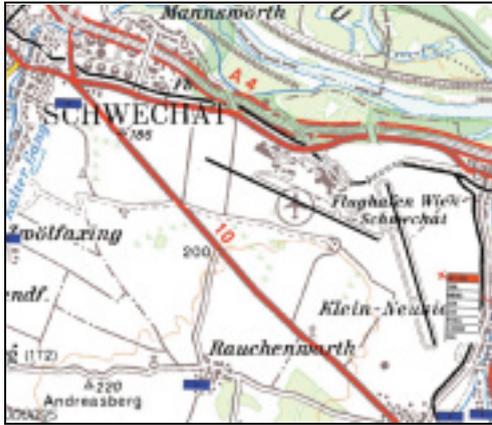
## Permanente Lärmüberwachungssysteme

Solche Systeme sichern eine automatische Datenerfassung rund um die Uhr und sammeln Geräuschinformationen sowie andere relevante Umweltparameter.

Alle Meßergebnisse werden in einer Überwachungsstation gesammelt, gespeichert und periodisch zu einem Zentralrechner übertragen, in dem alle Daten verarbeitet und gespeichert werden. Die Anzahl der erforderlichen Überwachungsstationen hängt von der Größe des überwachten Gebiets sowie bestimmten Anforderungen an die Überwachung ab. Viele Systeme arbeiten mit 10 bis 30 Stationen, doch kommen auch Systeme mit 100 Stationen vor.



*Permanente Überwachungsstation in Madrid*



*Permanente Überwachungsstationen in der Umgebung vom Flughafen Wien*

Eine Lärmüberwachungsstation besteht hauptsächlich aus einem wetterfesten Mikrofon, einem Datenanalyse- und Speichergerät sowie einem Informationsübertragungssystem wie einer Telefonlinie.

Übliche Installateure messen eine Reihe akustischer Parameter einschließlich laufender  $L_{Aeq}$  und  $L_N$ -Pegel und weisen Lärmereignisse nach. Manche ermöglichen Echtzeit-Frequenzanalyse in Terzbändern zur sofortigen Berechnung von Kenngrößen wie den  $L_{PN}$ -Pegeln für jedes vorbeifliegende Flugzeug.

Dauerüberwachungsstationen sind oft durch eigene Leitungen mit einem Kontrollzentrum verbunden, um Daten verschiedener Meßstellen betrachten und analysieren zu können. Kurzzeit- und/oder Langzeitmittelwerte für Schallpegel können auf einer Anzeigeanlage öffentlich präsentiert werden, um im Sinne positiver Öffentlichkeitsarbeit für die betreffende Behörde auf sie aufmerksam zu machen.

Es können jedoch auch Lieferwagen als mobile Stationen verwendet werden. Oft mit automatischer Positionsbestimmung ausgestattet, besitzen diese meist Datenübertragungsmöglichkeiten über Telefonlinien zu einem Rechner. In jedem Fall müssen für diese Datenerfassungssysteme Geräte der Klasse 1 verwendet werden (siehe Abschnitt über internationale Normen, IEC 60651).

Da sie über lange Zeiträume im Einsatz sind, sind Überwachungsstationen empfindlich gegenüber Einflüssen wie Feuchte, Temperatur, Wind, aggressive Atmosphäre und Tiere. Besonders anfällig ist das Mikrofon als die am meisten ausgesetzte Systemkomponente. Um Beschädigung zu vermeiden, wird ein wetterfestes Spezialmikrofon empfohlen, das aus korrosionsbeständigem Material besteht und einen eingebauten Feuchtigkeitsschutz besitzt. Es ist auch vorteilhaft, wenn das Lärmüberwachungssystem automatisch akustische Verifikationen und Systemprüfungen ausführen kann, zum Beispiel CIC-Prüfungen (Charge Injection Calibration) der Funktionstüchtigkeit.

Dauerüberwachungssysteme besitzen in der Regel umfangreiche Datenbanken für Analyse, Erforschung der Wirkung und Statusbewertung neben den regelmäßigen Meßwerten. Schallereignisse und Beschwerden lassen sich korrelieren und mit digitaler GIS-Kartografie (Geographisches Informationssystem) kombinieren, um die Lärmbelastung der Bevölkerung zu zeigen und eine Darstellung in hoher Qualität zu gewährleisten.

