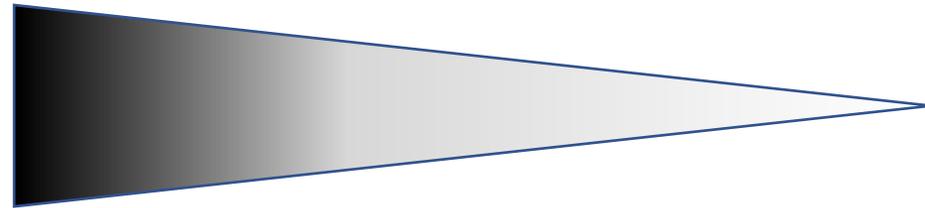
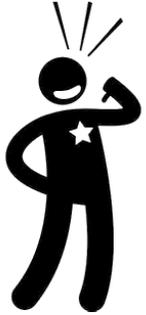


(Funk-)Reichweite

Welche Reichweite hat mein Sendesignal?



Sätze die wir alle schon mal gehört haben:



„Je höher die Leistung
desto höher die Reichweite!“

Sätze die wir alle schon mal gehört haben:



„Doppelte Reichweite
= 4-fache Leistung!“

Sätze die wir alle schon mal gehört haben:



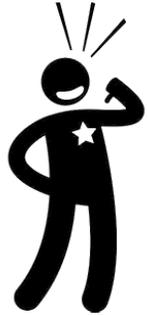
„Bei Sicht geht es immer!“

Sätze die wir alle schon mal gehört haben:



„Hab mit 1W SSB
auf 10m 59 aus VK bekommen“

Sätze die wir alle schon mal gehört haben:



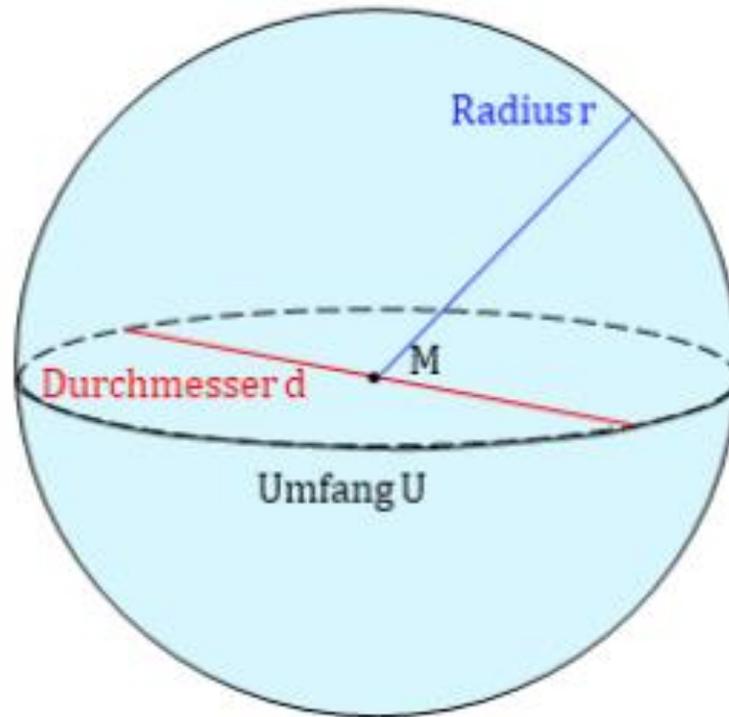
„23cm DXCC über 800km“

Sätze die wir alle schon mal gehört haben:



„EME auf 2m nach VK einwandfrei“

Grundlage Kugelfläche



$$O = 4\pi r^2$$

Beispiel:

Radius 1m = 12,57m²

Radius 2m = 50,26m²

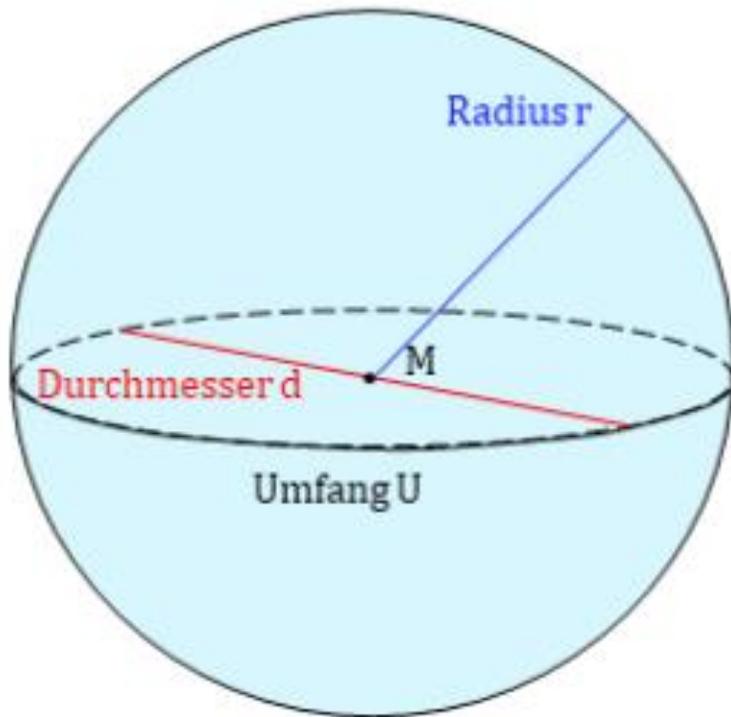
Radius 4m = 201,06m²

Radius 8m = 804,24m²



Faktor 4!

