

Pegelrechnung

Version 2.4

© 2005 Holger Stolzenburg

SAE-Hamburg

Inhaltsverzeichnis

1 Pegel.....	4
1.1 Absolute Pegel.....	4
1.1.1 Leistungspegel.....	4
1.1.2 Schalldruckpegel.....	4
1.1.3 Spannungspegel (Tonstudioteknik).....	4
1.1.4 Spannungspegel (Hifi-Technik).....	4
1.2 Relative Pegel.....	5
1.2.1 Relativer Leistungspegel.....	5
1.2.2 Relativer Schalldruckpegel.....	5
1.2.3 Relativer Spannungspegel.....	5
1.3 Verstärkungsfaktoren für Schalldruck- und Spannungspegel.....	5
2 Aussteuerungsmesser.....	6
2.1 VU-Meter (Volume Unit Meter).....	6
2.2 PPM (Peak-Program Meter).....	6
3 Lautstärkewahrnehmung.....	6
4 Bewertete Schallpegelmessungen.....	7
5 Überlagerung von Sinussignalen.....	7
6 Klirrfaktor.....	8
7 Übungsaufgaben.....	9

Dieses Skript ist eine Ergänzung zur Vorlesung „Pegelrechnung“ an der SAE-Hamburg. Eine aktuelle Version dieses Skriptes ist jederzeit unter <http://www.sae.holgerstolzenburg.de> zum Download bereit.

1 Pegel

In der Tontechnik wird mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Pegeln gearbeitet (z.B. Schalldruckpegel, Leistungspegel oder Spannungspegel). Allen gemein ist, dass sie in dB (Dezibel – der zehnte Teil eines Bel) angegeben werden. Die Berechnung der einzelnen Pegel unterscheidet sich jedoch leicht von einander. Da Pegelangaben reine Zahlenangaben, also dimensionslos sind, ist das dB anders als z.B. Volt oder Prozent keine echte Einheit; man bezeichnet sie als Pseudo-Einheit.

1.1 Absolute Pegel

Bei einigen Angaben in der Tontechnik – z.B. dem Schalldruck - ist ein sehr hoher Wertebereich abzudecken. Die Hörschwelle des Menschen (also der kleinste Schalldruck den der Mensch als Geräusch wahrnehmen kann) liegt bei ca. $20\mu\text{Pa}$ ($0,00002\text{Pa}$). Die Schmerzgrenze (also der höchste „erträgliche“ Schalldruck liegt bei ca. 63Pa . Um diesen großen Bereich in übersichtlichen Zahlen darstellen zu können bedient man sich der logarithmischen Darstellung bzw. des Schalldruckpegels. Nun liegt die Hörschwelle bei 0dB_{SPL} und die Schmerzgrenze bei $130\text{dB}_{\text{SPL}}$.

Es gibt noch einen weiteren Vorteil der logarithmischen Darstellung: Eine einfache, lineare Darstellung von Lautstärken entspricht nicht dem menschlichen Lautstärkeempfinden, eine logarithmische Angabe gibt das subjektive Empfinden jedoch gut wieder.

1.1.1 Leistungspegel

$$p_p = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0} \qquad P_0 = 1\text{mW} \qquad [p_p] = \text{dB}_m$$

1.1.2 Schalldruckpegel

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \qquad p_0 = 20\mu\text{Pa} \qquad [L_p] = \text{dB}_{\text{SPL}}$$

(Der Schalldruckpegel wird auch für bewertete Messungen in dB(A) , dB(B) oder dB(C) angegeben.)

1.1.3 Spannungspegel (Tonstudioteknik)

$$p = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_0} \qquad U_0 = 0,775\text{ V} \qquad [p] = \text{dB}_u$$

1.1.4 Spannungspegel (Hifi-Technik)

$$p = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_0} \qquad U_0 = 1\text{ V} \qquad [p] = \text{dB}_V$$

1.2 Relativer Pegel

Für die Darstellung von Pegeldifferenzen gibt es eigenständige Rechenvorschriften. Sie ähneln denen für absolute Pegel, setzen jedoch zwei Werte ins Verhältnis ohne eine Bezugsgröße zu benutzen. Relative Pegel werden in dB oder dB_r angegeben.