# Internationale Normen

Internationale Normen haben große Bedeutung für die Erfassung von Umweltlärm – sei es durch ihre direkte Anwendung oder als Anregung oder Referenz für nationale Normen. Dieser Abschnitt beleuchtet einige wichtige Normen.

Es gibt zwei internationale Hauptgremien für Standardisierung. Die Internationale Organisation für Standardisierung (ISO) beschäftigt sich hauptsächlich mit Methodologie, um Verfahren zu definieren, die den Vergleich von Ergebnissen ermöglichen. Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) befaßt sich mit der Geräteausrüstung – wie kompatible Geräte beschaffen sein müssen, die sich ohne wesentlichen Verlust von Genauigkeit oder Daten austauschen lassen.

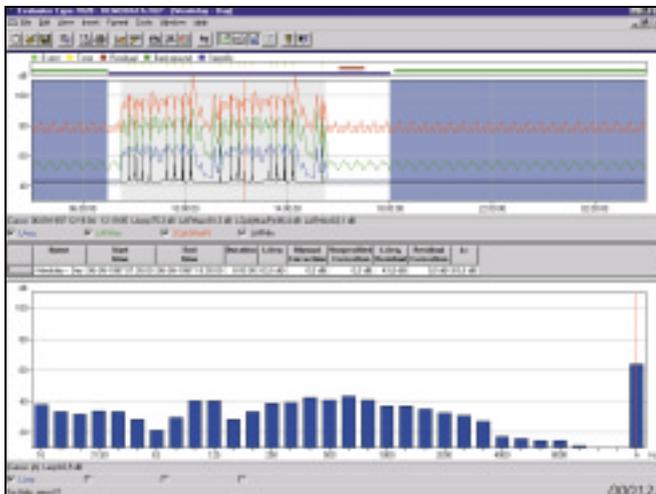
## ISO 1996 – Erfassung von Umweltlärm

ISO 1996 “Acoustics – Description and Measurement of Environmental Noise” spielt eine zentrale Rolle als Bezugsstandard für die Erfassung von Umweltlärm. Die Norm besteht aus drei Teilen:

- ISO 1996 Teil 1 1982: Basic quantities and procedures
- ISO 1996 Teil 2 1987: Acquisition of data pertinent to land use (1998 geändert)
- ISO 1996 Teil 3 1987: Application to noise limits

Es wird die Terminologie einschließlich des zentralen Parameters “Beurteilungspegel” (Rating Level) erläutert und die besten Methoden zur Erfassung von Umweltlärm beschrieben.

ISO 1996 wird zur Zeit überarbeitet. Berücksichtigt werden dabei Meßverfahren mit modernen Geräten, verbesserte Methoden z.B. zum Bestimmen von Tönen, sowie Informationen über die Wirkung der Schallpegel von verschiedenen Quellen.



*Die Berechnung des Beurteilungspegels einer bestimmten Schallquelle über eine Bezugsperiode kann Zuschläge für z.B. Töne umfassen*

## ISO 3891 – Fluglärmüberwachung

ISO 3891: “1978 Acoustics – Procedure for Describing Aircraft Noise Heard on the Ground” beschäftigt sich mit der Überwachung von Fluglärm (Schallmessung und Aufzeichnung, Datenverarbeitung und Berichterstellung). Sie ist in Überarbeitung und soll die Beschreibung und Messung von am Boden gehörten Fluglärm erläutern sowie Informationen zur unbeaufsichtigten Dauer- und Kurzzeitüberwachung von Fluglärm und Themen wie Lärmschutz und Flächennutzung enthalten.

