

WLAN-Vorlesung

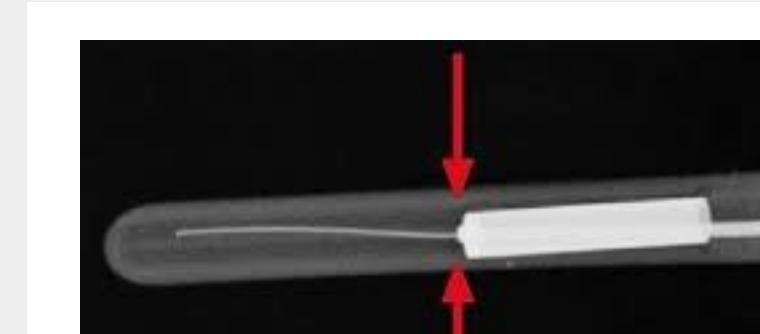
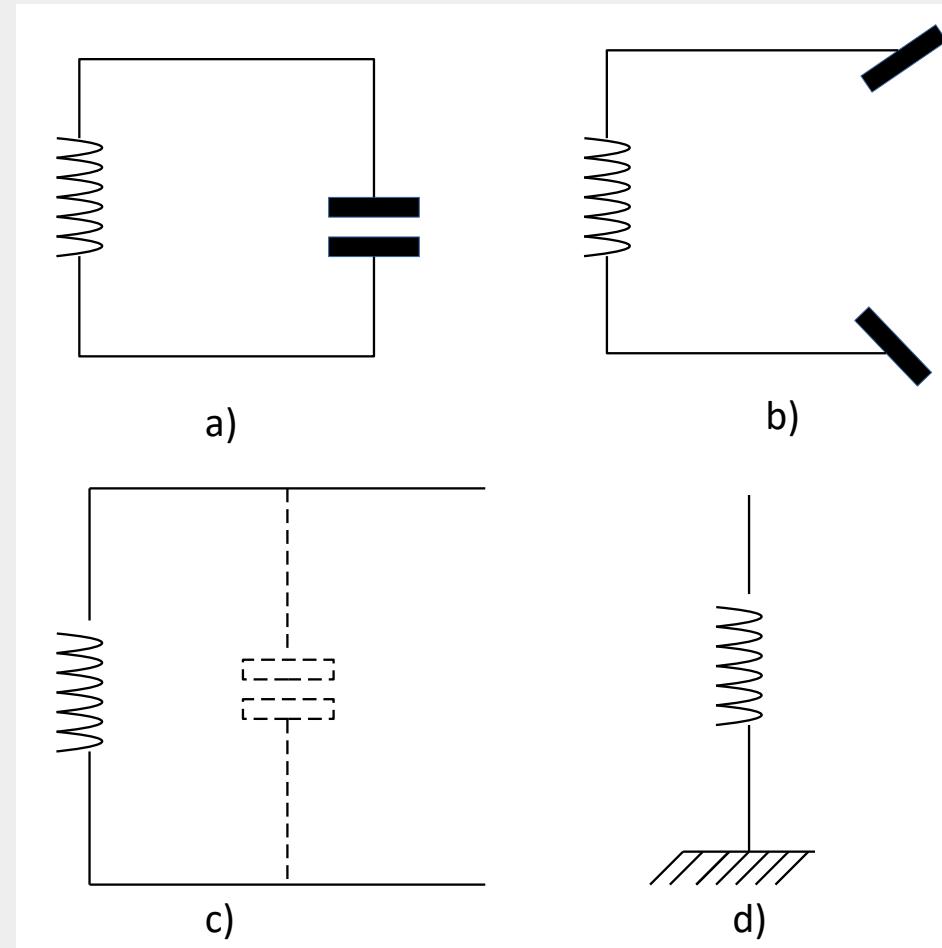
Teil-8

Inhalt

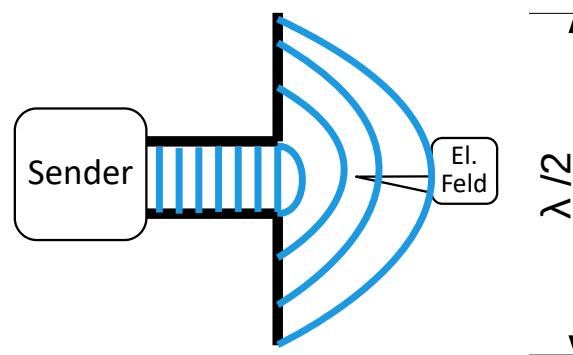
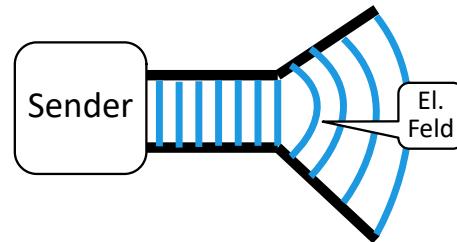
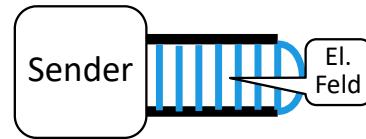
Inhalt

- Antennen
 - ◆ Halbwellendipol
 - ◆ Freiraumdämpfung
 - ◆ Antennenbauformen
 - Halbwellendipole
 - Stabantennen
 - Dipolgruppen
 - Patch-Antenne
 - Richtantennen
 - ◆ Öffnungswinkel / Halbwertsbreite
 - ◆ Fresnel-Zone (Bestimmung der Antennenhöhe)
 - ◆ Berechnungen
 - ◆ Reichweite

Antennen



Halbwellendipol



$$\text{Sendeleistung [dBm]} = 10 \log\left(\frac{\text{Senderleistung [mw]}}{1 \text{mW}}\right)$$

Antennenbauformen

● Antennenbauformen

Die in einem WLAN verwendete Antenne ist entscheidend für die Größe und Form einer Funkzelle verantwortlich. Es sind die verschiedensten Bauformen möglich.

Für die flächenförmige Abdeckung können folgende Antennen verwendet werden:

- ◆ Halbwellen-Dipole
- ◆ Dipol-Gruppen
- ◆ Patch-Antennen

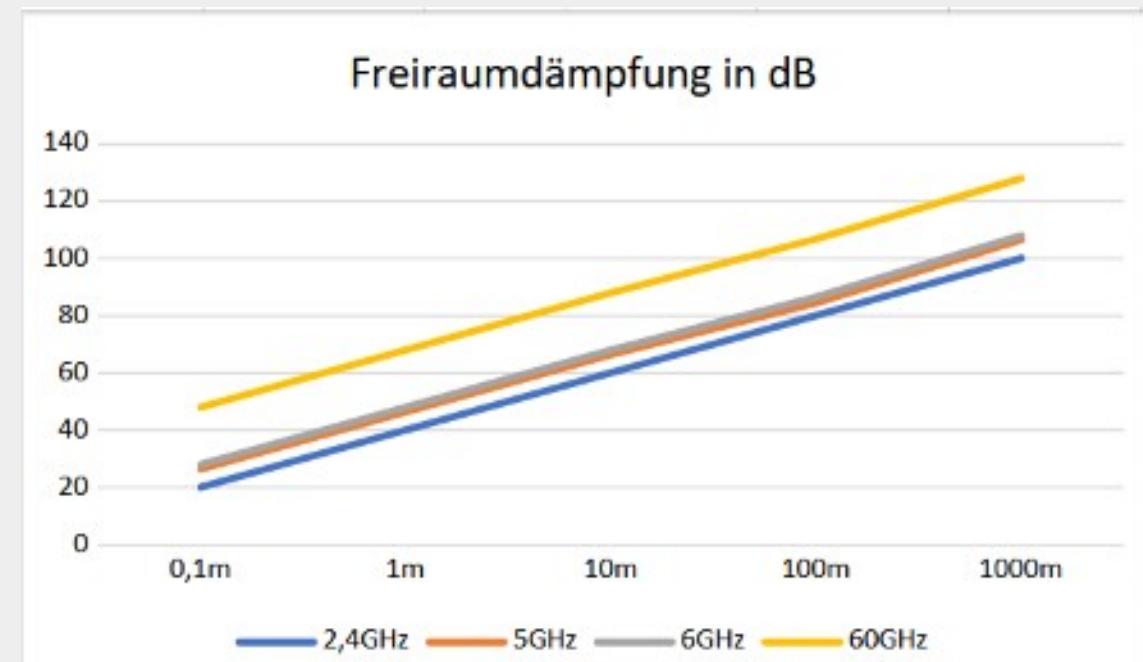
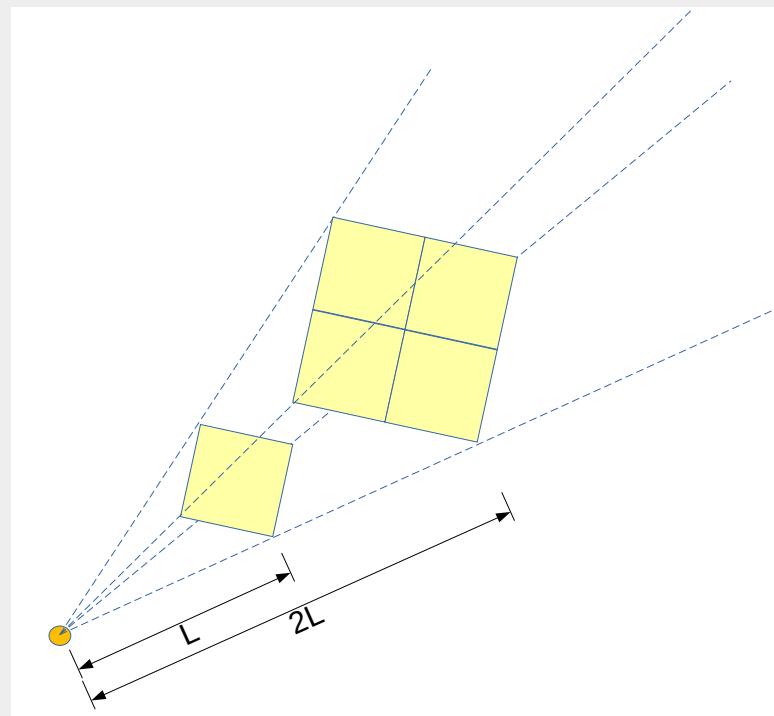
● Richtantennen

