Pegelberechnung – dB, dBm, dBμV...

Die Darstellung von Signalpegeln im logarithmischen Maßstab ist in der Nachrichtentechnik oftmals die einzig sinnvolle Art. Dieser Artikel beschäftigt sich mit den unterschiedlichen Pegeldefinitionen und erläutert die Berechnungsverfahren auf leicht verständliche Weise.

Allgemeines

„7 dBm? Wieviel ist dies in „richtigen" Volt?" – Mit dieser Frage muß sich ein Techniker häufig beschäftigen, denn auch gestandene Elektroniker können oftmals Pegelangaben nicht richtig deuten. Dieser Artikel verdeutlicht die Zusammenhänge und Vorteile der Darstellung von verschiedenen Größen in Pegelangaben. Die Berechnungsformeln werden leicht verständlich darstellt, z. T. hergeleitet und erklärt. Wir werden dem interessierten Leser somit Formeln an die Hand geben, mit denen er Pegelberechnungen und Umrechnungen leicht selbst durchführen kann.

Exponentenschreibweise

Um Werte von elektrischen Größen wie Strom, Spannung und Leistung anzugeben, benutzt man üblicherweise die Basiseinheiten Volt (V), Ampere (I) oder Watt (W). Bei ein- bis dreistelligen Zahlenwerten ist diese Art der Angabe noch sinnvoll. Bei sehr kleinen oder sehr großen Werten führt dies bei dieser Darstellungsart zu sehr langen Zahlenwerten, wobei dann die Übersicht leicht verloren geht. Zur Vereinfachung gibt es dann die Möglichkeit, den Zahlenwert mit angehängter Zehnerpotenz auszudrücken. So wird z. B aus 0,02606 A in der Potenzschreibweise $2{,}606 \cdot 10^{-2}$ A. In der Naturwissenschaft ist es üblich, die Zahlenwerte mit durch 3 teilbaren Zehnerpotenzen anzugeben. Dann läßt sich diese Zehnerpotenz durch die international festgelegten Vorsätze, wie z. B. μ, m, k, M, ersetzen. An obigem Beispiel demonstriert ergibt sich folgender Zusammenhang: 0,02606 A = $26{,}06 \cdot 10^{-3}$ A = 26,06 mA. In Tabelle 1 sind die festgelegten Vorsätze und die zugehörigen Zahlenwerte zusammengefaßt.

Pegel - Warum?

Die so veränderte Darstellung bringt bei der Angabe einzelner Werte eine große Erleichterung. Sollen in einem System (z. B. Antennenanlage) aber verschiedene Werte angegeben werden, deren Beträge sehr weit differieren können, so ist es sinnvoll, diese Werte nicht mehr wie oben im linearen Maßstab anzugeben, sondern in die logarithmische Darstellungsart, die Pegelangaben, umzurechnen.

Ein weiterer Vorteil der Umrechnung mit Hilfe der Logarithmen ist die einfache Handhabung von Verhältnissen zweier gleichartiger Größen. Solche Verhältnisse treten z. B. bei der Angabe von Dämpfungen und Verstärkungen in einem System auf. Im linearen Maßstab entstehen z. T. unangenehm zu handhabende Werte. Die logarithmische Skalierung bietet zum ei-

Tabelle 1: International festgelegte Vorsätze für dezimale Teile und Vielfache

Vorsatz	Zeichen	Faktor	Zehnerpotenz
Atto	a	0,000 000 000 000 000 001	10^{-18}
Femto	f	0,000 000 000 000 001	10^{-15}
Piko	p	0,000 000 000 001	10^{-12}
Nano	n	0,000 000 001	10^{-9}
Mikro	µ	0,000 001	10^{-6}
Milli	m	0,001	10^{-3}
Zenti	c	0,01	10^{-2}
Dezi	d	0,1	10^{-1}
-		1	10^{0}
Deka	da	10	10^{1}
Hekto	h	100	10^{2}
Kilo	k	1 000	10^{3}
Mega	M	1 000 000	10^{6}
Giga	G	1 000 000 000	10^{9}
Tera	T	1 000 000 000 000	10^{12}
Peta	P	1 000 000 000 000 000	10^{15}
Exa	E	1 000 000 000 000 000 000	10^{18}