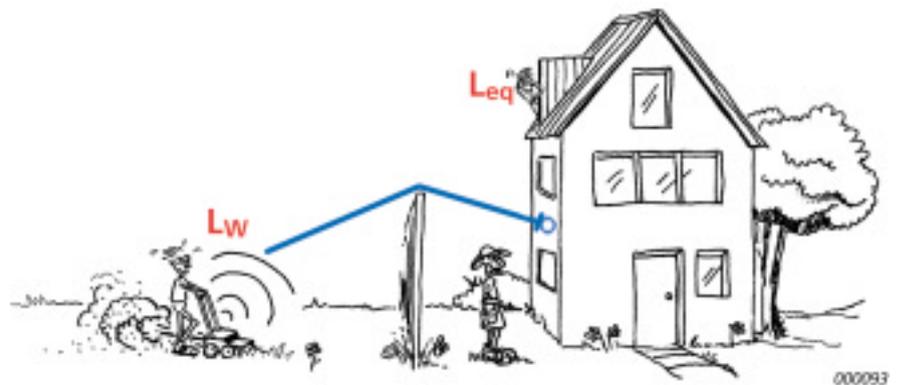


## ISO 9613 – Berechnung

ISO 9613 “Acoustics – Attenuation of Sound during Propagation Outdoors” besteht aus zwei Teilen:

- ISO 9613 Part 1 1993: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere
- ISO 9613 Part 2 1996: General method of calculation

Sie definiert eine Oktavband-Rechenmethode auf der Basis von Punktschallquellen mit bekanntem Schalleistungspegel. Linienquellen können mit Hilfe von Punktquellen konstruiert werden.

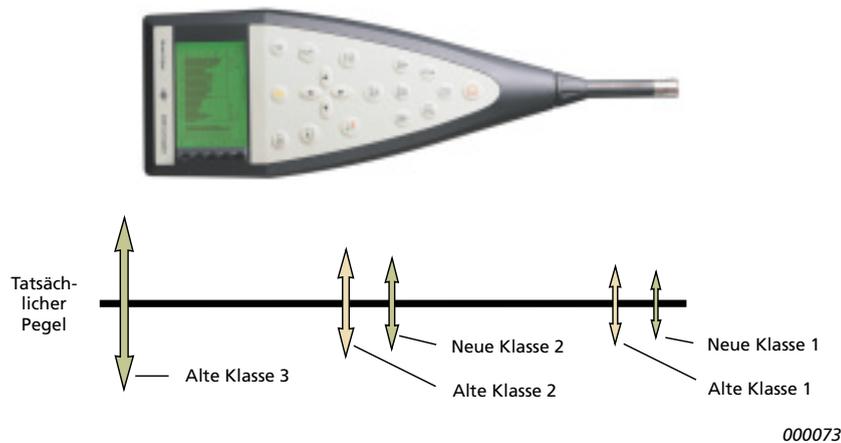


## IEC 60651, IEC 60804 und IEC 61672 – Schallpegelmesser

Diese drei Normen werden hier zusammengefaßt, da sie Schallpegelmesser behandeln. Internationale Normen für Schallpegelmesser werden weltweit anerkannt. Sie sind wichtig, da alle Meßnormen sich auf Schallpegelmessernormen beziehen, um die Geräteausstattung zu definieren.

In den meisten Ländern werden für die Messung von Umweltlärm Geräte der Klasse 1 benötigt.

- IEC 60651 – Schallpegelmesser (1979, 1993): Definiert Schallpegelmesser in vier Genauigkeitsklassen (Typ 0, 1, 2 und 3). Legt Charakteristiken fest, darunter Richtcharakteristik, Frequenz- und Zeitbewertung und Empfindlichkeit gegenüber verschiedenen Umgebungsfaktoren. Gibt an, wie die Einhaltung der technischen Daten überprüft werden kann.
- IEC 60804 – Integrierende Schallpegelmesser (1985, 1989, 1993): Ergänztes IEC 60651 durch Beschreibung dieses Gerätetyps (Geräte, die den  $L_{eq}$  messen).
- IEC 61672 – Schallpegelmesser: Entwurf für eine neue IEC-Schallpegelmessernorm, die IEC 60651 und IEC 60804 ersetzen soll. Wichtige Änderungen: Strengere Spezifikationen, keine Klasse 3 mehr. Angestrebt wird verbesserte Qualitätskontrolle der Geräte und höhere Genauigkeit.