Verteilung der Leistung im Kugelmodell



$$O = 4\pi r^2$$

Sender 1W; Radius 1m = Fläche 12,57m²
Leistungsflussdichte = 1W/12,57m²

oder

$$1\text{W}/12,57\text{m}^2 = 0,08\text{W}/\text{m}^2$$

$$10\text{W}/12,57\text{m}^2 = 0,80\text{W}/\text{m}^2$$

Beispiel:

$$\text{Radius 1m} = 12,57\text{m}^2$$

$$\text{Radius 2m} = 50,26\text{m}^2$$

$$\text{Radius 4m} = 201,06\text{m}^2$$

$$\text{Radius 8m} = 804,24\text{m}^2$$

Grenzwerte Funkanwendungen

Frequenzbereich	Magnetische Flussdichte (mT)	Elektrische Feldstärke (kV/m) (Effektivwert)	Magnetische Feldstärke (A/m) (Effektivwert)	Leistungsdichte (W/m ²) (Mittelwert)
0 Hz - 1 Hz	67,9	30	-	-
1 Hz - 35,53 Hz	67,9/f	30	-	-
35,53 Hz - 1.000 Hz	67,9/f	1.066/f	-	-
1 kHz - 91 kHz	0,0679	1,066	-	-
0,091 MHz - 0,576 MHz	-	1,066	4,9/f	-
0,576 MHz - 10 MHz	-	0,614/f	4,9/f	-
10 MHz - 30 MHz	-	0,0614	4,9/f	-
30 MHz - 400 MHz	-	0,0614	0,163	10
400 MHz - 2.000 MHz	-	0,00307 √f	0,00814 √f	f/40
2 GHz - 300 GHz	-	0,1373	0,364	50

f = Frequenz wie in der Spalte "Frequenzbereich" angegeben

Für Frequenzen zwischen 91 kHz und 300 GHz gelten die Grenzwerte für Expositionszeiten ≥ 6 Minuten (Dauerexposition). Dabei ist über jedes 6-Minuten-Intervall zu mitteln. Für kürzere Expositionszeiten sind höhere Werte zulässig (entsprechend den Grenzwerten für den Bereich erhöhter Exposition).

Die Grenzwerte für Magnetfelder dürfen für Extremitäten um den Faktor 2,5 überschritten werden.

$$S = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{E^2}{Z_0}$$

$$E = \frac{\sqrt{30P}}{r}$$

S = Leistungsflussdichte [W/m²]
 E = elektrische Feldstärke [V/m]
 P = Leistung [W]
 r = Abstand oder Radius [m]
 Z₀ = Feldwellenwiderstand 377Ω

Quelle: www.emf-portal.org

Formel Freiraumdämpfung

$$a_{[\text{Luft}]} = 20 \log (f_{[\text{GHz}]} \times d_{[\text{km}]}) + 92,4$$

oder

$$a_{[\text{Luft}]} = 10 \log (4\pi r_{[\text{m}]} / \lambda_{[\text{m}]})^2$$

$a_{[\text{Luft}]}$ = Dämpfung in der „Freiraum“ [dB]
 $f_{[\text{GHz}]}$ = Frequenz [GHz]
 $d_{[\text{km}]}$ = Entfernung [km]
 $r_{[\text{m}]}$ = Entfernung [m]
 $\lambda_{[\text{m}]}$ = Wellenlänge [m]

$$10 \log (4\pi 1000\text{m} / 2\text{m})^2 = 76[\text{dB}]$$

Tabelle Freiraumdämpfung

Merke:

Doppelte Frequenz = 6dB
Bei gleicher Entfernung!

Frequenz [MHz]	Dämpfung 1km (erster km!) [dB]
2	38
10	52
14	55
28	61
50	66
145	76
435	85
1270	94
2400	100
5700	107
10000	112

Tabelle Freiraumdämpfung

Merke:

Doppelte Frequenz = 6dB
Bei gleicher Entfernung!
Doppelte Entfernung =
6dB mehr Leistung!

Frequenz [MHz]	Dämpfung 1km [dB]	Dämpfung 2km [dB]	Dämpfung 4km [dB]
2	38	44	50
10	52	58	64
14	55	61	67
28	61	67	73
50	66	72	78
145	76	82	88
435	85	91	97
1270	94	100	106
2400	100	106	112
5700	107	113	119
10000	112	118	124