Für eine gerichtete Verbindung (z. B. zwischen Gebäuden) im Freien werden folgende Antennen verwendet:

- ◆ Yagi-Uda-Antennen
- ◆ Parabol-Antennen

Freiraumdämpfung

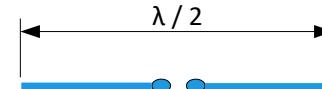
$$\text{FSPL} = (4 \pi d / \lambda)^2 = (4 \pi d f / c)^2$$



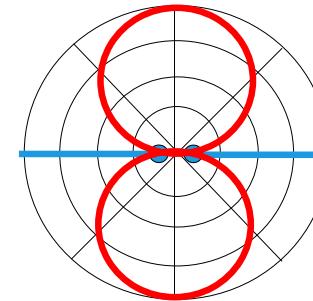
Freiraumdämpfung

Distanz [m]	Freiraumdämpfung bei 2,4GHz [dB]	Freiraumdämpfung bei 5GHz [dB]
1	40,2	47,16
10	60,2	67,16
100	80,2	87,16
200	86,22	93,18
400	92,24	99,2
1000	100,2	107,16

Halbwellendipole



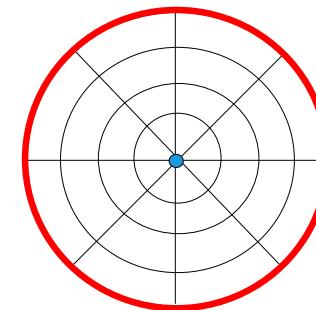
Offener Dipol



E-Ebene

