

Mittelung von Schallpegeln

DIN
 45 641

Averaging of sound levels

Ersatz für Ausgabe 06.76

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	1	Anhang A Einzelereignispegel	4
2 Schallpegel	1	A.1 Allgemeine Definition	4
3 Mittelungspegel	2	A.2 Einzelereignis-Schalldruckpegel	4
3.1 Mittelungspegel für einen zeitlich veränderlichen Schallpegel (äquivalenter Dauerschallpegel)	2	Anhang B Vertrauensbereich für den Mittelungspegel bei Verwendung von Stichproben- ergebnissen	5
3.2 Mittelungspegel für örtlich unterschiedliche Schallpegel	3	B.1 Allgemeines	5
3.3 Mittelungspegel für zeitlich veränderliche und örtlich unterschiedliche Schallpegel	3	B.2 Vertrauensbereich für den Mittelungspegel L_m bei annähernd normalverteilten Pegelwerten	5
4 Mittelungspegel aus einzelnen Schallpegelwerten ..	3	B.3 Vertrauensbereich für den Mittelungspegel bei annähernd normalverteilten Werten der Energie- größe y/y_0 nach Gleichung (2) oder der quadrierten Feldgröße x^2/x_0^2 nach Gleichung (1) ..	8
4.1 Allgemeine Definition	3	Anhang C Mittelungspegel bei wiederholter/mehr- facher Bestimmung – Präzision des Meßverfahrens und Unsicherheit der Meßergebnisse	9
4.2 Mittelungspegel aus klassierten Werten	3	Zitierte Normen und andere Unterlagen	10
5 Praktische Hinweise	3	Änderungen	10
5.1 Hinweis zur Meßtechnik	3	Erläuterungen	10
5.2 Aufteilung der Mittelungsdauer für Messungen	3		
5.3 Abschätzung des Mittelungspegels	3		
5.4 Systematische Abweichungen	4		
6 Vertrauensbereiche für den Mittelungspegel und Präzision des Meßverfahrens	4		

1 Anwendungsbereich und Zweck

Bei vielen Schallvorgängen und Schallfeldern ist der Schallpegel nicht konstant, sondern ändert sich zeitlich oder ist örtlich verschieden. Um solche Schallvorgänge oder Schallfelder einfach beschreiben zu können, wird die Vielzahl der anfallenden Werte (im allgemeinen der Meßwerte) für den untersuchten Fall zu einem Einzahlwert zusammengefaßt.

Als Einzahlwert wird vielfach der Wert des Mittelungspegels L_m benutzt. Es erscheint deshalb zweckmäßig, das Verfahren zur Bildung von L_m in einer Norm zu beschreiben, damit für die verschiedenen Anwendungen darauf Bezug genommen werden kann.

Diese Norm definiert den Mittelungspegel und gibt Verfahren zu seiner Bestimmung an. Danach können für einen Schallvorgang mit zeitlich beliebig schwankendem Pegel ein zeitlicher Mittelwert, für örtlich unterschiedliche Schallpegel ein örtlicher Mittelwert oder eine Kombination daraus bestimmt werden. Die Gewinnung der Schallpegelwerte, aus denen der Mittelungspegel gebildet wird, ist nicht Gegenstand dieser Norm.

Der Mittelungspegel läßt sich mit Hilfe einer Bezugszeit in andere Größen, z. B. in einen Einzelereignispegel, umrechnen (siehe Anhang A).

Anmerkung: Zur Benutzung der Bezeichnungen „energetische Mittelung“, „Energieäquivalenz“, „äquivalenter“ und „energieäquivalenter Dauerschallpegel“ und „gleitende Mittelung“ siehe Erläuterungen.

Der Beurteilungspegel ist nicht Gegenstand dieser Norm. Er wird in DIN 45 645 Teil 1 und Teil 2 behandelt.

2 Schallpegel

Der Schallpegel L ist im allgemeinen Fall zeitlich veränderlich und örtlich unterschiedlich.

Wird besonders auf die Abhängigkeit von der Zeit t hingewiesen, wird der Ausdruck $L(t)$ verwendet. Wird besonders auf die örtliche Abhängigkeit im Volumen V , auf der Fläche S oder auf der Linie Z hingewiesen, wird der Ausdruck $L(V)$, $L(S)$ bzw. $L(Z)$ verwendet.

