Vom Trafo zum Kurzwellenempfänger

Von Karl. H. Hille, DL1VU, 9A1VU, Goethestraße 3, 8172 Lenggries

Messen und Vergleichen mit dem Dezibel

Der Umgang mit den Längenmaßen Meter und Dezimeter ist uns zur alltäglichen Gewohnheit geworden. Niemand findet etwas besonderes daran, daß zehn Dezimeter einen Meter ergeben und daß ein Dezimeter ein Zehntel eines Meters ist. Geht es aber ans Dezibel, dann tappen wir im Dunkeln.

Das Dezibel, meist als dB und manchmal noch als db abgekürzt, ist ein Maß für die Dämpfung oder die Verstärkung. Es leitet seinen Namen von Alexander Graham Bell her, der nach dem Deutschen Philipp Reis im Jahre 1876 das erste brauchbare Telefon erfunden hat. Ausgesprochen wird es Dezibeel (wie Dezimeter), und es klingt stümperhaft, wenn OM Waldheini von Dezíbel (wie Zwiebel) redet. Die Grundeinheit ist das Bel [B]. Ein Zehntel davon ist das Dezibel [dB].

Genau genommen ist das dB ein Maß für die Herabdämpfung einer Leistung oder umgekehrt ein Maß für die Emporverstärkung einer Leistung. Diese Leistungsdämpfung kann durch ein völlig beliebiges Bauteil hervorgerufen werden: Ein oder mehrere Widerstände, ein schlechtes Kabel, eine Induktivität, welche die Leistung drosselt, eine Kapazität, welche die Leistung schlecht hindurchläßt, ganze Netzwerke aus R, L, C, usw. Die Leistungsverstärkung kann durch einen bipolaren Transistor, einen FET, einen Operationsverstärker, eine Röhre, einen Magnetverstärker usw. bewirkt werden. Was im einzelnen verstärkt, soll uns nicht interessieren. Am besten ist es, wir schließen dieses Bauteil in das berühmte „Schwarze Kästchen" ein, aus dem nur noch vier Klemmen herausragen: 2 Eingangsklemmen und 2 Ausgangsklemmen **(Abb. 1).** Weil insgesamt 4 Klemmen aus dem Kästchen herausragen, taufen wir es Vierpol.

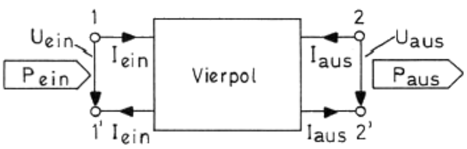

Abb. 1.

Nehmen wir einmal an, die ins Kästchen hineingeschickte Energie betrage 1 Watt, dann ist die Eingangsleistung P_{ein} = 1 W. Geschieht im Kästchen mit der Leistung gar nichts, und es kommt auch wieder 1 Watt heraus, so ist die Ausgangsleistung P_{aus} = 1 W. Wir stellen jetzt die Leistungsänderung fest: $P_{ein}:P_{aus}$ = 1 W : 1 W = 1:1. Das Leistungsverhältnis ist 1:1, d.h. die Leistung hat sich nicht geändert, es hat keine Dämpfung und keine Verstärkung stattgefunden. Als Zahl für nicht geändert bietet sich die Null an. Die Dämpfung war 0, die Verstärkung war 0, das sind 0 Bel, ein Zehntel davon sind 0 Dezibel.

Die Nachrichtenübertragung wendet sich an unser Gehör und an unsere Augen. Diese menschlichen Sinne reagieren ausschließlich auf die einwirkenden Leistungsverhältnisse. Das Ohr hört einen Ton zweimal so laut, wenn die einwirkende Leistung auf das Vierfache angewachsen ist. Wird also ein QSO mit 100 mW auf den Lautsprecher gegeben, so erscheint es erst doppelt so laut, wenn 400 mW am Lautsprecher stehen. Genauso ertönt ein 250 W-Sender erst dann doppelt so laut, wenn die Antennenleistung auf 1000 W gesteigert worden ist. Die Sinne unterscheiden also die Eindrücke im logarithmischen Maßstab und arbeiten nicht linear.

Rechnerisch ist das leicht: Wir ermitteln vom gegebenen Leistungsverhältnis den dekadischen Logarithmus und bezeichnen das Ergebnis mit Bel = B. Weil 10 dB = 1 B, muß das Ergebnis noch mit 10 vervielfacht werden. Zur bequemen Rechnung stellen wir immer die große Leistung oben in den Zähler und die kleine Leistung unten in den Nenner. a bedeutet je nach Sachlage eine Dämpfung oder eine Verstärkung. Verstärkungen bekommen ein positives Vorzeichen (+a), Dämpfungen erhalten ein negatives Vorzeichen (−a).

Wir merken: (60):

Bel und Dezibel
Logarithmische Leistungsverhältnisse

$$a\,[\mathrm{B}] = \lg \frac{P_{groß}}{P_{klein}}$$

$$a\,[\mathrm{dB}] = 10 \cdot \lg \frac{P_{groß}}{P_{klein}}$$

Der entscheidende Vorteil, der uns die Anwendung des dB-Systems so leicht macht, beruht auf den Logarithmen. Der Rechenstab hat eine logarithmische Skala. Durch Addieren von Längen können wir mit dem Stab multiplizieren. Beim dB ist das genau so: Das umständliche Multiplizieren der Leistungsverhältnisse wird durch das bequeme Addieren der dB sehr vereinfacht.

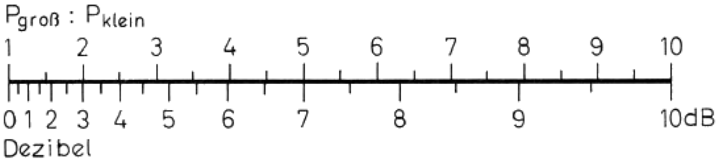

Abb. 2.