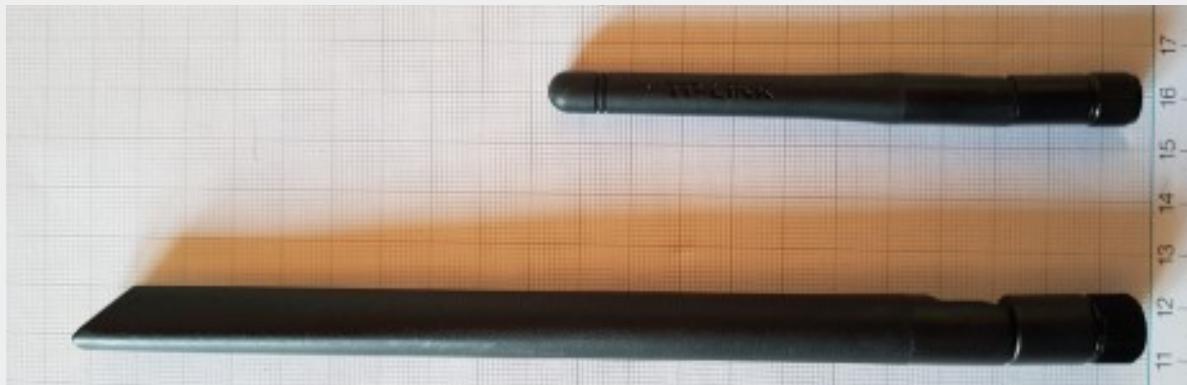


Geschlossener Dipol



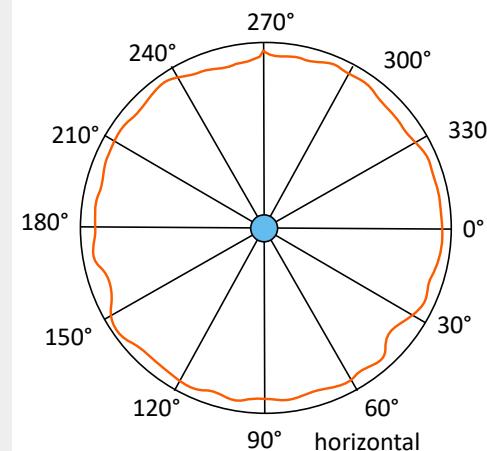
H-Ebene

Stabantennen

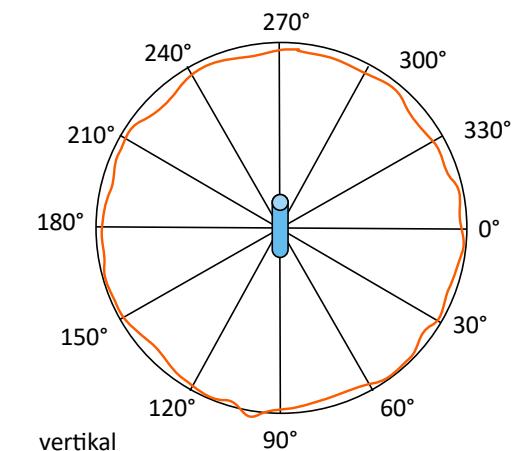


Halbwellendipol

Dipollinie

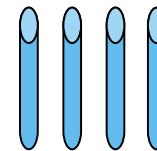


H-Ebene

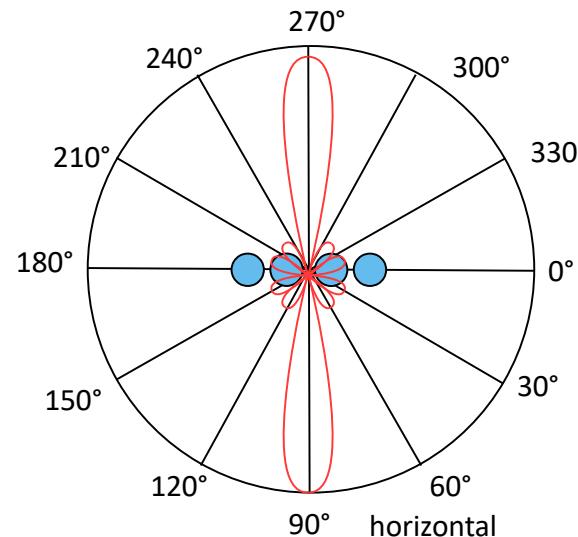


E-Ebene

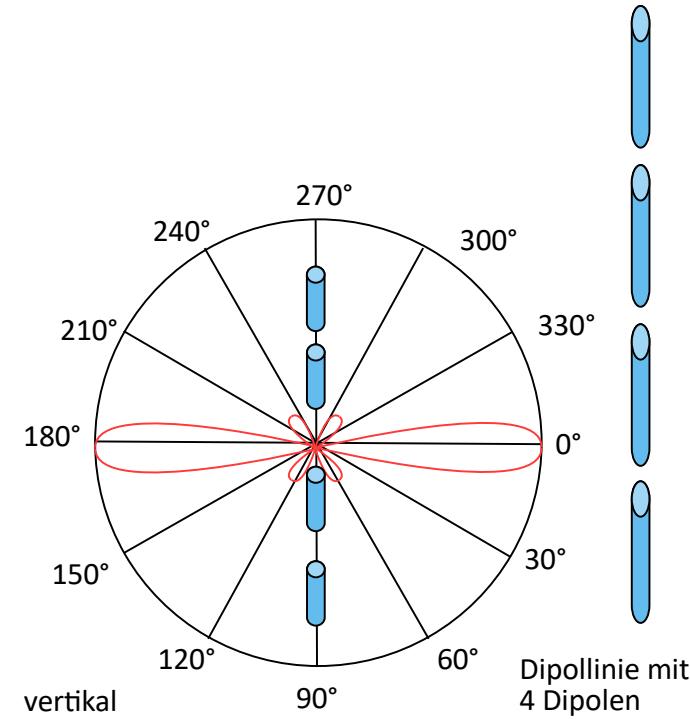
Dipolgruppen



Dipolgruppe
mit 4 Dipolen



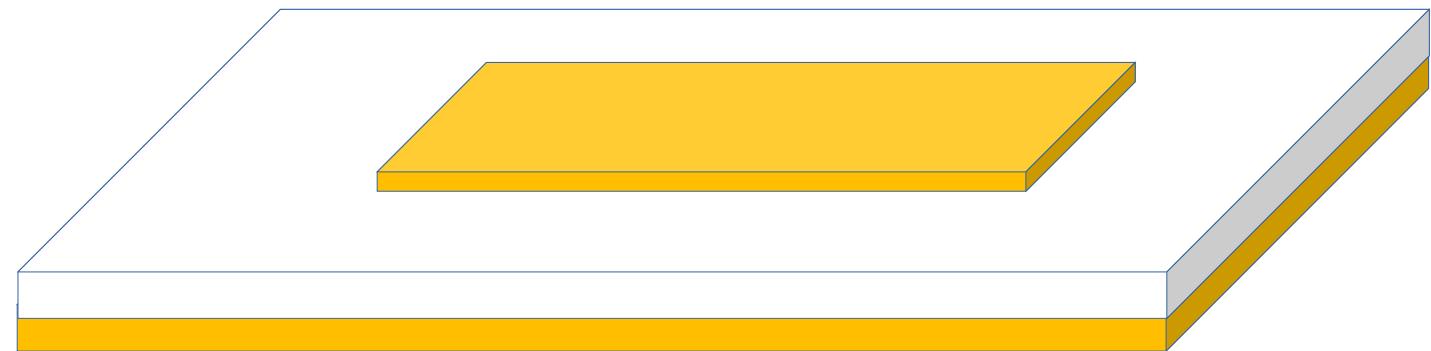
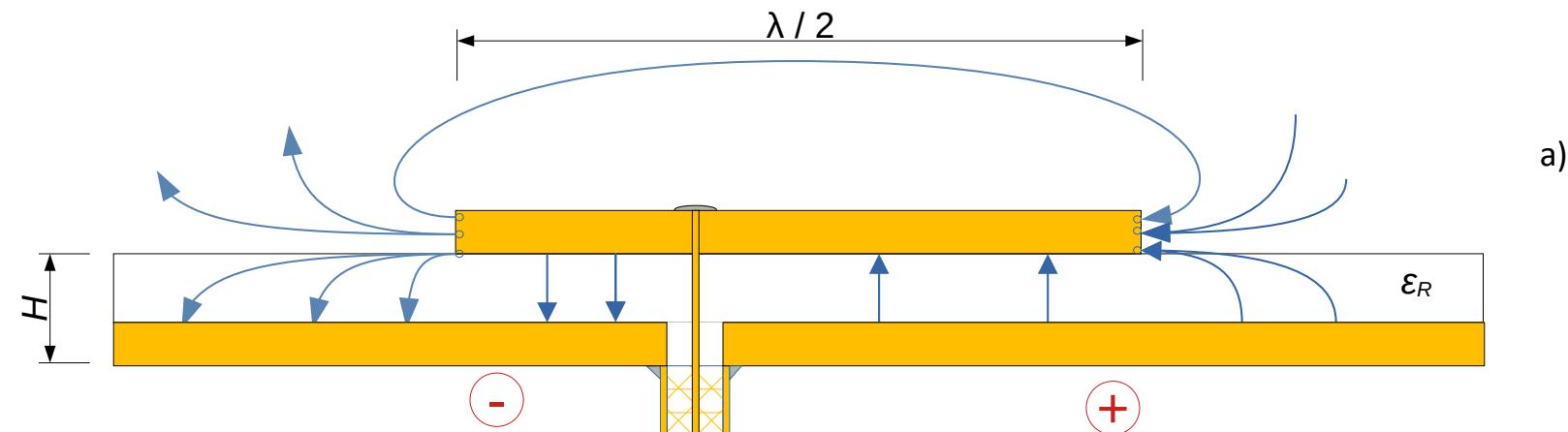
Dipolreihe



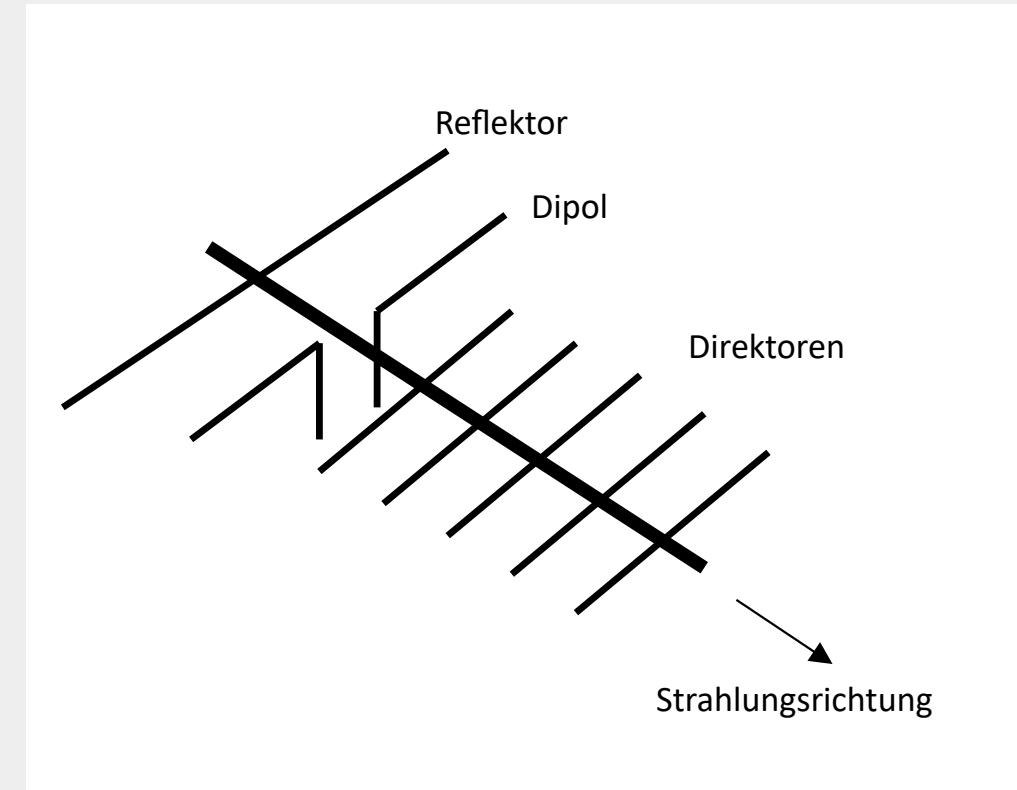
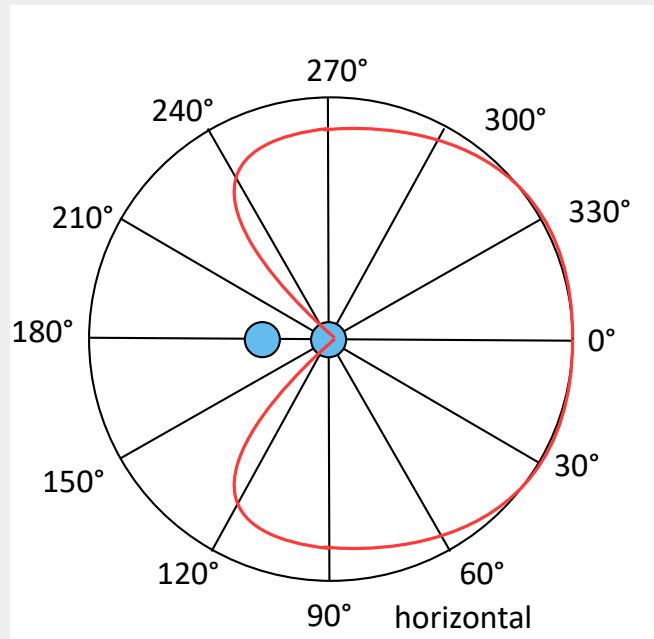
Dipollinie