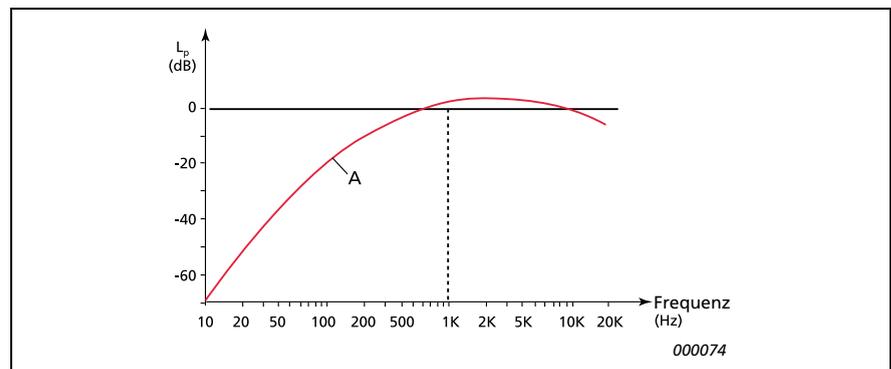


*Schematische Darstellung der verbesserten Genauigkeit nach der neuen Schallpegelmessernorm. Die Pfeile repräsentieren den relativen Meßfehler*

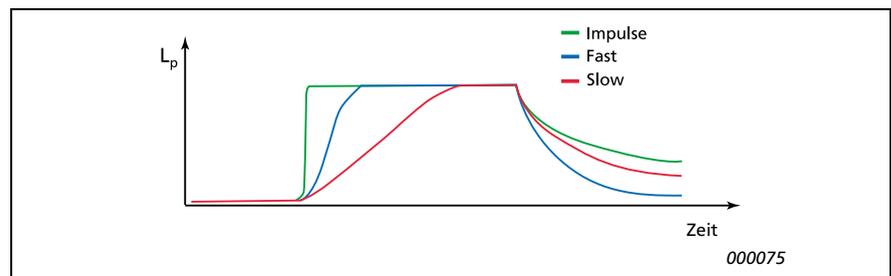
# Parameter und Terminologie für den Umweltlärm

Es werden zahlreiche Parameter verwendet, um die Reaktionen der Öffentlichkeit auf Umweltlärm zu erfassen. Die sehr unterschiedlichen individuellen Reaktionen auf Lärm und die vielen Merkmale (Pegel, Frequenzinhalt, Impulshaltigkeit, Intermittenz, etc.) der Schallquellen haben zu zahlreichen Versuchen geführt, die Wirkung dieses Lärms in einzelnen Kenngrößen auszudrücken. Die folgende Liste zählt einige der gebräuchlichsten Parameter auf.

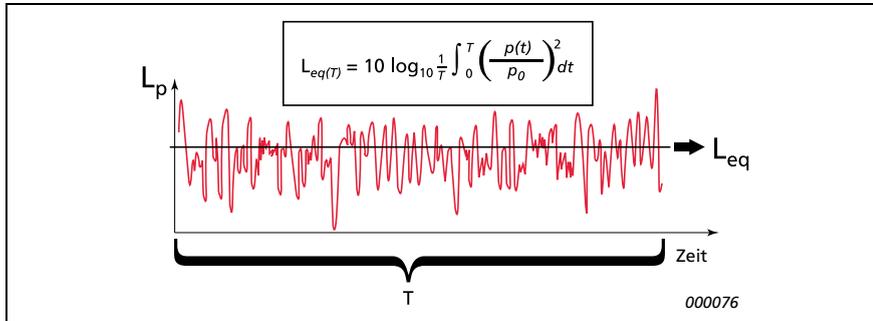
**“A” Frequenzbewertung:** Die Frequenzbewertung des elektrischen Signals in einem Schallmeßgerät soll simulieren, wie das menschliche Ohr auf eine Reihe akustischer Frequenzen reagiert. Die Bewertung beruht auf der 40 dB-Kurve gleicher Lautheit. Symbole für Schallparameter enthalten oft ein “A” (z.B.  $L_{Aeq}$ ), um anzuzeigen, daß diese Frequenzbewertung bei der Messung verwendet wurde.