Freiraumdämpfung in der Praxis

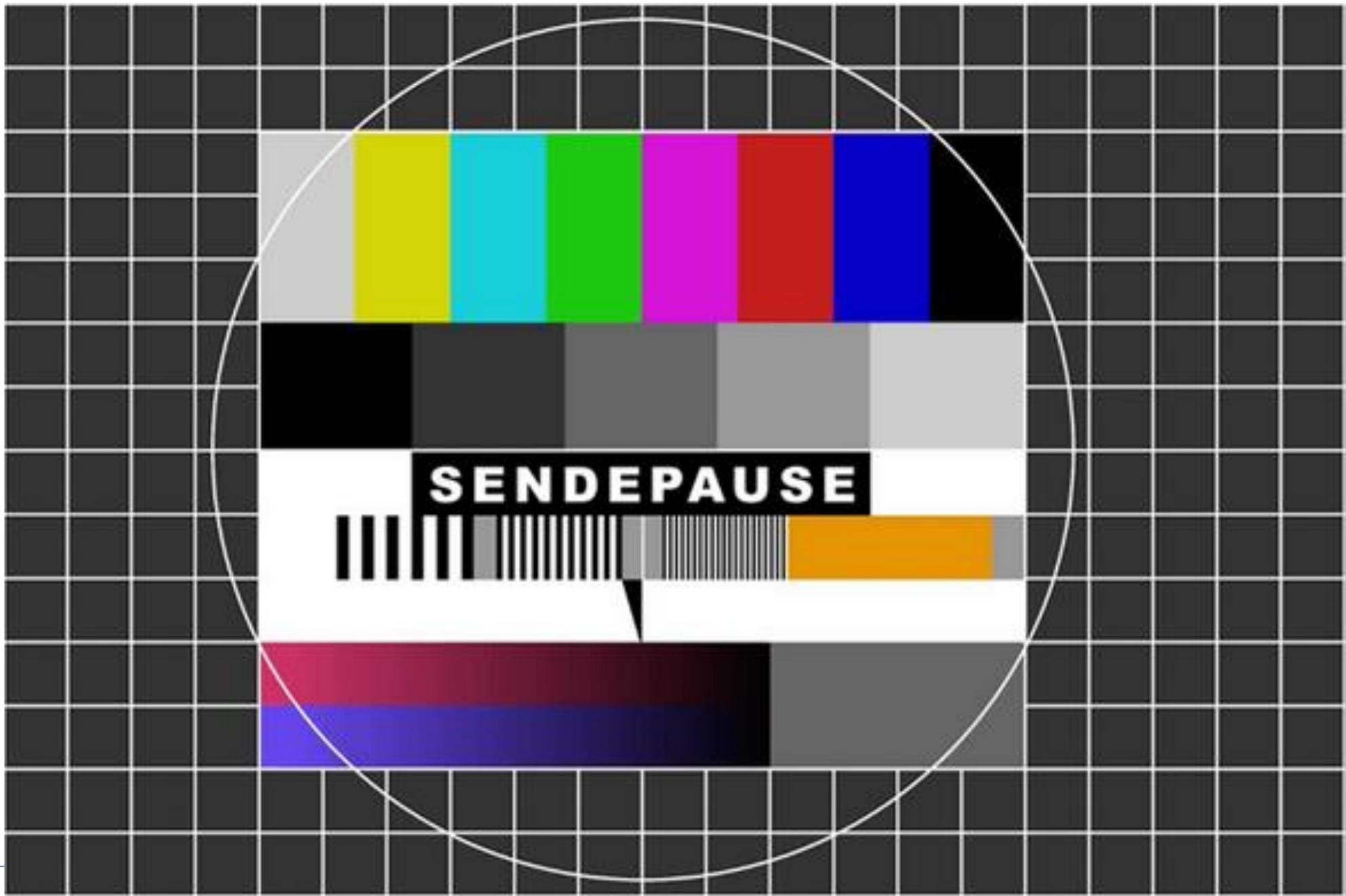
Merke:

Doppelte Frequenz = 6dB Unterschied bei gleicher Entfernung!

Doppelte Entfernung = 6dB Unterschied bei gleicher Leistung!

Frequenz [MHz]	Dämpfung 1km (erster km!) [dB]
2	38
10	52
14	55
28	61

Leistung [W]	Leistung [dBm]
0,001 = 1mW	0
1	30
2	33
4	36
8	39
10	40
20	43
50	47
100	50



Beispiele

„Hab mit 1W SSB
auf 10m 59 aus VK bekommen“

Beispiele

„Hab mit 1W SSB auf 10m 59 aus VK bekommen“

Entfernung [km]	Dämpfung [dB]	Entfernung [km]	Dämpfung [dB]
1	61	1024	121
2	67	2048	127
4	73	4096	133
8	79	8192	139
16	85	16384	145
32	91	32768	151
64	97	65536	157
128	103		
256	109		
512	115		

Beispiele

„Hab mit 1W SSB auf 10m 59 aus VK bekommen“

Entfernung [km]	Dämpfung [dB]	Entfernung [km]	Dämpfung [dB]
1	61	1024	121
2	67	2048	127
4	73	4096	133
8	79	8192	139
16	85	16384	145
32	91	32768	151
64	97	65536	157
128	103		
256	109		
512	115		

1W = 30dBm

Empfängerempfindlichkeit 0,5 μ V

-107dBm = 1 μ V

-113dBm = 0,5 μ V

Linkbudget = ?

Beispiele

„Hab mit 1W SSB auf 10m 59 aus VK bekommen“

Entfernung [km]	Dämpfung [dB]	Entfernung [km]	Dämpfung [dB]
1	61	1024	121
2	67	2048	127
4	73	4096	133
8	79	8192	139
16	85	16384	145
32	91	32768	151
64	97	65536	157
128	103		
256	109		
512	115		

1W = 30dBm

Empfängerempfindlichkeit 0,5 μ V

-107dBm = 1 μ V

-113dBm = 0,5 μ V

Linkbudget = 30dBm + (-113dBm) = 143dB!

S-Meter Spezifikation

S-Stufe	μV (an 50Ω)	dBm	$\text{dB}\mu\text{V}$ (an 50Ω)		S-Stufe	μV (an 50Ω)	dBm	$\text{dB}\mu\text{V}$ (an 50Ω)
S9+60dB	50.060	-13	94	<30MHz ←	S9+60dB	5.006	-33	74
S9+50dB	15.830	-23	84		S9+50dB	1.583	-43	64
S9+40dB	5.006	-33	74		S9+40dB	500,6	-53	54
S9+30dB	1.583	-43	64		S9+30dB	158,3	-63	44
S9+20dB	500,6	-53	54		S9+20dB	50,1	-73	34
S9+10dB	158,3	-63	44		S9+10dB	15,83	-83	24
S9	50,1	-73	34		S9	5,01	-93	14
S8	25,1	-79	28	>144MHz →	S8	2,51	-99	8
S7	12,6	-85	22		S7	1,26	-105	2
S6	6,3	-91	16		S6	0,63	-111	-4
S5	3,2	-97	10		S5	0,32	-117	-10
S4	1,6	-103	4		S4	0,16	-123	-16
S3	0,8	-109	-2		S3	0,08	-129	-22
S2	0,4	-115	-8		S2	0,04	-135	-28
S1	0,2	-121	-14		S1	0,02	-141	-34

Beispiele

„Hab mit 1W SSB auf 10m 59 aus VK bekommen“

Entfernung [km]	Dämpfung [dB]	Entfernung [km]	Dämpfung [dB]
1	61	1024	121
2	67	2048	127
4	73	4096	133
8	79	8192	139
16	85	16384	145
32	91	32768	151
64	97	65536	157
128	103		
256	109		
512	115		

1W = 30dBm

Empfängerempfindlichkeit 0,5 μ V

-107dBm = 1 μ V

-113dBm = 0,5 μ V oder -6dB μ V

Linkbudget = 30dBm + (-113dBm) = 143dB!

