

Dezibel, wozu, weshalb, warum?



Das dB in der Praxis des Funkamateurs

Hans E. Krüger, DJ8EI / PA8EI, OV Bad Honnef, G09



Das dB

-an und für sich
-und die Verluste in Speiseleitungen / Koaxkabeln
-und die Verluste im Sendezweig
-und die Antenne



Das dB.....

-an und für sich.....

dB, dBm wo kommt das vor?

- S - Meter.....S9 + 20 dB
- Antennengewinn13,2 dBd, 15,35 dBi
- Verstärkerausgangspegel.....60dBm
- Kabeldämpfung RG 213, 22,5 dB/100m/1000 MHz
- Freiraumdämpfung, Link Budget in dB
- Verluste in Koax Steckern/Buchsen in dB
- abgestrahlte Leistung in ERP, EIRP
- Einfügungsdämpfung Koax Relais, Blitzschutz, TP Filter, SWR Meter.....0.2.....0,05 dB
- Standortbescheinigung, Antennendiagramme, (Vertikale) Winkeldämpfung in dB
- Antennen Vor - Rückwärtsverhältnis25 dB
- Diplexer Einfüg.Dämpfung 1 dB, Entkopplung 40 dB



dB und dBm

- dB ist das Verhältnis zweier elektrischer Größen, z. B. Leistungen
- dBm ist eine absolute Größe, ein Pegel, festgelegt $0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW}$ $30 \text{ dBm} = 1 \text{ W}$
- Nützlich zur Berechnung von Verstärkung, Dämpfung oder z.B. der absoluten Sendeleistung, auch für die “Selbsterklärung” nutzbar

Ein wenig Mathematik.....

- $X/\text{dB} = 10 * \log P1/P2$
- (Der 10er log von 100 ist = 2, da 10^2 , von 1000 = 3)
Also z.B. Leistungsfaktor $1000 = 10^3 = 30 \text{ dB}$
- Beispiel 1: PA Input = P2 = 100 Watt
PA Output = P1 = 400 Watt
 $P1/P2 = 4$ $\log 4 = 0,6$
 $X = 10 * 0,6 = 6 \text{ dB}$ (Verstärkung)
- Merke: 4 fache Leistung = 1 S - Stufe!
- Beispiel 2: Verstärkung 100 auf 750 Watt,
 $\log 7,5 = 0,875$
 $10 * \log 7,5 = 8,75 \text{ dB}$, ca. 1.5 S - Stufen!



Nochmal langsam zum Mitrechnen.....

- 1. Fall: gegeben ist Leistungsverhältnis, gesucht ist Dämpfung/Verstärkung in dB

Beispiel Steuerleistung 80 Watt, PA Leistung 640 Watt
gesucht: Verstärkung $a(\text{dB}) = 10 * \log 640 / 80$

Rechenschritte:

$$640 / 80 = 8$$

$$\log (8) = 0,903$$

$$10 * 0,903 = 9,03$$

$$\text{Verstärkung } a(\text{dB}) = 9,03 \text{ dB}$$

Nochmal langsam zum Mitrechnen.....

- 2. Fall: Gegeben ist Dämpfung/Verstärkung, gesucht ist Leistung an der Antenne P(ant)

Beispiel: Dämpfung Coax = 2,8 dB, P (TRX) = 90 Watt

$$2,8 = 10 * \log 90 / P(\text{ant})$$

Rechenschritte:

$$2,8/10 = 0,28 = \log 90 / P(\text{ant})$$

(Rechenregel: $10^{\log(x)} = x$, also beide Seiten der Gleichung 10 hoch!)

$$10^{\text{hoch } 0,28} = 10^{\text{hoch } \log 90 / P(\text{ant})} = 90 / P(\text{ant})$$

$$1,905 = 90 / P(\text{ant})$$

$$P(\text{ant}) * 1,905 = 90, P(\text{ant}) = 90 / 1,905$$

$$P(\text{ant}) = 90 / 1,905 = 47,3 \text{ Watt}$$



Fazit

- Es lohnt sich, sich einen einfachen Taschenrechner zuzulegen.....
- Die dB - Rechnung führt komplizierte Rechnereien auf einfache Addition zurück
- Prospektangaben werden transparenter und verständlicher
-das know how hilft auch beim Kauf....
- (Funkamateure sind auf dem Stand der Technik.....)



Das dB.....

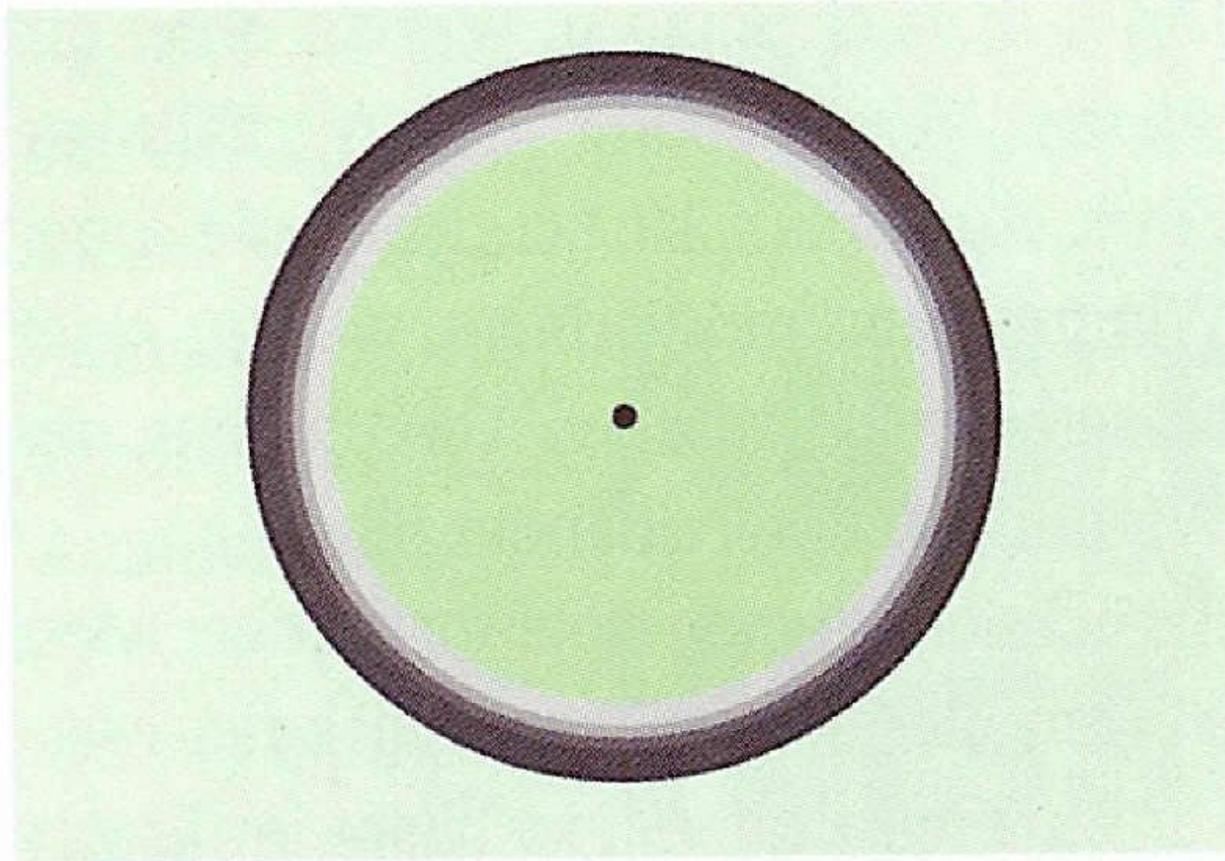
-und die Verluste in Speiseleitungen / Koaxkabeln