Kombinierte Hinweise auf zeitliche und örtliche Abhängigkeit sind $L(V,t)$, $L(S,t)$ bzw. $L(Z,t)$.

Schallpegel, die nach dem Verfahren dieser Norm zeitlich und/oder örtlich gemittelt werden, werden Mittelungspegel genannt und können mit L_m bezeichnet werden.

Fortsetzung Seite 2 bis 11

Normenausschuß Akustik und Schwingungstechnik (FANAK) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

Wird besonders auf die zeitliche Mittelung hingewiesen, wird der Mittelungspegel äquivalenter Dauerschallpegel genannt und mit L_{eq} bezeichnet, wobei der Index „m“ durch den Index „eq“ ersetzt wird.¹⁾

Wird besonders auf die örtliche Mittelung hingewiesen, wird der Mittelungspegel speziell benannt (z. B. als Meßflächen-schalldruckpegel im Fall der Mittelung über eine Hüllfläche) und mit $\bar{L}$ bezeichnet, wobei der Index „m“ durch den Balken über dem Formelzeichen L ersetzt wird.

Der kombinierte Hinweis auf zeitliche und örtliche Mittelung ist $\bar{L}_{eq}$.

Als Reihenfolge der Indizes zur Unterscheidung von Schallpegeln sollte verwendet werden:

- Index für die physikalische Größe (z. B. L_p für den Schalldruck p , L_v für die Schallschnelle v);
- Index für die Frequenzbewertung oder die Breite eines eingeschränkten Frequenzbandes (z. B. L_{pA} bei Frequenzbewertung A; L_{pOkt} beim Oktavband);
- Index für die Zeitbewertung (z. B. L_{pAS} bei Zeitbewertung S; L_{pAFT} für das Taktmaximalverfahren mit Zeitbewertung F, wobei „FT“ als ein Index gilt);
- Index für das Mittelungsverfahren nach dieser Norm (z. B. L_{pASeq} bei zeitlicher Mittelung);
- Index für die Mittelungsdauer T (z. B. $L_{pASeq, T=60s}$ bei zeitlicher Mittelung über die Mittelungsdauer 60 s);
- Index für die Bezugszeit T_0 , wenn der Mittelungspegel auf eine solche umgerechnet werden soll (siehe z. B. Einzelereignispegel nach Anhang A).

Indizes können entfallen, wenn aus dem Zusammenhang der spezielle Schallpegel eindeutig hervorgeht. Dabei soll die empfohlene Reihenfolge erhalten bleiben.

Bedeutet x_0 den festgelegten Bezugsgrößenwert, so ist ein Schallpegel L_x im Fall einer Feldgröße oder einer bewerteten Feldgröße x (z. B. Druck, Schnelle) definiert als

$$L_x = 10 \lg \frac{x^2}{x_0^2} \text{ dB} \quad (1)$$

Beispiel: Pegel des Schalldruckquadrats p^2 mit Frequenzbewertung A und Zeitbewertung S:

$$L_{pAS} = 10 \lg \frac{p_{AS}^2}{p_0^2} \text{ dB, kurz AS-Schalldruckpegel}$$

genannt, wobei $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ ist.

Im Fall einer Energiegröße oder einer bewerteten Energiegröße y (z. B. Leistung, Intensität) ist der Schallpegel L_y definiert als

$$L_y = 10 \lg \frac{y}{y_0} \text{ dB} \quad (2)$$

Beispiel:
Oktavschalleistungspegel $L_{WOkt} = 10 \lg \frac{P_{Okt}}{P_0} \text{ dB}$,
wobei $P_0 = 1 \text{ pW}$ ist.

¹⁾ In den deutschen Normen (z. B. die Normen der Reihe DIN 45 635 und DIN 45 645 Teil 1 und Teil 2) wurde **bisher** der Index „eq“ eingeschränkt benutzt lediglich für Pegel, die keine Zeitbewertung oder nur die Zeitbewertungen S oder F aufweisen. Nur diese Pegel wurden energieäquivalente Dauerschallpegel genannt. In diesem Sinne war bei Verwendung der Zeitbewertung I z. B. die Bezeichnung L_{Aeq} bisher nicht möglich.