Ist 59 möglich mit 1W Leistung?

S9 = 50 μ V = 34dB μ V = **-73dBm**

30dBm-145dB= -115dBm!

Beispiele

„Hab mit 1W SSB auf 10m 59 aus VK bekommen“

Entfernung [km]	Dämpfung [dB]	Entfernung [km]	Dämpfung [dB]
1	61	1024	121
2	67	2048	127
4	73	4096	133
8	79	8192	139
16	85	16384	145
32	91	32768	151
64	97	65536	157
128	103		
256	109		
512	115		

1W = 30dBm

Empfängerempfindlichkeit 0,5 μ V

-107dBm = 1 μ V

-113dBm = 0,5 μ V oder -6dB μ V

Linkbudget = 30dBm + (-113dBm) = 143dB!

Ist 59 möglich mit 1W Leistung?

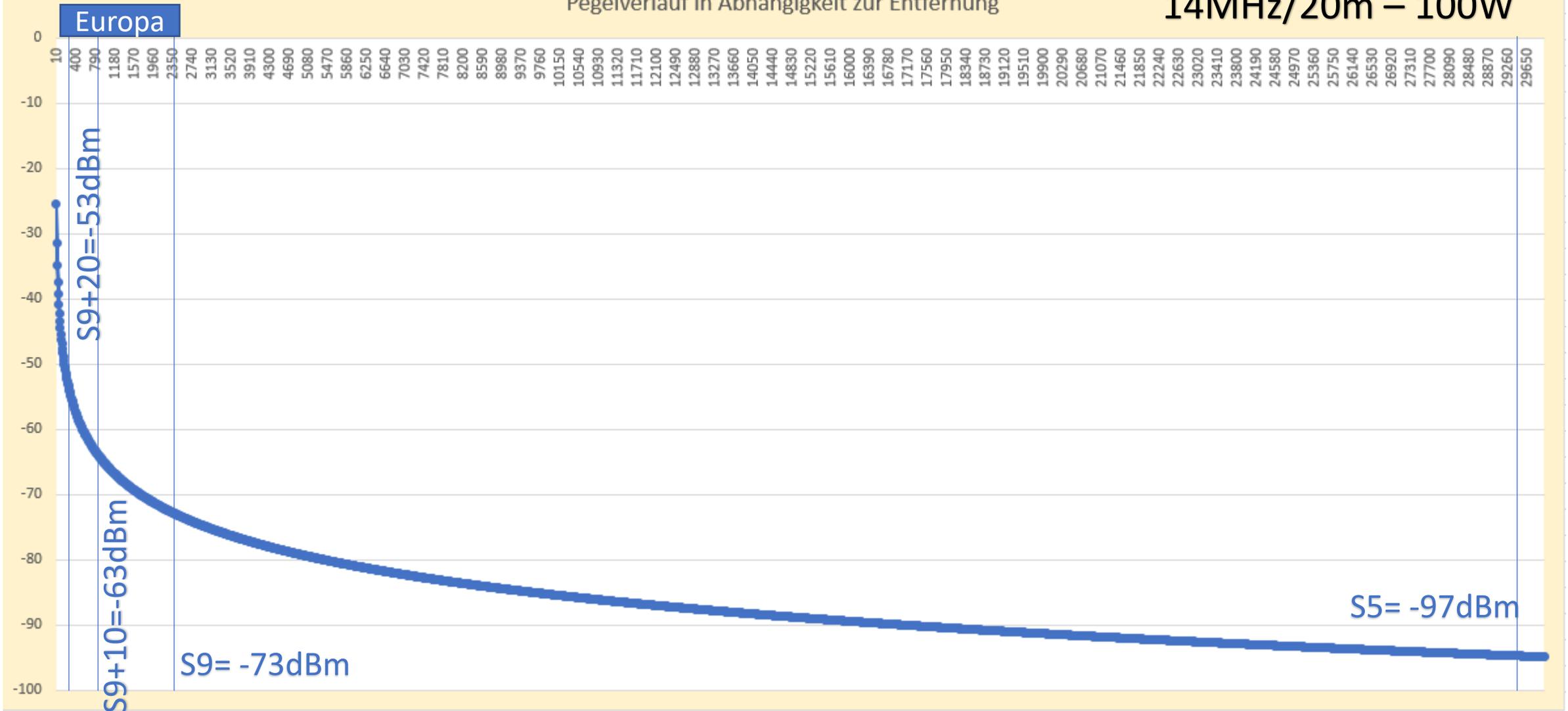
S9 = 50 μ V = 34dB μ V = -73dBm

30dBm - 145dB = -115dBm!

Mit 1W auf 10m 59 in VK, nicht möglich!