Dipollinie mit
4 Dipolen

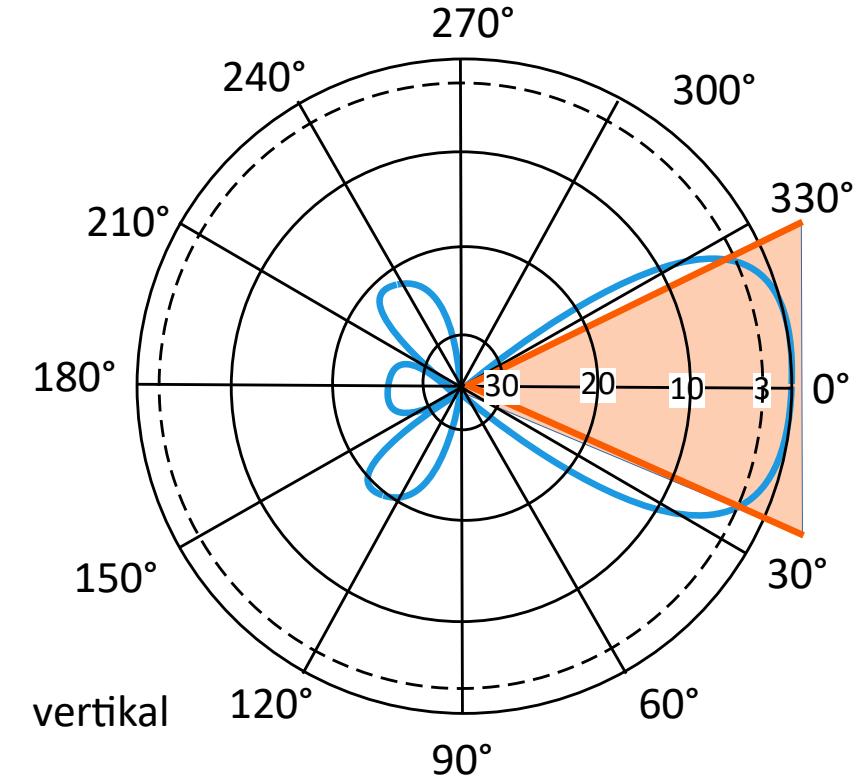
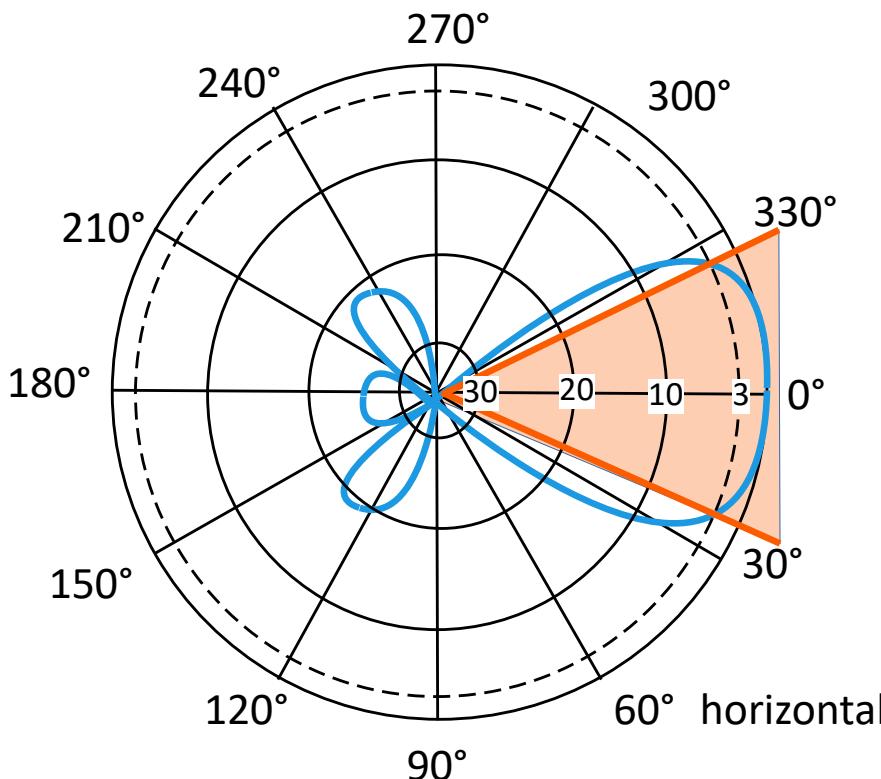
Patch-Antenne