Es ist nicht jedermanns Sache, mit der Logarithmentafel oder dem Rechner am Basteltisch zu sitzen. Deswegen ist in **Abb. 2** ein Nomogramm dargestellt, an dem wir die Leistungsverhältnisse von 1 bis 10 in dB ablesen können. Dazu müssen wir uns noch merken, wie die Leistungsverhältnisse der Zehnerpotenzen in dB auszudrücken sind. Wir zählen einfach die Anzahl der Nullen und multiplizieren sie mit zehn, das sind die dB der Zehnerpotenz:

Nullenzahl mal zehn = dB. Beispiele:

P_{gr}/P_{kl} = 10. Zehn hat eine Null.	1 · 10 = 10 dB.
P_{gr}/P_{kl} = 100. Hundert hat zwei Nullen.	2 · 10 = 20 dB.
P_{gr}/P_{kl} = 1000. Tausend hat drei Nullen.	3 · 10 = 30 dB.
P_{gr}/P_{kl} = 1 000 000. Die Million hat 6 Nullen.	6 · 10 = 60 dB.

Bestimmung der dB aus dem Leistungsverhältnis

1. Wir zerlegen das Leistungsverhältnis in Faktor und Zehnerpotenz.
2. Wir bestimmen die dB der Zehnerpotenz.
3. Wir bestimmen die dB des Faktors aus dem Nomogramm.
4. Wir addieren beide dB-Werte zum Endergebnis.

Beispiel: 300fache Leistungsverstärkung

1. 300 = 3 · 100; 2. 100 ≙ 20 dB (2 Nullen mal 10 = 20)
3. 3 ≙ 4,8 dB; 4. 20 dB + 4,8 dB = +24,8 dB

Beispiel: 70 000fache Leistungsdämpfung

1. 70 000 = 7 · 10 000; 2. 10 000 ≙ 40 dB (4 Nullen mal 10 = 40)
3. 7 ≙ 8,5 dB; 4. 40 dB + 8,5 dB = −48,5 dB

Beispiel: 5 532 841fache Leistungsverstärkung

1. 5 532 841 ≈ 5,5 · 1 000 000; 2. 1 000 000 ≙ 60 dB (6 Nullen mal 10)
3. 5,5 ≙ 7,5 dB; 4. 60 dB + 7,5 dB = +67,5 dB

Bestimmung des Leistungsverhältnisses aus den dB

1. Wir zerlegen den dB-Wert in Einerstelle und Zehnerstellen.
2. Die Einerstelle ergibt den Faktor.
3. Die Zehnerstellen ergeben die Zahl der Nullen hinter dem Faktor.
4. Wir multiplizieren Faktor und Stellenwert.

Beispiel: + 13 dB entsprechen welchem Leistungsverhältnis?

1. 13 dB = 10 dB + 3 dB; 2. 3 dB ≙ 2fach; 3. 10 dB bedeutet eine Null
4. An die Zwei wird eine Null gehängt: 20fache Verstärkung.

Beispiel: − 115 dB entsprechen welchem Leistungsverhältnis?

1. 115 dB = 110 dB + 5 dB; 2. 5 dB ≙ 3,2fach; 3. 110 dB bedeutet 11 Nullen
4. Nach dem Komma folgen elf Stellen: 320 000 000 000fache Dämpfung.

Beispiel: + 48,5 dB entsprechen welcher Leistungsverstärkung?

1. 48,5 dB = 40 dB + 8,5 dB; 2. 8,5 dB ≙ 7,1fach; 3. 40 dB bedeutet 4 Nullen
4. Nach dem Komma folgen 4 Stellen: 71 000fache Leistungsverstärkung.

Übungsfragen und Aufgaben:

1. Was heißt das: Ich habe 100 W Input, aber meine PA macht 10 dB dazu?
2. Die Durchgangsdämpfung des Quarzfilters ist 2,5 dB?
3. Die Freiraumdämpfung des Satelliten beträgt 128 dB?
4. Wieviel dB sind 16fache Leistungsverstärkung?
5. Ein Nf-Verstärker erbringt 1200fache Leistungsverstärkung, wieviel dB sind das?
6. Eine Yagi-Antenne bündelt die Abstrahlung so, daß der Leistungsgewinn das 56fache erbringt. dB?
7. Am Ende des Antennenkabels kommt nur noch die halbe Energie an. Dämpfung in dB?
8. Welche Bequemlichkeit bietet die logarithmische Herleitung des dB?.
9. Wie reagieren die menschlichen Sinne, linear oder logarithmisch?
10. Was bedeuten positive, was negative dB?

Vom Trafo zum Kurzwellenempfänger

Von Karl H. Hille, DL1VU, 9A1VU, Goethestraße 3, 8172 Lenggries

Lösungen:

1. a) Die gesamte Leistungsverstärkung ist 112 dB. b) Am Lautsprecher stehen 0,285 mW. c) Die Spannung am Lautsprecher ist 33,7 mV. d) Die Leistungsverstärkung ist 158 Milliarden. e) Die Spannungsverstärkung ist 112000fach. 2. a) Die Leistungsverstärkung ist 12,5 Millionen. b) Die Leistungsverstärkung ist 71 dB. c) Die Spannungsverstärkung ist 2000fach. 3. a) Bei S8 liegen 50 mV am 16-Ohm-Hörer. b) Bei S8 werden 156,25 µW in den Hörer eingespeist. c) Das Leistungsverhältnis ist 4:1. d) Es sind 6 dB. 4) Das S-8-Signal liegt 30 dB über dem Rauschen. 5. OM Waldheini muß mit 12,8 kW senden, um ein 50-W-Signal um 4-S-Stufen anzuheben.

Vergleich von Strom und Spannung mit dem Dezibel

Wer die letzten Abschnitte halbwegs aufmerksam gelesen hat, dem muß es aufgefallen sein, daß immer wieder bis zum Überdruß darauf hingewiesen worden war, es handle sich um Leistungsverhältnisse. Die Bequemlichkeit, mit der logarithmischen Einheit dB zu rechnen, war so verlockend, daß man sie schließlich auch für den Vergleich von Spannungen und Strömen verwendete.

Die Grundlage bildet wie vorher beim Leistungsvergleich der Vierpol der **Abb. 1**, dessen Eingangswiderstand genauso groß ist, wie der Ausgangswiderstand.

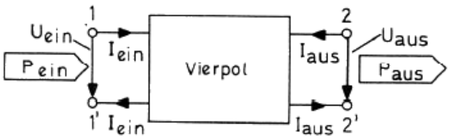

Abb. 1.