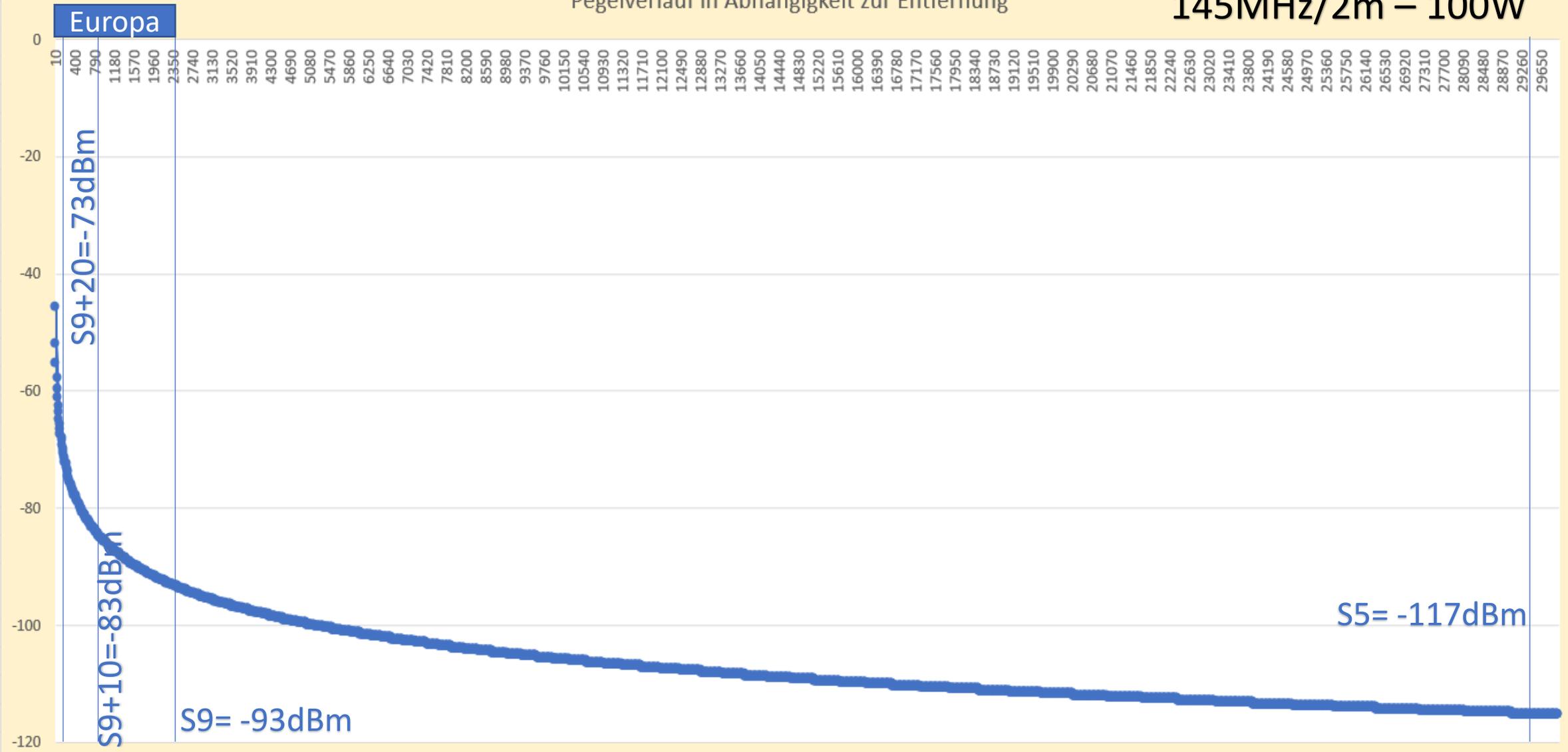
Pegolverlauf in Abhängigkeit zur Entfernung