Für die Zukunft sollten für äquivalente Dauerschallpegel folgende Bezeichnungen verwendet werden (Beispiele):

- L_{Aeq} , L_{ASeq} , L_{AFeq} anstatt energieäquivalenter Dauerschallpegel
- L_{AIm} anstatt Mittelungspegel L_{AIm}
- L_{AFTeq} anstatt Mittelungspegel L_{AFTm}

3 Mittelungspegel

3.1 Mittelungspegel für einen zeitlich veränderlichen Schallpegel (äquivalenter Dauerschallpegel)

3.1.1 Äquivalenter Dauerschallpegel für einen zeitlich kontinuierlichen Schallpegel

Der äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} aus einem zeitlich veränderlichen Schallpegel $L(t) = L_x(t)$ oder $L(t) = L_y(t)$ (siehe Gleichungen (1) oder (2)) über die Mittelungsdauer T ist durch folgende Gleichung definiert:

Bei einer Feldgröße oder einer bewerteten Feldgröße $x(t)$ gilt:

$$L_{eq} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{x(t)^2}{x_0^2} dt \right] \text{ dB} \quad (3)$$

Bei einer Energiegröße oder einer bewerteten Energiegröße $x(t)$ gilt:

$$L_{eq} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{y(t)}{y_0} dt \right] \text{ dB} \quad (4)$$

Entsprechend gilt bei $L(t) = L_x(t)$ oder $L(t) = L_y(t)$:

$$L_{eq} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1 L(t)/\text{dB}} dt \right] \text{ dB} \quad (5)$$

Diese Definition schließt ein, daß nicht unterschieden wird, ob bestimmte Pegel zeitlich ununterbrochen oder in Teilabschnitten mit Pausen oder dazwischenliegenden anderen Pegeln auftreten.

Anmerkung 1: Bei der Bildung des äquivalenten Dauerschallpegels wird der Mittelwert der quadrierten Feldgröße oder bewerteten Feldgröße oder der Mittelwert der Energiegröße oder bewerteten Energiegröße im Argument des Logarithmus verwendet. Es handelt sich also nicht um eine arithmetische Mittelung von Pegeln. Das hier benutzte Verfahren wird gelegentlich „energetische Mittelung“ genannt.

Anmerkung 2: Beispiel für einen äquivalenten Dauerschallpegel: Der äquivalente AS-Dauerschalldruckpegel ergibt sich mit Gleichung (5) und Gleichung (1) zu

$$\begin{aligned} L_{pASeq} &= 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1 L_{pAS}(t)/\text{dB}} dt \right] \text{ dB} \\ &= 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_{AS}(t)^2}{p_0^2} dt \right] \text{ dB} \end{aligned} \quad (6)$$

wobei p_{AS} der Schalldruck mit der Frequenzbewertung A und der Zeitbewertung S ist.

Anmerkung 3: Bei der Benutzung unterschiedlicher Zeitbewertungen sei darauf hingewiesen, daß bei einer Mittelung über ein Zeitintervall, das größer als die Zeitkonstante der Zeitbewertung ist, was für die meisten praktischen Anwendungen zutrifft, gilt:

$$L_{Seq} = L_{Feq}, \text{ kurz oft mit } L_{eq} \text{ bezeichnet.}$$

Dagegen ist im allgemeinen $L_{Ieq} > L_{Seq} = L_{Feq} = L_{eq}$ (Index I für Zeitbewertung I (Impuls)): nur bei konstanten Geräuschen gilt: $L_{Ieq} = L_{eq}$.

3.1.2 Äquivalenter Dauerschallpegel aus Schallpegeln für Teildauern

Der äquivalente Dauerschallpegel von N äquivalenten Dauerschallpegeln L_{eqi} ($i = 1 \dots N$) für die einzelnen Teildauern T_i der Mittelungsdauer T (siehe Abschnitt 5.1) ergibt sich wie folgt:

$$L_{eq} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N T_i 10^{0,1 L_{eqi}/dB} \right] \text{ dB} \quad (7)$$

$$\text{mit } T = \sum_{i=1}^N T_i$$

Anmerkung: Ist jede Teildauer T_i gleich lang, geht Gleichung (7) in Gleichung (12) über. In diesem Fall ist auch das Klassierverfahren nach Gleichung (13) anwendbar.