Stromvergleich mit dem Dezibel

Da nach dem Ohmschen Gesetz $P = I^2 \cdot R$ ist (siehe „Vom Elektron zum Schwingkreis", S. 20 u. 21), können wir die Leistungen wie folgt ins Verhältnis bringen und so vergleichen:

$$\frac{P_{groß}}{P_{klein}} = \frac{I^2_{groß} \cdot R}{I^2_{klein} \cdot R}$$. Wir kürzen durch R und erhalten:

Das Kürzen durch R ist nur dann zulässig, wenn R = R, d.h. wenn Eingangs- und Ausgangswiderstand gleich groß sind. Es ist also die unbedingte Voraussetzung, daß Stromvergleiche mittels dB nur bei gleichen Widerstandswerten zulässig sind!

Das Quadrat auf der rechten Seite läßt sich vereinfachen:

$$\frac{P_{groß}}{P_{klein}} = \left(\frac{I_{groß}}{I_{klein}}\right)^2$$

Strenggenommen drücken wir nun das Leistungsverhältnis oder – was das gleiche ist – das Verhältnis der Stromquadrate logarithmisch in Bel aus:

$$a\,[dB] = \lg \left(\frac{I_{groß}}{I_{klein}}\right)^2$$

in Dezibel muß das zehnmal so viel ergeben:

$$a\,[dB] = 10 \lg \left(\frac{I_{groß}}{I_{klein}}\right)^2$$

Weil aber $\lg x^2 = 2 \cdot \lg x$, ergibt sich schließlich:

$$a\,[dB] = 20 \lg \frac{I_{groß}}{I_{klein}}.$$

Spannungsvergleich mit dem Dezibel

Hier ist es ganz ähnlich wie bei den Strömen, denn die Leistung ist: $P = U^2 : R$. Vergleichen wir eine große mit einer kleinen Spannung, so erbringt das Verhältnis beider Spannungen:

$P_{groß} : P_{klein} = U^2_{groß}/R : U^2_{klein}/R$.

Nur bei gleichgroßem Widerstand können wir mit 1/R kürzen und erhalten:

$P_{groß} : P_{klein} = U^2_{groß} : U^2_{klein}$;

Das Quadrat setzen wir außerhalb der Klammer:

$P_{groß} : P_{klein} = (U_{groß} : U_{klein})^2$

In Bel logarithmisch ausgedrückt:

$a\,[B] = \lg (U_{groß} : U_{klein})^2$

In Dezibel ausgedrückt: $a\,[dB] - 10 \lg (U_{groß} : U_{klein})^2$

Das Quadrat nach vorn gebracht: $a\,[dB] = 20 \lg (U_{groß} : U_{klein})$.

Wir merken: (63):

Dezibel

Logarithmisch ausgedrückte Strom- bzw. Spannungsverhältnisse.
Unbedingte Voraussetzung: Gleichheit der Widerstände

$$a\,[dB] = 20 \lg \frac{I_{groß}}{I_{klein}} \qquad a\,[dB] = 20 \lg \frac{U_{groß}}{U_{klein}}$$

Um eine bequeme Übersicht zu gewinnen, sind in **Abb. 2** die Strom- bzw. Spannungsverhältnisse von 1:1 bis 2:1 in dB als Nomogramm dargestellt. I- bzw. U-Verhältnisse von 1:1 bis 10:1 sind in **Abb. 3**, und I- bzw. U-Verhältnisse von 10:1 bis 100:1 sind in **Abb. 4** in dB abzulesen.

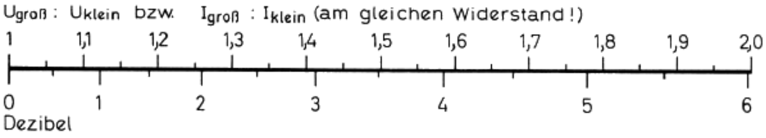

Abb. 2

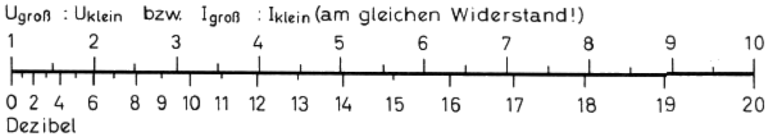

Abb. 3.

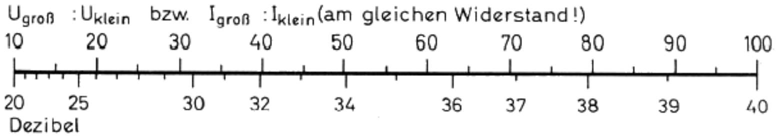

Abb. 4.

Aus den Nomogrammen können wir folgende, markante Verhältnisse von Strom bzw. Spannung in dB ausdrücken, die wir eigentlich auswendig wissen sollten:

2:1 = 6 dB   3:1 ≈ 10 dB   4:1 = 12 dB.

Wichtig sind für die Begutachtung eines Strom- bzw. Spannungsverhältnisses wiederum die Zehnerpotenzen. Wir zählen die Zahl der Nullen und multiplizieren sie mit zwanzig; so erhalten wir die dB der Zehnerpotenz:

Nullenzahl mal zwanzig = dB. Beispiele:

I_{gr}/I_{kl} = 10. Zehn hat eine Null. $1 \cdot 20 = 20$ dB.
I_{gr}/I_{kl} = 100. Hundert hat zwei Nullen. $2 \cdot 20 = 40$ dB.
U_{gr}/U_{kl} = 1000. Tausend hat drei Nullen. $3 \cdot 20 = 60$ dB.
U_{gr}/U_{kl} = 10000. Zehntausend hat vier Nullen. $4 \cdot 20 = 80$ dB.

Bestimmung der dB aus dem Strom- bzw. Spannungsverhältnis

1. Wir zerlegen das Strom- bzw. Spannungsverhältnis in Faktor und Zehnerpotenz.
2. Wir bestimmen die dB der Zehnerpotenz.
3. Wir bestimmen die dB des Faktors aus dem Nomogramm.
4. Wir addieren beide Werte zum Endergebnis.

Beispiel: 300fache Spannungsverstärkung

1. $300 = 3 \cdot 100$;
2. $100 \mathrel{\hat{=}} 40$ dB (zwei Nullen mal 20 = 40);
3. $3 \mathrel{\hat{=}} 9{,}5$ dB;
4. 40 dB + 9,5 dB = +49,5 dB.

Beispiel: 70000fache Stromdämpfung

1. $70000 = 7 \cdot 10000$;
2. $10000 \mathrel{\hat{=}} 80$ dB (vier Nullen mal 20 = 80);
3. $7 \mathrel{\hat{=}} 17$ dB;
4. 80 dB + 17 dB = −97 dB.

