

Der Schallpegelmesser - ein unentbehrliches Meßgerät für den Umweltschutz Teil 3

Dr. Ivar Veit

Im abschließenden Teil dieses Artikels wird auf elektrische Details von Schallpegelmessern eingegangen. Hinweise für die Meßpraxis beschließen die Beitragsserie.

Der Schallpegelmesser - elektrischer Teil

Die von einem Meßmikrofon abgegebene elektrische Signalspannung ist, wie bereits zuvor ausgeführt wurde, ein unmittelbares Maß für die Höhe des Schalldrucks p , bzw. des Schalldruckpegels L an dem Ort des Schallfeldes, an dem sich das Mikrofon, oder genauer gesagt, die Mikrofonmembran zum Zeitpunkt der Messung gerade befindet.

Damit kommen wir jetzt zu dem dem Mikrofon nachgeschalteten elektrischen

Teil eines Schallpegelmessers. Dazu gehören neben den für die elektrische Signalauswertung sehr wichtigen Verstärker-, Filter-, Gleichrichter- und Anzeige-Baugruppen auch eine Reihe anderer Schaltungseinheiten, die bestimmte Hilfsfunktionen übernehmen, wie z. B. die Erzeugung und Bereitstellung einer elektrischen Polarisationsspannung für Nichtelektret-Kondensatormikrofonkapseln, etc. Darauf soll hier jedoch nicht näher eingegangen werden. Statt dessen wollen wir jetzt den direkten Signalübertragungspfad bis hin zum Anzeigeteil weiter verfolgen.

Wie schon das Blockschaltbild (siehe

Bild 6, „ELVjournal“ 5/98) zeigt, ist das Meßmikrofon an einen nachfolgenden Vorverstärker angeschlossen, der seinerseits wiederum ganz bestimmten Anforderungen genügen muß. Infolge der sehr geringen elektrischen Kapazität von Kondensatormikrofonkapseln muß die nachfolgende Verstärkerschaltung einen sehr hohen Eingangswiderstand besitzen, da andernfalls frequenzabhängige Übertragungsverluste entstehen. Aus diesem Grunde ist zwischen dem Mikrofonausgang und dem eigentlichen Verstärkereingang i. a. ein Impedanzwandler eingefügt, der mit einem als „Emitterfolger“ geschalteten Feld-

effekttransistor sowie zwei weiteren Transistoren bestückt sein kann. Damit wird ein Eingangswiderstand von $\geq 2 \text{ G}\Omega$ ($2 \cdot 10^9 \Omega$) erreicht. Zur Spannungsverstärkung trägt der Impedanzwandler nicht bei.

Der Vorverstärker ist ein Teil der gesamten Verstärker-Baugruppe, zu der auch noch der Nach- oder Ausgangsverstärker gehört, siehe Bild 6. Beide Verstärker-Einheiten können entweder direkt (Betriebsart „linear“) oder über zwischengeschaltete Bewertungsfilter (Betriebsart A, B, C, oder D) oder über extern angeschlossene Fremdfilter miteinander verbunden werden. Die Bewertungsfilter sind international genormt (siehe Tabelle 1 und Bild 4) und müssen zudem genau festgelegte Toleranzen einhalten. Die von beiden Verstärkern zusammen zu erbringende Spannungsverstärkung beträgt z. B. bei Präzisions-Schallpegelmessern 110 bis 120 dB. Der jeweils gewünschte Meßbereich kann mit Hilfe eines Meßbereichs-Spannungsteilers eingestellt werden. Die schaltungstechnische Ausführung der Verstärker und Bewertungsfilter besteht heute ausnahmslos aus gedruckten Schaltungsplatinen, bestückt mit aktiven (Transistoren, ICs) und passiven Bauelementen. Schaltungsmäßig wird jede einzelne Verstärkerstufe stark gegengekoppelt, um Temperatureinflüsse auszugleichen.

Nachdem das Mikrofonsignal den Verstärker einschließlich (Bewertungs-)Filter durchlaufen hat, wird es gleichgerichtet und anschließend dem Anzeigeteil zugeführt. Dort erscheint die Anzeige des Meßwertes dann als Schalldruckpegel in „dB“. Auf die Gleichrichtung kommen wir gleich noch ausführlicher zurück.