nen kleinere Werte, zum anderen ist so z. B. die Berechnung von Gesamtverstärkungen einfacher, da sich hier alle Vereinfachungen aufgrund der Logarithmen-Gesetze vorteilhaft auswirken: Die in der linearen Darstellung bei einer Verstärkung durchzuführende Multiplikation mit dem Verstärkungsfaktor vereinfacht sich im log. Maßstab zu einer einfachen Addition mit der Verstärkungsangabe in dB, und aus einer Division bei einer Signaldämpfung wird eine simple Subtraktion. Der Grundgedanke bei der Einführung der Pegelwerte, d. h. der Darstellung im logarithmischen Maßstab, ist diese Vereinfachung bei Angabe von Verhältnissen gleichartiger Größen. Das Beispiel 1 verdeutlicht nochmals die obigen Erläuterungen.

Pegelberechnung dB, dBm... – wie kommt man hin?

Um einen Zahlenwert zu logarithmieren, muß die Basis des Logarithmus festgelegt werden. Gebräuchlich ist hier die Basis 10, dies ergibt den Zehnerlogarithmus oder dekadischen Logarithmus und die Basis e (Eulersche Zahl e = 2,718…), die den sog. natürlichen Logarithmus angibt. Die Rechenanweisung: Bilde den Logarithmus zur Basis 10, wird mit „lg" abgekürzt, für diese Rechenanweisung zur Basis e gilt die Abkürzung „ln". Beide Rechenoperationen sind auf wissenschaftlichen Taschenrechnern angegeben.

Da man einem Zahlenwert nicht „ansieht", ob er logarithmiert wurde und wenn ja, mit welchem Logarithmus (lg oder ln) er gebildet wurde, ist es notwendig, die so erzeugten Pegelwerte zu kennzeichnen. Durch die Bildung des Verhältnisses kürzen sich die Basiseinheiten der verknüpften Werte heraus, es entsteht eine dimensionslose Zahl. Z. B. ergibt die Division zweier Spannungen (beide in „V" angegeben) einen reinen Zahlenwert. Wird dieser logarithmiert, ändert sich zwar der Zahlenwert, die Dimensionslosigkeit bleibt erhalten. Um zu kennzeichnen, daß es sich um Zahlenwerte im logarithmischen Maßstab handelt, hängt man dem Zahlenwert eine Einheit an, eine sog. Pseudo-Einheit, die auch die Dimension 1 besitzt, d. h. dimensionslos ist.

Bei der Verwendung des Zehnerlogarithmus (lg) ist dies die Einheit Bel (B), wird der natürliche Logarithmus (ln) verwendet, so gilt der Anhang Neper (Np). Die Angabe in Neper ist jedoch veraltet und wird hier nur der Vollständigkeit halber am Rande erwähnt. Die gebräuchlichere Form ist die Definition in Bel (B). Da die Berechnung hier aber wiederum unhandliche Zahlenwerte ergibt, ist es üblich, die Werte in 1/10 B = Dezi-Bel = dB anzugeben.

Relativer Pegel

Per Definition ist eine Pegelangabe mit der „Einheit" dB als ein Verhältnis von Leistungen festgelegt. Das Leistungsverhältnis L_P von P_1 zu P_2 ist somit wie folgt zu berechnen:

$$L_P = 10\,\mathrm{dB} \cdot \lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \qquad \text{(Gl. 1)}$$

Dabei müssen die Leistungswerte P_1 und P_2 so angegeben werden, daß sie die gleichen Einheiten tragen, z. B. beide Werte in Watt (W). Das Argument im Logarithmus muß so dimensionslos gemacht werden, da nur solche reinen Zahlenwerte logarithmierbar sind. Handelt es sich bei den Leistungen um komplexe Größen, d. h. um Scheinleistungen, so werden nur die Beträge ins Verhältnis gesetzt. Dies gilt auch für alle anderen komplexen Größen, die ins logarithmische Maß umgerechnet werden sollen. Es werden immer nur die Betragswerte berücksichtigt.