3.2 Mittelungspegel für örtlich unterschiedliche Schallpegel

Der Mittelungspegel $\bar{L}$ aus örtlich unterschiedlichen Schallpegeln $L(V)$, $L(S)$ oder $L(Z)$ wird durch folgende Gleichungen definiert:

Für die Mittelung über ein Volumen V gilt:

$$\bar{L} = 10 \lg \left[\frac{1}{V} \int 10^{0,1 L(V)/dB} dV \right] \text{ dB} \quad (8)$$

Für die Mittelung über eine Fläche S gilt:

$$\bar{L} = 10 \lg \left[\frac{1}{S} \int 10^{0,1 L(S)/dB} dS \right] \text{ dB} \quad (9)$$

Ist die Fläche S eine Hüllfläche um eine Schallquelle oder ein Teil von ihr, wird $\bar{L}_p$ als Meßflächen-Schalldruckpegel bezeichnet.

Für die Mittelung über eine Linie Z gilt:

$$\bar{L} = 10 \lg \left[\frac{1}{Z} \int 10^{0,1 L(Z)/dB} dZ \right] \text{ dB} \quad (10)$$

Der Mittelungspegel von N Mittelungspegeln $\bar{L}_i$ ($i = 1 \dots N$) für einzelne Teilvolumina, Teilflächen oder Teillinien wird wie folgt am Beispiel von Teilflächen S_i der Gesamtfläche S ermittelt:

$$\bar{L} = 10 \lg \left[\frac{1}{S} \sum_{i=1}^N S_i 10^{0,1 \bar{L}_i/dB} \right] \text{ dB} \quad (11)$$

$$\text{mit } S = \sum_{i=1}^N S_i$$

Anmerkung: Ist jede Teilfläche S_i gleich groß, geht Gleichung (11) in Gleichung (12) über. In diesem Fall ist auch das Klassierverfahren nach Gleichung (13) anwendbar.

3.3 Mittelungspegel für zeitlich veränderliche und örtlich unterschiedliche Schallpegel

In diesem Fall sind zur Ermittlung des Mittelungspegels $\bar{L}_{eq}$ die Integrale nach Abschnitt 3.1 und Abschnitt 3.2 zu kombinieren.

4 Mittelungspegel aus einzelnen Schallpegelwerten

4.1 Allgemeine Definition

Der Mittelungspegel L_m aus einzelnen Schallpegelwerten L_i ($i = 1 \dots n$) ist durch folgende Gleichung definiert:

$$L_m = 10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i/dB} \right] \text{ dB} \quad (12)$$

L_m steht hier für L_{eq} nach Abschnitt 3.1, für $\bar{L}$ nach Abschnitt 3.2 oder für $\bar{L}_{eq}$ nach Abschnitt 3.3.

Anmerkung: Stellen die n einzelnen Schallpegelwerte L_i eine Zufalls-Stichprobe oder eine Stichprobe als Ergebnis einer systematischen Probenahme (z.B. für Zeit-

punkte mit festen Zeitabständen über der Mittelungsdauer T oder für gleichmäßig angeordnete gleich große Teilflächen einer Meßfläche) dar, so liefert Gleichung (12) lediglich einen je nach Probenahmeverfahren unterschiedlichen Schätzwert für L_m nach Abschnitt 3. Abweichungen siehe Abschnitt 6; Begriffe der Probenahme siehe DIN 55 350 Teil 14.

4.2 Mittelungspegel aus klassierten Werten

Liegen die Schallpegelwerte in klassierter Form vor (siehe auch DIN 45 667), beträgt die Anzahl der Pegelklassen k und werden die Klassenmitten-Pegel der Pegelklassen j ($j = 1 \dots k$) mit L_j und die Anzahl der Schallpegelwerte in Klasse j mit n_j (Besetzungszahl) bezeichnet, dann geht Gleichung (12) über in folgende Gleichung (siehe Abschnitt 6):

$$L_m = 10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^k n_j 10^{0,1 L_j/dB} \right] \text{ dB} \quad (13)$$

$$\text{mit } n = \sum_{j=1}^k n_j$$

Der nach Gleichung (13) ermittelte Wert für L_m ist eine Näherung für den nach Gleichung (12) ermittelten Wert. Die Anmerkung zu Abschnitt 4.1 gilt entsprechend.