Zuvor noch einige generelle Anmerkungen: Für die Praxis am bedeutsamsten ist der Effektivwert des Schalldrucks. Bei einem rein sinusförmigen Signal bestehen genau definierte Beziehungen. Wollte man nur sinusförmige Signalspannungen zur Anzeige bringen, so würde es genügen, z. B. bei einem (analog anzeigenden) Zeigerinstrument die Instrumentenskala mit

einer Teilung zu versehen, die diesen Beziehungen entspricht, und man würde stets den richtigen Effektivwert ablesen. Mißt man jedoch Signale von beliebiger Kurvenform, und das ist der Regelfall, so wäre der angezeigte Wert falsch.

Um unabhängig von der Kurvenform, d. h. von der zeitlichen Struktur des Signals in jedem Falle den richtigen Effektivwert messen zu können, wurden spezielle Effektivwert-Meßschaltungen entwickelt, die man elektrisch unmittelbar vor den Anzeigeteil schaltet.

Eine praktisch bewährte Schaltung zur echten Effektivwertmessung zeigt das Bild 11. Die dem Gleichrichter nachgeschaltete - sogenannte - Quadrierschaltung erzeugt mit Hilfe eines Diodennetzwerkes (Di 1, Di 2 und Di 3) polygonartig eine annähernd quadratische Strom-Spannungskennlinie und zwar über einen sehr großen Signalspannungsbereich hinweg. Auf diese Weise gelingt es, den Effektivwert des gemessenen Schalldrucks $p_{\text{eff}} = \bar{p}$ bzw. die ihm proportionale Verstärker-Ausgangsspannung $u_{\text{eff}} = \tilde{u}$ in eine anzeigefähige Gleichspannung U_c umzusetzen, wobei zwischen beiden über einen Bereich von 50 dB und mehr ein linearer Zusammenhang hergestellt wird.

Die Funktion der Quadrierschaltung ist folgende: Ist der Momentanwert der gleichgerichteten Signalspannung $u(t)$ kleiner als die am Ladekondensator C stehende und während einer Periode T nahezu konstant bleibende Gleichspannung U_c , so sind alle 3 Dioden gesperrt. Überschreitet der Momentanwert der gleichgerichteten Spannung die Gleichspannung U_c , so werden die Dioden nacheinander leitend und schalten dabei zusätzliche Strompfade in den Stromkreis des Anzeigeteils ein. Der Ausgangsstrom $i \sim u^2(t)$ lädt den Kondensator C, der sich seinerseits wiederum über den Innenwiderstand des Anzeigeteils entlädt.

Die Vorspannung der 3 Dioden erfolgt mit der am Kondensator C auftretenden und von der Gleichrichtung herrührenden Gleichspannung U_c , die die Schaltung sich

gewissermaßen selbst zur Verfügung stellt. Entsprechend der Höhe des Effektivwertes \tilde{u} der Signalspannung nimmt die erzielte quadratische Kennlinie somit einen mehr oder weniger steilen Verlauf.

Der Dynamikbereich eines solchen Effektivwertmessers wird dadurch außerordentlich groß. Die durch das Diodennetzwerk zunächst quadrierte und anschließend am Kondensator C integrierte Spannung wird hierbei radiziert. Damit ist die Gleichspannung U_c dem Effektivwert \tilde{u} der Signalspannung $u(t)$ direkt proportional:

$$U_c \sim \tilde{u} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \ddot{u}^2(t) dt}$$

T = Periodendauer

Soviel zur Quadrierschaltung und zum Effektivwertgleichrichter. Die dem Effektivwert der Signalspannung direkt proportionale, gleichgerichtete Spannung U_c gelangt nun zur sogenannten Zeitbewertungseinheit. Im Bild 6 ist diese Einheit durch eine RC-Schaltung mit der Zeitkonstanten τ dargestellt. Vorangehend wurden die verschiedenen Zeitbewertungen bereits andeutungsweise erwähnt.

In der DIN IEC 651 kann man über die Zeitbewertung nachlesen, daß ein Schallpegelmessers eine oder mehrere der mit „S“, „F“, „I“ und „Spitze“ (peak) bezeichneten Zeitbewertungen besitzen muß. Die Zeitbewertungen „S“, „F“ und „I“ sind in den nationalen und internationalen Schallpegelmessern-Normen durch ganz bestimmte Zeiten für den Signalanstieg und -abfall bei einer sprunghaften Eingangssignal-Änderung am Pegelmessers definiert. Es gelten die nachfolgend angegebenen Zeiten (die Pegelanzeige selbst sei dabei als trägheitslos angenommen):

- „SLOW“ - je 1000 ms für den Signalanstieg und -abfall
- „FAST“ - je 125 ms für den Signalanstieg und -abfall
- „IMPULSE“ - 35 ms für den Signalanstieg und ca. 3 dB/s für den Signalabfall

Diese Zeiten erreicht man schaltungstechnisch mit Hilfe eines RC-Netzwerkes entsprechend bemessener Zeitkonstante $\tau = RC$ (=Mittelungsglied mit zeitlich exponentieller Wichtung).