14MHz/20m – 100W



Pegelverlauf in Abhängigkeit zur Entfernung

145MHz/2m – 100W

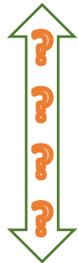


Beispiele „EME auf 2m nach VK einwandfrei“

Dämpfung 145MHz 1.km = 76dB

Mond ca. 400.000km entfernt

DL



VK

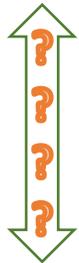


Beispiele „EME auf 2m nach VK einwandfrei“

Dämpfung 145MHz 1.km = 76dB

Mond ca. 400.000km entfernt

DL



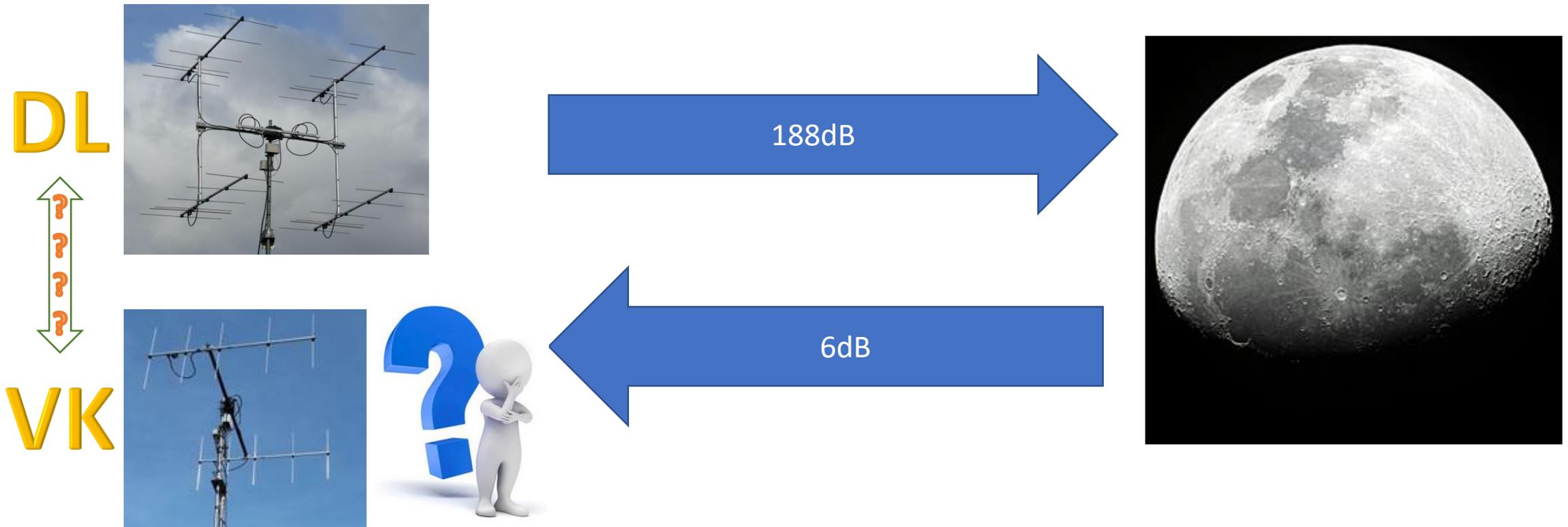
VK



Beispiele „EME auf 2m nach VK einwandfrei“

Dämpfung 145MHz 1.km = 76dB

Mond ca. 400.000km entfernt



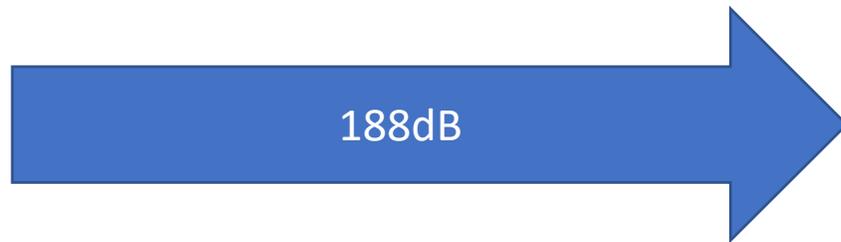
Beispiele „EME auf 2m nach VK einwandfrei“

Dämpfung 145MHz 1.km = 76dB
Mond ca. 400.000km entfernt

DL



VK



EME = 400.000km zum Mond + 400.000km zur Erde
= 188dB + 6dB = 194dB Pfadverlust!

S-Meter Spezifikation

S-Stufe	μV (an 50Ω)	dBm	$\text{dB}\mu\text{V}$ (an 50Ω)		S-Stufe	μV (an 50Ω)	dBm	$\text{dB}\mu\text{V}$ (an 50Ω)	
S9+60dB	50.060	-13	94	<30MHz	S9+60dB	5.006	-33	74	
S9+50dB	15.830	-23	84		S9+50dB	1.583	-43	64	
S9+40dB	5.006	-33	74		S9+40dB	500,6	-53	54	
S9+30dB	1.583	-43	64		S9+30dB	158,3	-63	44	
S9+20dB	500,6	-53	54		S9+20dB	50,1	-73	34	
S9+10dB	158,3	-63	44		S9+10dB	15,83	-83	24	
S9	50,1	-73	34		S9	5,01	-93	14	
S8	25,1	-79	28		>144MHz	S8	2,51	-99	8
S7	12,6	-85	22			S7	1,26	-105	2
S6	6,3	-91	16			S6	0,63	-111	-4
S5	3,2	-97	10	S5		0,32	-117	-10	
S4	1,6	-103	4	S4		0,16	-123	-16	
S3	0,8	-109	-2	S3		0,08	-129	-22	
S2	0,4	-115	-8	S2		0,04	-135	-28	
S1	0,2	-121	-14	S1		0,02	-141	-34	

S-Meter Spezifikation

Auszug IC-9700 ICOM:

◇ Empfänger

- Empfangssystem: 144/430-MHz-Band HF-Direktabtastung
1200-MHz-Band ZF-Abtastung mit Abwärtsumwandlung

- Zwischenfrequenz (1200-MHz-Band):

USA/EUR-Version	311 ~ 371 MHz
ITR-Version	311 ~ 316 MHz, 341 ~ 369 MHz
TPE-Version	331 ~ 336 MHz
KOR-Version	331 ~ 371 MHz

SSB/CW (bei 10 dB S/N)

Weniger als $-19 \text{ dB}\mu\text{V}$ ($0,11 \mu\text{V}$)

- Empfindlichkeit (Filter: SOFT, P.AMP: ON, IP+: EIN):

SSB/CW (bei 10 dB S/N)	Weniger als $-19 \text{ dB}\mu\text{V}$ ($0,11 \mu\text{V}$)
AM (bei 10 dB S/R)	Weniger als $0 \text{ dB}\mu\text{V}$ ($1,0 \mu\text{V}$)
FM (bei 12 dB SINAD)	Weniger als $-15 \text{ dB}\mu\text{V}$ ($0,18 \mu\text{V}$)
DV (1 % BER (PN9))	Weniger als $-9 \text{ dB}\mu\text{V}$ ($0,35 \mu\text{V}$)
DD (1 % BER (PN9))	Weniger als $4 \text{ dB}\mu\text{V}$ ($1,59 \mu\text{V}$)

$-19 \text{ dB}\mu = -126 \text{ dBm} = \text{S3-S4}$

- Empfindlichkeit für die europäische Version (Filter: SOFT, P.AMP: ON, IP+: EIN):

SSB/CW (BW = 2,4 kHz, 12 dB SINAD)	Weniger als $-6 \text{ dB}\mu\text{V}$ emf
AM (BW = 4 kHz, 60 % Modulation, 12 dB SINAD)	Weniger als $0 \text{ dB}\mu\text{V}$ emf
FM (BW = 7 kHz, 60 % Modulation, 12 dB SINAD)	Weniger als $-6 \text{ dB}\mu\text{V}$ emf