Dämpfung und Eigenschaften von Speiseleitungen

- Alle Speiseleitungen sind verlustbehaftet
- Koax Kabel Verluste entstehen durch
 - Ohmsche Verluste, Widerstand des Materials
 - Skineffekt , Verluste mit steigender Frequenz
 - Dielektrikum, (HF in Wärme) Wichtig: Qualität des Dielektrikums ! (Je mehr Luft, desto besser....)
 - Alterung, Längswasserdichtigkeit, Korrosion
- Die Dämpfung steigt mit wachsender Frequenz
- Verkürzungsfaktor und Wellenwiderstand sind nicht frequenzabhängig
- Paralleldrahtleitungen haben prinzipiell weniger Verluste - dafür Beeinflussung durch Umwelt und Umgebung

Der Skineffekt („Hauteffekt“)



**Stromverdrängung in den
Randbereich (Skin-Effekt)**



Skineffekt

Eindringtiefe in Cu als Funktion der Frequenz

Frequenz	Eindringtiefe
50 Hz	9,38 mm
1 kHz	2,10 mm
10 kHz	0,66 mm
100 kHz	0,21 mm
1 MHz	0,066 mm = 66 μ m
10 MHz	21 μ m
100 MHz	6,6 μ m
1 GHz	2,1 μ m
10 GHz	0,7 μ m
100 GHz	0,2 μ m = 200 nm

Eigenschaften von Koax Kabeln

Verkürzungsfaktor / Dielektrikum

- Die relative Dielektrizitätskonstante der Isolierung, ϵ_r gibt an, um wieviel das elektrische Feld im Material gegenüber dem Freiraum geschwächt wird. Daraus errechnet sich der Verkürzungsfaktor $V = c_0 / [\epsilon_r \cdot c_0]$. c_0 ist die Lichtgeschwindigkeit in Luft.

Handelt es sich bei diesem Medium um atmosphärische Luft, so ist $v \approx c_0 \approx 3 \cdot 10^8$ m/s (Lichtge-

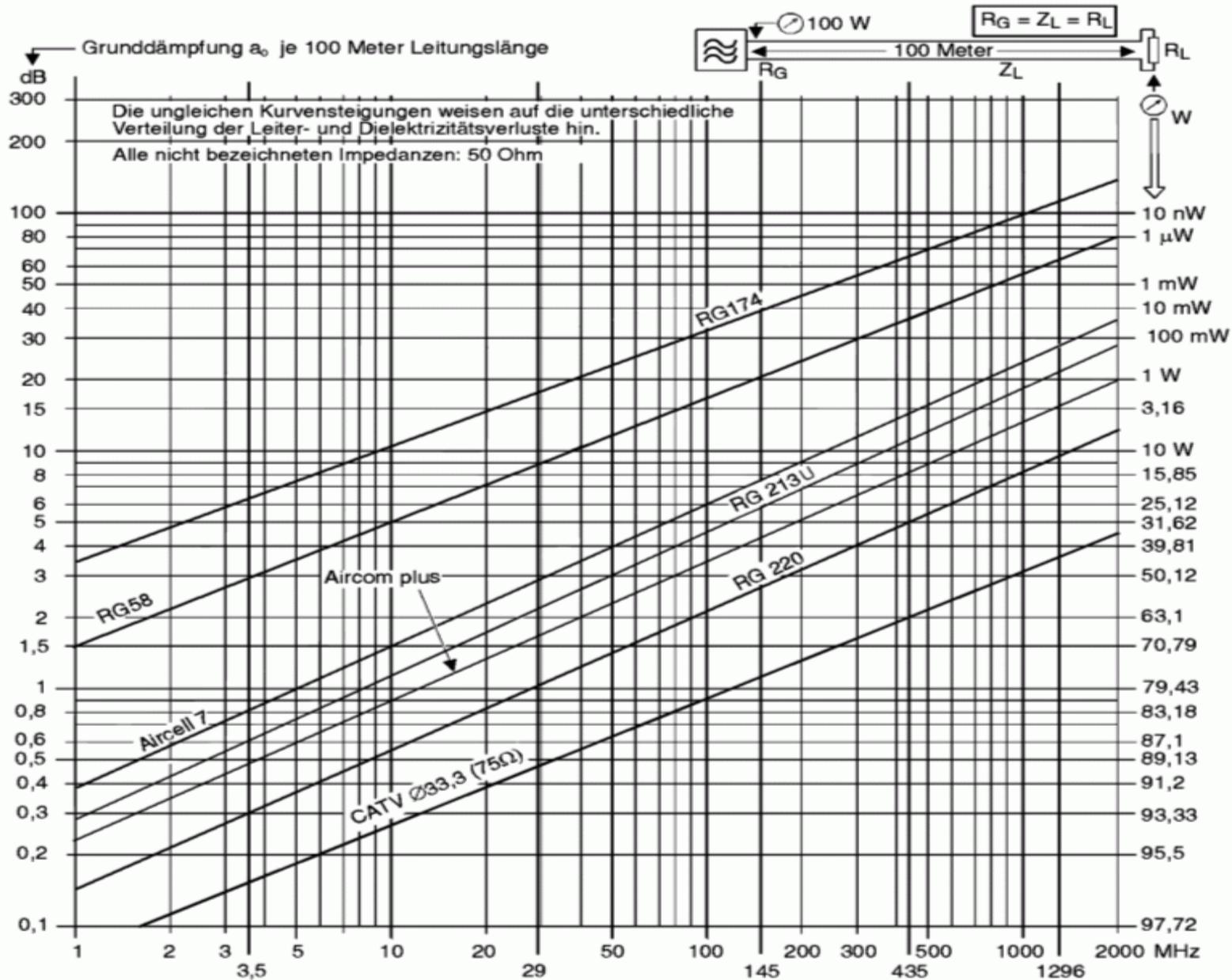
Dielektrikum	ϵ_1	$v/\%$	V	
Voll-PE	2,3	66	0,66	RG 58, RG 213
PTFE/FEP	2,0	71	0,71	
Schaum-PE	1,5	82	0,82	Aircell, Ecoflex
Schaum-PTFE	1,6	79	0,79	
Luft, Vakuum	1,0	100	1,00	