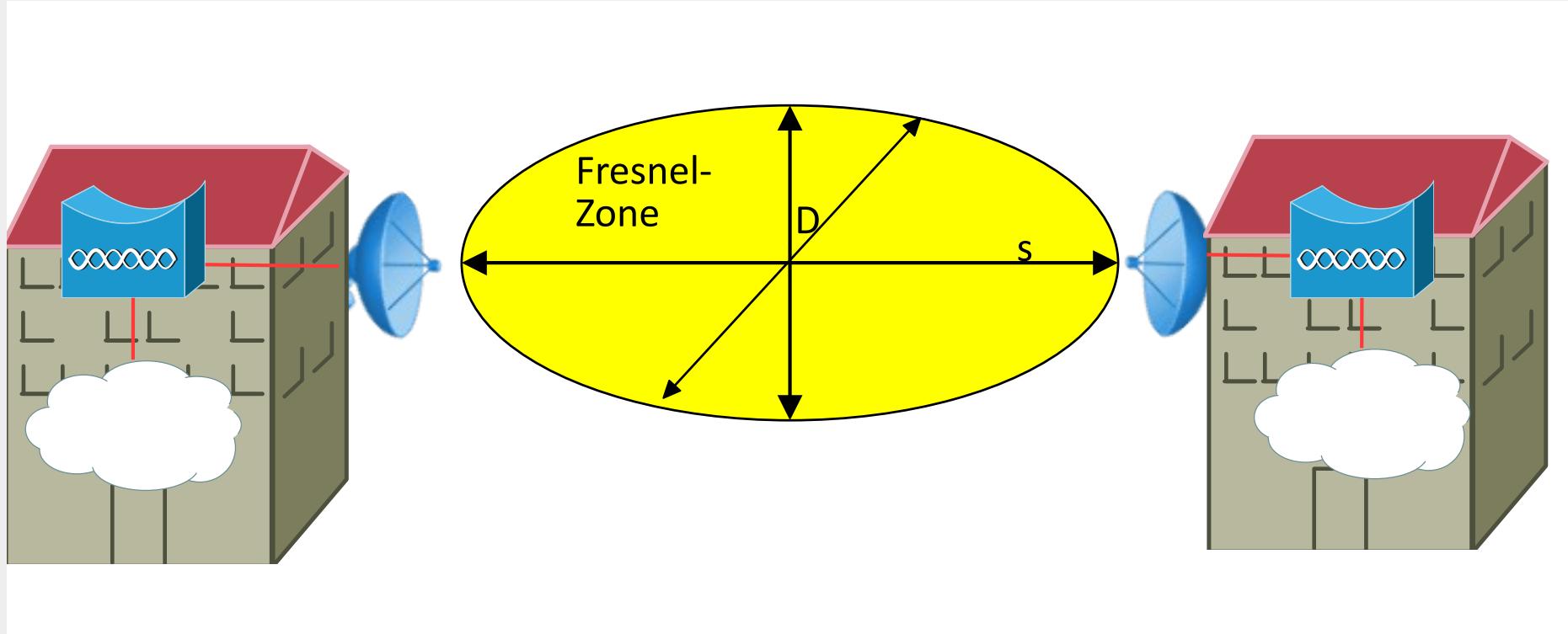
Richtantennen



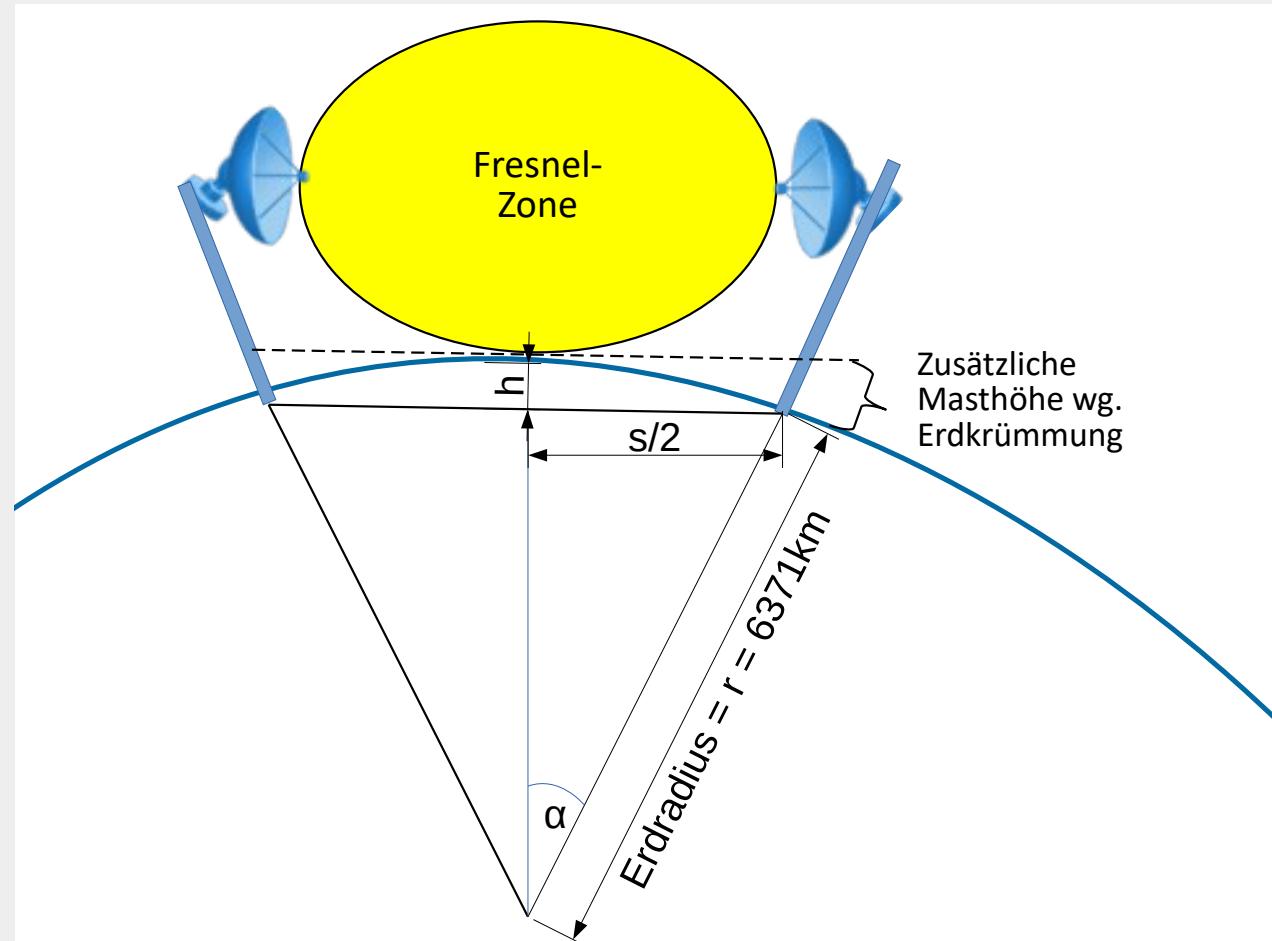
Öffnungswinkel / Halbwertsbreite



Fresnel-Zone



Bestimmung der Antennenhöhe



Berechnungen

dBm	-3	0	3	7	10	13	15	17	20	30
mW	0,5	1	2	5	10	20	35	50	100	1000

Die Sendeleistung von Antennen wird auf 1mW normiert und in dB angegeben:
Damit bedeutet eine Sendeleistung von 35mW = 15dB

Die so genannte Leistungsflussdichte (S) berechnet sich aus:
 $S = P_s * G_s / (4 * \pi * d^2) = EIRP / (4 * \pi * d^2)$ (ohne dB)

Wobei:

P_s = Sendeleistung (wird vom Sender beeinflusst)

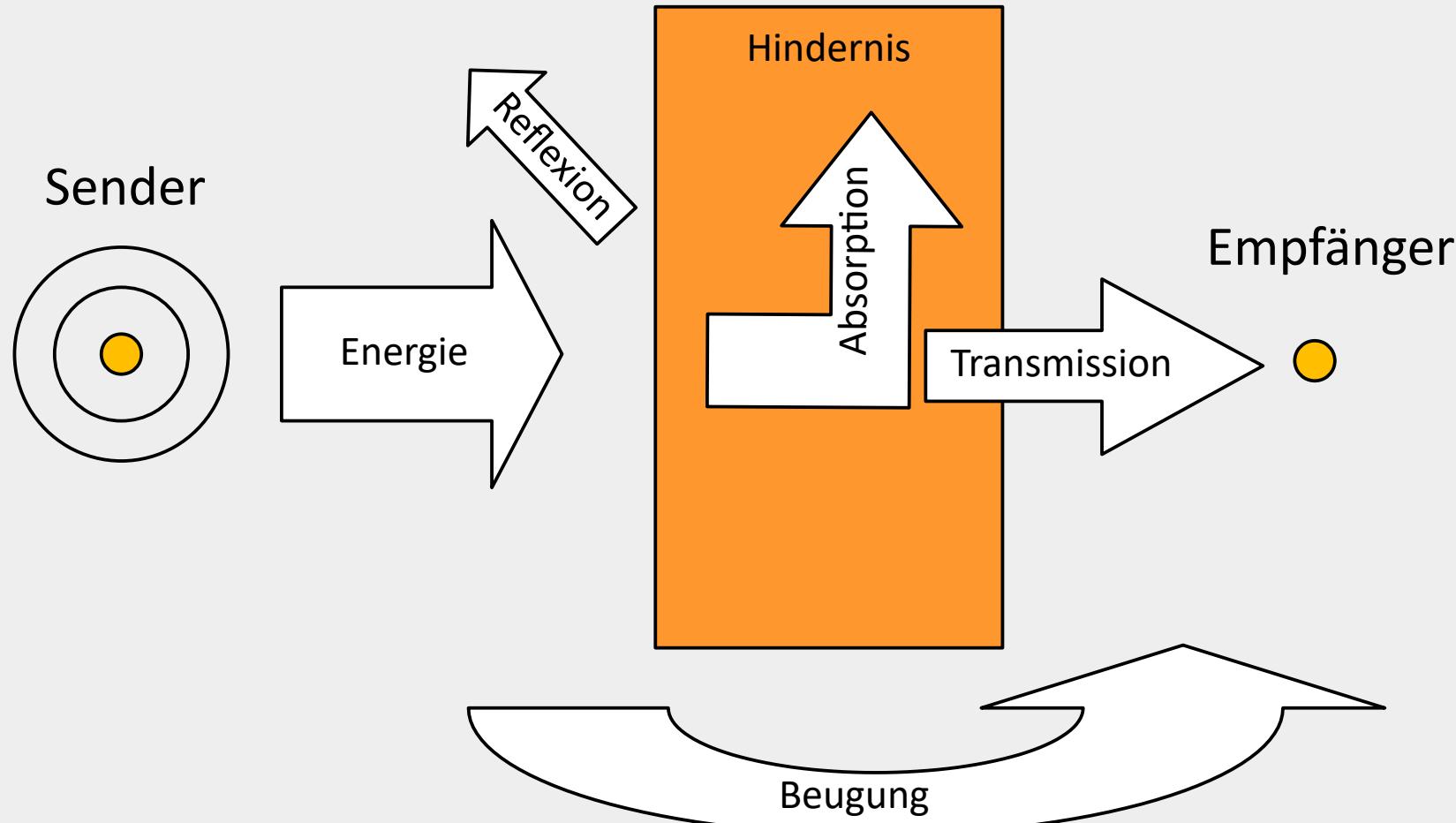
G_s = Antennengewinn (wird von der Antenne beeinflusst)

d = Kugeldurchmesser

EIRP = Equivalent Isotropically Radiated Power = $P_s + G_s$ (in dB)

EIRP ist die maximale Sendeleistung, die zulässig ist.
Sie ist regional unterschiedlich!