Die vierte genannte Anzeigeart „Spitze“ hat eine nicht genormte, sehr schnelle Anstiegszeitkonstante ($< 50 \mu\text{s}$), wodurch einmalige Schallereignisse impulsförmiger Art (z. B. ein Knall) sehr viel genauer angezeigt werden. Durch eine elektronische Speicherung kann man so einen „Spitzenwert“ auch dauerhaft anzeigen („peak hold“).

In diesem Zusammenhang ist folgender

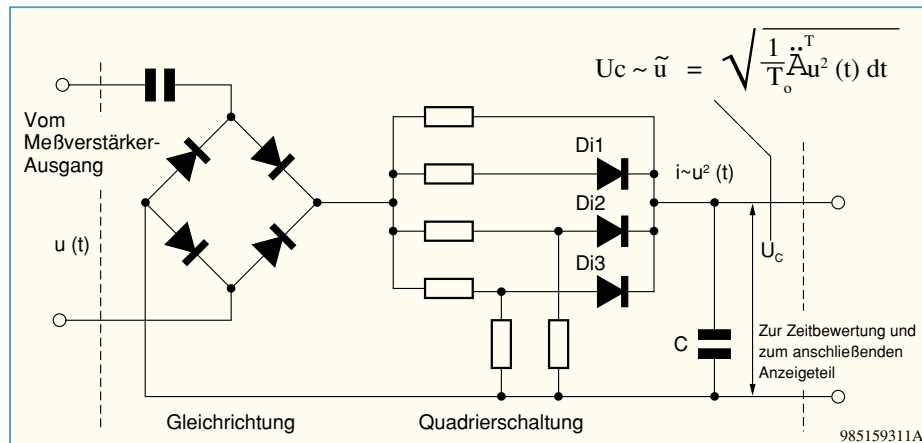


Bild 11: Schaltung für eine echte Effektivwert-Messung

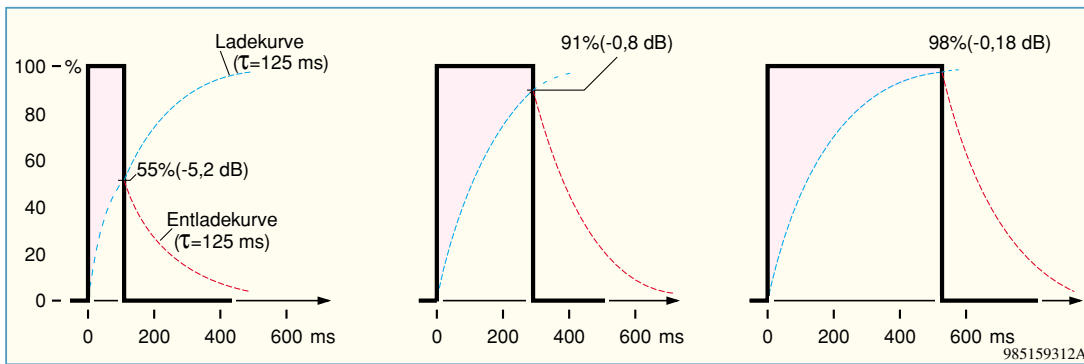


Bild 12: Zeitlicher Verlauf der (analogen) Pegelanzeige bei der Messung von Tonimpulsen mit einer Dauer von 100 ms, 300 ms und 500 ms sowie der Zeitbewertung „FAST“

Hinweis interessant. Gegen Ende der 70iger Jahre wurde durch umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen der Nachweis erbracht, daß wiederholte oder anhaltende Schallereignisse mit einer Dauer von $< 100 \mu\text{s}$ schwerwiegende Gehörschädigungen hervorrufen können. Tritt ein solches Schallereignis jedoch nur einmal auf, so ist sein energetischer Mittelwert (=Effektivwert) und damit seine Wirkung unbedeutend.