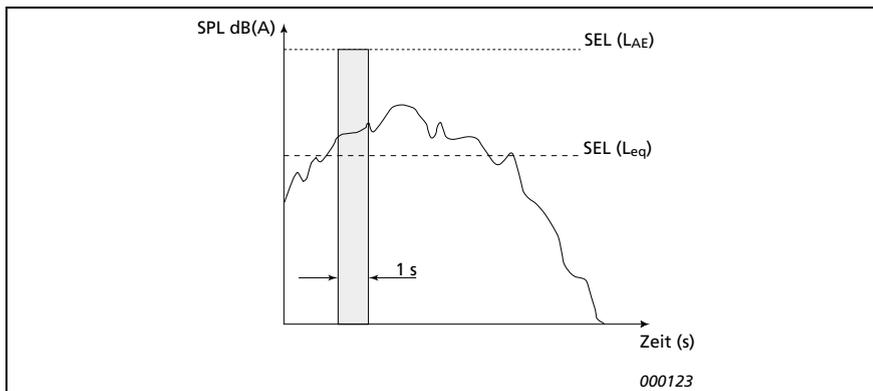
**Zeitbewertungen Fast, Slow und Impulse:** Ursprünglich wurden in Schallpegelmeßgeräten standardisierte Zeitkonstanten verwendet, um schwankende Schallpegel visuell anzeigen zu können. Die Normen schreiben gewöhnlich vor, welche Zeitbewertung (F, S oder I) zu verwenden ist.



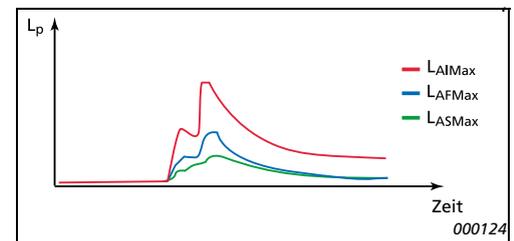
**$L_{Aeq,T}$ :** Weit verbreiteter Schallparameter, der einen konstanten Schallpegel mit demselben Energieinhalt wie das gemessene schwankende Signal berechnet. "A" bedeutet A-Bewertung und "eq", daß es sich um einen äquivalenten Pegel handelt.  $L_{Aeq}$  ist somit der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel.



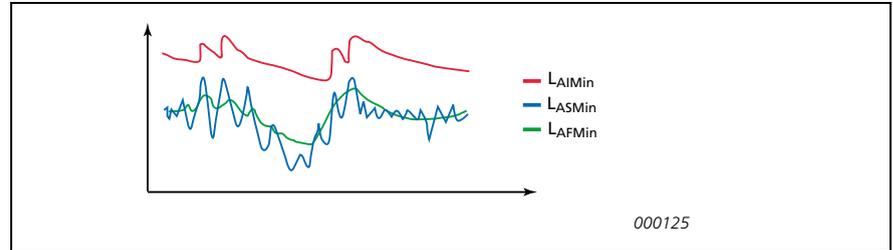
**$L_{AE}$ : Schallepositionspegel (SEL):** Ein mit dem  $L_{Aeq}$  eng verwandter Parameter zur Erfassung von Ereignissen (Flugzeuge, Schienenfahrzeuge, etc.) mit ähnlicher Charakteristik, aber unterschiedlicher Dauer. Der  $L_{AE}$  enthält dieselbe Menge akustischer Energie über eine "normalisierte" Zeitdauer von einer Sekunde wie das aktuelle Schallereignis.



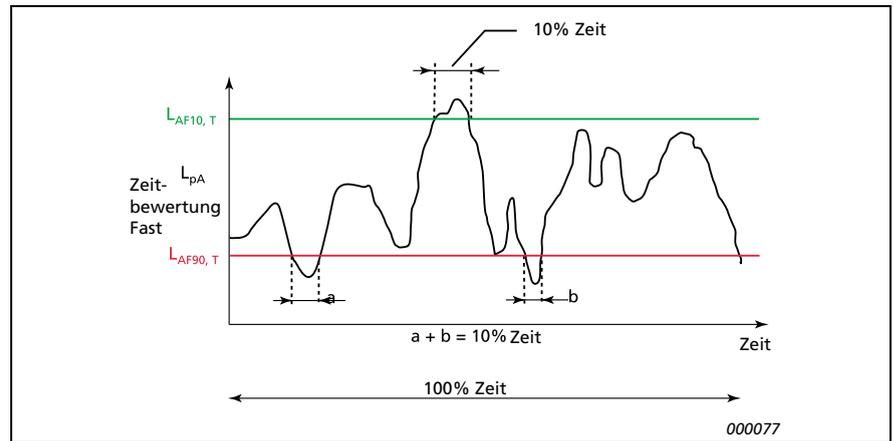
**$L_{AFMax}$ ,  $L_{ASMax}$  oder  $L_{AIMax}$ :** Maximaler A-bewerteter Schallpegel, gemessen mit Zeitbewertung Fast (F), Slow (S) oder Impulse (I). Es sind die höchsten Schallpegel innerhalb der Meßzeit. Sie werden oft zusammen mit einem anderen Schallparameter (z.B.  $L_{Aeq}$ ) verwendet, um sicherzustellen, daß ein einzelnes Schallereignis nicht einen Grenzwert überschreitet. Es ist wichtig, daß die Zeitbewertung (F, S oder I) angegeben ist.