Verkürzungsfaktoren

Typische Koax - Kabel Dämpfung

Typische Kabeldämpfung von Koax Kabeln im Amateurfunk						dB/100m
Typ	3,5 MHz	7 MHz	28 MHz	145 MHz	435 MHz	1296 MHz
RG 58	2,9	3,8	7,7	19,3	37	58
RG213	0,6	1,5	3,0	9,2	17,2	24,2
Aircell 5	1,9*	2,6*	4,6*	12,6*/11,9	20,9	39
Aircell 7	0,8	1,9	3,7	7,9	14,1	26,1
Ecoflex 10	0,7	1,2	2,1	4,8	8,9	16,5
Aircom Plus	0,5	1,1	2,0	4,5	8,2	15,2
Ecoflex 15	0,5	0,6	0,9	3,4	6,1	11,4
Zellflex 3/8	0,5	0,7	1,4	3,3	5,9	10,6
Zellflex 5/8	0,3	0,5	0,9	2,1	3,6	6,6
Zellflex 7/8	0,2	0,3	0,6	1,5	2,7	5,1
Grün = Vorzugsweise						
blau = gemessen						

Grunddämpfung von Koax Kabeln



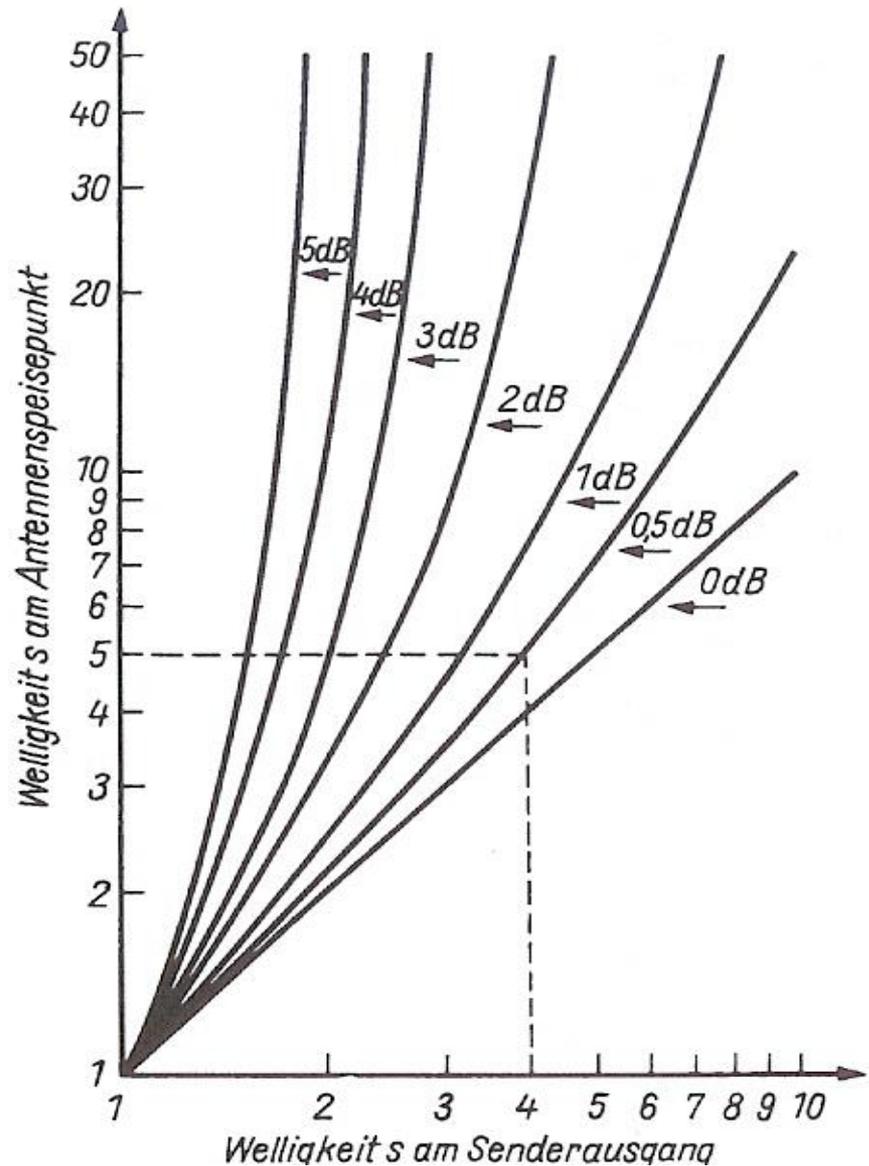


Dämpfungsmessung mit dem SWR Analyzer MFJ 269

SWR Fehlmessung bei Fehlanpassung

- Diagramm und Dämpfungswerte gelten bei Abschluss mit Wellenwiderstand bzw. SWR 1,0
- Bei SWR >1, d.h. Fehlanpassung der Antenne, messen wir am Senderausgang ein zu gutes SWR!
- Plausibilität: Ausgang mit Kurzschluss (SWR = ∞, Dämpfung 5 dB, Eingang SWR = 2 !)
- Siehe Diagramm SWR am Eingang und Ausgang einer angepassten Koaxleitung
- Merke:
Je höher die Kabeldämpfung, desto grösser der SWR - Messfehler im Shack! (oder mit RG58 haben wir auf 145 Mhz immer ein sehr gutes SWR....!)