Die Bedeutung der geeignet gewählten Zeitbewertung sowie deren Einfluß auf die richtige Pegelanzeige veranschaulicht Bild 12 anhand eines Beispiels. Angenommen, man möchte Tonimpulse von 100ms, 300ms und 500 ms Dauer messen und schaltet dafür die Zeitbewertung „FAST“ ($\tau = 125$ ms) ein, so erhält man beim 100ms-Tonimpuls nur 55 % (Fehler: -5,2 dB), beim 300ms-Tonimpuls 91 % (Fehler: -0,8 dB) und erst beim 500ms-Tonimpuls 98 % (Fehler: -0,18 dB) der Soll-Anzeige. Das bedeutet, daß zeitlich stark schwankende Geräusche nur dann mit der Zeitbewertung „FAST“ korrekt angezeigt werden, wenn sie mindestens 0,5 s lang bestehen; in der Stellung „IMPULSE“ genügen bereits 0,1 s.

Mit Hilfe der verschiedenen Zeitbewertungen ist es möglich, jede Pegelmessung der Eigenart des Schallaufkommens anzupassen. In der Bewertungsart „FAST“ kommt der Pegelmessers (zeitlich gesehen) den physikalischen Eigenschaften unseres Gehörs am nächsten. Bei der Messung von Verkehrsgereäuschen z. B. wird ebenfalls meist die Einstellung „FAST“ gewählt.

Wie schon eingangs ausgeführt wurde, muß jeder - insbesondere in der Lärm-Meßtechnik verwendete - Schallpegelmessers in der Lage sein, neben dem aktuellen Meßergebnis, d. h. neben dem Momentanpegel, auch den energetischen Mittelungspegel $L_m = L_{eq}$ zu messen und anzuzeigen. Dafür ist im Bereich des elektronischen

Zeitbewertungsteils zusätzlich ein besonderer Mittelwertbildner vorgesehen, der von den fortlaufend aufgenommenen Einzelmeßwerten eine ständige Mittelwertbildung durchführt. Je nach der gewählten Zeitbewertung, z. B. „SLOW“ oder „FAST“, kennzeichnet man das dabei erhaltene Ergebnis mit dem Formelzeichen L_{ASm} bzw. L_{AFm} . Schallpegelmessers, mit denen man Mittelungspegel messen kann, nennt man auch „integrierende“ Schallpegelmessers.

Daß der praktische Umgang mit Mittelungspegeln nicht immer ganz unproblematisch ist, illustriert das in Bild 14 gezeigte Beispiel recht deutlich. Wie man aus den dort dargestellten Diagrammen ersieht, kann ein gleichmäßiger Straßenverkehr mit beispielsweise 2000 Pkw/Stunde etwa den gleichen Mittelungspegel erzeugen wie nur ein einziger D-Zug, der während des gleichen Zeitraums vorbeifährt.

Hier möchte man meinen, daß ein Vergleich dieser beiden so unterschiedlichen Geräuschaufkommen auf der Grundlage ihrer gleichgroßen Mittelungspegel fragwürdig erscheint. Dennoch hat sich dieses Meß- und Beurteilungsverfahren in der

Praxis bewährt. Für die Administration hat es sich als ein brauchbares Hilfsmittel erwiesen. Was im übrigen den Schienenverkehr betrifft, so wird dort ein sogenannter Schallpegel-Bonus von 5 dB(A) in Rechnung gestellt, so daß die Anwendung des Mittelungspegels letztlich zu keiner nennenswerten Fehlbeurteilung führt.

Der Pegel $L_m = L_{eq}$ ist, wie schon ausgeführt, ein energieäquivalenter, d. h. energetischer Mittelungspegel. Führt man die Mittelung lange genug durch, so ist schließlich $L_{Aeq} = L_{AFm} = L_{ASm}$. Im Gegensatz dazu ergibt die Zeitbewertung „I“ einen um so höheren Mittelungspegel, je impulshaltiger der Schall ist. In diesem Falle spricht man von einer überenergetischen Mittelung.

Ein weiteres, speziell in Deutschland gebräuchliches, überenergetisches Mittelungsverfahren ist das sogenannte Taktmaximalpegelverfahren, das über die TA Lärm zur Messung und Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft eingeführt und festgeschrieben worden ist. Es wird in bestimmten Fällen als Ersatzverfahren für die Impulspegelmittelung eingesetzt (s. dazu DIN 45645 und VDI 2058). Wie schon aus der Bezeich-



Bild 13: Blick auf eine Elektronik-Platine eines mit einem hochwertigen Frequenz-Analysator ausgestatteten Schallpegelmessers (enviornmental analyser) Typ 121 (Werkfoto Norsonic)

nung hervorgeht, wird hier an Stelle der Folge von Momentanpegeln der maximale Schalldruckpegel gewertet, der in aufeinanderfolgenden Zeittakten von 5 s bzw. 3 s Dauer auftritt, und zwar in der Zeitbewertung „F“.