**$L_{AFMin}$ ,  $L_{ASMin}$  oder  $L_{AIMin}$ :** Die niedrigsten gemessenen A-bewerteten Schallpegel mit Zeitbewertung Fast (F), Slow (S) oder Impulse (I). Es sind die niedrigsten Schallpegel, die während der Meßzeit aufgetreten sind.



**$L_{AFN,T}$  Perzentilpegel:** A-bewerteter Pegel, der während N% der Meßzeit überschritten wurde. Manche Länder verwenden  $L_{AF90,T}$  (der in 90% der Meßzeit überschrittene Pegel) oder  $L_{AF95,T}$  als Maß für den Hintergrundschallpegel. Die Zeitbewertung (gewöhnlich "Fast") ist anzugeben.



**$L_{Ar,Tr}$  Beurteilungspegel:** Der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel ( $L_{Aeq,T}$ ) über eine bestimmte Zeitdauer mit bestimmten Korrekturen für tonale, impulsartige oder intermittierende Geräusche. Allgemein ergibt sich der Beurteilungspegel aus:

$$L_{Ar,Tr} = L_{Aeq,T} + K_I + K_T + K_R + K_S$$

In manchen Ländern erfolgt eine subjektive Beurteilung der Schallcharakteristik. In anderen wird eine objektive Prüfung durchgeführt, um Tonalität oder Impulsartigkeit nachzuweisen.

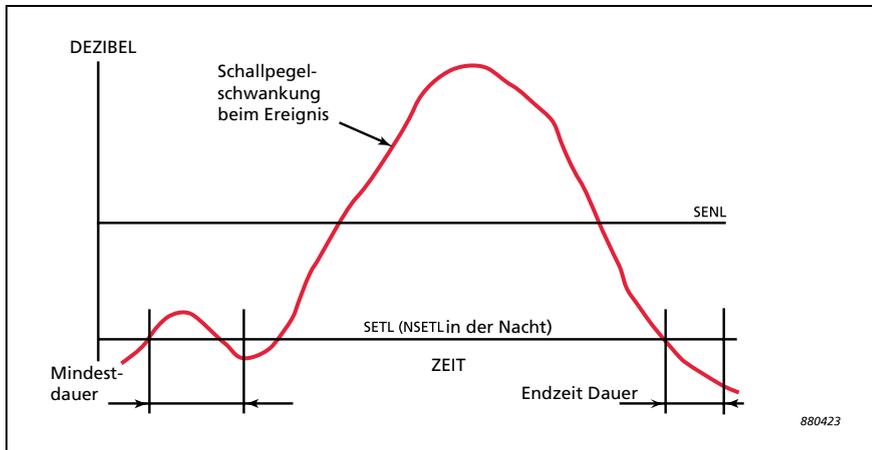
$L_{Aeq}$	47 dB
$K_I$	6 dB
$K_T$	3 dB
$K_R$	6 dB
$K_S$	0 dB
$L_R$	62 dB

000129

Beispielsweise (1) verwendet man zum Nachweis von Tonalität ein Terzband, das die benachbarten Bänder um 5 dB oder mehr überschreitet und (2) zum Nachweis der Impulshaltigkeit die Differenz zwischen einem Impuls- und A-bewerteten "L<sub>eq</sub>"-Parameter ( $L_{AIm,T}$ ) und  $L_{Aeq,T}$  oder bei Messungen nach der deutschen TA Lärm (1998) die Differenz  $L_{AFTeq} - L_{Aeq}$ . Zu beachten ist, daß diese Zuschläge nur für den Zeitabschnitt, in dem sie auftreten, gegeben werden sollen.