SWR am Eingang und Ausgang einer Leitung mit Dämpfung



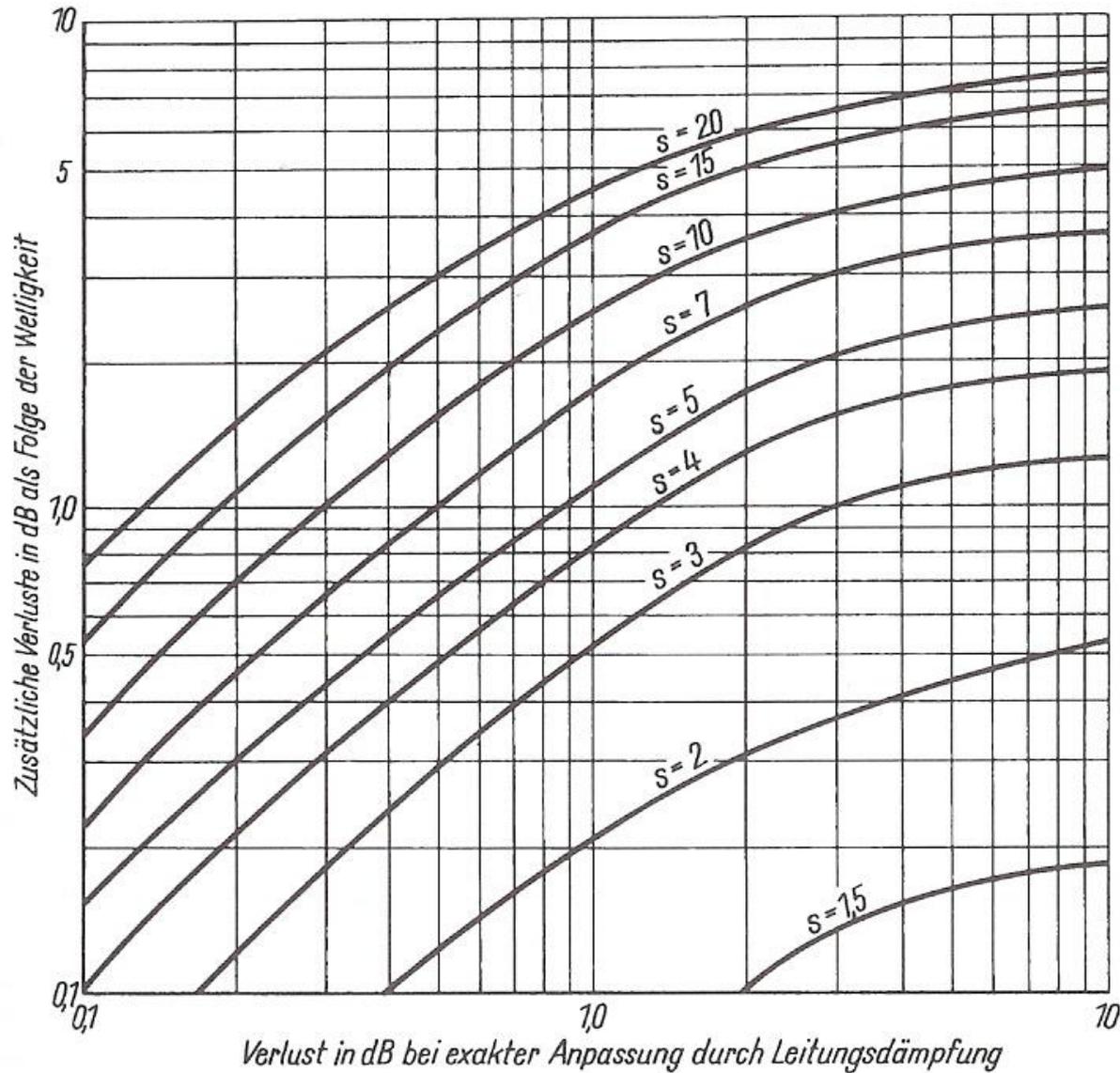
Quelle: Rothammel



Zusätzliche Leitungsdämpfung bei Fehlanpassung $SWR > 1$

- Bei Fehlanpassung unterliegt sowohl die hinlaufende Leistung als auch die reflektierte Leistung der Leitungsdämpfung.
- Hinlaufende und rücklaufende Spannungen und Ströme bilden stehende Wellen.
- Der grössere Effektivstrom erhöht die Ohmschen Verluste, die höhere Spannung die Dielektrischen Verluste
- Dadurch erhöht sich die resultierende Kabeldämpfung durch die Fehlanpassung nochmals um einen vom SWR Wert abhängigen Anteil, siehe Diagramm

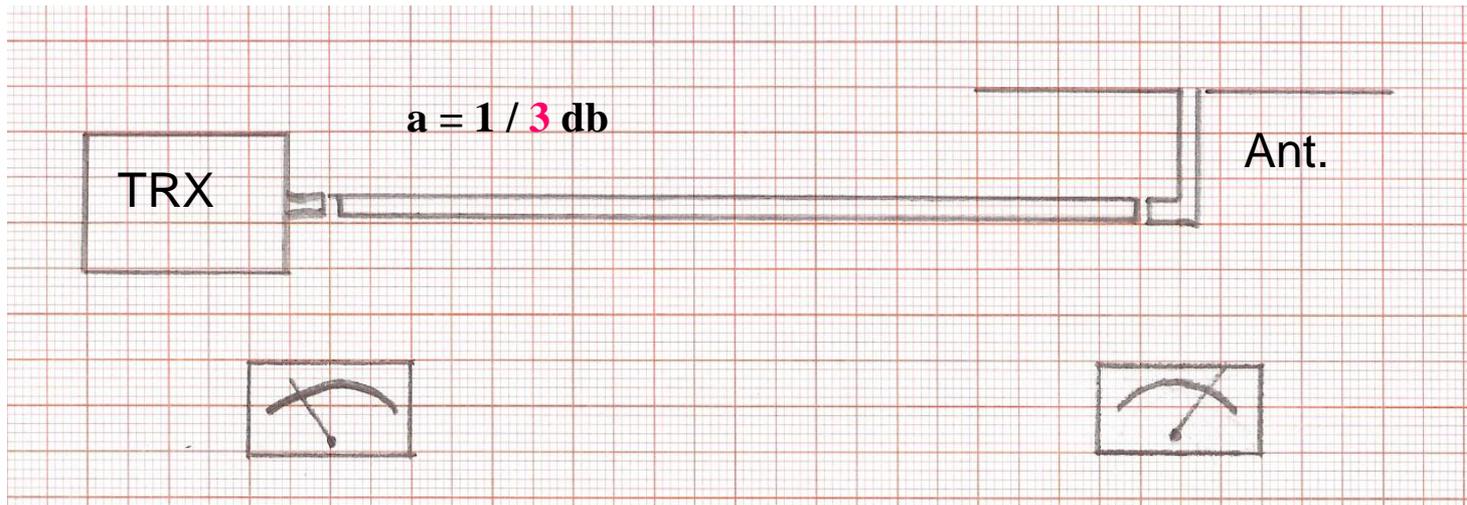
Zusätzliche Verluste infolge von Fehlanpassung



Quelle:
Rothammel

Beispiel: SWR Messungen von Antennen, Fehlmessung und Zusatzverluste bei Fehlanpassung

$P = 100\text{W}$, 30m RG 213, $a = 1,0\text{ dB}$ bei 30 MHz / 3 dB bei 145 MHz



Bei Anpassung (SWR = 1)

$$P_1 = 100\text{ W}$$

$$a = 1 / 3\text{ dB}$$

$$P_2 = 80/50\text{ W}$$

$$\text{SWR} = 1$$

$$\text{SWR} = 1$$

Bei Fehlanpassung (SWR > 1 = 5)