Beispiel: 1863479fache Spannungsverstärkung

1. $1863479 \approx 1{,}9 \cdot 1000000$;
2. $1000000 \mathrel{\hat{=}} 120$ dB (sechs Nullen mal 20 = 120);
3. $1{,}9 \mathrel{\hat{=}} 5{,}5$ dB;
4. 120 dB + 5,5 dB = +125,5 dB.

Vom Trafo zum Kurzwellenempfänger

Von Karl H. Hille, DL1VU, 9A1VU, Goethestraße 3, 8172 Lenggries

Bestimmung des Strom- bzw. Spannungsverhältnisses aus den dB

1. Wir teilen den dB-Wert durch 20 dB und erhalten einen Teil und einen Rest.
2. Der Teil ergibt die Zehnerpotenz, er sagt uns die Zahl der Nullen.
3. Der Rest wird im Nomogramm (von unten nach oben ablesen!) in einen Faktor verwandelt.
4. Wir multiplizieren den Faktor mit dem Stellenwert.

Beispiel: +13 dB entsprechen welchem Stromverhältnis?
1. 13 dB : 20 dB = 0 Rest 13;
2. 0 $\triangleq$ 1 (keine Null);
3. 13 dB $\triangleq$ 4,5;
4. 4,5 mal 1 = 4,5fache Stromverstärkung.

Beispiel: −115 dB entsprechen welchem Spannungsverhältnis?
1. 115 dB : 20 dB = 5 Rest 15;
2. 5 $\triangleq$ 100000 (fünf Nullen);
3. 15 dB $\triangleq$ 5,5;
4. 5,5 · 100000 = 550000fache Spannungsdämpfung.

Beispiel: 48,5 dB entsprechen welchem Stromverhältnis?
1. 48,5 dB : 20 dB = 2 Rest 8,5.
2. 2 $\triangleq$ 100 (zwei Nullen);
3. 8,5 dB $\triangleq$ 2,7;
4. 100 · 2,7 = 270fache Stromverstärkung.

Übungsfragen und Aufgaben:

1. Was ist die unbedingte Voraussetzung, um Spannungen bzw. Ströme in dB vergleichen zu können?
2. Ein Verstärker habe 50 kΩ Eingangswiderstand und 8 Ω Ausgangswiderstand. Wenn am Eingang 5 mV liegen, gibt er am Ausgang 30 V ab. a) Wie groß ist die zahlenmäßige Spannungsverstärkung? b) Wie groß ist die Spannungsverstärkung in dB?
3. Ein 50-Ω-Kabel verbindet Antenne und Empfänger. An der Antenne liegen 25 µV, auf der Empfängerseite kommen nur 12,5 µV an. a) Wie groß ist das Spannungsverhältnis? b) Wieviel dB ist die Spannungsdämpfung? c) Wie groß ist der Kabelverlust in S-Stufen ausgedrückt? d) Wie groß ist der Leistungsverlust in dB?
4. Ein Antennenverstärker hat 50-Ω-Eingang und 50-Ω-Ausgang. Er hebt ein Signal von 1,2 µV auf 1,7 mV an: a) Spannungsverstärkung? b) Spannungsverstärkung in dB? c) Leistungsverstärkung in dB?
5. Ein Transistor hat eine Stromverstärkung β = 700. Wieviel ist das in dB, wenn Eingangs- und Ausgangswiderstand als gleich angenommen werden?
6. An den Klemmen einer 144-MHz-Antenne liegen 100 µV. Das Kabel dämpft die Eingangsspannung um 8 dB. Welche Spannung kommt am Empfänger an?
7. Die gleiche Anordnung wird zum Senden benützt. Der Sender speist 0,2 A in das Kabel. Welcher Strom fließt oben am Antennenanschluß?
8. An der Ausgangsbuchse des Senders wird eine fernsehstörende Oberwelle mit 80 µV gemessen. Ein TVI-Filter soll die Störfrequenz auf 1 µV herabdämpfen. Wieviel dB ist die Spannungsdämpfung?

Um eine bequeme Übersicht zu gewinnen, sind in **Abb. 1** die Strom- bzw. Spannungsverhältnisse von 1:1 bis 2:1 in dB als Nomogramm dargestellt. I- bzw. U-Verhältnisse von 1:1 bis 10:1 sind in **Abb. 2,** und I- bzw. U-Verhältnisse von 10:1 bis 100:1 sind in **Abb. 3** in dB abzulesen.

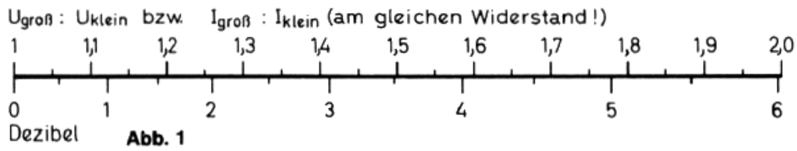

Abb. 1

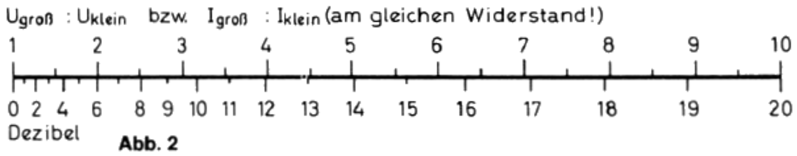

Abb. 2

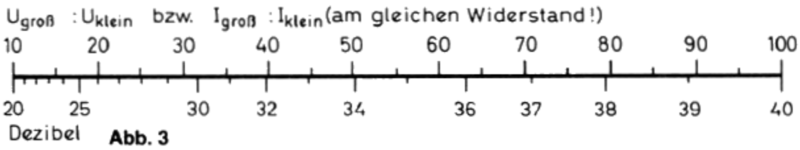

Abb. 3

Strom- bzw.Spannungsverhältnisse aus dem dB

Der Merksatz 63 gab uns die Dezibel aus dem Verhältnis der Ströme $a\,[\mathrm{dB}] = 20 \lg \frac{I_{gr}}{I_{kl}}$. Formen wir diese Gleichung um, so ergibt sich das Stromverhältnis mit $\frac{I_{gr}}{I_{kl}} = 10^{\frac{a}{20}}$. Nehmen wir zum Beispiel die Stromverstärkung mit 1 dB an, so ergibt sich als Stromverhältnis $\frac{I_{gr}}{I_{kl}} = 10^{\frac{1}{20}}$, was wir auch anders schreiben können:

$I_{gr}: I_{kl} = 10^{0,05}$, oder $I_{gr}: I_{kl} = \sqrt[20]{10}$.

