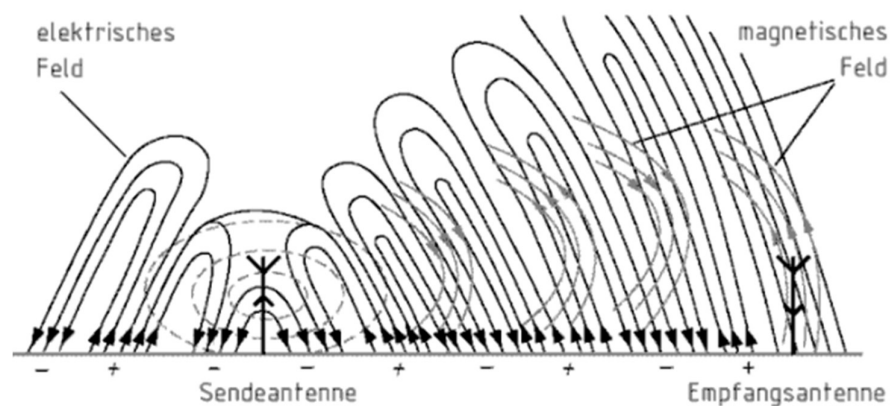
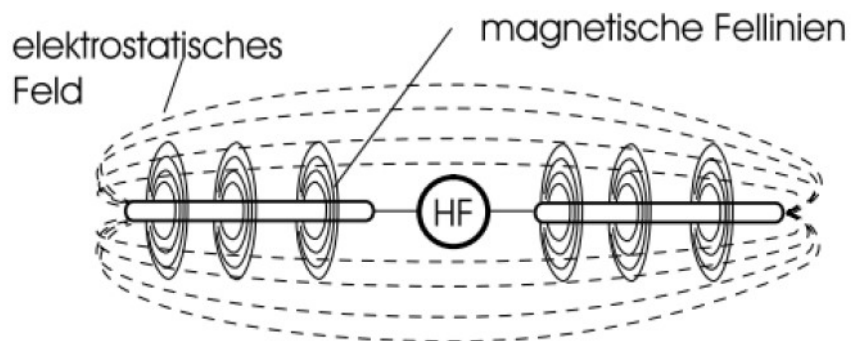
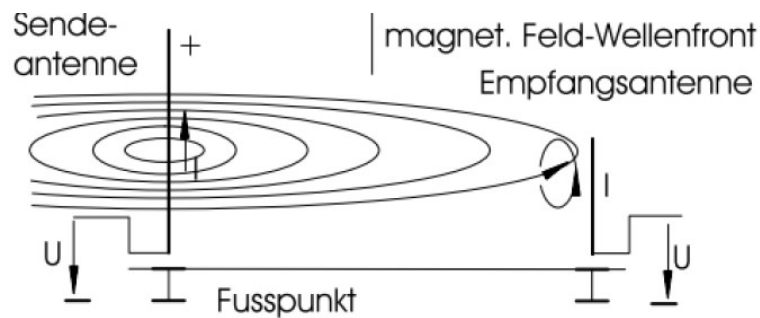


Frequenzen Bänder/Bereiche

Eine kleine Zusammenfassung von Frequenzen und Bändern für den Lernenden als Orientierung.

A.Gabathuler



Inhalt

Frequenz- und Wellenbereiche	3
Frequenzbereiche- Rundfunkbereiche (AM).....	4
BOS Amateur-CB Funk.....	4
Unterteilung der Atmosphäre und ihre Temperaturen	5
Reichweite der Bodenwellen.....	6
Reflexionen.....	6
Brechungen	6
Absorptionen	6
Abschattungen	6
Beugungen	6
Schwunderscheinungen.....	6
Frequenzbereiche- TV (Bänder analoge Kanäle).....	7
Gegenüberstellung Digital und Analogkanäle.....	8
Frequenz- Belegung von Kabelbetreiber	9
Potenzielle Störquellen	9
Natel	10
DECT Digital Enhanced Cordless Telecommunications	11
Satellitenübertragung:	12
Zwischenfrequenz ZF die in der Technik verwendet werden sind:	12
BlueTooth	12
W-LAN	13
Senderleistung	13

Frequenz- und Wellenbereiche

Die Wellenlänge λ berechnet sich indem man die Lichtgeschwindigkeit c durch die Frequenz f dividiert.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

C: 300000000m/s

f: Frequenz in (Hz)

λ : Wellenlänge in (m)