$-6 \text{ dB}\mu\text{V} = -113 \text{ dBm} < \text{S6}$

SSB/CW (BW = 2,4 kHz, 12 dB SINAD)

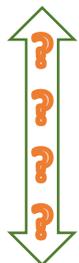
Weniger als $-6 \text{ dB}\mu\text{V}$ emf

Beispiele „EME auf 2m nach VK einwandfrei“

Dämpfung 145MHz 1.km = 76dB

Mond ca. 400.000km entfernt

DL



VK



$500W + 16dBd = 57dBm + 16dBd = 73dBm$ ERP (20kW)



$-113dBm + 13dBd = -126dBm$

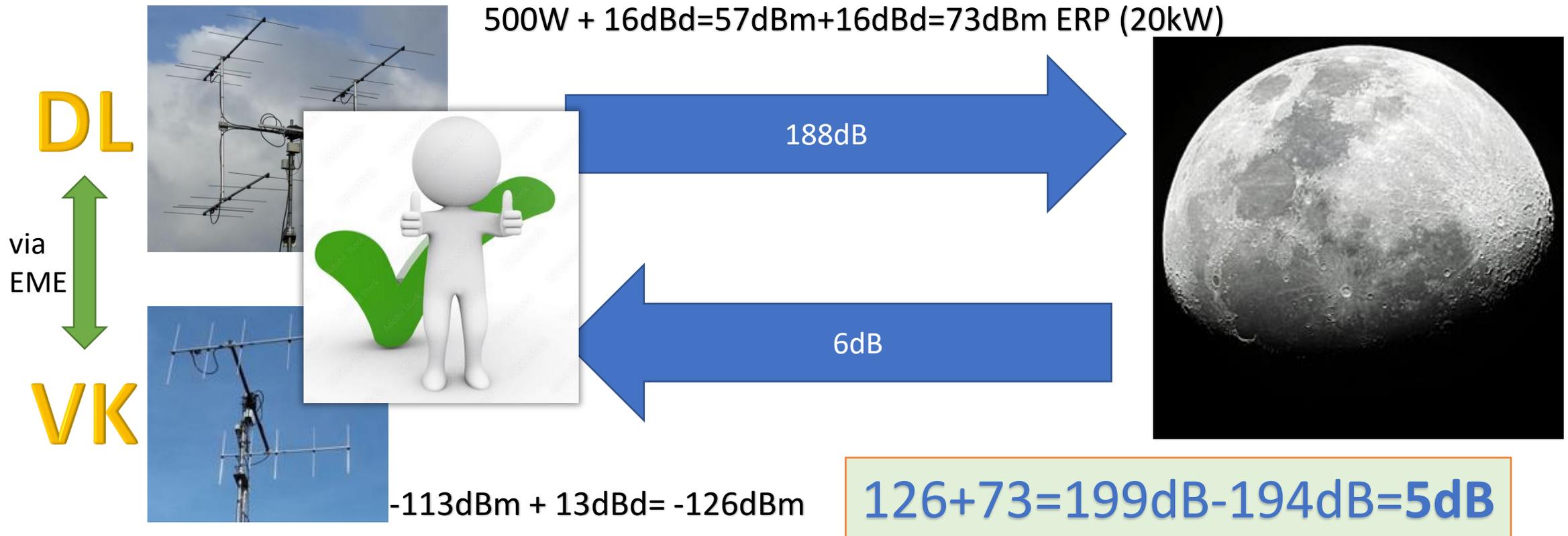
$126 + 73 = 199dB - 194dB = 5dB$

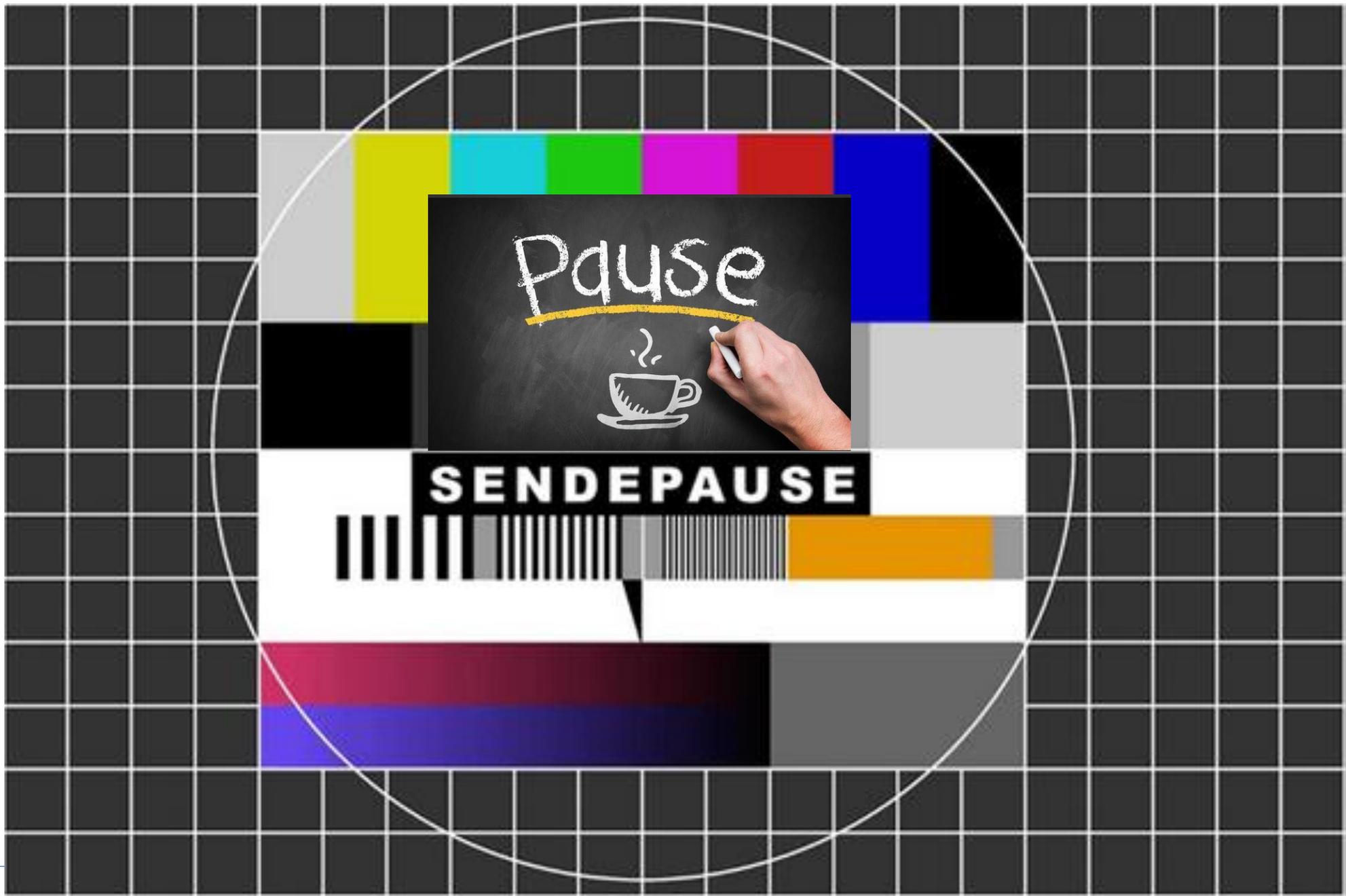
Beispiele „EME auf 2m nach VK einwandfrei“

Dämpfung 145MHz 1.km = 76dB

Mond ca. 400.000km entfernt

$500W + 16dBd = 57dBm + 16dBd = 73dBm$ ERP (20kW)





Beispiele „23cm QSO über 800km“

1. Kilometer = 94dB

Beispiele „23cm QSO über 800km“

1. Kilometer = 94dB

2. 800km = 6+6+6+6+6+6+6+6+6+5 = 59dB = 153dB Pathloss

Beispiele „23cm QSO über 800km“

1. Kilometer = 94dB
2. 800km = 6+6+6+6+6+6+6+6+6+5 = 59dB = 153dB Pathloss
3. Sender 10W = 40dBm
4. Antenne (Dish 1m \varnothing) ca. 25dBd
5. 40dBm + 25dBd = 65dBm ERP

Beispiele „23cm QSO über 800km“

1. Kilometer = 94dB
2. 800km = 6+6+6+6+6+6+6+6+6+5 = 59dB = 153dB Pathloss
3. Sender 10W = 40dBm
4. Antenne (Dish 1m \varnothing) ca. 25dBd
5. 40dBm + 25dBd = 65dBm ERP
6. Empfänger (Dish 1m \varnothing) ca. 25dBd
7. -113dBm -(+25dB) = -138dBm
8. 65+(-138) = 203dB

Beispiele „23cm QSO über 800km“

1. Kilometer = 94dB