Sollen Spannungsverhältnisse in Pegelangaben umgerechnet werden, sind vor der Bestimmung einige Umformungen notwendig. Setzt man die allgemein gültige Formel zur Leistungsberechnung

$$P = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R \qquad \text{(Gl. 2)}$$

in obige Definitionsgleichung ein und stellt diese um, so erhält man nach einigen Umrechnungen als Gleichung zur Bestimmung von Spannungspegeln:

Beispiel 1: Verstärkungen und Dämpfungen

Gegeben ist eine Signalübertragungsstrecke mit den Verstärkungs- und Dämpfungswerten wie unten dargestellt. Zu berechnen ist die Gesamtverstärkung des Systems. Ohne Kenntnis der Pegelrechnung müssen zur Bestimmung der Gesamtverstärkung alle Verstärkungs- und Dämpfungsfaktoren miteinander multipliziert werden. Folgende Multiplikation ist auszuführen:

$$V_{ges} = 26{,}06 \cdot (1/4{,}01) \cdot 24{,}12 = 156{,}75$$

Mit Hilfe der angegebenen Pegelwerte ist die Berechnung sehr viel einfacher möglich, da diese sich auf eine Addition reduziert:

$$v_{ges} = 28{,}32\ \mathrm{dB} + (-12{,}06\ \mathrm{dB}) + 27{,}64\ \mathrm{dB} = 43{,}90\ \mathrm{dB}$$

Die Angabe als Verstärkungsmaß in dB hat für einen Techniker mehr Aussagekraft als die des Verstärkungsfaktors. Daher werden in der Übertragungstechnik alle Verstärkungs- und Dämpfungswerte im Pegelmaß angegeben. So können weitere dem System hinzugefügte Dämpfungen und Verstärkungen durch einfache Addition berücksichtigt werden.

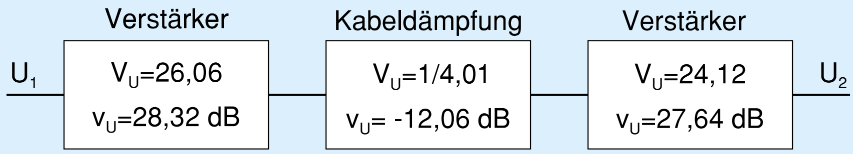

Tabelle 2: Pegelwerte und die zugehörigen Spannungs- und Leistungsverhältnisse					
Pegel	Leistungs-verhältnis	Spannungs-verhältnis	Pegel	Leistungs-verhältnis	Spannungs-verhältnis
0	1	1	0	1	1
1	1,258925412	1,122018454	-1	0,794328235	0,891250938
2	1,584893192	1,258925412	-2	0,630957344	0,794328235
3	1,995262315	1,412537545	-3	0,501187234	0,707945784
4	2,511886432	1,584893192	-4	0,398107171	0,630957344
5	3,16227766	1,77827941	-5	0,316227766	0,562341325
6	3,981071706	1,995262315	-6	0,251188643	0,501187234
7	5,011872336	2,238721139	-7	0,199526231	0,446683592
8	6,309573445	2,511886432	-8	0,158489319	0,398107171
9	7,943282347	2,818382931	-9	0,125892541	0,354813389
10	10	3,16227766	-10	0,1	0,316227766
15	31,6227766	5,623413252	-15	0,031622777	0,177827941
20	100	10	-20	0,01	0,1
30	1000	31,6227766	-30	0,001	0,031622777
40	10 000	100	-40	0,0001	0,01
50	100 000	316,227766	-50	0,00001	0,003162278
60	1 000 000	1000	-60	0,000001	0,001
70	$1 \cdot 10^{7}$	3162,27766	-70	$1 \cdot 10^{-7}$	0,000316228
80	$1 \cdot 10^{8}$	10 000	-80	$1 \cdot 10^{-8}$	0,0001
90	$1 \cdot 10^{9}$	31 622,7766	-90	$1 \cdot 10^{-9}$	$3{,}16228 \cdot 10^{-5}$
100	$1 \cdot 10^{10}$	100 000	-100	$1 \cdot 10^{-10}$	0,000 01
120	$1 \cdot 10^{12}$	1 000 000	-120	$1 \cdot 10^{-12}$	0,000 001

$$Lu = 20\mathrm{dB} \cdot \lg\left(\frac{U_1}{U_2}\right) - 10\mathrm{dB} \cdot \lg\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \quad \text{(Gl. 3)}$$