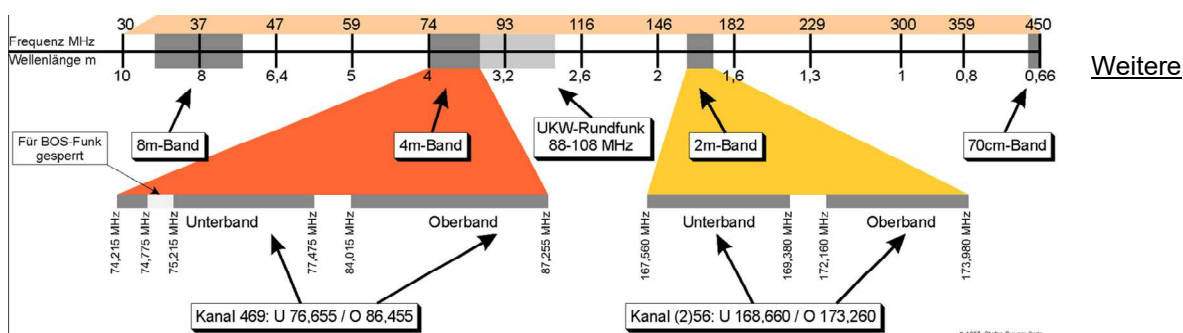
Physikalische Frequenzbänder Einteilung

Bezeichnungen	Anwendungsbereiche	Frequenzbereich	Wellenlängenbereich
ELF (extremely low frequencies)		0,3 Hz ... 3 Hz 3 Hz ... 30 Hz 30 Hz ... 300 Hz	$1 \cdot 10^6$ km ... $1 \cdot 10^5$ km $1 \cdot 10^5$ km ... $1 \cdot 10^4$ km $1 \cdot 10^4$ km ... $1 \cdot 10^3$ km
ILF (infra low frequencies)		300 Hz ... 3 kHz	$1 \cdot 10^3$ km ... 100 km
VLF (very low frequencies), Myriameterwellen (Längstwellen)	Funkverkehr zwischen Feststationen	3 kHz ... 30 kHz	100 km ... 10 km
LF (low frequencies), Kilometerwellen (Langwellen)	Funkverkehr zwischen Feststationen, Rundfunk, Überseefunk	30 kHz ... 300 kHz	10 km ... 1 km
MF (medium frequencies), Hektometerwellen (Mittelwellen)	Rundfunk, Schiffsfunk, Amateurfunk, Polizeifunk	300 kHz ... 3 MHz	1 km ... 0,1 km
HF (high frequencies), Dekameterwellen (Kurzwellen)	Rundfunk für große Reichweiten, Küsten-, Flug-, Amateurfunk, Medizin	3 MHz ... 30 MHz	100 m ... 10 m
VHF (very high frequencies), Meterwellen (Ultrakurzwellen)	Rundfunk, Fernsehfunk, Richtfunk, Flugnavigation, Polizei-, Amateurfunk, Küstenfunk, Medizin	30 MHz ... 300 MHz	10 m ... 1 m
UHF (ultra high frequencies), Dezimeterwellen (Ultrakurzwellen)	Fernsehfunk, Richtfunk, Flugnavigation, Amateurfunk	300 MHz ... 3 GHz	1 m ... 0,1 m
SHF (super high frequencies), Zentimeterwellen (Mikrowellen)	Radar, Richtfunk, Navigation	3 GHz ... 30 GHz	10 cm ... 1 cm
EHF (extremely high frequencies), Millimeterwellen	Radar, Richtfunk	30 GHz ... 300 GHz	1 cm ... 1 mm
Mikrometerwellen		300 GHz ... 3 THz	1 mm ... 0,1 mm

Frequenzbereiche- Rundfunkbereiche (AM)

LW	137 ... 295 kHz
MW	515 ... 1633 kHz
KW1	2.20 ... 2.50 MHz 120 m
KW2	3.20 ... 3.40 MHz 90 m
KW3	3.90 ... 4.00 MHz 75 m
KW4	4.60 ... 5.20 MHz 60 m
KW5	5.80 ... 6.40 MHz 49 m
KW6	6.90 ... 7.50 MHz 41 m
KW7	9.40 ... 10.00 MHz 31 m
KW8	11.55 ... 12.15 MHz 25 m
KW9	13.45 ... 14.05 MHz 21 m
KW10	15.00 ... 15.65 MHz 19 m
KW11	17.50 ... 18.15 MHz 16 m
KW12	21.35 ... 21.95 MHz 13 m
KW13	25.60 ... 26.10 MHz 11 m

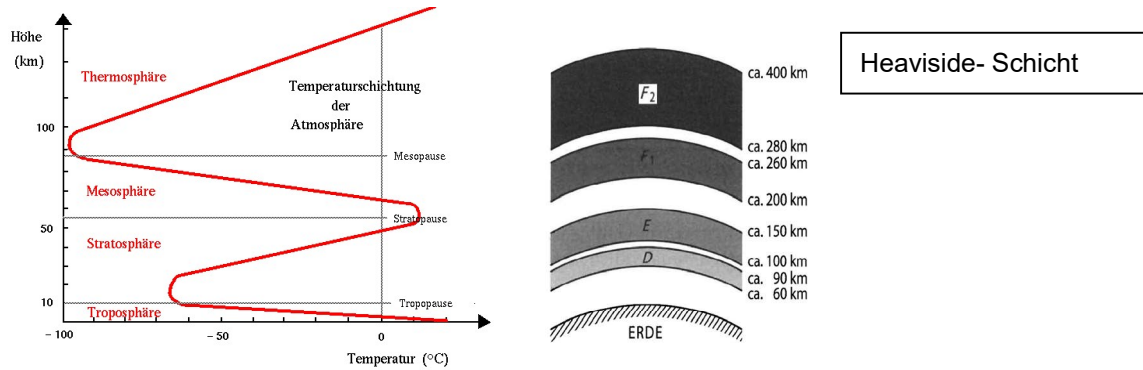
BOS Amateur-CB Funk



Frequenzbereich die im Rundfunkbereich liegen.

Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) Polizei CH	157	160 MHz
Policom	380 ...	480 MHz
Amateur- Funk	25	29MHz
CB-Funk (engl. <i>citizens' band radio</i>) ist eine <u>Jedermann-Funkanwendung</u>	26.5 ...	27.5MHz
Babyfunk	433.9MHz	
Tastatur Maus	27 MHz	
Sicherheitstechnik	25 MHz	
Kabelbereich (Rückweg)	5... 65MHz	
Rega 1	159.675MHz	Notruf
Rega 2	159.850MHz	Bergdienste
Garagentoröffner Funkthermometer (Short Range Devices, SRD)	868.3MHz	

Unterteilung der Atmosphäre und ihre Temperaturen



Bodenwellen

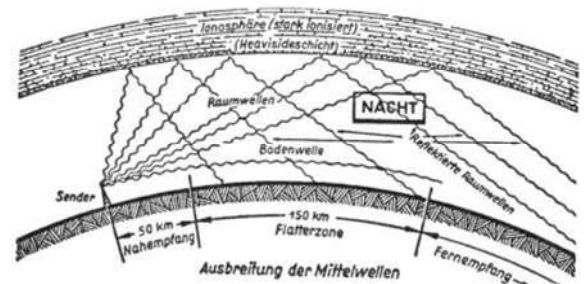
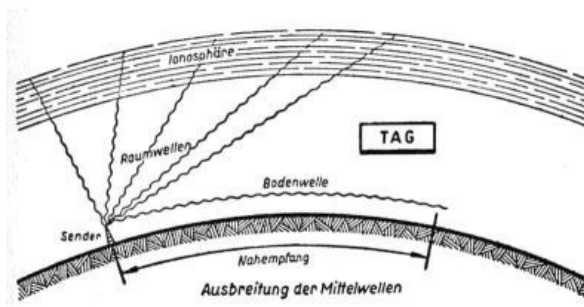
Raumwellen

Tote Zone

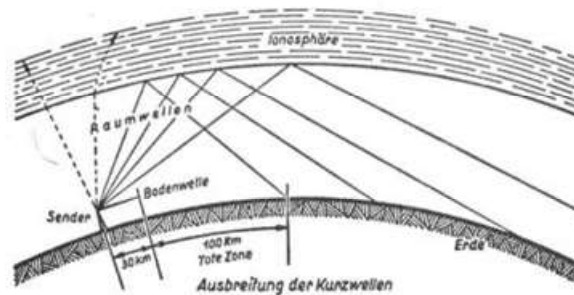
Interferenz

Langwellenbereich

Mittelwellenbereich



Kurzwellenbereich



UKW

Mit steigender Frequenz verläuft die Welle beinahe verlustlos dicht entlang der Erdoberfläche und breitet sich geradlinig aus. Die Reichweite entspricht ungefähr der Sichtweite bei klarer Atmosphäre.

Reichweite der Bodenwellen

Bereich	Bodenwellen		Raumwellen	
	Dämpfung	Reichweite	Dämpfung	Reflexion
LW - Langwelle	gering	~ 1000km	sehr stark	fast vollständig
MW - Mittelwelle	stark	~ 300km	stark	sehr stark
KW - Kurzwelle	sehr stark	~ 100km	gering	stark
UKW - Ultrakurzwelle	vollständig	$\leq 1\text{km}$	sehr gering	zeitweise

Reflexionen

Elektrisch leitfähige Flächen wirken auf elektromagnetische Wellen wie ein Spiegel. Es gelten die physikalischen Gesetze der Reflexion, wobei Einfall- und Ausfallwinkel gleich sind.

Brechungen

Brechungseffekte treten immer dann auf, wenn sich die Welle durch Medien unterschiedlicher Dichte ausbreitet. In der Atmosphäre bewirken verschieden warme Luftschichtungen oder feuchte und trockene Luftmassengrenzen eine Brechung. Abgegrenzte Ladungsverteilungen, die durch UV-Einstrahlungen sowie Anregungen durch Elektronen- und Ionenbeschuss aus dem Weltraum in den Ionosphäre, Schichten entstehen, erzeugen dünnere Medien mit einer besseren Leitfähigkeit oder dichtere Medien mit schlechterer Leitfähigkeit. Die Brechung erfolgt immer in Richtung des dichteren Mediums.

Absorptionen

Alle Medien an denen elektromagnetische Wellen weder reflektiert noch gebrochen werden können diese mehr oder weniger stark absorbieren. Das können Berge, schlecht leitendes, trockenes Erdreich und Mauerwerk sein. Dichte Wolken, Regen, Schnee und Nebel absorbieren beim direkten Auftreffen der Welle ebenfalls viel Energie.

Abschattungen

Befinden sich reflektierende oder absorbierende Hindernisse im Ausbreitungsweg der Welle, so bildet sich hinter ihnen eine Schattenzone, wenn die Wellenlänge klein gegenüber der Ausdehnung des Körpers ist. Kleinere Hindernisse werden von der Wellenfront umlaufen, wobei sich der geradlinige Frontverlauf nur kurzzeitig etwas verformt.