5 Praktische Hinweise

5.1 Hinweis zur Meßtechnik

Die Bestimmung des Mittelungspegels nach den Abschnitten 3 und 4 erfolgt zweckmäßigerweise mit Hilfe von integrierenden mittelwertbildenden Schallpegelmessern (Anforderungen siehe DIN IEC 804) und/oder elektronischen Rechengeralten.

Bei Überschreitung des Meßbereichs treten unkontrollierbare systematische Meßabweichungen auf. Deshalb müssen Meßapparaturen zur Bestimmung des Mittelungspegels mit einer selbsthaltenden Übersteuerungsanzeige versehen sein.

Bei Gerätekombinationen mit Ausgabe der Meßwerte auf Druckern ist eine entsprechende Kennzeichnung der Ergebnswerte, bei denen Übersteuerung vorhanden war, vorzusehen.

5.2 Aufteilung der Mittelungsdauer für Messungen

Die Mittelungsdauer T kann für die Messung und Auswertung in Teildauern unterteilt werden, in denen etwa gleiche oder ähnlich verteilte Geräuscheinwirkungen bestehen.

Die Meßdauer kann zur Vereinfachung der Messung kürzer gewählt werden als die betreffende Teildauer. Es muß jedoch sichergestellt sein, daß das Ergebnis maßgebend für die betreffende Teildauer ist. Bei periodischen Vorgängen soll sich die Meßdauer über eine ganze Anzahl von typischen Geräuschzyklen erstrecken.

Das Bild 1 zeigt zur Erläuterung einen Schallpegelverlauf mit Mittelungsdauer und Beispielen für zweckmäßig gewählte Teildauern und Meßdauern.

5.3 Abschätzung des Mittelungspegels

Die im folgenden beschriebene Abschätzung eignet sich besonders für einen als Kurvenzug aufgezeichneten Pegelverlauf.

Schwankungsbereich bis zu 5 dB:

Für Schallvorgänge mit Pegelschwankungen bis zu etwa 5 dB (bzw. $\pm 2,5$ dB) kann im allgemeinen die Mitte des Schwankungsbereiches als Mittelungspegel gelten.

Schwankungsbereich bis zu 10 dB:

Wenn der Schwankungsbereich der Werte kleiner als etwa 10 dB ist, so liegt der Mittelungspegel um etwa $\frac{1}{3}$ des Schwankungsbereiches unterhalb seiner oberen Werte.