1.2.1 Relativer Leistungspegel

$$p = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1}$$

1.2.2 Relativer Schalldruckpegel

$$p = 20 \cdot \lg \frac{p_2}{p_1}$$

1.2.3 Relativer Spannungspegel

$$p = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}$$

1.3 Verstärkungsfaktoren für Schalldruck- und Spannungspegel

Verstärkung um den Faktor	1	1,4 =√2	2	3,2 =√10	4	10	20	40	50	100	1000
Entspricht einer Addition von ... dB	0	3	6	10	12	20	26	32	34	40	60

2 Aussteuerungsmesser

In der Tontechnik sind Aussteuerungsmesser wichtige Hilfsmittel um Pegel kontrollieren und optimal einstellen zu können. Ein zu niedriger Pegel verschlechtert den Signal-Rausch-Abstand (SNR), ein zu hoher Pegel übersteuert die Elektronik und hat Verzerrungen zur Folge. Aussteuerungsmesser sollten so ausgelegt sein, dass ein optimaler Pegel mit 0dB angezeigt wird und von da ausgehend alle anderen Werte relativ angezeigt werden.

Für verschiedene Einsatzgebiete gibt es folgende festgelegte Referenzspannungen:

Homerecordingpegel:	-10dB_v	0,32 V
Studioreferenzpegel:	+4dB_u	1,23 V
Rundfunknormpegel:	+6dB_u	1,55 V

In der Praxis trifft man auf zwei verschiedene Arten von Aussteuerungsmessern:

2.1 VU-Meter (Volume Unit Meter)

Ein eher träges Anzeigergerät (Ein- und Ausschwingzeit von 300ms) eignet sich gut zur Anzeige der subjektiven Lautheit oder zur Aussteuerung von analogen Bandmaschinen. Da kurze Peaks im Signal nicht angezeigt werden, eignet es sich nicht für digitale Aufnahmemedien/Mischpulte.

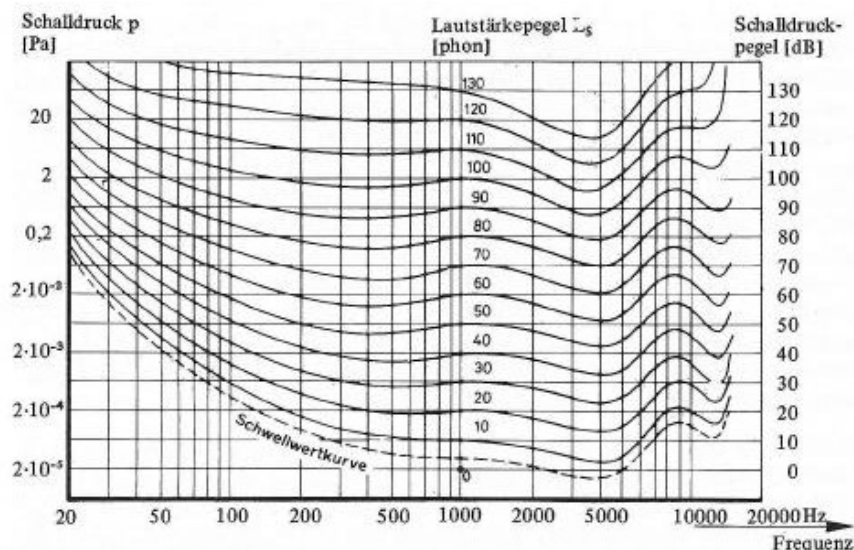
Beim Einpegeln mit VU-Metern ist zu beachten, dass diese einen Vorlauf haben (z.B. 3 oder 6dB) um Musiksingnale annähernd richtig darzustellen. Wenn mit einem Sinuston eingepgelt wird, muss nach VU-Meter also nicht auf 0dB sondern auf den Vorlaufwert (also z.B. 3 oder 6dB) gepegelt werden.