Beugungen

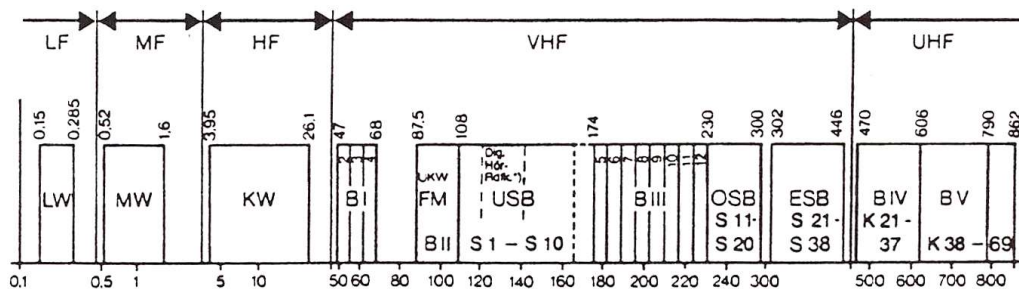
An Gittern, Spalten und Kanten werden elektromagnetische Wellen gebeugt. Sie verhalten sich somit nicht anders als Wasserwellen und Lichtwellen. Treffen die Direktwelle und ihre gebeugten Anteile aufeinander oder kommt es an Gittern zur Mehrfachbeugung, so entstehen Interferenzen. Sie machen sich oftmals als Schwundstörungen bemerkbar.

Schwunderscheinungen

Die englische Bezeichnung ist Fading und charakterisiert ausbreitungsbedingte zeitliche Schwankungen der Empfangsfeldstärke zwischen der Sende- und Empfangsstation. Sie beruhen auf Interferenzen zwischen Wellen, die auf unterschiedlichen Wegen zum Empfänger gelangen. Im Mehrwegeschwund überlagert sich zum Beispiel die Bodenwelle mit Anteilen der Raumwelle. Zum Absorptions- und Dämpfungsschwund kommt es bei einer unterschiedlichen Dämpfung der Raumwelle in den Beugungsschichten. Wird die Polarisationssebene von der Schicht beeinflusst, so tritt bei der Raumwelle ein Polarisationschwund auf. Wellen höherer Frequenzen mit quasioptischer Ausbreitung sind vom Beugungsschwund betroffen. Er entsteht bei der Interferenz der Direktwelle mit ihren Brechungswellen infolge einer inhomogenen Troposphäre.

Ein langsam ablaufendes Fading mit einer Periodizität über 2 Sekunden regelt das Empfangsgerät aus, solange das Signal-Rausch-Verhalten ausreichend groß ist. Flackerfading im VHF- und UKW-Bereich kann durch sich schnell bewegende Objekte wie Autos oder Flugzeuge zwischen Sender und Empfänger ausgelöst werden.

Frequenzbereiche- TV (Bänder analoge Kanäle)



Verwendung	Bezeichnung	Kanäle	Kanalbreite	Frequenzbereich	Wellenlänge
Radio	LW		9 kHz	150 – 285 kHz	2000 – 1050 m
Radio	MW		9 kHz	510 – 1650 kHz	590 – 187 m
Radio / Funk	KW		9 kHz	3,95 – 26,1 MHz	76 – 11,5 m
Daten	Rückkanal			5 – 30 / 65 MHz	60 – 10 / 4,6 m
TV	B I	2 – 4	7 MHz	47 – 68 MHz	6,35 – 4,4 m
Radio (FM)	B II (UKW)	2 – 56	300 kHz	87,5 – 108 MHz	3,4 – 2,9 m
TV	USB (Sonderkanäle)	S 1 – S 10	7 MHz	111 – 174 MHz	2,9 – 1,7 m
TV	B III	5 – 12	7 MHz	174 – 230 MHz	1,7 – 1,3 m
TV	OSB (Sonderkanäle)	S 11 – S 20	7 MHz	230 – 300 MHz	1,3 – 1 m
TV	ESB (Sonderkanäle)	S 21 – S 41	8 MHz	302 – 470 MHz	1 m – 64 cm
TV	B IV	21 – 37	8 MHz	470 – 606 MHz	64 – 49,5 cm
TV	B V	38 – 69	8 MHz	606 – 862 MHz	49,5 – 35 cm
TV / Radio / Daten	Sat – ZF		27 / 36 MHz	950 – 2150 MHz	31,6 – 13,9 cm
Sat – TV	S – Band		27 / 36 MHz	2,53 – 2,65 GHz	11,8 – 11,3 cm
Sat - TV	C – Band		27 / 36 MHz	3,7 – 4,2 GHz	8,1 – 7,14 cm
Sat – TV	Low-Band		27 / 36 MHz	10,7 – 11,7 GHz	2,8 – 2,56 cm
Sat – TV	High-Band		27 / 36 MHz	11,7 – 12,75 GHz	2,56 – 2,35 cm