Bei der Lösung dieser Gleichungen erhalten wir: $10^{\frac{1}{20}} = 10^{0,05} = \sqrt[20]{10} =$ 1,122018454 … Dies bedeutet: 1 dB Stromverstärkung entspricht einer Stromanhebung auf das 1,12fache; die Stromstärke ist um etwa 12% gestiegen.

Werden zwei Stromverstärker, die je 1 dB Verstärkung aufweisen, hintereinandergeschaltet, so wächst die Gesamtverstärkung auf die Summe der Einzelverstärkungen in dB, also auf 2 dB, an. In der Potenzschreibweise läßt sich das so ausdrücken: $I_{gr}: I_{kl} = 10^{0,05} \cdot 10^{0,05} = 10^{0,05+0,05} = 10^{0,1}$; dies sind etwa 1,12 · 1,12 = 1,26. Schalten wir eine Menge 1-dB-Verstärker in einer Kette zusammen, so multiplizieren sich die Verstärkungsfaktoren jeweils mit 1,12. Die dB hingegen addieren sich nur fortlaufend:

1 dB	2 dB	3 dB	4 dB	5 dB	6 dB	7 dB	8 dB	9 dB	10dB
1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·
	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	1,259	1,413	1,585	1,779	1,995	2,239	2,512	2,818	3,162

11 dB	12 dB	13 dB	14 dB	15 dB	16 dB	17 dB	18 dB	19 dB	20dB
· 1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12 ·	1,12
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
3,548	3,981	4,467	5,012	5,623	6,310	7,080	7,943	8,913	10,000

Zwanzig Stromverstärker zu je 1 dB ergeben 20 dB Stromverstärkung; der Strom ist auf das Zehnfache angewachsen. Jedes dB ist demnach ein Zwanzigstel der Faktorenschritte auf den zehnfachen Strom hin.

Arbeiten wir anstatt mit Strömen mit Spannungen, so ändert sich an den eben angestellten Überlegungen gar nichts, lediglich die Bezeichnungen wechseln von I auf U.

Wir merken: (64):

Strom- bzw. Spannungsverhältnisse in dB

$$\frac{I_{groß}}{I_{klein}} = 10^{\frac{a[\mathrm{db}]}{20}} \qquad \frac{U_{groß}}{U_{klein}} = 10^{\frac{a[\mathrm{dB}]}{20}}$$

Strom- bzw. Spannungsverhältnis von 1 dB

$$\frac{U_{groß}}{U_{klein}} = 10^{\frac{1}{20}} = 10^{0,05} = \sqrt[20]{10}$$

$$\frac{I_{groß}}{I_{klein}} = 10^{\frac{1}{20}} = 10^{0,05} = \sqrt[20]{10}$$

$$\frac{I_{groß}}{I_{klein}} \text{ für 1 dB (Strom)} = 1{,}1220 \approx 1{,}12$$

$$\frac{U_{groß}}{U_{klein}} \text{ für 1 dB (Spannung)} = 1{,}1220 \approx 1{,}12$$

Vom Trafo zum Kurzwellenempfänger

Von Karl H. Hille, DL1VU, 9A1VU, Goethestraße 3, 8172 Lenggries

Lösungen

1. Der Eingangswiderstand muß genauso groß wie der Ausgangswiderstand sein. 2. Eine Fangfrage! In dieser Aufgabe haben Eingang und Ausgang verschiedene Impedanzen. a) V_u = 6000, b) dB-Vergleich nicht möglich. 3. a) Spannungsverhältnis 2:1, b) −6 dB, c) Eine S-Stufe, d) −6 dB. 4. a) 1417fach, b) 63 dB, c) 63 dB. 5. Stromverstärkung 57 dB. 6. Am Empfänger kommen 40 µV an. 7. Am Antennenanschluß fließen 0,08 A. 8. Das Filter muß mit −38 dB dämpfen.

Schnelle und bequeme Bestimmung der dB

Wenn wir die Strom- bzw. Spannungsverhältnisse, die zu 0 dB bis 19 dB gehören, sehr genau ausrechnen, so erhalten wir die Werte der angeführten Tabellen der **Abb. 1** und **Abb. 2.** In der linken Spalte sind die Dezibel von 0 dB bis 9 dB angeführt, während die Kopfzeile die Zehnerpotenzen von 0 dB bis 120 dB (Abb. 1) und von 10 dB bis 130 dB (Abb. 2) angibt. Mit Hilfe dieser Tabellen können wir sehr schnell die zu 0 dB bis 139 dB gehörenden Strom- bzw. Spannungsverhältnisse angeben. Genauso gut können wir in umgekehrter Weise aus den Strom- bzw. Spannungsverhältnissen von 1:1 bis 1:8,9 Millionen die dB finden.

dB	0	20	40	60	80	100	120
0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	2	2	0	1	8
2	1	2	5	8	9	2	5
3	1	4	1	2	5	3	8
4	1	5	8	4	8	9	3
5	1	7	7	8	2	7	9
6	1	9	9	5	2	6	2
7	2	2	3	8	7	2	1
8	2	5	1	1	8	8	6
9	2	8	1	8	3	8	3

Abb. 1. Spannung oder Strom

dB	10	30	50	70	90	110	130
0	3	1	6	2	2	7	8
1	3	5	4	8	1	3	4
2	3	9	8	1	0	7	2
3	4	4	6	6	8	3	6
4	5	0	1	1	8	7	2
5	5	6	2	3	4	1	3
6	6	3	0	9	5	7	3
7	7	0	7	9	4	5	8
8	7	9	4	3	2	8	2
9	8	9	1	2	5	0	9

Abb. 2. Spannung oder Strom

Das Dezimalkomma ist mit großer Aufmerksamkeit zu behandeln, alles andere ist sehr einfach. Um im Gebrauch der Tabellen sicher zu werden, werden wir jetzt einige Beispiele durcharbeiten.