Der zweite Term in dieser Gleichung ist ein Korrekturwert für den Fall, daß diese Spannungen an unterschiedlichen Bezugswiderständen gemessen sind. Geht man von gleichen Bezugswiderständen aus, d. h. $R_1 = R_2$, so wie es in den meisten Systemen üblich ist, vereinfacht sich obige Gleichung zu der bekannten Formel:

$$Lu = 20\mathrm{dB} \cdot \lg\left(\frac{U_1}{U_2}\right) \quad \text{(Gl. 4)}$$

Auf gleiche Weise läßt sich auch ein Verhältnis der Ströme definieren:

$$L_I = 20\mathrm{dB} \cdot \lg\left(\frac{I_1}{I_2}\right) \quad \text{(Gl. 5).}$$

Auch diese Formel gilt unter der Bedingung gleicher Widerstände. Die obigen Gleichungen drücken im Prinzip nur aus wie sich der Wert P_1, U_1 bzw. I_1 bezogen auf den Wert P_2, U_2 bzw. I_2 verändert hat.

Definiert man U_1 als Eingangsspannung bzw. P_1 als Eingangsleistung eines Systems, z. B. einer Übertragungsstrecke, und U_2 bzw. P_2 als zugehörige Ausgangsgröße, dann lassen sich mit obigen Gleichungen die Leistungs-, Spannungs- und Stromdämpfung, die sog. Dämpfungsmaße, berechnen.

Ergeben sich dabei negative Werte, so ist die Ausgangsgröße größer als die Eingangsgröße (z. B. $U_2 > U_1$), es liegt eine negative Dämpfung, d. h. eine Verstärkung, vor. Um hier nicht mit negativen Werten rechnen zu müssen, bildet man bei der Definition der Verstärkung den Kehrwert im Argument des Logarithmus. So wird die Leistungsverstärkung wie folgt berechnet:

$$v_P = 10\mathrm{dB} \cdot \lg\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad \text{(Gl. 6)}$$

und für die Spannungsverstärkung gilt äquivalent:

$$v_U = 20\mathrm{dB} \cdot \lg\left(\frac{U_2}{U_1}\right) \quad \text{(Gl. 7).}$$

Um ein „Gefühl" für die Zahlenwerte zu bekommen, die sich bei den Umrechnungen ins logarithmische Maß ergeben, wollen wir dies in einem Beispiel erläutern. Gegeben sei eine Eingangsleistung eines beliebigen Systems von $P_1 = 100$ mW an einem reellen Widerstand von $R_1 = 50\ \Omega$ und eine Ausgangsleistung von $P_2 = 200$ mW, der am gleichen Widerstandswert umgesetzt wird. Da die Ausgangsgröße größer ist als die Eingangsgröße, handelt es sich um eine Verstärkung und man bestimmt das Verhältnis der Leistungen $P_2/P_1 = 2$. Im logarithmischen Maß ergibt sich daraus die Leistungsverstärkung berechnet lt. Gleichung 6 zu $v_P = 3$ dB. Der Übergang auf die Spannungswerte erfolgt über die Gleichung 2. Daraus ergeben sich die Werte: $U_1 \approx 2{,}236$ V und $U_2 \approx 3{,}162$ V. Das lineare Verhältnis dieser Werte ergibt den Wert 1,414, was nach Gleichung 7 berechnet auch einen Wert von $v_U = 3$ dB für die Spannungsverstärkung ergibt.

In Tabelle 2 haben wir weitere Pegelwerte und die zugehörigen Spannungs- und Leistungsverhältnisse in übersichtlicher Form angegeben.