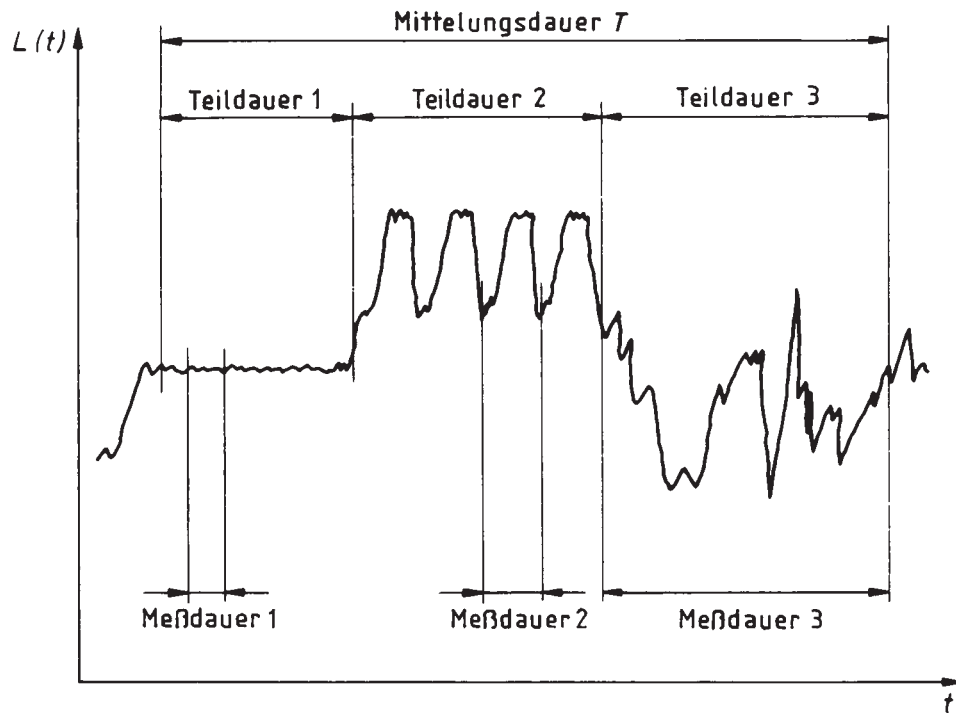


Bild 1. Schallpegelverlauf mit Mittelungsdauer und Beispiele für zweckmäßig gewählte Teildauern und Meßdauern.

5.4 Systematische Abweichungen

Bei Klassierungen wachsen die systematischen Abweichungen mit der Klassenbreite an; bis 5 dB Klassenbreite sind sie kleiner als 0,5 dB, wenn die Pegel annähernd normalverteilt sind und sich hinreichend viele Werte über mehrere Klassen verteilen.

Bei extrem scharfen Pegelhäufungen am Rand einer Klasse kann die systematische Abweichung höchstens bis zur halben Klassenbreite anwachsen.

Anmerkung: Die systematische Abweichung für übliche Pegelstreuungen liegt zwischen + 0,2 und + 0,5 dB bei einer Klassenbreite von 5 dB.

6 Vertrauensbereiche für den Mittelungspegel und Präzision des Meßverfahrens

Der Vertrauensbereich für den Mittelungspegel bei Verwendung von Stichprobenergebnissen wird in Anhang B behandelt.

Die Präzision des Meßverfahrens und die Unsicherheit der Meßergebnisse werden im Anhang C behandelt.

Anhang A

Einzelereignispegel

Der Mittelungspegel kann für spezielle Anwendungen auf eine Bezugszeit T_0 umgerechnet werden, wobei diese Umrechnung dem Prinzip der energetischen Mittelung nach Abschnitt 3 folgt.

Eine solche Anwendung des Mittelungspegels ist der Einzelereignispegel, wie er im folgenden dargestellt ist.

A.1 Allgemeine Definition

Für die Beurteilung von Einzelereignissen (z. B. von Knallen, von einzelnen Flugzeuggeräuschen) kann es zweckmäßig sein, den für die Mittelungsdauer T ermittelten Mittelungspegel des Schallereignisses, das sich mit seinem Anfang und Ende aus dem Fremdgeräusch am Meßort herausheben muß, auf die Dauer $T_0 = 1$ s zu beziehen. Die Mittelungsdauer T ist so zu wählen, daß sie mindestens die Dauer erfaßt, die durch den Abstand der Punkte gegeben ist, zwischen denen der Schallpegel des Schallereignisses erstmals und letztmals um weniger als 10 dB unter dem Maximalwert liegt.

Dieser Einzelereignispegel enthält keine Zeitbewertung und ist durch die folgende Gleichung definiert:

$$L_{T_0 = 1s} = L_{eq} + 10 \lg \frac{T}{T_0} \text{ dB} \quad \text{mit } T_0 = 1s \quad (14)$$

Ist $T < 1s$ (z. B. bei einem Knall), ist $L_{T_0 = 1s} < L_{eq}$. Ist $T > 1s$ (z. B. bei einem einzelnen Flugzeugüberflug), ist $L_{T_0 = 1s} > L_{eq}$.

A.2 Einzelereignis-Schalldruckpegel

Der Einzelereignis-Schalldruckpegel

$$L_{p, T_0 = 1s} = L_{p, eq} + 10 \lg \frac{T}{T_0} \text{ dB} \quad (15)$$

mit $T_0 = 1s$ läßt sich meßtechnisch zweckmäßig mit einem integrierenden mittelwertbildenden Schallpegelmessers nach DIN IEC 804 bestimmen. Wenn das Gerät nur längere Mittelungszeiten als 1 s vorsieht, ist die Anzeige auf eine Bezugsdauer von 1 s umzurechnen.

Ersatzweise kann bei Impulsen der Maximalwert des zeitbewerteten A-Schalldruckpegels abgelesen werden, sofern