Absorption / Beugung / Transmission / Reflexion von Funkwellen



Zahlen aus der Praxis

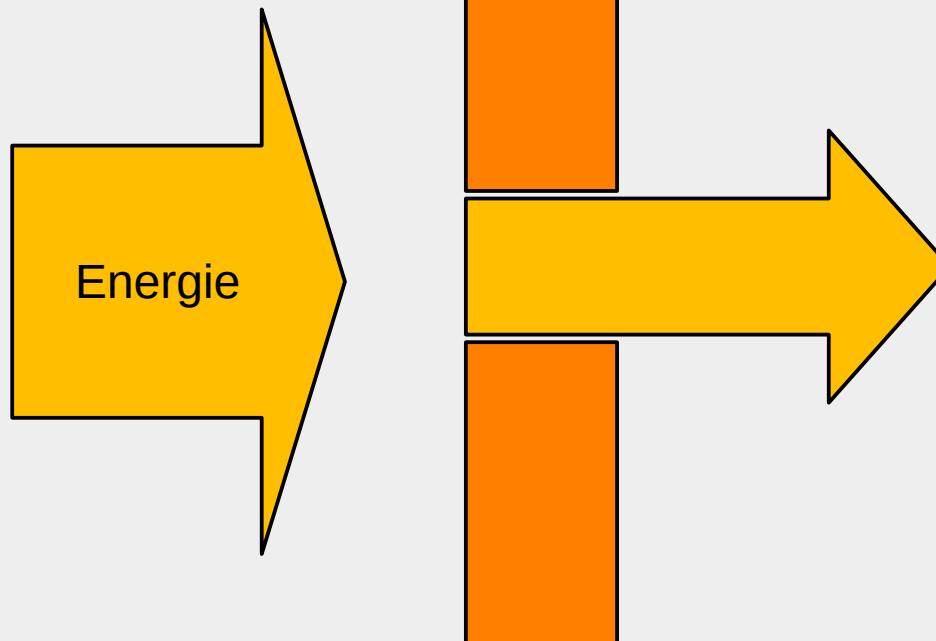
Dämpfung von Baumaterialien

Material	Dimensionen	Dämpfung in dB		
		900MHz	2,4GHz	5GHz
Backstein (hohl)	89mm	3	5	15
Fensterglas	6 mm	1	1	1
Gipskarton	13mm	0	1	0
Holz	114mm	3	7	13
Sperrholz	13mm	0	1	0
Mauerstein Beton (hohl)	203mm	11	11	15
Beton (C8 Mischung)	203mm	27	35	56
Bewehrungsstahlgitter	19mmΦ 79mm Raster	14	10	3
Stahlbeton (C8 Mischung)	19mmΦ 79mm Raster	29	37	58

Schirmung von Materialien

Material	Dimensionen	Dämpfung in dB		
		940 MHz	2,4 GHz	5 GHz
Stahlgitter Verzinkt magnetisch	18,2*17,2mm 0,8mmΦ	16	6	1
Stahlgitter Verzinkt magnetisch	12,4*12mm 0,8mmΦ	20	9	7
Alu Fliegengitter	1,75*1,4mm 0,2mmΦ	40	30	28
Stahl Fliegengitter Verzinkt magnetisch	1,35*1,35mm 0,2mmΦ	45	37	38
Haushalts Alufolie	19mm 2 Bahnen gefalzt	54	>70	>70
Dampfsperre mit Alu-Partikeln		0	0	0
Windschutzscheiben Sonnenschutz (Luftpolsterfolie Alubeschichtet)		22	15	18
Rettungsdecke Alubedampft	10µm	43	40	36

Dämpfungsrückgang durch Spalte



Spaltbreite [cm]	Dämpfungsrückgang [dB]		
	940MHz	2,4GHz	5GHz
0	54	>70	>70
1	38	34	34
3	30	30	32
10	14	21	23

Faktoren, welche die Reichweite beeinflussen

Faktor	Auswirkung [positiv / negativ]	Einheit
Sendeleistung	positiv	dBm
Antennengewinn der Senderantenne	positiv	dBi
Verlust in Antennenkabeln auf der Senderseite	negativ	dB
Verlust in Steckern auf der Senderseite	negativ	dB
Verlust in der Sendeanlage	negativ	dB
Reguläre Dämpfung über die Funkstrecke	negativ	dB
Zusätzliche Dämpfung durch Hindernisse (z.B.Wände)	negativ	dB
Zusätzliche Dämpfung durch Störsignale	negativ	dB
Verlust in der Empfangsanlage	negativ	dB
Verlust in Steckern auf der Empfängerseite	negativ	dB
Verlust in Antennenkabeln auf der Empfängerseite	negativ	dB
Antennengewinn der Empfängerantenne	positiv	dBi

Zusammenfassung

Inhalt

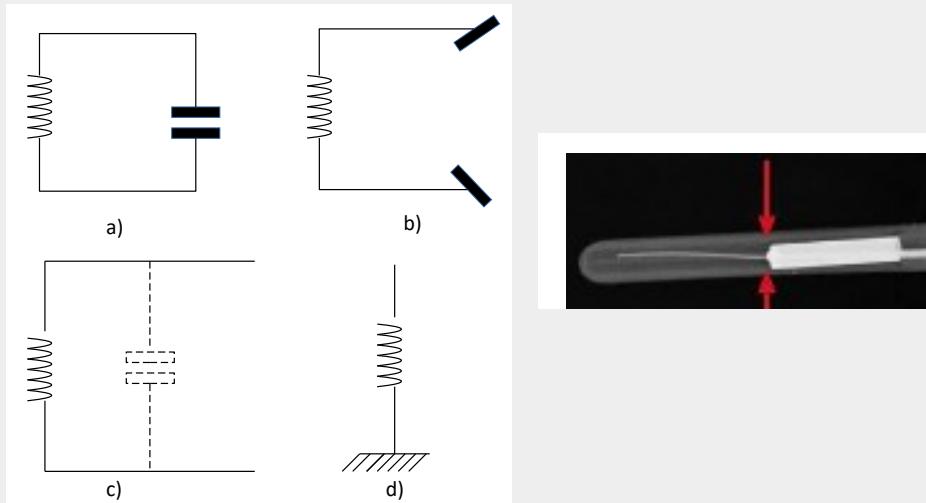
- Antennen
 - ◆ Halbwellendipol
 - ◆ Freiraumdämpfung
 - ◆ Antennenbauformen
 - Halbwellendipole
 - Stabantennen
 - Dipolgruppen
 - Patch-Antenne
 - Richtantennen
 - ◆ Öffnungswinkel / Halbwertsbreite
 - ◆ Fresnel-Zone (Bestimmung der Antennenhöhe)
 - ◆ Berechnungen
 - ◆ Reichweite

WLAN-Vorlesung Teil-8

Inhalt

- Antennen
 - ◆ Halbwellendipol
 - ◆ Freiraumdämpfung
 - ◆ Antennenbauformen
 - Halbwellendipole
 - Stabantennen
 - Dipolgruppen
 - Patch-Antenne
 - Richtantennen
 - ◆ Öffnungswinkel / Halbwertsbreite
 - ◆ Fresnel-Zone (Bestimmung der Antennenhöhe)
 - ◆ Berechnungen
 - ◆ Reichweite

Antennen



Antennen sind wesentliche Bauteile bei WLANs.

Je nach Positionierung und Bauform tragen sie entscheidend zum Senden und Empfangen und somit letztendlich zur Datenübertragungsrate bei.

Ausgangspunkt für eine Antenne ist ein Schwingkreis (siehe a)
Öffnet man die Platten des Kondensators (siehe b) bleibt die Kapazität des elektrischen Feldes zwischen den beiden Drähten übrig. c)
Wird eine Seite mit der Erde verbunden erhält man eine einfache Dipol Antenne. d)

Im Röntgenbild ist eine Dipol-Stabantenne zu sehen. Rechts die Spule und links ein Draht als halbe Antenne. In vielen Geräten wird eine solche $\lambda/2$ -Dipol-Antenne eingebaut.

$$\lambda = c / f$$

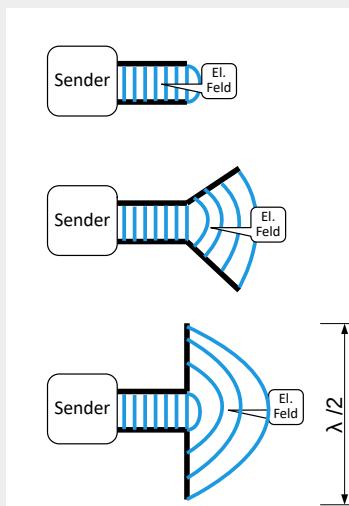
$$c = 299.792.458 \text{ m / s}$$

$$\lambda \text{ bei } 2,4\text{GHz} = 0,124913524\text{m}$$

$$\lambda \text{ bei } 5\text{GHz} = 0,059958492\text{m}$$

$$\lambda \text{ bei } 6\text{GHz} = 0,04996541\text{m}$$

Halbwellendipol



$$\text{Sendeleistung [dBm]} = 10 \log \left(\frac{\text{Senderleistung [mw]}}{1 \text{ mW}} \right)$$

Damit elektromagnetische Wellen abgestrahlt werden, muss die Antenne eine Länge von $\lambda/2$ aufweisen. Bei kleinen Geräten kommen $\lambda/4$ Antennen oder Patch-Antennen zum Einsatz.

$$\lambda/2 \text{ bei } 2,4\text{GHz} = 6,14\text{cm}$$

$$\lambda/2 \text{ bei } 5\text{GHz} = 2,75\text{cm}$$

$$\lambda/2 \text{ bei } 6\text{GHz} = 2,4982\text{cm}$$

Bei der Bewertung von Antennen geht man von einem idealen punktförmigen (isotropen) Strahler aus, von dem sich kugelförmig die Elektromagnetischen Wellen ausbreiten.