Gegenüberstellung Digital und Analogkanäle

Digital Kanal Mittenfrequenz (MHz)	Kanal analog	Frequenz analog Bildträger (MHz)	Digital Kanal Mittenfrequenz (MHz)	Kanal analog	Frequenz analog Bildträger (MHz)	Digital Kanal Mittenfrequenz (MHz)	Kanal analog	Frequenz analog Bildträger (MHz)
306,00	S 21	303,25	474,00	K 21	471,25	658,00	K 44	655,25
314,00	S 22	311,25	482,00	K 22	479,25	666,00	K 45	663,25
322,00	S 23	319,25	490,00	K 23	487,25	674,00	K 46	671,25
330,00	S 24	327,25	498,00	K 24	495,25	682,00	K 47	679,25
338,00	S 25	335,25	506,00	K 25	503,25	690,00	K 48	687,25
346,00	S 26	343,25	514,00	K 26	511,25	698,00	K 49	695,25
354,00	S 27	351,25	522,00	K 27	519,25	706,00	K 50	703,25
362,00	S 28	359,25	530,00	K 28	527,25	714,00	K 51	711,25
370,00	S 29	367,25	538,00	K 29	535,25	722,00	K 52	719,25
378,00	S 30	375,25	546,00	K 30	543,25	730,00	K 53	727,25
386,00	S 31	383,25	554,00	K 31	551,25	738,00	K 54	735,25
394,00	S 32	391,25	562,00	K 32	559,25	746,00	K 55	743,25
402,00	S 33	399,25	570,00	K 33	567,25	754,00	K 56	751,25
410,00	S 34	407,25	578,00	K 34	575,25	762,00	K 57	759,25
418,00	S 35	415,25	586,00	K 35	583,25	770,00	K 58	767,25
426,00	S 36	423,25	594,00	K 36	591,25	778,00	K 59	775,25
434,00	S 37	431,25	602,00	K 37	599,25	786,00	K 60	783,25
442,00	S 38	439,25	610,00	K 38	607,25	794,00	K 61	791,25
450,00	S 39	447,25	618,00	K 39	615,25	802,00	K 62	799,25
458,00	S 40	455,25	626,00	K 40	623,25	810,00	K 63	807,25
466,00	S 41	463,25	634,00	K 41	631,25	818,00	K 64	815,25
			642,00	K 42	639,25	826,00	K 65	823,25
			650,00	K 43	647,25	834,00	K 66	831,25
						842,00	K 67	839,25
						850,00	K 68	847,25
						858,00	K 69	855,25

Digital Kanal Mittenfrequenz (MHz)	Kanal analog	Frequenz analog Bildträger (MHz)
50,50	K 2	48,25
57,50	K 3	55,25
64,50	K 4	62,25
107,50	S 1	105,25
114,50	S 2	112,25
121,50	S 3	119,25
128,50	S 4	126,25
135,50	S 5	133,25
142,50	S 6	140,25
149,50	S 7	147,25
156,50	S 8	154,25
163,50	S 9	161,25
170,50	S 10	168,25
177,50	K 5	175,25
184,50	K 6	182,25
191,50	K 7	189,25
198,50	K 8	196,25
205,50	K 9	203,25
212,50	K 10	210,25
219,50	K 11	217,25
226,50	K 12	224,25
233,50	S 11	231,25
240,50	S 12	238,25
247,50	S 13	245,25
254,50	S 14	252,25
261,50	S 15	259,25
268,50	S 16	266,25
275,50	S 17	273,25
282,50	S 18	280,25
289,50	S 19	287,25
296,50	S 20	294,25