Zusatzverluste $1,1/2\text{ dB}$

$$P_1 = 100\text{ W}$$

$$a = 2,1 / 5\text{ dB}$$

$$P_2 = 62/32\text{ W}$$

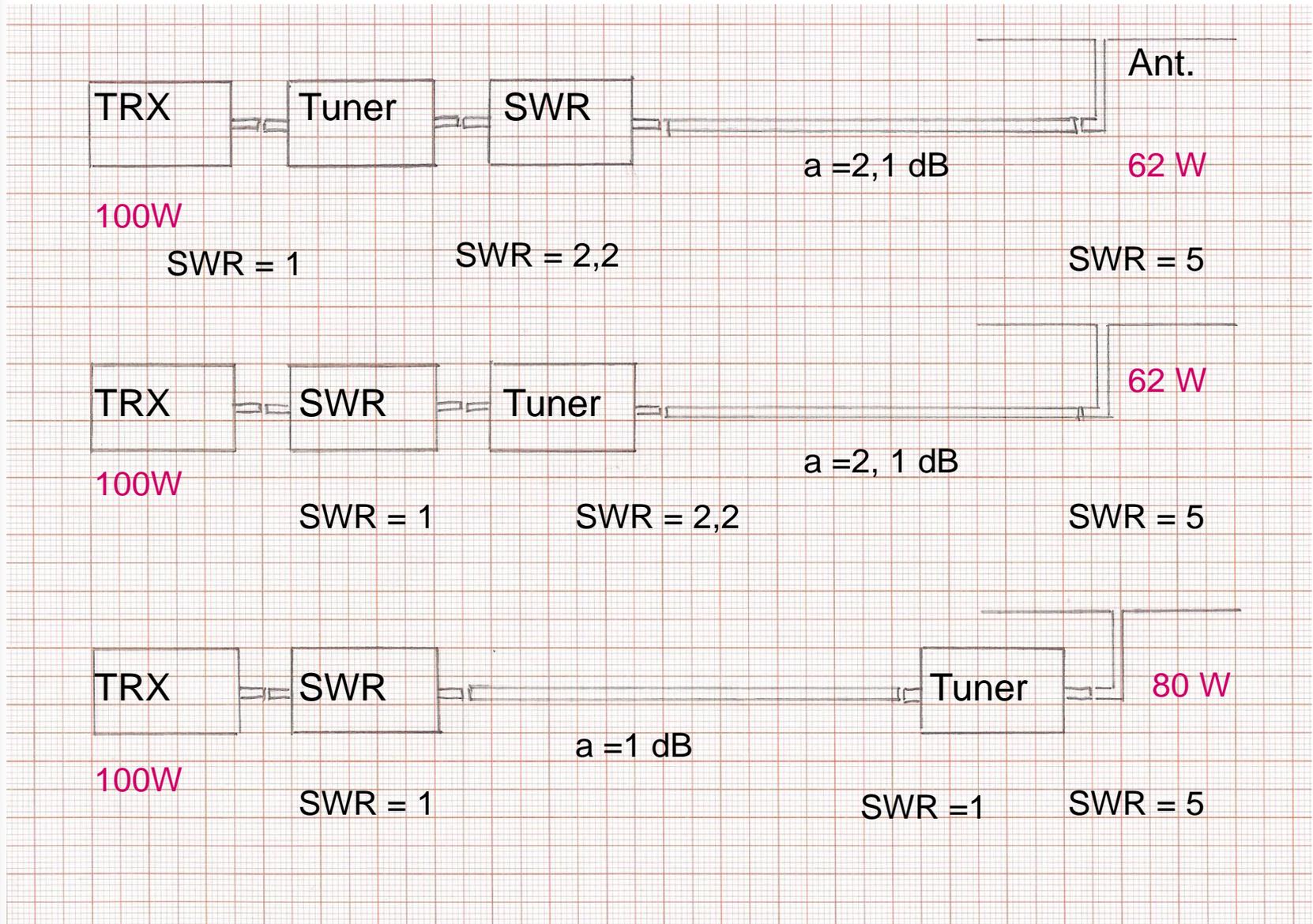
$$\text{SWR} = 2,2/1,5$$

$$\text{SWR} = 5$$



Versuch $SWR = 1$ und $SWR = 5$

SWR- und Leistungsmessung bei Antennentunern





Fazit

- Es lohnt sich, sich bei der Einrichtung der Amateurfunkstation um den Leistungstransport über die Speiseleitung einige Gedanken zu machen....
- Je höher die Frequenz, desto wichtiger wird dies....
- Auf der anderen Seite.....Augenmaß bewahren, kein dB Fetischismus! Wirkungsgrad W ist alles.....

Wirkungsgrad = Output/Input, das heisst wenn der Input=Geld für teure Kabel zu gross wird, fällt W !