Alle obigen Berechnungen beziehen sich auf das Verhältnis zweier beliebiger Leistungen, Spannungen oder Ströme. Die Pegelangabe in dB läßt nach der Berechnung keinen Rückschluß mehr auf die tatsächlichen Werte zu, wenn nicht mindestens einer von ihnen bekannt ist. Deshalb nennt man die Pegelangaben, die sich, wie oben gezeigt, auf zwei beliebige Werte beziehen auch relative Pegel. Um nun auch Absolutwerte, d. h. einzelne Leistungs-, Spannungs- und Stromgrößen, im logarithmischen Maß angeben zu können, sind einige Definitionen notwendig.

Absoluter Pegel

Setzt man die Nennergrößen in den obigen Gleichungen Gl. 1, 3, 4 und 5 auf definierte Werte, auf die sog. Bezugswerte (P_0, U_0 oder I_0), fest, so wird aus dem relativen Pegel ein absoluter Pegel. Beliebige Leistungs- Spannungs- und Stromwerte lassen sich dann im logarithmischen Maß angeben. Um zu kennzeichnen, daß es sich um eine absolute Pegelangabe handelt, ist es aber notwendig, die Pseudo-Einheit dB zu erweitern. Je nach verwendetem Bezugswert entstehen so weitere „Einheiten", wie z. B. dBm und dBµV. Die gebräuchlichsten absoluten Pegel sind in Tabelle 3 zusammengefaßt. Die wichtig-

Tabelle 3: Pegeldefinitionen und Berechnungsformeln			
Größe	Bezugswert	Formel zur Pegelberechnung	Formel zur Größenberechnung
1. Leistung P	1 mW	$L_P = 10\text{dBm} \cdot \lg\left(\frac{P_1}{1\text{mW}}\right)$	$P_1 = 10^{\left(\frac{L_P}{10\text{dBm}}\right)}\text{mW}$
2. Leistung P	1 W	$L_P = 10\text{dBW} \cdot \lg\left(\frac{P_1}{1\text{W}}\right)$	$P_1 = 10^{\left(\frac{L_P}{10\text{dBW}}\right)}\text{W}$
3. Spannung U	1 µV	$L_U = 20\text{dB}\mu\text{V} \cdot \lg\left(\frac{U_1}{1\mu\text{V}}\right)$	$U_1 = 10^{\left(\frac{L_U}{20\text{dB}\mu\text{V}}\right)}\mu\text{V}$
4. Spannung U	1 V	$L_U = 20\text{dBV} \cdot \lg\left(\frac{U_1}{1\text{V}}\right)$	$U_1 = 10^{\left(\frac{L_U}{20\text{dBV}}\right)}\text{V}$
5. Spannung U	$\sqrt{1\text{mW} \cdot 600\Omega} \approx 774{,}6$ mV	$L_U = 20\text{dBu} \cdot \lg\left(\frac{U_1}{774{,}6\text{mV}}\right)$	$U_1 = 10^{\left(\frac{L_U}{20\text{dBu}}\right)} \cdot 774{,}6\text{mV}$
6. Strom I	$\sqrt{\frac{1\text{mW}}{600\Omega}} \approx 1{,}291$ mA	$L_I = 20\text{dBi} \cdot \lg\left(\frac{I_1}{1{,}291\text{mA}}\right)$	$I_1 = 10^{\left(\frac{L_I}{20\text{dBi}}\right)} \cdot 1{,}291\text{mA}$
7. Strom I	1 A	$L_I = 20\text{dBA} \cdot \lg\left(\frac{I_1}{1\text{A}}\right)$	$I_1 = 10^{\left(\frac{L_I}{20\text{dBA}}\right)}\text{A}$
8. Elektrische Feldstärke E	1 µV/m	$L_E = 20\text{dB}\left(\frac{\mu\text{V}}{\text{m}}\right) \cdot \lg\left(\frac{E_1}{1\mu\text{V}/\text{m}}\right)$	$E_1 = 10^{\left(\frac{L_E}{20\text{dB}(\mu\text{V/m})}\right)}\frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$
9. Schallpegel SPL	20 µPa	$L_p = 20\text{dB(A)} \cdot \lg\left(\frac{p_{(A)}}{20\mu\text{Pa}}\right)$	$p_{(A)} = 10^{\left(\frac{L_p}{20\text{dB(A)}}\right)} \cdot 20\mu\text{Pa}$
10. Leistungsverhältnis $\frac{P_1}{P_2}$		$L_P = 10\text{dB} \cdot \lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$	$\frac{P_1}{P_2} = 10^{\frac{L_P}{10\text{dB}}}$
11. Spannungsverhältnis $\frac{U_1}{U_2}$		$L_U = 20\text{dB} \cdot \lg\left(\frac{U_1}{U_2}\right)$	$\frac{U_1}{U_2} = 10^{\frac{L_U}{20\text{dB}}}$