Digital Kanal Mittenfrequenz
Digital channel, centre frequency

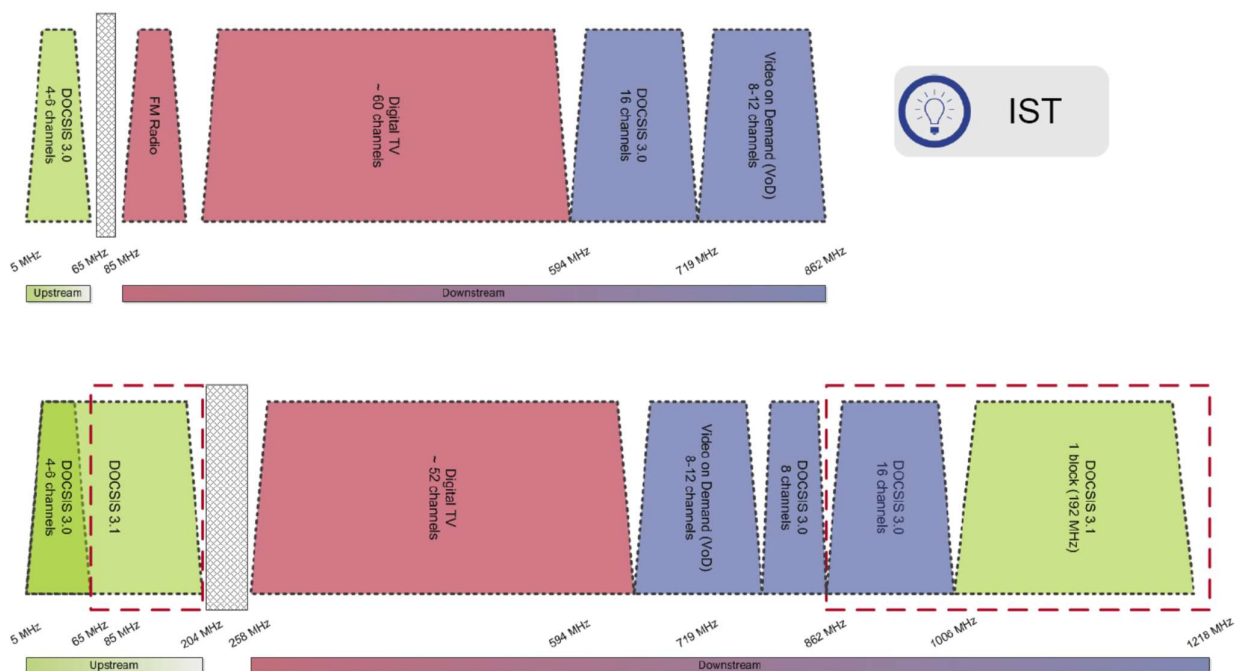
Kanal analog
Analogue channel

Frequenz analog Bildträger
Analogue video carrier frequency

8-MHz-Raster
8-MHz channel spacing

7-MHz-Raster /
7-MHz channel spacing /

Frequenz- Belegung von Kabelbetreiber

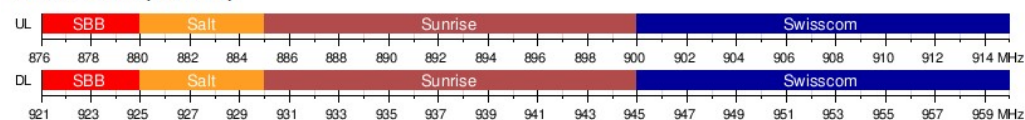


Potenzielle Störquellen

Frequenz	Kanäle	Belegung mit
47 – 54 MHz	K 02	DAB-Ausweichkanal
111 – 118 MHz	S 02	VOR, ILS (Drehfunkfeuer, Instrumentenlandestystem, bundesweit)
118 – 125 MHz	S 03	Flug-Sprechfunk (regional)
132 – 139 MHz	S 05	Flugfunk
139 – 146 MHz	S 06	Funkamateure
153 – 160 MHz	S 07 – S 09	Mobilfunk im alten B-Netzbetrieb, z. B. Taxifunk
167 – 174 MHz	S 10	BOS (Behörden und Organe mit Sicherheitsaufgaben, bundesweit)
174 – 181 MHz	K 05	ERMES-Tonstörung
223 – 230 MHz	K 12	DAB-Hauptkanal
302 – 310 MHz	S 21	schnurlose Telefone CT 2, Instrumentenlandesysteme
382 – 406 MHz	S 31 – S 33	TETRA-BOS
446 – 470 MHz	S 35 – S 36	Datenfunk
438 – 446 MHz	S 38	C-Netz-Telefon
446 – 470 MHz	S 39 – S 41	Funkrufdienste (Quix, C-Netz, ...)
1451 – 1492 MHz	–	DAB L-Band
1710 – 1785 MHz	–	E-Netz-Telefon, Senden
1805 – 1880 MHz	–	E-Netz-Telefon, Empfangen
1880 – 1900 MHz	–	DECT (Digital European Cordless Telephone)
1920 – 1980 MHz	–	UMTS (Universal Mobile Telephone Service)

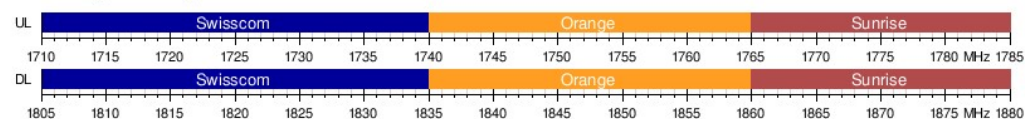
Natel

R-GSM, E-GSM (GSM 900)



Die SBB betreibt entlang der Eisenbahnstrecken ein nicht öffentliches GSM-R-Mobilfunknetz.