1. Welches Stromverhältnis entspricht +7 dB Stromverstärkung? Wir suchen die geeignete Tabelle, in welcher 07 dB zu finden sind, dies ist die Tabelle der Abb. 1. Wir suchen in der oberen Zeile 0 dB und in der linken senkrechten Spalte 7 dB, was 07 dB ergibt. Das Dezimalkomma steht rechts von 07 dB oder zwischen 0 dB und 20 dB der oberen Zeile. Wir lesen sodann aus dem Zahlenfeld ab: 7 dB = 2,238 721fache Stromverstärkung.

2. Welches Spannungsverhältnis entspricht +13 dB Spannungverstärkung? Wir zerlegen die dB nach Zehner-dB und Einer-dB. Weil die Zehner ungerade sind, benutzen wir die Tabelle der Abb. 2. Wir suchen in der oberen Zeile 10 dB und in der linken Spalte 3 dB, was zusammen 13 dB ergibt. Das Komma steht zwischen 10 dB und 30 dB der oberen Zeile. Wir lesen aus der Zahlentafel ab: +13 dB = 4,466 836fache Spannungsverstärkung. Abgerundet: 4,5fache Spannungsverstärkung.

3. Welches Stromverhältnis entspricht −25 dB Stromdämpfung? Wir zerlegen die dB in Zehner und Einer: 25 dB = 20 dB + 5 dB. Da die Zehner geradzahlig sind, benützen wir die Abb. 1. Obere Zeile 20 dB, linke Spalte 5 dB. Das Komma steht zwischen 20 dB und 40 dB. Wir lesen ab: −25 dB = 17,78279fache Stromdämpfung. Der Strom ist auf rund 1/18 zurückgegangen.

4. Welches Spannungsverhältnis entspricht 78 dB Spannungsdämpfung? Zerlegung: 78 dB = 70 dB + 8 dB. Die Zehner sind ungeradzahlig. Wir verwenden Abb. 2. Obere Zeile 70 dB, linke Spalte 8 dB. Das Komma steht zwischen 70 dB und 90 dB. Wir lesen ab: −78 dB = 7934,282fache Spannungsdämpfung. Die Spannung ist auf rund 1/8000 zurückgegangen.

Bestimmung der dB aus dem Strom- bzw. Spannungsverhältnis

1. Ein Verstärker mit gleichem Eingangs- und Ausgangswiderstand verstärkt die Spannung 350fach. Wieviel dB sind das?

Wir suchen in den ersten drei Stellen der Abb. 1 oder 2 den Zahlenwert 350 und finden ihn in Abb. 2, zweite Zeile: 354. Wir fahren nach oben und finden über der Einerstelle 50 dB. Links von 354 steht 1 dB. Die Spannungsverstärkung ist also 50 dB + 1 dB = +51 dB.

2. Ein Strom wird auf das 20000fache verstärkt. Wieviel dB beträgt die Stromverstärkung?

Wir suchen 20000 in Abb. 1 oder 2. In Abb. 1 finden wir 19952,62 als angenäherten Wert. Über der Einerstelle stehen 80 dB. Links von 19952 stehen 6 dB. Die 20000fache Stromverstärkung ist daher: 80 dB + 6 dB = +86 dB.

3. Eine Spannung wird durch ein Bauelement auf das 1/750000fache gedämpft. Wieviel dB beträgt die Spannungsdämpfung? Wir suchen 750000 in der Abb. 1 oder 2 und finden 7079458 oder 7943282 in Abb. 2. Wer die Wahl hat, hat die Qual! Weil 7079458 nur rund 42000 vom gegebenen Zahlenwert entfernt ist, 7943282 aber mit rund 44000 weiter davon weg ist, wählen wir den ersten Zahlenwert und sehen über der Einerstelle 110 dB, links 7 dB. Die Spannungsdämpfung ist also 110 dB + 7 dB = −117 dB. OM Waldheini hätte sich für die Mitte zwischen beiden Werten entschieden und −117,5 dB herausgebracht. Er hat recht; aber das halbe dB soll er uns erst einmal vormessen.

4. Ein Strom wird auf den 1600. Bruchteil gedämpft. Wieviel dB Stromdämpfung?

Die Zahl 1600 ist in Abb. 1 als 1584 angenähert zu finden. Über den Einern stehen 60 dB. Links finden wir 4 dB. Die Stromdämpfung ist also −64 dB.

Übungsfragen und Aufgaben

1. Ein Direktmischempfänger hat vom 50-Ω-Antenneneingang zum 50-Ω-Kopfhörerausgang eine Spannungsverstärkung von 3800fach. Wieviel dB ist seine Spannungsverstärkung?
2. Ein Superhetempfänger hat vom Eingang zum gleichohmigen Ausgang 79 dB Spannungsverstärkung. Wievielfach ist seine Spannungsverstärkung?
3. Eine KW-Antenne hat an ihren 50-Ω-Klemmen 28 µV Empfangssignalspannung. Der Balun dämpft die Spannung auf $\frac{364}{438}$, das Kabel dämpft die Spannung auf $\frac{67}{91}$, das TVI-Filter dämpft die Spannung auf $\frac{621}{712}$, und der Eingangsübertrager dämpft die verbleibende Signalspannung auf $\frac{18}{37}$. Welche Signalspannung liegt am 50-Ω-Eingang des Empfängers?
4. Die gleiche Antenne wie in Aufg. 3 hat an 50 Ω 28 µV Signalspannung. Die Dämpfungen sind: Balun −1,6 dB, Kabel = −2,7 dB, TVI-Filter −1,2 dB und Eingangsübertrager −6,2 dB. a) Wie groß ist die Gesamtdämpfung in dB? b) Wie groß ist die Gesamtdämpfung als Zahlenverhältnis? c) Wie groß ist die Empfangsspannung? d) Aufgabe 3 und Aufgabe 4 haben den selben physikalischen Sachverhalt. Welche Aufgabe war leichter zu lösen?

Vom Trafo zum Kurzwellenempfänger

Von Karl H. Hille, DL1VU, 9A1VU, Goethestraße 3, 8712 Lenggries

Lösungen

1. Die Spannungsverstärkung ist +72 dB. 2. Der Superhet hat 9000fache Spannungsverstärkung. 3. Am Eingang des Empfängers liegen 7,3 µV. 4. a) −11,7 dB Gesamtdämpfung b) rund 3,9:1 c) rund 7,3 µV d) Die Aufgabe 4 war erheblich leichter zu lösen.