Der mit einer Taktzeit von 3 s gemittelte Taktmaximalpegel L_{AFM3} kommt dem gemittelten Impulspegel L_{AIm} weitgehend gleich, da in beiden Fällen kurze Pegelspitzen durch zeitliche Dehnung überenergetisch gewichtet werden. Im ersten Falle geschieht das mittels einer einhüllenden Treppenkurve, im zweiten Fall durch einen verlangsamten Rücklauf. Die Durchführung von Messungen nach dem Taktmaximalpegelverfahren ist nur mit hochwertigeren Schallpegelmessern möglich.

Die gleichgerichtete und zeitlich bewertete Meßspannung gelangt schließlich zum Anzeigeteil, der früher ausschließlich analog (z. B. Zeigerinstrument), heute i. a. nur noch digital arbeitet.

Für eine kontinuierlich arbeitende, analoge Anzeige kann man die Meßspannung entweder zuvor noch logarithmieren und bekommt eine linear geteilte dB-Skala oder aber man versieht die Skala ganz einfach mit einer logarithmischen Teilung. Bei einer digitalen Anzeige (z. B. Ziffernanzeige oder

eine andere diskontinuierliche Anzeige) werden die Meßwerte in einem festen Zeittakt (1-Sekunden-Takt; s. DIN IEC 651, Abschnitt 7.8) angezeigt, wobei eine Auflösung von 0,1 dB oder besser gegeben sein muß.

Bei den neueren Digitalschallpegelmessern ist nicht nur die Anzeige digitalisiert, sondern auch die gesamte Schaltung einschließlich der Pegelintegration.

Gute Schallpegelmessern sollten mindestens eine Möglichkeit zum Anschluß von Registriergeräten besitzen. Das kann ein Wechselspannungsausgang sein, der noch vor dem Gleichrichterteil herausgeführt wird, es kann aber auch ein Gleichspannungsausgang sein, der hinter dem Gleichrichter und Zeitbewertungsteil angeschlossen ist, siehe Bild 6. Auf diese Weise kann man einen Pegelschreiber bzw. einen Gleichspannungsschreiber zur Aufzeichnung von Schallereignissen anschließen. Moderne Pegelmessern verfügen über einen Digitalausgang, an den z. B. ein Drucker angeschlossen werden kann, oder über den ein Datentransfer zu einem Computer stattfinden kann.

Hinweise für die Meßpraxis

Die wichtigste Voraussetzung für die

Erzielung richtiger Meßwerte ist eine sorgfältige Kalibrierung des Schallpegelmessers, die einer jeden Messung vorausgehen sollte. Das kann mit Hilfe eines Pistonfons (Kalibrierschall: 250 Hz) geschehen, wie es zuvor schon besprochen wurde, oder auch unter Zuhilfenahme eines sogenannten akustischen Kalibrators, bei dem der Kalibrierschall (1 kHz) nicht durch einen bewegten Kolben, sondern mit einem kleinen im Kalibrator eingebauten Lautsprecher erzeugt wird.

Auf den störenden Einfluß, den das Gehäuse eines Handschallpegelmessers auf das zu messende Schallfeld ausüben kann, wurde bereits hingewiesen. Eine noch größere Störung des Schallfeldes kann die Meßperson selbst verursachen, die den Schallpegelmessern in der Hand hält, bzw. vor dem eigenen Körper trägt. Dabei können Schallreflexionen und -beugungen auftreten, die zu einem verfälschten Meßergebnis führen.

In der DIN IEC 651, Abschnitt 9.1, wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß während des Meßvorganges „das Schallfeld durch die Anwesenheit eines Beobachters nicht wesentlich gestört werden darf“, und weiter heißt es dort „der Beobachter sollte sich vorzugsweise nicht im Schallfeld befinden“. Aus diesem Grunde positioniert man Schallpegelmessern in der Praxis gern auf Stative und verwendet, soweit möglich, eine Fernablesung.