**Fluglärmparameter:** Wenn Fluglärm als normale Schallquelle betrachtet wird (Normalfall), werden gewöhnlich die Schallparameter  $L_{ASMax}$  und  $L_{AE}$  (äquivalent zu  $L_{AX}$  in einigen älteren Normen) für einzelne Ereignisse verwendet und  $L_{Aeq,T}$  für eine Reihe von Schallereignissen.

In manchen Fällen (z.B. Genehmigungsverfahren für Flugzeuge) erfolgt eine gründliche Analyse des Fluggeräuschs in Terzbändern alle 0,5 Sekunden. Der Lästigkeitspegel ( $L_{PN}$ ) wird dann berechnet, indem die Schalldruckpegel in Fluglärmstörpegel umgewandelt werden (gemäß den Normen ICAO Annex 16).



Besitzt das Geräuschspektrum des Flugzeugs einen ausgeprägt tonalen Charakter, wird ein weiterer Korrekturfaktor von bis zu 6,7 dB zum Lästigkeitspegel ( $L_{PN}$ ) addiert, um einen Lärmstörpegel mit Korrektur für diskrete Frequenzen  $L_{TPN}$  zu erhalten. Der subjektive Gesamteffekt des überfliegenden Flugzeugs muß den Zeitverlauf des Flugs berücksichtigen. Dazu wird der Lärmstörpegel mit Korrektur für diskrete Frequenzen integriert, um den effektiven Flugstörpegel  $L_{EPN}$  zu erhalten. Einzelheiten sind in der Norm ISO 3891 zu finden.

**$L_{DN}$ :** Mittlerer Tag-Nacht-Schallpegel. Ein  $L_{Aeq}$  mit einem Zuschlag von 10 dB(A) für Umweltlärm, der zwischen 22:00 und 07:00 auftritt, um die größere Belästigung in der Nacht zu berücksichtigen.

**Frequenzspektrum:** Bei der Untersuchung von Umweltlärm stellt sich oft heraus, daß aus einer Zahl bestehende Kenngrößen wie der  $L_{Aeq}$  die Geräuschcharakteristik nicht vollständig wiedergeben. Wenn die Schallquelle Geräusche mit diskreten Frequenzkomponenten (tonale Komponenten) erzeugt, ist es nützlich, den Frequenzinhalt in Oktav-, Terz- oder noch schmalere (Fast Fourier Transformation) Frequenzbändern zu messen.

Bei der Berechnung von Schallpegeln (Prognose) werden häufig Oktavspektren verwendet, um die Frequenzcharakteristik der Schallquellen und Ausbreitungen zu berücksichtigen.

**Schalleistung** ist die von einer Schallquelle abgestrahlte akustische Leistung ( $W$ ). Diese Leistung ist weitgehend unabhängig von der Umgebung, während der Schalldruck von der Umgebung (reflektierende Flächen) und dem Abstand vom Immissionspunkt abhängt.

Wenn die Schalleistung bekannt ist, läßt sich in der Regel der Schalldruck an einem Punkt berechnen, während das Umgekehrte nur in Spezialfällen (z.B. im reflexionsarmen oder Hallraum) zutrifft. Deshalb ist die Schalleistung von großem Nutzen für die Charakteristik von Schallquellen und die Berechnung von Schalldruckpegeln.

Wie der Schalldruck wird auch die Schalleistung in logarithmischen Einheiten angegeben, wobei ein Schalleistungspegel von 0 dB der Leistung von 1 pW (Picowatt =  $10^{-12}$  W) entspricht.

Für den Schalleistungspegel wird das Symbol  $L_W$  verwendet, und er wird oft in dB(A), Oktav- oder Terzbändern angegeben.

Für Schalleistungsbestimmungen in akustisch ungünstiger Umgebung (zu hoher Störpegel, starke Raumrückwirkungen) hat Brüel & Kjær Schallintensitätsmeßsysteme entwickelt. Eine einfache Bedienoberfläche und eine automatisch im Hintergrund ablaufende Prüfung der sogenannten "Feldparameter" für die Gültigkeit der Messung erlauben Schalleistungsbestimmungen auch in schwierigster Umgebung.