Das Dezibel über einem Milliwatt

Aus seiner Natur heraus ist das Dezibel ein logarithmisches Maß für Leistungsverhältnisse. Treten die zu vergleichenden Leistungen am gleichen Widerstand auf, dann können wir mit dem Dezibel sogar Spannungs- und Stromverhältnisse vergleichen. Gemessen werden jedoch stets die Verhältnisse zweier Größen, es handelt sich niemals um eine feste Größe oder – wie wir auch sagen können – um eine absolute Größe.

Um mit dem Dezibel auch absolut messen zu können, besuchen wir zusammen mit OM Waldheini einige Fußballspiele. Er begeistert sich an unentschiedenen Torverhältnissen: 4:4; 2:2; 1:1; und er belehrt uns, daß das ausgerechnete Torverhältnis immer 1,0 ergebe, wie man an 4:4=1 sehen könne. Weiters unterrichtet uns OM W., daß Spielergebnisse von 10:5; 8:4; 6:3; 4:2 und 2:1 jeweils ein ausgerechnetes Torverhältnis von 2,0 ergeben. Und er doziert, wie 8:2; 4:1 ein Verhältnis von 4,0 und andererseits 2:8; 1:4 ein Verhältnis von 0,25 erbringen. Endlich legt er los: „Gestern hat mein Liebling Meniskuskicker gegen Karabiakuka mit dem Verhältnis 1,5 gewonnen!" Wir sind ratlos; denn das könnte 3:2; 6:4 oder auch 9:6 gewesen sein. Er ergänzt aber seine Aussage: „Die erste Mannschaft hatte 6 Tore!" Damit hat er das Verhältnis an einem Ende festgenagelt, und wir können uns leicht ausrechnen: das Spiel ging 6:4 aus. Natürlich könnte er auch das andere Ende des Verhältnisses festnageln und sagen: „Das Torverhältnis war 1,5; die zweite Mannschaft hatte 4 Tore!" Auch hier erhalten wir den Spielausgang mit 6:4 Toren.

Das Geheimnis, wie wir mit einem Verhältnismaß absolute Größen messen können, liegt einfach darin, daß ein Glied des Verhältnisses festgelegt wird. Weil das dB Leistungsverhältnisse vergleicht, müssen wir eine Leistung als Eckpunkt aller Verhältnisse festlegen, und da eignet sich in der Empfängertechnik das Milliwatt am besten. Außerdem müssen wir wissen, an welchem Wirkwiderstand dieses Milliwatt seine Energie abgibt. Hier bieten sich die 50 Ohm des Antenneneinganges an, zumal die Technik sich im größten Umfang der 50-Ohm-Kabel bedient. Wir legen also feierlich fest: Der Ausgangspunkt des Maßsystems ist eine Leistung von einem Milliwatt an 50 Ohm.

Welche Spannung wird nun von einem Milliwatt an 50 Ohm hervorgerufen? Wir gehen von der Leistung aus. $P = I \cdot U$. Da nach dem Ohmschen Gesetz $I = \frac{U}{R}$ ist, erhalten wir durch Einsetzen für I folgendes: $P = \frac{U^2}{R}$. Durch Umstellung: $U^2 = P \cdot R$. Durch Wurzelziehen: $U = \sqrt{P \cdot R}$. Nun setzen wir $P = \frac{1}{1000}$ W und $R = 50\ \Omega$ ein und bekommen $U = \sqrt{\frac{50\ \mathrm{W} \cdot \Omega}{1000}}$. Da weiterhin 1W = 1V · 1A und $1\Omega = \frac{1\ \mathrm{V}}{1\ \mathrm{A}}$, ergibt sich für die Dimension der Maße: $\mathrm{W} \cdot \Omega = \frac{1\ \mathrm{V} \cdot 1\ \mathrm{A} \cdot 1\ \mathrm{V}}{1\ \mathrm{A}}$; gekürzt: $\mathrm{W} \cdot \Omega = \mathrm{V}^2$. Die Spannung ist somit $U = \sqrt{\frac{50}{1000}\ \mathrm{V}^2}$; $U = \sqrt{\frac{1}{20}\mathrm{V}^2}$ und ausgerechnet:

U = 0,2236067978... V ≈ 0,22 V. Diese Spannung entspricht 0 dBm über 1 mW an 50 Ω. Das ist der Ausgangspunkt für die Spannung des Maßsystems.

Ganz ähnlich erfolgt die Antwort auf die Frage: Welche Stromstärke muß durch 50 Ω fließen, um in dem Widerstand 1 mW zu leisten? Kurzform: $P = I^2 \cdot R$; $I^2 = P:R$; $I = \sqrt{P:R}$; P = 1W:1000; R = 50 Ω; $I = \sqrt{\frac{1\ \mathrm{W}}{1000 \cdot 50\ \Omega}}$; Dimensionen: 1W = 1V · 1A; 1 Ω = 1V:1A; 1W:1 Ω = (1V · 1A):(1V:1A); $1\mathrm{W}:1\Omega = 1\mathrm{A}^2$. $I = \sqrt{\frac{1\ \mathrm{A}^2}{50000}}$; I = 0,004472135955... A ≈ 4,5 mA.

Dieser Strom entspricht 0 dBm über 1 mW an 50 Ω. Dies ist der Bezugspunkt für den Strom des dBm-Maßsystems.

Zur Probe können wir die Spannung, welche an 50 Ω abfällt, mit dem Strom, der durch den selben Widerstand fließt, multiplizieren und erhalten P = I · U; P = 0,004 ...A · 0,223...V = 0,001 W.

Nehmen wir Merksatz 60 als Grundlage, so können wir die kleine Leistung mit 1 mW festlegen und erhalten $a\,[\mathrm{dBm}] = 10 \cdot \lg \frac{P \text{ an } 50\ \Omega}{1\ \mathrm{mW} \text{ an } 50\ \Omega}$. Dies läßt sich nach Merksatz 61 umformen in: $\frac{P \text{an } 50 \text{ PO}}{1\ \mathrm{mW} \text{ an } 50\ \Omega} = 10^{\frac{a\,[\mathrm{dBm}]}{10}}$.

Eigentlich könnten wir die Angabe des Bezugswiderstandes von 50 Ω hier fortlassen; denn Leistung ist Leistung, gleich wo sie auftritt; aber durch diesen Vermerk betonen wir ausdrücklich den grundlegenden Sachverhalt dieses Maßsystemes.