sten werden wir im folgenden erläutern.

Leistungsangaben erfolgen in der Nachrichtentechnik meist in dBm. Diese Pseudo-Einheit gibt die Leistung bezogen auf den Bezugswert $P_0 = 1$ mW an. Die Berechnungsformel zur Pegelberechnung ist in Tabelle 3 Zeile 1 angegeben und ergibt sich, wenn in die Gleichung Gl. 1 für den Wert P_2 der Bezugswert P_0 eingesetzt wird. Bei größeren Leistungen wählt man oftmals auch den Bezugswert $P_0 = 1$ W, als „Einheit" gilt dann dBW und zur Berechnung gilt die Gleichung in Zeile 2.

Bei diesen und den folgenden Berechnungen absoluter Pegelwerte ist zu bedenken, daß hier immer mit Effektivwerten gearbeitet wird. Für die Pegelberechnung ist immer der Effektivwert der Größe einzusetzen und auch die später beschriebene Zurückrechnung ergibt immer den Effektivwert der Größe.

Sollen Spannungspegel angegeben werden, so sind die gebräuchlichsten Bezugswerte $U_0 = 1$ µV und 1 V. Durch Einsetzten dieser Bezüge in die Gleichung Gl. 4 ergeben sich dann die in Zeile 3 und 4 dargestellten Formeln zur Berechnung von Spannungspegeln. In der Antennentechnik werden die Signalpegel immer in dBµV angegeben, und daher ist jedem Radio- und Fernsehtechniker die Formel zur Bestimmung dieses Spannungspegels sicherlich bekannt.

Vor allem in der Audio- und Telekommunikationstechnik kommt oftmals ein weiterer Bezugswert zur Anwendung. Hier werden Spannungspegel indirekt auf eine Leistungsdefinition bezogen. Über den Zusammenhang lt. Gleichung Gl. 2 läßt sich dann daraus der eigentliche Bezugswert U_0 bestimmen. Üblich ist hier die Angabe in bezug auf die Leistung $P_0 = 1$ mW an einem Widerstand von 600 Ω. Der letztlich als Bezugswert für die Bestimmung des Spannungspegels dienende Wert ist $U_0 \approx 774{,}6$ mV. Als Pseudo-Einheit gilt dann die Bezeichnung dBu.

Auf gleiche Weise läßt sich so auch ein Strom-Bezugswert von $I_0 \approx 1{,}291$ mA berechnen, mit dem sich ein Strom in einen Strompegel mit der Einheit dBi umrechnen läßt (Tabelle 3, Zeile 6). In der Technik ist die Angabe von Strompegeln jedoch nicht so verbreitet. Der Vollständigkeit halber sei noch die Stromangabe mit einem Bezugswert von $I_0 = 1$ A erwähnt, die mit der Pseudo-Einheit dBA gekennzeichnet wird (Zeile 7).

Aber nicht nur Leistungs- und Spannungswerte lassen sich im logarithmischen Maßstab angeben, sondern viele andere Größen, auch nicht-elektrische, können in dieser Form vorteilhaft dargestellt werden. So ist es z. B. in der HF-Technik üblich, elektrische und magnetische Feldgrößen in „dB" anzugeben. Sehr häufig wird die elektrische Feldstärke (Formelzeichen E), so wie in der Zeile 8 definiert, in der Einheit dB(µV/m) spezifiziert.