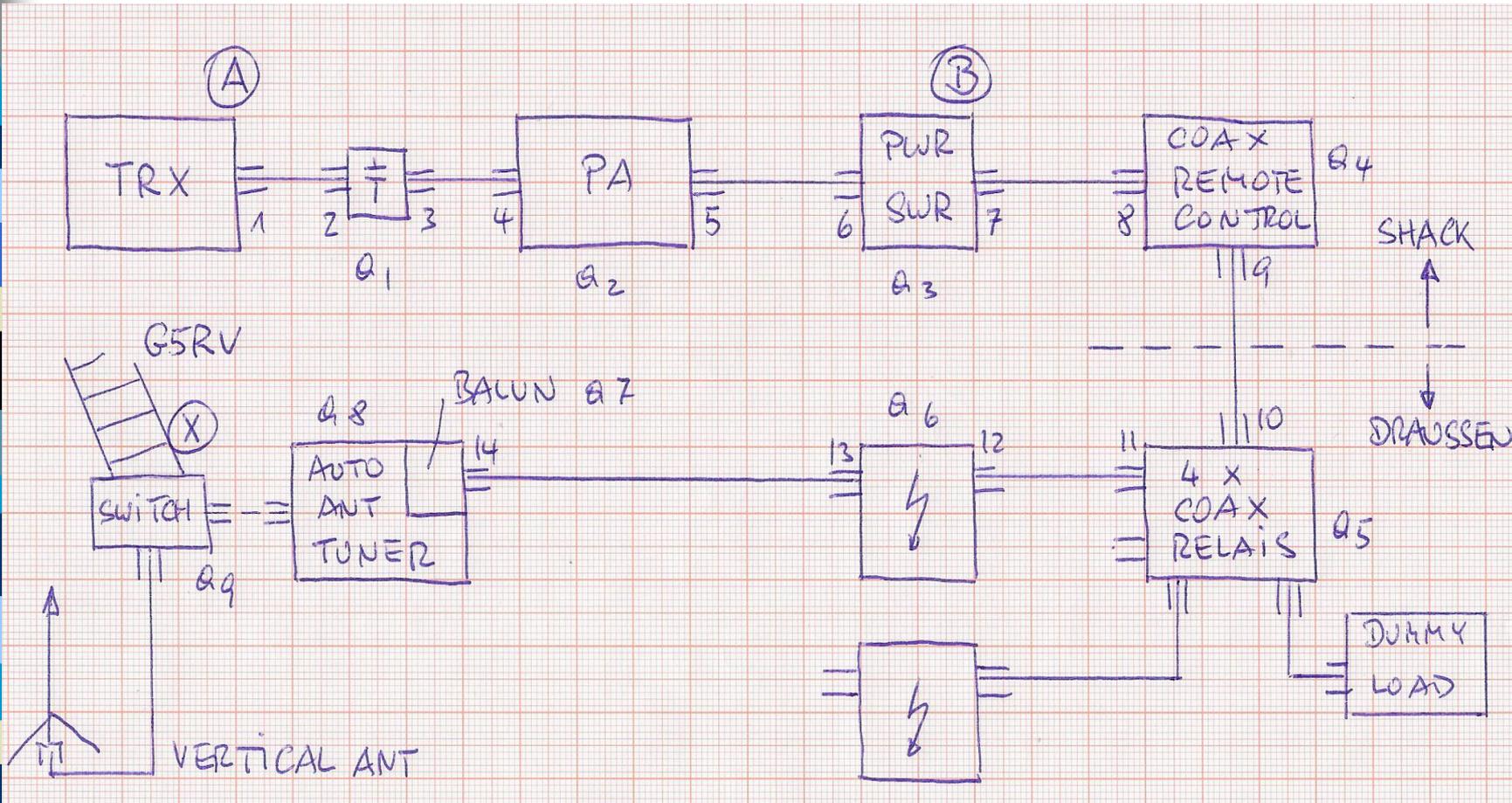
Das dB

-und die Verluste im Sende / Empfangszweig an praktischen Beispielen

Typische Einfügdungsämpfung von Komponenten im S/E Zweig 1,8 - 30 MHz

- SWR Meter Einfügdungsämpfung Diamond SX 100/200 0,1/0,2 dB
- PA Einfügdungsämpfung 0,1 dB
- Fritzel Balun AMA/COM Series 0,2 dB
- Coax Relais Antennenschalter SSB AS 304 0,15 dB
- Coax Relais (hochwerig) CX 520D 0,1 db
- Fernsteuer Ant Umschalter LDG DTS4 < 1dB
- Diplexer KW/VHF/UHF Diamond MX3000 0,15/0,25dB
- Tiefpassfilter 0,1 dB
- Blitzschutzpatrone 0,1/0,2 dB
- Antennentuner LDG/MFJ/SGC 0,1/0,2 dB
- Fernspeiseweiche MFJ 0,1 dB
- Mastvorverstärker 6m SSB, Fernspeiseweiche 0,1 + 0,1 dB
- PL/SO 239 Stecker Buchse Standard 0,05dB
- PL/SO 239 Qualität/Professional 0,025dB

Beispielrechnung KW Station (DJ8EI)



Beispielrechnung Best Case (28 MHz)

■ 14 x SO239/PL Qualität	14x0.025 db	0,35 dB
■ 38m Coax Ecoflex 10, 38m x 2,1dB/100m		0,8 dB
■ Durchgangsdämpfung C - Kasten		0,01 dB
■ PA		0,1 dB
■ SWR Meter		0,1 dB
■ Coax Remote Schalter		0,05 dB
■ 4 fach Coax Relais		0,15
■ Blitzschutz		0,1 dB
■ Balun im Automat Ant. Tuner		0,1 dB
■ Automatiktuner		0,05 dB
■ Antenna Switch		0,05 dB

Summe Dämpfung A - X(ant)

1,86 dB

$$1,86 = 10 \log P(\text{ant})/P(A)$$

P(A) = 100 W

P(ant) = 65 Watt

Beispielrechnung Worst Case

■ 14 x SO 239/ PL Standard	14 x 0,05	0,7 dB
■ 38 m RG58	38m x 7,7 dB/100m	2,74 dB
■ Durchgangsdämpfung C Kasten		0,01 dB
■ PA		0,1 dB
■ SWR Meter		0,2 dB
■ Coax Remote Schalter		0,1dB
■ 4 fach Coax Relais		0,2 dB
■ Blitzschutz		0,15 dB
■ Balun		0,2 db
■ Antennentuner		0,2 dB
■ Antennenumschalter		0,1 dB
■ Summe Dämpfung A - X(ant)		4,88dB

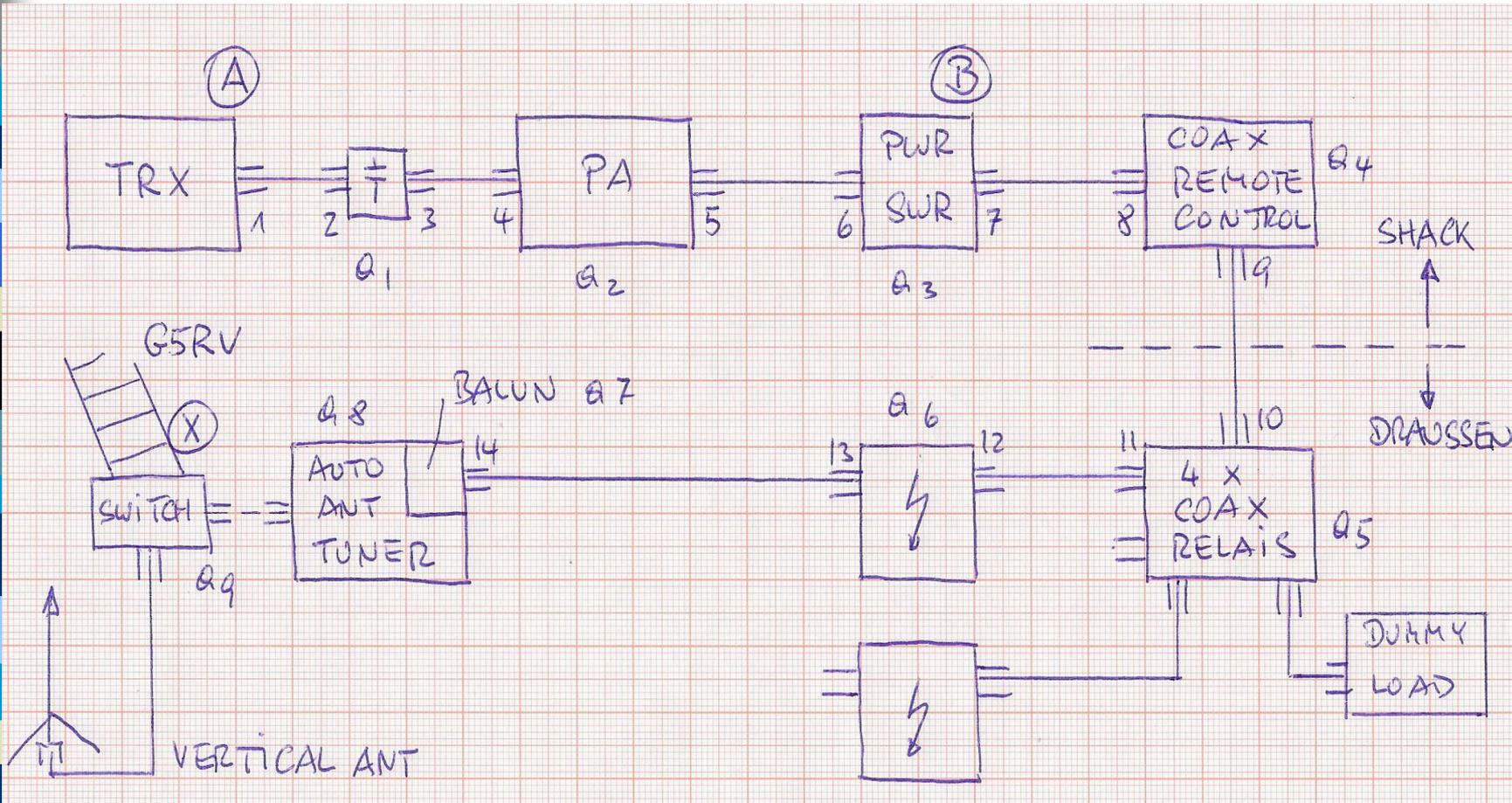
$$4,88 = 10 \times \log P(A)/P(\text{ant})$$

$$PA = 100 \text{ Watt}$$

$$P(\text{ant}) = 33 \text{ Watt}$$

Beispielrechnung KW Station (DJ8EI)

TRX(A) bis SWR Meter (B)



Beispielrechnung TRX (A) bis SWR/Power Meter (B) (Wieso zeigt das Power Meter am TRX nur 90 Watt an ?)