Nur eine ideale (isotrope) Antenne hat die kugelförmige Ausbreitungs-Charakteristik. In der Realität haben Antennen meist eine Vorzugsrichtung, in welcher die Strahlen gebündelt werden. Dabei spricht man von einem Antennengewinn, der in dBi angegeben wird. Das „i“ dient als Kennzeichnung gegenüber einem isotropen Strahler und weist den Antennengewinn aus.

Eine ideale isotrope Antenne mit omnidirekter Ausrichtung, hat einen Antennengewinn von 0 dBi.

● Antennenbauformen

Die in einem WLAN verwendete Antenne ist entscheidend für die Größe und Form einer Funkzelle verantwortlich. Es sind die verschiedensten Bauformen möglich.

Für die flächenförmige Abdeckung können folgende Antennen verwendet werden:

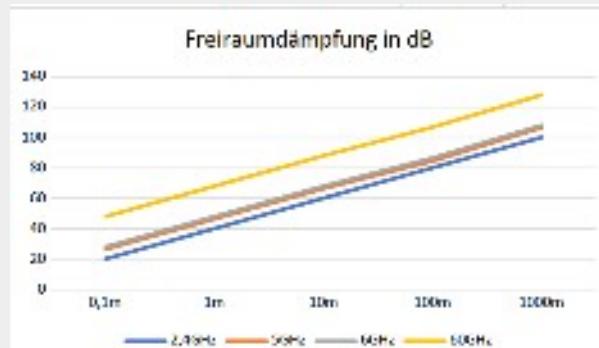
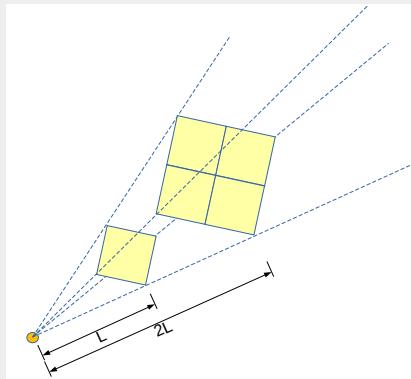
- ◆ Halbwellen-Dipole
- ◆ Dipol-Gruppen
- ◆ Patch-Antennen

● Richtantennen

Für eine gerichtete Verbindung (z. B. zwischen Gebäuden) im Freien werden folgende Antennen verwendet:

- ◆ Yagi-Uda-Antennen
- ◆ Parabol-Antennen

$$FSPL = (4 \pi d / \lambda)^2 = (4 \pi d f / c)^2$$



FSPL steht für Free Space Path Loss = Freiraumdämpfung

Da sich die Energie einer Antenne kugelförmig ausbreitet, nimmt sie mit Zunehmender Entfernung ab.

Mit einer Verdopplung des Radius einer Kugel nimmt die Fläche auf einer Kugeloberfläche um das vierfache zu.

Damit nimmt die Energie einer elektromagnetischen Welle, bei einer Verdopplung der Distanz, auf ein Viertel ab.

Die Linien der Freiraumdämpfung zeigen Geraden, jedoch ist die x-Achse logarithmisch!

Hier sieht man auch, dass 5GHz gegenüber 2,4GHz bei gleichen Bedingungen (Sendeleistung, Modulation ...) eine etwas geringere Reichweite, aufgrund der höheren Freiraumdämpfung, hat.

Das gilt, sinngemäß fortgeführt, auch für 6GHz. Dort ist die Freiraumdämpfung noch etwas größer. Das bedeutet, bei gleicher Sendeleistung, eine etwas geringere Reichweite.

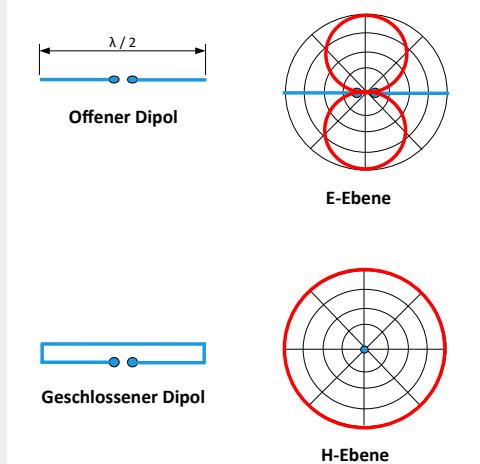
Distanz [m]	Freiraumdämpfung bei 2,4GHz [dB]	Freiraumdämpfung bei 5GHz [dB]
1	40,2	47,16
10	60,2	67,16
100	80,2	87,16
200	86,22	93,18
400	92,24	99,2
1000	100,2	107,16

Betrachtet man die Tabelle fällt auf, dass pro Dekade (1, 10, 100 , 1000) Die Freiraumdämpfung um 20 dB zunimmt.

Ebenso fällt auf, dass bei einer Distanzverdopplung (100, 200, 400) die Freiraumdämpfung um 6 dB zunimmt

Siehe hierzu auch die Logarithmus-Tabellen am Ende des Scripts.

Halbwellendipole



Halbwellendipole haben eine Länge die der halben Wellenlänge ($\lambda/2$) entspricht.

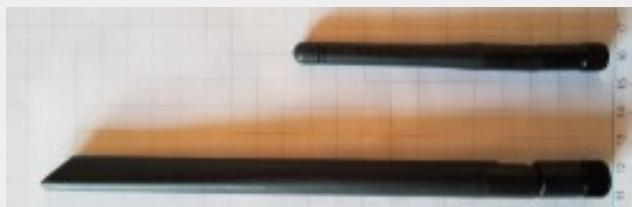
Sie haben einen „theoretischen Antennengewinn“ von 2,2 dBi.

Je nachdem, ob man das magnetische Feld (H-Ebene) oder das elektrische Feld (E-Ebene) betrachtet, ergibt sich eine andere Richtcharakteristik.

Der Leiter der Antenne „liegt“ in der E-Ebene.

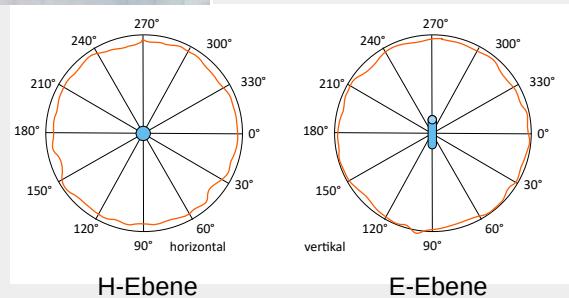
Der Leiter der Antenne „steht“ senkrecht auf der H-Ebene.

Stabantennen



Halbwellendipol

Dipollinie

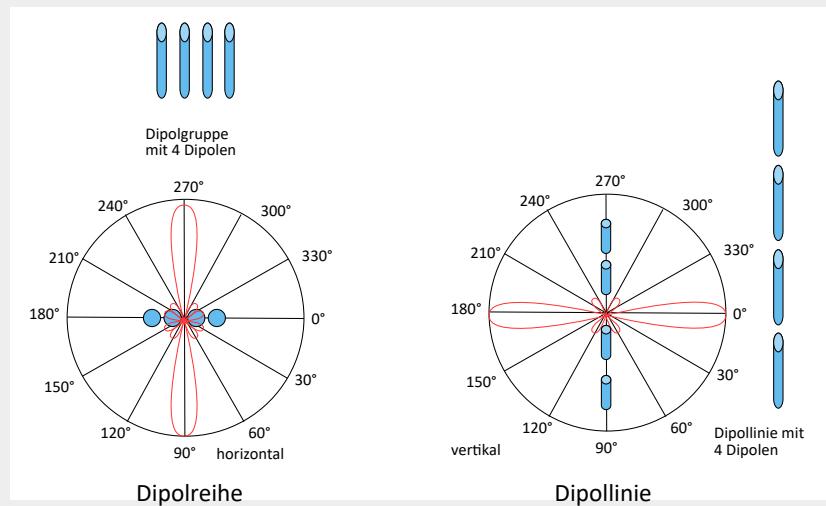


Im Strahlungsdiagramm sind die Sendeleistungsmesswerte nach Winkel abgebildet.

Ein einzelnen Dipol hat eine annähernd kugelförmige Richtcharakteristik. Es ist also eine Dipol-Antenne ohne Antennengewinn.

Das macht sie zur idealen Antenne mit Rundstrahlcharakteristik. Sie muss damit nicht ausgerichtet werden um eine optimale Daten-Übertragungsrate zu erzielen.