2. 800km = 6+6+6+6+6+6+6+6+6+5 = 59dB = 153dB Pathloss
3. Sender 10W = 40dBm
4. Antenne (Dish 1m \emptyset) ca. 25dBd
5. 40dBm + 25dBd = 65dBm ERP
6. Empfänger (Dish 1m \emptyset) ca. 25dBd
7. -113dBm -(+25dB) = -138dBm
8. 65+(-138) = 203dB
9. **203dB-153dB = 50dB über -138dBm = -88dBm!**

Beispiele „23cm QSO über 800km“

1. Kilometer = 94dB
2. 800km = 6+6+6+6+6+6+6+6+6+5 = 59dB = 153dB Pathloss
3. Sender 10W = 40dBm
4. Antenne (Dish 1m \varnothing) ca. 25dBd
5. 40dBm + 25dBd = 65dBm ERP
6. Empfänger (Dish 1m \varnothing) ca. 25dBd
7. -113dBm -(+25dB) = -138dBm
8. 65+(-138) = 203dB
9. **203dB-153dB = 50dB über -138dBm = -88dBm!**



70cm Hafu

Beispiele

Zugspitze <-> Hochficht ca. 280km

435MHz bei 280km = 134dB

Hafu 5W = 37dBm

Antennengewinn = 0dBd

Empfindlichkeit FM -110dBm

$37\text{dBm} + (-110\text{dBm}) = 147\text{dB}$

$147\text{dB} - 134\text{dB} = 13\text{dB Rest}$

$-110\text{dBm} + 13\text{dB} = -97\text{dBm}$



Beispiele

max. Reichweite Hafu (70cm)

Hafu 5W (0dBd) = 37dBm ERP

0dBd Empfänger mit -113dBm Empfindlichkeit

= 150dB ca. 1800km!



Beispiele

max. Reichweite Hafu (70cm)

Hafu 5W (0dBd) = 37dBm ERP

0dBd Empfänger mit -113dBm Empfindlichkeit

= 150dB ca. 1800km!

Bei 2m 8dB mehr Reichweite = 5000km!



Linkbudget
Pathloss
Freespaces

dBm
Watt

Kugelstrahler

DANKE



Antennengewinn
ERIP^{ERP}
Empfindlichkeit
dB μ V
 μ V
145MHz&1km=76dB
Feldstärke