2.2 PPM (Peak-Program Meter)

Der Spitzenwert-Anzeiger eignet sich besonders gut zum Pegeln in digitalen Studioumgebungen. Mit einer Einschwingzeit von 5ms werden alle „hörbaren“ Peaks angezeigt und die Ausschwingzeit von 3sec verbessert die Ablesbarkeit des Gerätes.

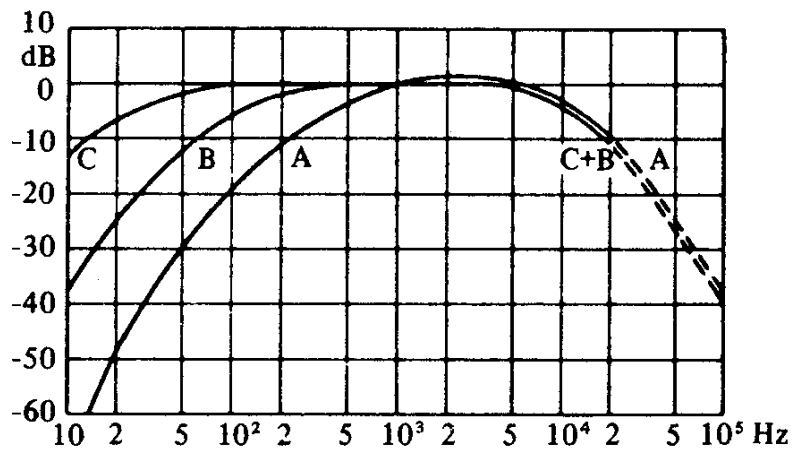
3 Lautstärkewahrnehmung

Das menschliche Ohr nimmt alle Frequenzen unterschiedlich gut wahr. Der empfindlichste Bereich liegt zwischen 3 und 5 kHz. Zu den hohen und tiefen Frequenzen nimmt die Hörfähigkeit ab. Um diesem Phänomen Rechnung zu tragen und eine eigenständige Einheit für den Lautstärkepegel zu haben, wurde das Phon eingeführt. Da jedes Gehör andere Eigenschaften und jeder Mensch ein unterschiedliches subjektives Empfinden hat wurden die Ergebnisse von Hörversuchen gemittelt. Die hieraus entstandenen Kurven sind die „Kurven gleicher Lautstärkepegel“. Die Hörschwelle liegt bei etwa 4phon und die Schmerzgrenze liegt bei etwa 132phon. Eine Erhöhung um 10phon entspricht etwa der doppelten Lautheit (wahrgenommene „Lautstärke“).



4 Bewertete Schallpegelmessungen

Aus den Kurven gleicher Lautstärkepegel wurde ein vereinfachtes Bewertungssystem für Schallpegelmessungen abgeleitet. Bei Messungen von „Lärm“ werden die Schalldruckmessgeräte mit Bewertungskurven belegt, die in etwa den Kurven gleicher Lautstärkepegel (in vereinfachter Form) entsprechen. Je nach Pegelbereich werden die Messungen in dB(A) dB(B) oder dB(C) angegeben.



5 Überlagerung von Sinussignalen

Bei der Überlagerung von Sinussignalen ist für die Berechnung nicht nur der Pegel, sondern auch die Phasenlage der Signale zu betrachten. In der folgenden Tabelle sind beispielhaft vier Phasenlagen für Überlagerung zweier Sinussignale mit der selben Frequenz angegeben. Bei abweichenden Frequenzen ist die Addition nicht mehr so leicht zu berechnen.

Signal	Phasendifferenz	Pegeländerung
Sinussignale gleicher Frequenz und Spannung	0°	+6dB
	90°	+3dB
	120°	0dB
	180°	-∞dB (Auslöschung)

6 Klirrfaktor

Bei der Übertragung von Signalen entstehen in praktisch allen Geräten zusätzliche, im Originalsignal nicht vorhandene Frequenzanteile. Diese bezeichnet man als nicht lineare Verzerrungen. Das Verhältnis vom Effektivwert dieser Verzerrungen zum Effektivwert des Gesamtsignals bezeichnet man als Klirrfaktor bzw. THD (Total Harmonic Distortion). Er wird in % angegeben.