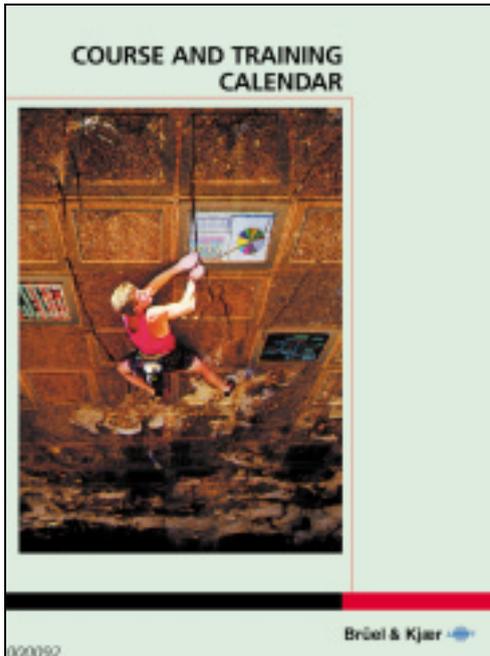
000116

# Über Brüel & Kjær

Brüel & Kjær wurde 1942 von den dänischen Ingenieuren Per V. Brüel und Viggo Kjær gegründet. Seit mehr als 50 Jahren bilden akustische und Schwingungsmessungen unsere wichtigste Geschäftsgrundlage. Brüel & Kjær ist weltweit führender Lieferant von Mikrofonen, Beschleunigungsaufnehmern, Analysatorsystemen, Schallpegelmessern und Kalibriersystemen. Seit 1961 erstmals handgehaltene Schallpegelmesser vertrieben wurden, ist Brüel & Kjær Marktführer bei Lösungen für Fachleute auf den Gebieten Umwelt- und Arbeitslärm.



000105



## Weiterbildung

Brüel & Kjær bietet Schulungen und Training zur Messung von Umweltlärm in vielen Ländern der Welt an. Die Teilnehmer werden von örtlichen Spezialisten sowie von Applikationsexperten vom Hauptsitz des Unternehmens unterrichtet.

## Kalibrierung und Dienstleistungen

Brüel & Kjær Dienstleistungszentren gibt es in allen Regionen. Sie bieten Kalibrierdienste und Reparaturen an, einschließlich erweiterter Wartungsverträge bis zu 6 Jahren.

## Kontaktaufnahme

Brüel & Kjær ist weltweit in mehr als 90 Ländern vertreten. Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an Ihr Verkaufsbüro.

Im Zweifelsfall wenden Sie sich an Brüel & Kjær Headquarters in Dänemark (Adresse siehe Umschlagrückseite). Eine Liste unserer Vertretungen finden Sie auf unserer Website: **[www.bksv.com](http://www.bksv.com)**

**STAMMHAUS:** DK-2850 Nærum · Dänemark · Telefon: +4545800500 · Fax: +4545801405 · Internet: <http://www.bksv.com> · e-mail: [info@bk.dk](mailto:info@bk.dk)  
**Spectris Component Ges.m.b.H.:** Carlberggasse 38 · A-1233 Wien · Tel.: (0) 1 865 7400 · Telex: 134300 · Fax: (0) 1 865 7403  
**Spectris Messtechnik GmbH:** Langen (Zentrale); Tel.: 06103/908-5 · Fax: 06103/908-756 · **NORD:** Büro Hamburg: Tel.: 04106/7759-0 · Fax: 04106/74122  
**OST:** Büro Dresden: Tel.: 351/8361762 · Fax: 351/8361764 · Büro Berlin: Tel.: 030/754895-53 · Fax: 030/754895-52  
**SÜD-OST:** Büro Nürnberg: Tel.: 0911/94083-40 · Fax: 0911/94083-49 · Büro München: Tel.: 08142/5791-21 · Fax: 08142/5791-40  
**SÜD-WEST:** Büro Frankfurt: Tel.: 06103/908-652 · Fax.: 06103/908-756 · Büro Stuttgart: Tel.: 0711/90155-12 · Fax: 0711/733034  
**WEST:** Büro Düsseldorf: Tel.: 02104/9357-02 · Fax: 02104/9357-57

**Brüel & Kjær** 