Als wichtige nicht-elektrische Größe kann das Beispiel des Schallpegels aus dem Bereich der Akustik angeführt werden. Schallpegelangaben sind grundsätzlich im logarithmischen Maßstab, wobei als Bezugswert ein Schalldruck von $p_0 = 20$ µPa festgelegt ist. Dieser Wert stellt die Hörschwelle dar, d. h. Schallereignisse mit kleineren Drücken sind vom menschli-

Beispiel 2: Signal-Rauschabstand eines CD-Players

Gegeben sind aus den technischen Daten eines CD-Players ein Signal-Rauschabstand von 96 dB und eine max. Ausgangsspannung von U_{max} = 1,9 V.
Zu bestimmen sind:

a. das entsprechende Spannungsverhältnis und
b. die max. auftretende Rauschspannung.

a.) Mit Hilfe der Gleichung Gl. 9 kann das Spannungsverhältnis wie folgt berechnet werden:

$$V_U = 10^{\frac{96\text{dB}}{20\text{dB}}} = 63096$$

Dieses Zahlenverhältnis bedeutet, daß die Rauschspannung um den Faktor 63096 kleiner ist als die max. Signalspannung.

b.) Mit Hilfe des berechneten Spannungsverhältnisses kann die Rauschspannung bestimmt werden. Dazu ist folgende Substitution notwendig:
$U_1 = U_{max}$, $U_2 = U_{Rauschen}$.

$$U_{Rauschen} = \frac{U_{max}}{V_U} = \frac{U_{max}}{10^{\frac{L_U}{20\text{dB}}}} = \frac{1{,}9\text{V}}{10^{\frac{96\text{dB}}{20\text{dB}}}} = 3{,}01 \cdot 10^{-5}\text{V}$$

Mit der gegebenen maximalen Signalspannung ergibt sich dann die max. Rauschspannung zu $U_{Rauschen}$ = 30,1 µV.

chen Gehör nicht mehr wahrnehmbar. Die angehängte Pseudo-Einheit beinhaltet hier nicht den Bezugswert, sondern spezifiziert das Bewertungsverfahren, mit dem der gemessene Schalldruck gewichtet wird. Die Bezeichnung der verwendeten Gewichtungskurve (A, B, C oder D) ergibt auch die Pseudo-Einheit des Schallpegels, wobei die Angabe in dB(A) die am weitesten verbreitete ist.

Alle bisherigen Berechnungen beschäftigen sich mit der Berechnung von Pegeln, als absolute oder relative Werte. Wie aus gegebenen Pegelangaben wieder „normale" Größenangaben in den Basiseinheiten berechnet werden, zeigt folgender Abschnitt.

dB, dBm ... - und wie zurück?

Um eine Pegelangabe im logarithmischen Maßstab wieder in einen Wert im linearen Maß umzurechnen, muß nur die entsprechende Formel, die zur Berechnung des Pegelwertes diente, nach der gesuchten Größe umgestellt werden. Dies ist mit einfachen Regeln der Mathematik möglich, wobei als einzige Schwierigkeit die Umkehrung der Logarithmus-Funktion auftreten kann. Aber auch dies kann schnell erklärt werden: Man entlogarithmiert einen Ausdruck, indem man ihn in die Potenz zur Basis des verwendeten Logarithmus erhebt. Beim Zehnerlogarithmus gilt die Basis 10, beim natürlichen Logarithmus die Basis e. Da hier ausschließlich der Zehnerlogarithmus zur Anwendung kam, beschreiben wir auch hieran die Umrechnung.