- 6 x SO239 PL Qualität 6x 0.025 dB 0,15 dB
- 3 m RG 213, 3m x 3,0 dB/100m 0,09 db
- Durchgangsdämpfung C Kasten 0,01 dB
- PA 0,1 dB
- SWR Meter 0,1 dB

Summe Dämpfung A - B **0,45 dB**

$0,45 = 10 \log P(A)/P(B)$

$P(A) = 100\text{Watt}$

$P(B) = 90 \text{ Watt}$



Vergleich Dämpfungsmessung /Rechnung (Wie weit folgt die Praxis der Theorie?)

- Gemessen: Teststrecke mit
 - 12 PL Steckverbindern Profiqualität
 - 1 Coaxschalter
 - 15 m Aircell 5
 - 6 x 1 m RG 213

	<u>Rechnung best Case</u>	<u>Messung</u>
145 MHz	2,2 dB	2,7 dB
30 MHz	1,1 dB	1,0 dB
3,6 MHz	0,7 dB	0,3 dB

Fazit



- Kleinvieh macht auch einen großen Haufen (Termiten = 0.2mm lang!)
- Es lohnt sich, darauf zu achten, ein Minimum an Steckverbindern, Kabellängen, und Komponenten zwischen Sender/Empfänger und Antenne zu haben
- Wenn längere Kabelverbindungen unausweichlich.....möglichst kein RG58 etc.....
- Beim Kauf von Komponenten, SWR Meter, Koaxschaltern, HF Steckern und - Buchsen auch mal auf die 0.x dB achten.....



Das dB.....

-und die Antenne



Antennen "Gewinn"

- Richtwirkung und "Gewinn"
- Der Isotropstrahler - Theoretisches Modell
- Analogie Taschenlampe
- Strahlungsdiagramm eines Dipols
- dBi, dBd, dBc



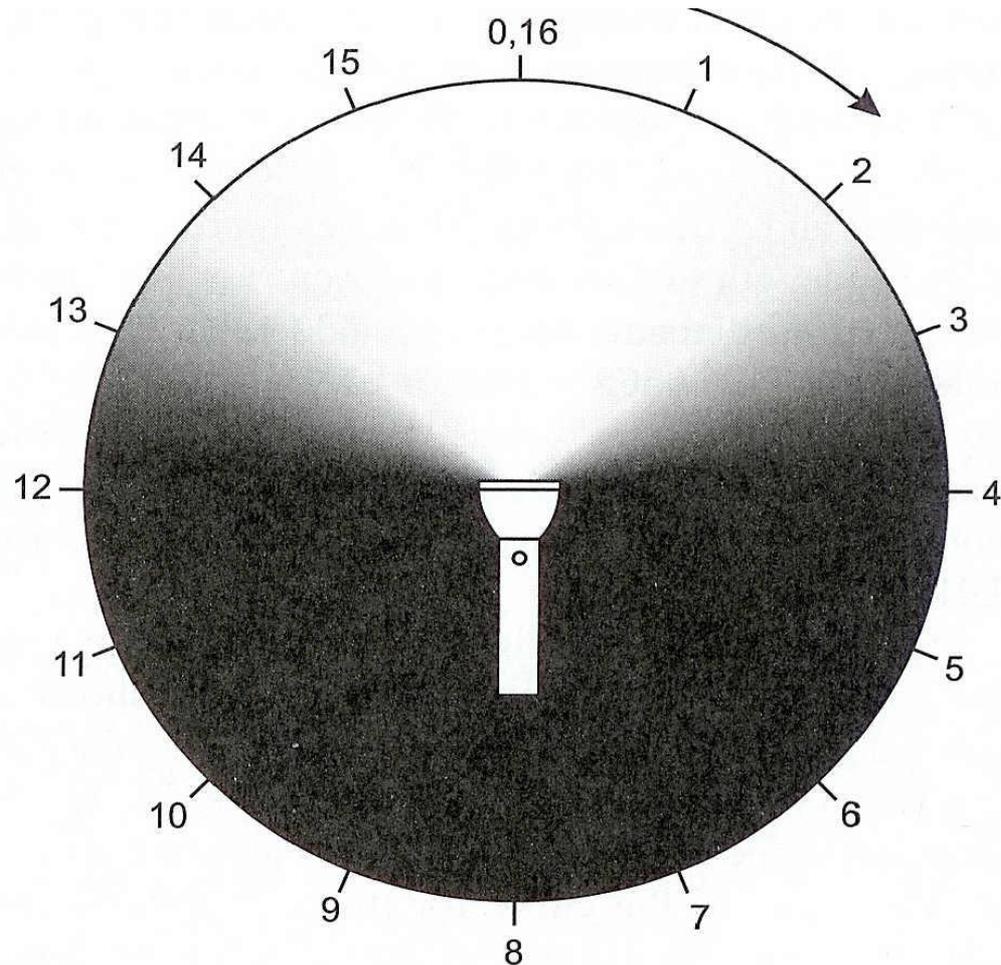
Der Isotropstrahler

- Der Isotropstrahler ist ein theoretisches Gedankenmodell
- Ein verlustloser punktförmiger Strahler mit kugelförmiger Strahlungscharakteristik gleichmäßig in alle Richtungen
- Gewinn 0 dBi
- Eignet sich nicht für Vergleichsmessungen, wie z. B. der Lambda / 2 - Dipol (Gewinn 0 dBd), wohl aber als Bezugsnormale für Gewinnrechnungen (z.B. Gewinn Dipol = 2,15 dBi)
- Der Halbwellendipol wird als reales Gebilde als Vergleichsantenne bei Gewinnmessungen verwendet, „Messdipol“