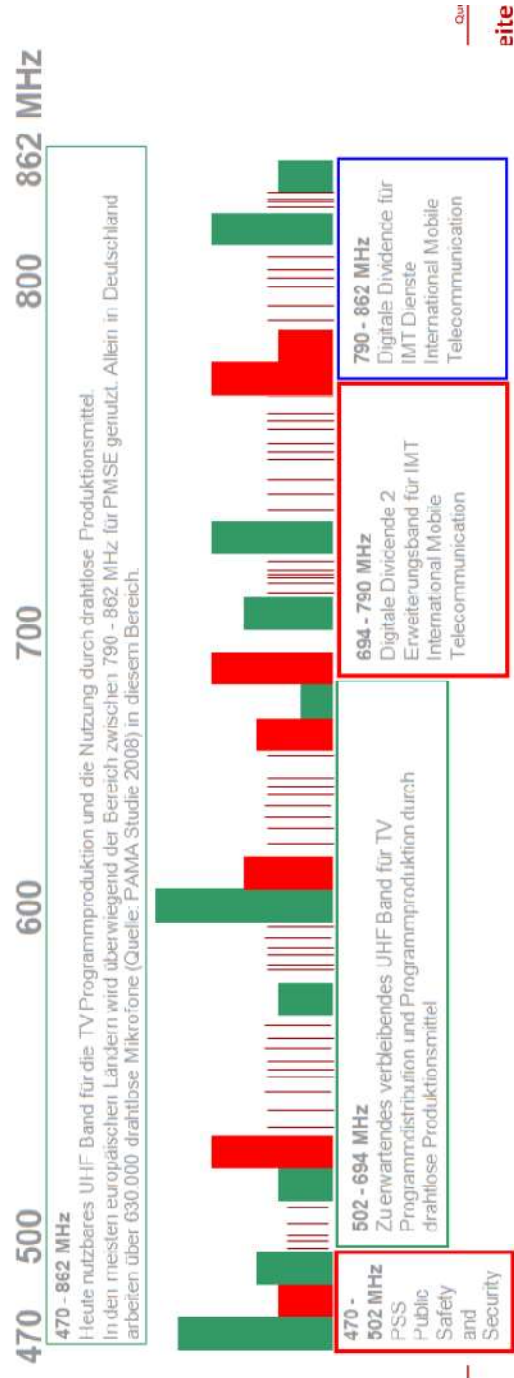
DCS 1800 (GSM 1800)



5 G (8.2.19):

	Sunrise	Swisscom	Salt
700 MHz FDD (neu)	2 x 5 MHz	2 x 15 MHz	2 x 10 MHz
700 MHz SDL (neu)	10 MHz	0 MHz	0 MHz
800 MHz FDD	2 x 10 MHz	2 x 10 MHz	2 x 10 MHz
900 MHz FDD	2 x 15 MHz	2 x 15 MHz	2 x 5 MHz
Total tiefe Frequenzbänder	2 x 30 MHz FDD 10 MHz SDL	2 x 40 MHz FDD 0 MHz SDL	2 x 25 MHz FDD 0 MHz SDL
1400 MHz SDL (neu) (Kategorie C2)	15 MHz	25 MHz	0 MHz
Total mittlere Frequenzbänder middle core	15 MHz	25 MHz	0 MHz
1800 MHz FDD	2 x 20 MHz	2 x 30 MHz	2 x 25 MHz
2100 MHz FDD	2 x 10 MHz	2 x 30 MHz	2 x 20 MHz
2600 MHz FDD	2 x 25 MHz	2 x 20 MHz	2 x 20 MHz
2600 MHz TDD	0 MHz	45 MHz	0 MHz
3500 - 3800 MHz TDD (neu) (Kategorie E)	100 MHz	120 MHz	80 MHz
Total höhere Frequenzbänder	2 x 55 MHz FDD 100 MHz TDD	2 x 80 MHz FDD 165 MHz TDD	2 x 65 MHz FDD 80 MHz TDD
Kosten neu ersteigerte Frequenzbänder in CHF Millionen	89,2	195,6	94,5
CHF/MHz/Pop für die neu ersteigerten Frequenzen	0,077	0,114	0,100
Bisherige Frequenzen total in MHz	160	255	160
In der Auktion erworbenes Spektrum in MHz	135	200	110
Neu Frequenzen total in MHz	295	455	270
Zuwachs in %	+84.4%	+78.4%	+68.8%

- Diskussion um Mobilfunk-Nutzung im 700-MHz-Band (694-790 MHz = Digitale Dividende II)
- Technische und regulatorische Fragen offen:
 - Verlagerung /Fortbestand von DVB-T, Kabel und Funkmikrofone ?
 - Einführung von DVB-T2 ?
- Entscheidung zur Digitalen Dividende II auf der Weltfunkkonferenz 2015



DECT Digital Enhanced Cordless Telecommunications

Frequenzbereich von 1880 MHz bis 1900 MHz, in dem 10 Kanäle mit je 1728 kHz Bandbreite definiert sind.

Satellitenübertragung:

Transponder-Bandbreite 26 MHz ... 72 MHz. Typische Transponder-Bandbreite 26 MHz -36 MHz

S- Band	1.7 G Hz - 3 GHz
C- Band	3.7 GHz - 4.2 GHz
Ku 1 Band	0.9 GHz -11.75 GHz (Low Band)
Ku 2 Band	11.75 GHz -12.5 GHz (High Band)
Ku 3 Band	12.5 GHz -12.75 GHz (High Band)
Ka Band	18 GHz - 20 GHz

Zwischenfrequenz ZF die in der Technik verwendet werden sind:

AM	455kHz	DVB	36MHz
FM	10.7MHz	SAT	950-2150MHz
DAB	36MHz		

BlueTooth

2,402 GHz und 2,480 GHz

Klasse	Max. Leistung	Max. Leistung	Reichweite allgemein ^[2]
Klasse 1	100 mW	20 dBm	ca. 100 m
Klasse 2	2,5 mW	4 dBm	ca. 10 m
Klasse 3	1 mW	0 dBm	ca. 1 m

Das **Bluetooth**-Protokoll unterstützt einen asymmetrischen Datenkanal mit Datenraten in der Version 1.2 von maximal 732,2 kbit/s in eine Richtung und 57,6 kbit/s in die Gegenrichtung, oder eine symmetrische Datenverbindung mit 433,9 kbit/s in beide Richtungen. In der EDR-Version sind höhere Datenraten erzielbar.