Ströme beziehen wir auf die Stromstärke, die in 50 Ohm 1 mW leistet, nämlich 4,472 ...mA. Dies sind 0 dBm. Sodann ergibt sich aus Merksatz 63: $a\,[\mathrm{dBm}] = 20 \cdot \lg \frac{I \text{ in } 50\ \Omega}{4{,}47 \ldots \mathrm{mA}}$. Nach Merksatz 64 resultiert für einen beliebigen Strom in 50 Ohm: $I \text{ in } 50\ \Omega = 4{,}47\ldots \cdot 10^{\frac{a\,[\mathrm{dBm}]}{20}}$ [mA]

Am wichtigsten ist die Spannung, die an 50 Ohm abfällt. Wir beziehen sie auf die Spannung, die an 50 Ω 1 mW leistet, dies sind 0,223...V. Dieser Bezugspunkt entspricht 0 dBm. Von ihm aus werden alle Spannungen in dBm gemessen. Positive dBm sind größer als 0,223...V; negative dBm sind kleiner als 0,223...V. Nach Merksatz 63 erhalten wir die dBm aus der Spannung U, wenn wir diese auf die Ausgangsbasis 0,223...V beziehen: $a\,[\mathrm{dBm}] = 20 \cdot \lg \frac{U \text{ an } 50\ \Omega}{0{,}223 \ldots \mathrm{V}}$.

Wollen wir die Spannung nach den angegebenen dBm berechnen, so gehen wir nach Merksatz 64 vor: $U \text{ an } 50\ \Omega = 0{,}223\ldots\mathrm{V} \cdot 10^{\frac{a\,[\mathrm{dBm}]}{20}}$.

Wir merken: (65):
Dezibel über einem Milliwatt an 50 Ohm
Das dBm ist ein absolutes logarithmisches Maß, das sich auf eine Leistung von 1 Milliwatt an 50 Ω bezieht. Es wird hauptsächlich für Spannungen verwendet.

Leistung

$a\,[\mathrm{dBm}] = 10 \cdot \lg \frac{P \text{ an } 50\ \Omega}{1\ \mathrm{mW} \text{ an } 50\ \Omega}$

$P \text{ an } 50\ \Omega = 1\ \mathrm{mW} \cdot 10^{\frac{a\,[\mathrm{dBm}]}{10}}$

Strom

0 dBm = 4,47...mA in 50 Ω

$a\,[\mathrm{dBm}] = 20 \cdot \lg \frac{I \text{ in } 50\ \Omega}{4{,}47 \ldots \mathrm{mA}}$

$I \text{ in } 50\ \Omega = 4{,}47\ldots \cdot 10^{\frac{a\,[\mathrm{dBm}]}{20}}$ [mA]

Spannung

0 dBm = 0,223...V an 50 Ω

$a\,[\mathrm{dBm}] = 20 \cdot \lg \frac{U \text{ an } 50\ \Omega}{0{,}223 \ldots \mathrm{V}}$

$U \text{ an } 50\ \Omega = 0{,}223\ldots\mathrm{V} \cdot 10^{\frac{a\,[\mathrm{dBm}]}{20}}$ [V]

Was hier noch sehr kompliziert aussieht, wird uns durch praktische Beispiele viel leichter zugänglich werden. Zunächst können wir uns mit den Faustregeln für Spannungen sehr gut weiterhelfen, wobei wir uns erinnern, daß doppelte Spannung ≈ 6 dB; dreifache Spannung ≈ 10 dB und vierfache Spannung ≈ 12 dB entsprechen. Die zehnfache Spannung = 20 dB

Wir schätzen, wieviel + 6 dBm sind: 0 dBm ≈ 0,22 V. + 6 dB ≈ die doppelte Spannung. Also + 6 dBm ≈ 0,44 V.
Wir schätzen, wieviel − 6 dBm sind: 0 dBm ≈ 0,22 V. − 6 dB ≈ die halbe Spannung. Also − 6 dBm ≈ 0,11 V.
Wir schätzen, wieviel + 20 dBm sind: 0 dBm ≈ 0,22 V. + 20 dB ≈ das 10fache. Also + 20 dBm ≈ 2,2 V.
Wir schätzen, wieviel − 8 dBm sind: 0 dBm ≈ 0,22 V. − 8 dB liegen zwischen − 6 dB und − 10 dB. − 6 dB wäre die Hälfte, − 10 dB der dritte Teil. − 8 dB ist somit etwa der 2,5te Teil. Also −8 dBm = 0,22 V:2,5 ≈ 0,099 V.

Wir schätzen, wieviel − 60 dBm sind. − 20 dBm ist ein Zehntel, − 40 dBm ist ein Hundertstel und − 60 dBm ist ein Tausendstel der Bezugsspannung von 0,22 V. Also sind − 60 dBm ≈ 0,22 mV.

Es ist also durchaus möglich, sich die dBm-Werte schrittweise zu erarbeiten. Schneller kommen wir zum Ziel, wenn wir die dBm-Werte für Spannungen von 0 dBm bis + 20 dBm zur Hand haben.

dBm über 1 mW an 50

0 dBm	0,224 V	11 dBm	0,793 V
1 dBm	0,251 V	12 dBm	0,890 V
2 dBm	0,282 V	13 dBm	0,999 V
3 dBm	0,316 V	14 dBm	1,121 V
4 dBm	0,354 V	15 dBm	1,257 V
5 dBm	0,398 V	16 dBm	1,411 V
6 dBm	0,446 V	17 dBm	1,583 V
7 dBm	0,501 V	18 dBm	1,776 V
8 dBm	0,562 V	19 dBm	1,993 V
9 dBm	0,630 V	20 dBm	2,236 V
10 dBm	0,707 V		

Eine sehr anschauliche Erklärung aus den siebziger Jahren. Aber die Physik ändert sich nicht. Besonders für Einsteiger geschrieben und an vielen Beispielen gut und praxisnah erklärt.

Die fünf Seiten haben nicht die beste Schriftqualität, sind aber lesbar. Das bitte ich zu entschuldigen.

Quelle: DL-QTC 1978, Heft 3, Seite 120
Heft 7, Seite 78
Heft 8, Seite 355
Heft 9, Seite 412
Heft 10, Seite 461