Bei Messungen in geschlossenen Räumen, deren Raumbegrenzungen (Boden, Wände, Decke) den Schall stark reflektieren, können durch Interferenzen z. T. erhebliche Meßfehler entstehen. In solchen Fällen empfiehlt es sich, die Pegelmessung an mehreren, verschiedenen Orten zu wiederholen und die Ergebnisse zu mitteln.

Auch bei Messungen im Freien über oder vorreflektierenden Flächen sollte man an Interferenzeffekte denken und durch Kontrollmessungen das erhaltene Ergebnis überprüfen.

Wichtig ist natürlich auch die Wahl des richtigen Meßbereichs. In Bild 6 ist beim Vorverstärker eine Übersteuerungsanzeige eingezeichnet. Werden bei einer Messung Übersteuerungen angezeigt, so ist unbedingt auf den nächsthöheren Meßbereich umzuschalten, da auch das zu einer Fehlerquelle führen kann.

Für den Umgang mit Schallpegelmessern gäbe es noch eine Fülle von Hinweisen und Ratschlägen. Dennoch, die richtige Handhabung solcher Geräte lernt man nirgends besser als im praktischen Einsatz - oder, wie es neuhochdeutsch so schön heißt, „learning by doing“. Sollte dieser Artikel bei dem einen oder anderen unserer Leser die Neugierde an der Akustik und ihrer Meßtechnik geweckt haben, so hätte er sein Ziel erreicht.

ELV

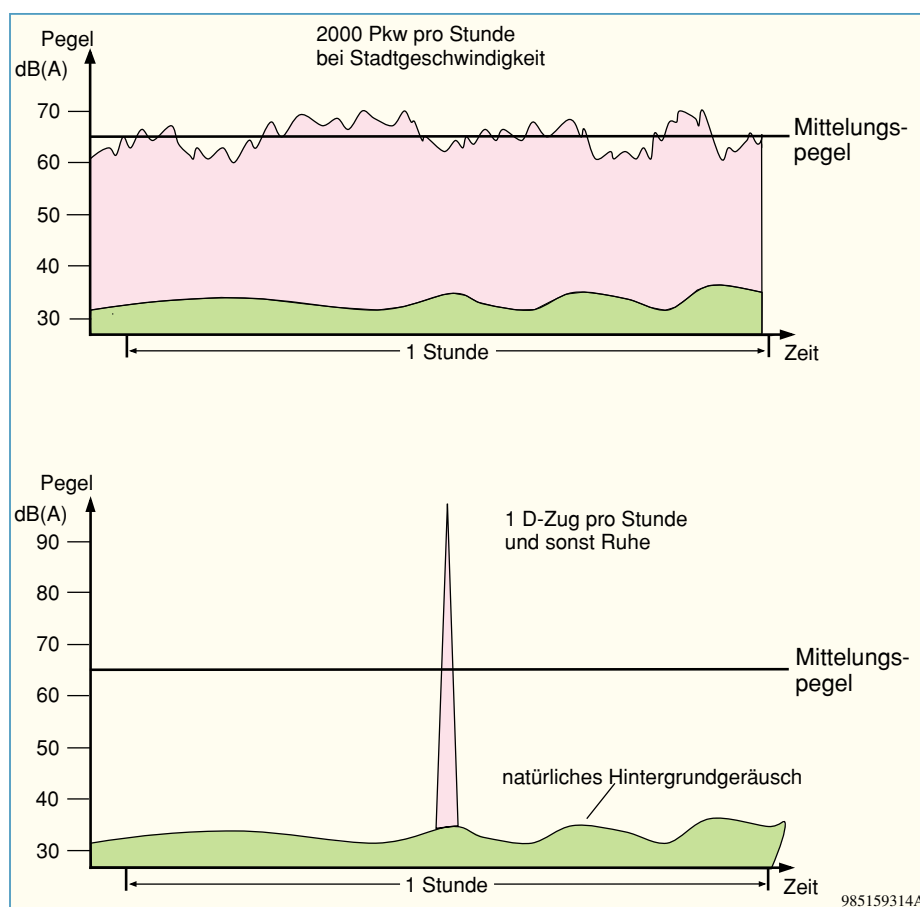


Bild 14: Mittelungspegel, die nach einer längeren Messung an Straße und Schiene mit extrem unterschiedlicher Verkehrshäufigkeit gewonnen wurden. (aus: Städtebauliche Lärmfibel, Hinweise für die Bauleitplanung. Herausgeber: Innenministerium Baden-Württemberg, 1991)