Versuch Isotropstrahler und Richtantenne

Gewinn einer Antenne

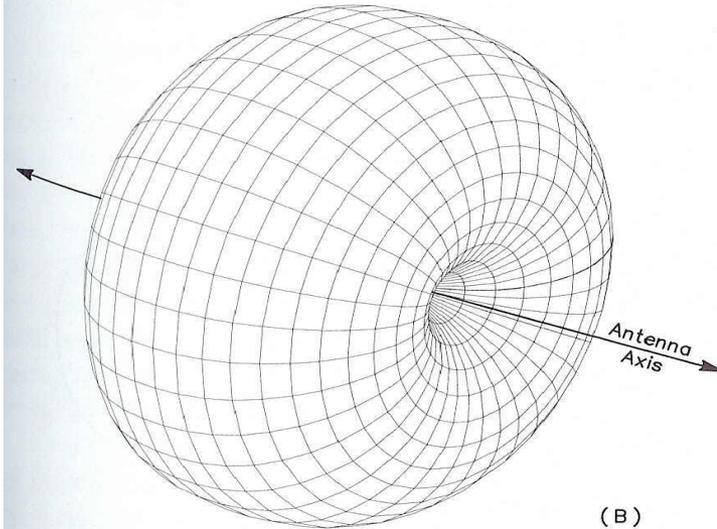
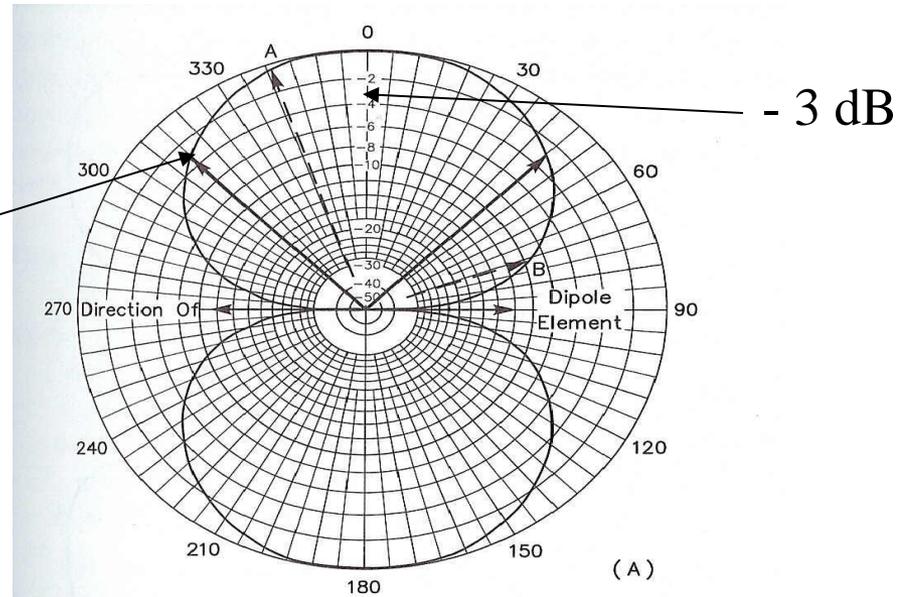


The beam from a flashlight illuminates a totally darkened area as shown here. Readings taken with a photographic light meter at the 16 points around the circle may be used to plot the radiation pattern of the flashlight.

Richtwirkung eines Dipols im freien Raum

Öffnungswinkel

3 dB Öffnungswinkel =
90 Grad



Antennengewinn dBd und dBi

- Gewinn/Verlust bezogen auf Halbwellendipol = dBd
- Bezogen auf (fiktiven) Isotropstrahler = dBi (isos = gleich, tropos = Richtung)
- Wichtig bei Antennenangaben:
 - der Isotropstrahler hat 0dB Gewinn
 - der Halbwellendipol hat gegenüber dem Isotropstrahler einen Gewinn von 2,15 dB
- Beispiel: > 11 El. 2m Flexayagi 12,4 dBd,
» 11 El. 2m Tonna 14,2 dBi
- Gewinnangaben in dBi sind 2,15 dB höher!

Antennengewinn dBc

- Antennen mit zirkularer Polarisation (circular) dBc

Feldpolarisation Antennenpolarisation	vertikal ↑	horizontal →	zirkular rechtsdrehend ↻	zirkular linksdrehend ↺
vertikal ↑	0 dB	∞	3 dB	3 dB
horizontal →	∞	0 dB	3 dB	3 dB
zirkular rechtsdrehend ↻	3 dB	3 dB	0 dB	∞
zirkular linksdrehend ↺	3 dB	3 dB	∞	0 dB

Polarisationsdämpfung

(Nach Rothammel)

Richtfaktor D und Gewinn G

- Richtfaktor D (Directivity) berechnet sich aus den Bündelungseigenschaften (horizontales und vertikales Strahlungsdiagramm)
- Gewinn G (Gain) berücksichtigt darüberhinaus noch den Antennenwirkungsgrad η (z.B. Drahtverluste)
- $G = \eta \times D$ $\eta = P_{\text{sende}}/P_{\text{ein}}$
- Verlustloser Dipol $G = D = 1,64$ (in dB: **2,15 dB**)
- Beispiel realer Halbwellendipol mit 2mm Drahtdurchmesser, $\eta = 98\%$
- $G_{\text{verlustbehaftet}} = 0,98 \times 1,64 = 1,60$
- in dB Rechnungsweise: Gewinn X/dB = $10 \times \log G$
- $G_{\text{verlustbehaftet}} \text{ Dipol} = \mathbf{2,02 \text{ dB}}$
- **Merke: Reale Differenz G Dipol zu Isotrop = + 2 dB**

...auf der anderen Seite....

- 100 Watt auf 20 mtr und ein Stück Draht mit 0 dBi..... sind 100W EIRP (Effective/Equivalent Isotropic Radiated Power)
- 100 Watt mit einer Groundplane mit 1,76 dbisind 150 W EIRP
- 100 Watt mit einem Halbwellendipol mit 2,15 dBi....sind 164 W EIRP
- 100 Watt mit einem 3 El Beam mit 8,5 dBisind 707 W EIRP
- 100 W mit einer Groundplane und einer 750 W PA.....sind (nur) 498 W EIRP !!
- Fazit: Stecke Dein Geld vorzugsweise in die Antenne statt in eine PA! Weiterer Vorteil: die Antenne bringt's auch beim Hören.....

Fazit

- “Gewinn” einer Antenne ist unmittelbar verknüpft mit der Richtwirkung
- Wichtig ist die separate Betrachtung der Horizontalen Richtwirkung und der Vertikalen Richtwirkung
- Es gibt keinen “Gewinn” ohne Preis/Aufwand!
- Wichtig ist, die Ausbreitungsbedingungen im jeweiligen Frequenzband zu kennen, um dann die Antenne mit dem optimalen “Gewinn” **und** dem optimalen Abstrahlungsverhalten auszusuchen.
- Viel dB in der falschen Abstrahlungsebene kann auch hinderlich sein.....Beispiel eine steilstrahlende Antenne auf 20 m.....eine flachstrahlende 80 m Antenne im DL Verkehr...



Und die Moral von der (dB) Geschicht´:

Ein wenig Rechnen schadet nicht.....!

Tnx es 55 / 73 de DJ8EI / PA8EI