[https://de.wikipedia.org › wiki › Bluetooth](https://de.wikipedia.org/wiki/Bluetooth)

W-LAN

Standard	Frequenzband	MIMO	Modulation	Bandbreite	Brutto-Datenrate	Netto-Datenrate
IEEE 802.11	2,4 GHz	–			2 Mbit/s	
IEEE 802.11b	2,4 GHz	–		20 MHz	11 Mbit/s	5–6 Mbit/s ^[4]
				40 MHz (proprietär)	22 Mbit/s	
				80 MHz (proprietär)	44 Mbit/s	
IEEE 802.11g	2,4 GHz	–	QAM64	20 MHz	54 Mbit/s	20–22 Mbit/s ^[4]
				40 MHz (g+) (proprietär)	108 Mbit/s	
IEEE 802.11a	5 GHz	–	QAM64	20 MHz	54 Mbit/s	20–22 Mbit/s ^[4]
				40 MHz (proprietär)	108 Mbit/s	
IEEE 802.11h	5 GHz	–	QAM64	20 MHz	54 Mbit/s	
IEEE 802.11n	2,4 GHz	–	QAM64	40 MHz	150 Mbit/s ^[5]	
		2×2	QAM64	40 MHz	300 Mbit/s ^[5]	100–120 Mbit/s ^[4]
		3×3	QAM64	40 MHz	450 Mbit/s ^[5]	170 Mbit/s ^[6]
	5 GHz	3×3	QAM64	40 MHz	450 Mbit/s	
IEEE 802.11ac	5 GHz	3×3	QAM256	80 MHz	1,3 Gbit/s	660 Mbit/s ^[6]
				160 MHz	2,6 Gbit/s ^[7]	
		8×8	QAM256	160 MHz	6,9 Gbit/s	3,5 Gbit/s ^[8]
IEEE 802.11ad	60 GHz	–	QAM64	2000 MHz	6,7 Gbit/s ^[7]	

Senderleistung

Kanal	Mitten-Frequenz (MHz)	Europa und fast alle Länder der Welt
1*	2412	100 mW
2	2417	100 mW
3	2422	100 mW
4	2427	100 mW
5*	2432	100 mW
6	2437	100 mW
7	2442	100 mW
8	2447	100 mW
9*	2452	100 mW
10	2457	100 mW
11	2462	100 mW
12	2467	100 mW
13*	2472	100 mW
14	2484	verboten

*Ab 802.11g sollten nur noch die Kanäle 1, 5, 9 und 13

5 GHz WLAN

5180-5320 MHz 200 mW

5500-5850 1000 mW

60 GHz WLAN

58.32-65.88 GHz

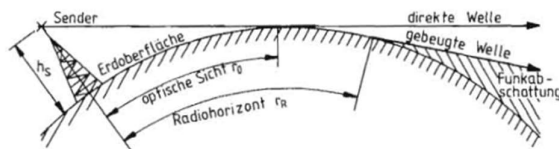
Die Unterlagen wurden aus verschiedenen Seiten zusammengeführt.

<https://de.wikipedia.org>

<https://www.upc.ch>

<https://www.darc.de>

Formelbuch Peter Zastrow



Optische Sicht

Radiohorizont

Freiraumfeldstärke

($\lambda/2$ -Dipol an Punkt r)

Feldstärke an der Antenne

(optische Sicht)

Reichweite

Antennenspannung

an $Z_A = 75 \Omega$

Empfängereingangsspannung bei Anpassung

an die Antenne

$$r_o \approx 3,567 (\sqrt{h_s} + \sqrt{h_E})$$

$$r_R \approx 4,12 (\sqrt{h_s} + \sqrt{h_E})$$

$$E_o = \frac{1}{2r} \cdot \sqrt{\frac{P_s \cdot 376,68 \Omega}{\pi}} \approx \frac{7 \cdot \sqrt{P_s}}{r}$$

$$E_A \approx \frac{7 \cdot \sqrt{P_s} \cdot 4 \pi \cdot h_s \cdot h_E}{r^2 \cdot \lambda}$$

$$r \approx \sqrt{\frac{7 \cdot \sqrt{P_s} \cdot 4 \pi \cdot h_s \cdot h_E}{E_A \cdot \lambda}}$$

$$U_{\lambda/2} = \frac{E_A \cdot \lambda}{2 \cdot \pi}$$

$$U_E = U_{\lambda/2} \sqrt{\frac{R_E}{Z_A}}$$

r_o : optische Sicht in km

r_R : Radiohorizont in km

h_s : Höhe der Senderantenne in m

h_E : Höhe der Empfangsantenne in m

E_o : Freiraumfeldstärke in V/m

E_A : Feldstärke an der Empfangsantenne in V/m

P_s : Strahlungsleistung in W

r : Reichweite in m

λ : Wellenlänge in m

$U_{\lambda/2}$: Antennenspannung mit $\lambda/2$ -Dipol in V

R_E : Empfängereingangswiderstand in Ω

Z_A : Fußpunktswiderstand der Antenne in Ω