Um einen gegebenen relativen Leistungspegel, angegeben in dB, wieder in ein Leistungsverhältnis umzurechnen, muß Gleichung Gl. 1 entsprechend umgestellt werden. Dabei ergibt sich dann

$$\frac{P_1}{P_2} = V_P = 10^{\frac{L_P}{10\text{dB}}} \qquad \text{(Gl. 8)}$$

Die Bestimmung eines Spannungsverhältnisses aus einem relativen Spannungspegel erfolgt in ähnlicher Weise durch die Umstellung der Gleichung Gl. 4 zu:

$$\frac{U_1}{U_2} = V_U = 10^{\frac{L_U}{20\text{dB}}} \qquad \text{(Gl. 9)}$$

Für den Strompegel gilt äquivalent:

$$\frac{I_1}{I_2} = V_I = 10^{\frac{L_I}{20\text{dB}}} \qquad \text{(Gl. 10)}$$

So kann zwar das Verhältnis V_x der Leistungen, Spannungen oder Ströme zueinander bestimmt werden, eine Berechnung der konkreten Werte für P_1 und P_2, U_1 und U_2 bzw. I_1 und I_2 ist nicht möglich, wenn nicht jeweils einer dieser Werte bekannt ist.

Absolute Pegelangaben können, da sie einen definierten Bezugswerte besitzen, wieder in äquivalente lineare Größen umgewandelt werden. Dazu sind die Pegel, wie in den Gleichungen Gl. 8 bis 10 angegeben, zu entlogarithmieren und anschließend mit dem Bezugswert zu multiplizieren. Die aus dieser Umformung resultierenden Gleichungen zur Bestimmung der jeweiligen Größen aus den gegebenen Pegelwerten sind in der Spalte „Formel zur Größenberechnung" in Tabelle 3 dargestellt.

Die in den Beispielen 1 bis 3 dargestellten Fälle verdeutlichen noch einmal die praktische Anwendung der aufgezeigten und z. T. auch hergeleiteten Formeln. Dieser Artikel bietet somit eine schnelle und übersichtliche Zusammenfassung zur Berechnung von Pegelwerten aus gegebenen Größen und zur Bestimmung der Größen aus gegebenen Pegeln. ELV

Beispiel 3: Signalpegel in einer Antennenanlage

Gegeben ist der Signalpegel an einer Antennenanschlußdose von 65 dBµV, gemessen mit einem auf den Systemwiderstand angepaßten Meßgerät mit 75 Ω Innenwiderstand.

Zu bestimmen ist
a. der Spannungswert in Volt,
b. die Pegelangabe in dBV und
c. die Pegelangabe in dBm.

a.) Mit Hilfe der Gleichung zur Bestimmung des Größenwertes (Tabelle 3, Zeile 3) ergibt sich der Spannungswert zu:

$$U = 10^{\frac{65\text{dB}\mu\text{V}}{20\text{dB}\mu\text{V}}}\,\mu V = 1{,}778\text{mV}$$

b.) Über die Definitionsgleichung für Pegelangaben in dBV erhält man:

$$L_U = 20\text{dBV} \cdot \lg\left(\frac{1{,}778 \cdot 10^{-3}\,\text{V}}{1\text{V}}\right) = -55\text{dBV}$$

Dieser Wert läßt sich aber auch einfacher berechnen: Die Bezugswerte, die der Berechnung der Pegel in dBµV und dBV zu Grunde liegen, unterscheiden sich um den Faktor 10^6. Dieser Faktor entspricht einem Pegelunterschied von $20\text{dB} \cdot \lg(10^6) = 120\text{dB}$. D. h. subtrahiert man vom Pegelwert (dBµV) diese Pegeldifferenz, so erhält man die Pegelangabe (dBV):

L_u = 65 dBµV-120 dB = -55 dBV

c.) Zur Bestimmung des Leistungspegels in dBm, muß zunächst die Leistung berechnet werden. Um Rundungsfehler zu vermeiden, kann man die Formel zur Leistungsberechnung (Gl. 2) direkt in die Gleichung zur Pegelberechnung (Zeile 1, Tabelle 1) einbinden und dann die obigen Werte einsetzen. So ergibt sich ein Leistungspegel von

$$L_P = 10\text{dBm} \cdot \lg\left(\frac{\left(1{,}778 \cdot 10^{-3}\,\text{V}\right)^2}{75\Omega \cdot 1\text{mW}}\right) = -43{,}75\text{dBm}$$