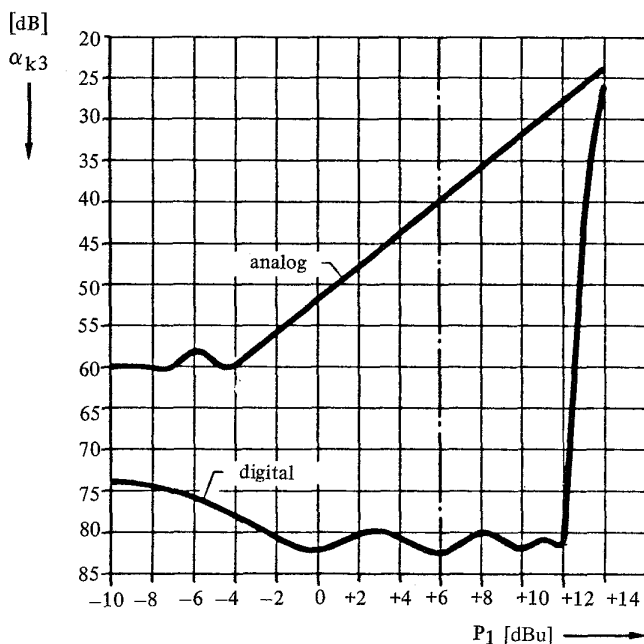
$$THD = \frac{U_{\text{neue Obertöne}}}{U_{\text{Gesamtsignal}}} \cdot 100\%$$

Die Klirrdämpfung wird in dB angegeben und beschreibt den Pegel der neuen Obertöne im Vergleich zum Gesamtsignal in dB.

$$L_{THD} = 20 \cdot \log \frac{U_{\text{neue Obertöne}}}{U_{\text{Gesamtsignal}}}$$

Ein Klirrfaktor von 0,1% entspricht somit einer Klirrdämpfung von -60dB. 1% Klirrfaktor entsprechen -40dB und 3% entsprechen -30,46dB Klirrdämpfung.

Bei einem Klirrfaktor > 3% spricht man von einem verzerrten Signal. Ein geschultes Ohr kann aber durchaus schon einen Klirrfaktor von ca. 0,5% bei Sinustönen und 1% bei Musiksignalen (besonders, wenn man den Vergleich zum Originalsignal hat).



Der Klirrpegel bei der Aufzeichnung von Signalen verhält sich bei digitaler Aufzeichnung ganz anders als bei analoger Aufzeichnung. Beim analogen Tonband steigt der Klirrpegel relativ langsam an, während bei der digitalen Aufzeichnung eine langsame Abnahme bis zur Aussteuerungsgrenze und dann ein sprunghafter Anstieg erfolgt.

Dieses sollte man bei der Aussteuerung beachten. Ein Digitalgerät darf niemals übersteuert werden, bei Analoggeräten wird der leichte Anstieg dagegen oft als positive Eigenschaft ausgenutzt (z.B. Röhrenzerren oder Bandsättigung).

7 Übungsaufgaben

1. Geben Sie den Spannungspegel für 2,5 V in dBV an.
2. Geben Sie den Spannungspegel für 2,5 V in dBu an.
3. Geben Sie den Schalldruckpegel für 130mPa an.
4. Geben Sie den Leistungspegel für 2W an.
5. Wie groß ist der relative Spannungspegel bei einer Änderung von 1V auf 3,2V?
6. Wie groß ist der relative Spannungspegel bei einer Änderung von 3,2V auf 1,7V?
7. Wie groß ist der relative Leistungspegel bei einer Änderung von 1mW auf 5mW?
8. Welche Leistung ergibt sich, wenn man die Ausgangsleistung einer Endstufe von 300W um 6dB erhöht?
9. Wie hoch ist der Schalldruck an der Schmerzgrenze (132dB SPL)?
10. Welcher Schalldruck (in Pa!) ergibt sich, wenn der Schalldruck mit einem Pegel von 112dB SPL verdoppelt wird?
11. Welcher Signal-Rausch-Abstand ergibt sich, wenn ein Signal mit einer Leistung von 36mW zu 10% von Rauschen überlagert wird?