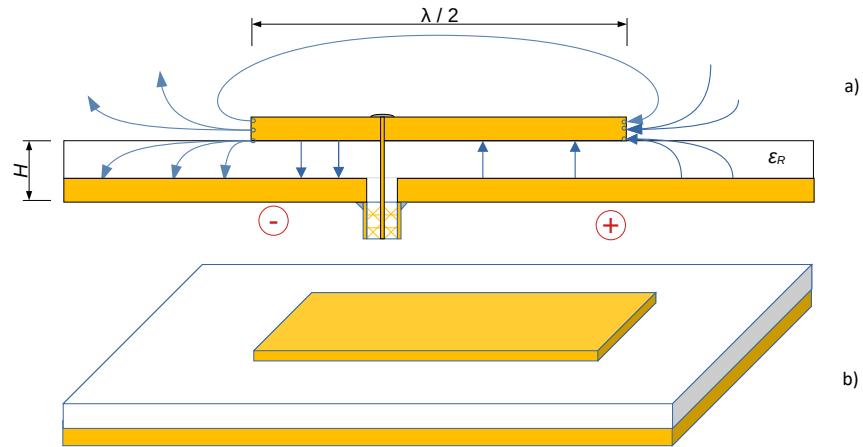
Dipolgruppen



Werden mehrere Dipole zusammengeschaltet kann je nach Platzierung und Abstand eine unterschiedliche Richtcharakteristik erzeugen.

Je nach Kombination können in der H- oder E-Ebene Antennengewinne generiert werden.

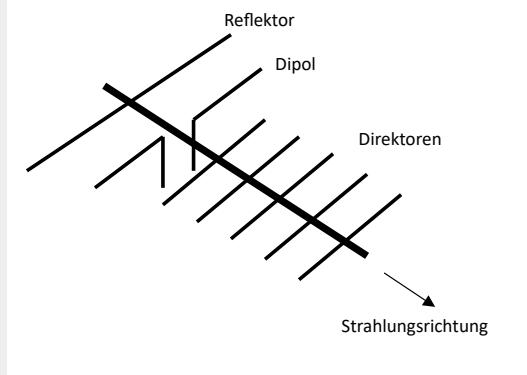
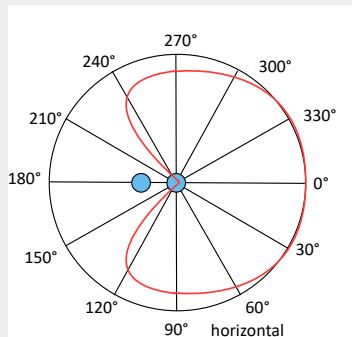
Patch-Antenne



Patch-Antennen bieten einen Antennengewinn von 4 bis 6 dBi und haben einen vertikalen und horizontalen Öffnungswinkel von 80° bis 65°.

Sie können zu einer Reichweitensteigerung von 100% beitragen.

Mit ihrer flachen Bauweise sind sie für die Wandmontage geeignet.



Verwendet man 2 Dipole im Abstand von $\lambda/4$ und speist sie mit einer Phasenverschiebung von 90° bekommt man eine Richtcharakteristik wie in Folie 12 auf der linken Seite. Eine solche Bauform hat eine einseitige Richtcharakteristik und wird **Reflektor-Antenne** genannt.

Bei einer Yagi-Uda-Antenne (siehe Folie 12 rechte Seite) treffen in Vorwärtsrichtung die Maxima des Erregers und der Direktoren aufeinander und verstärken sich.

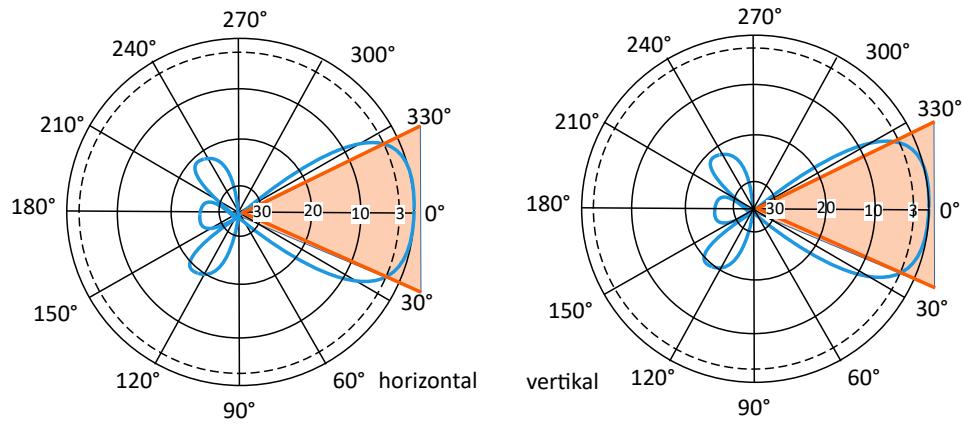
In Rückwärtsrichtung treffen die Maxima des Erregers und Minima des Reflektors aufeinander und löschen sich somit aus.

Hinter ist der Reflektor und vorne sind die Direktoren angebracht.

Das Vor Rück-Verhältnis (Forward-Backward-Ratio = FBR) lässt sich in db berechnen

$$FBR = 20 \log(r_{\text{Vor}} / r_{\text{Rück}})$$

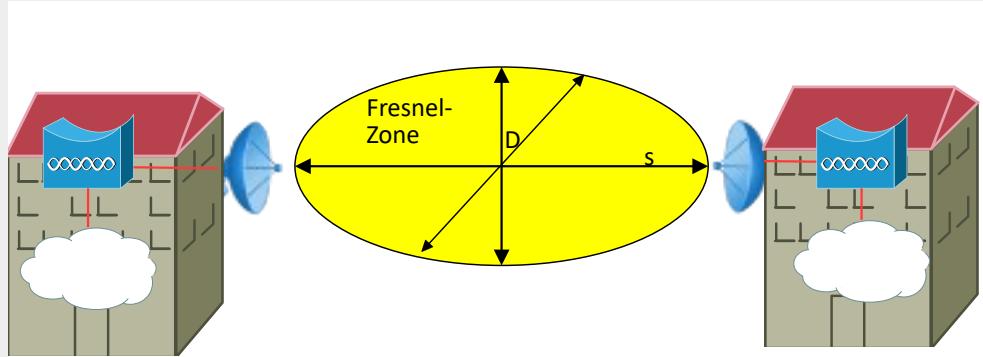
Öffnungswinkel / Halbwertsbreite



In den Richtungsdiagrammen wird die Sendeleistung auf 0dB normiert. Der Öffnungswinkel wird an der Stelle ermittelt an der die Sendeleistung auf die Hälfte (also -3dB) abgesunken ist.

Daher wird dieser Winkel als Halbwertsbreite oder Half Power Beam Width (HPBW) bezeichnet.

Fresnel-Zone



Bei der Betrachtung von WLANs im Freien muss die so genannte Fresnel-Zone betrachtet werden.

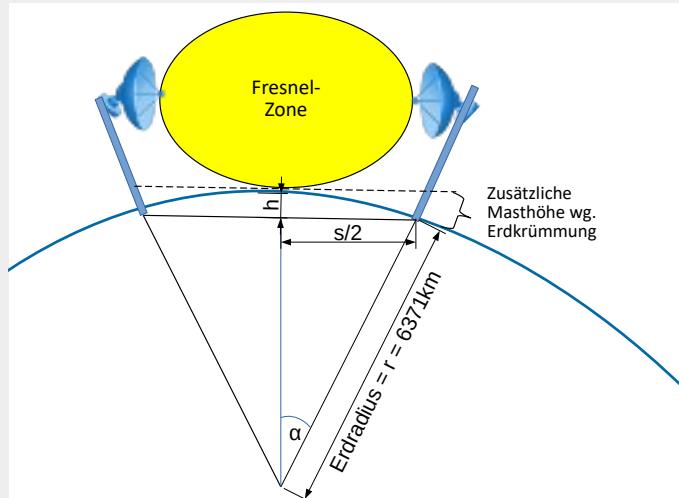
Dabei ist nicht nur die Line of Sight (LoS) zu betrachten sondern auch noch der Bereich darum herum in Form einer Ellipse.

Der Durchmesser der Ellipse berechnet sich aus :

$$D = \sqrt{s * \lambda}$$

Dieser Bereich muss frei bleiben. Ragen Bäume, Gebäude o.ä. in die Fresnel-Zone hinein, verringert sich die mögliche Distanz (s)

Bestimmung der Antennenhöhe



Bei größeren Distanzen ist zusätzlich zur Fresnel-Zone noch die Erdkrümmung zu berücksichtigen.

Das kann mit Sendemasten ausgeglichen werden.

Berechnungen

dBm	-3	0	3	7	10	13	15	17	20	30
mW	0,5	1	2	5	10	20	35	50	100	1000

Die Sendeleistung von Antennen wird auf 1mW normiert und in dB angegeben:
Damit bedeutet eine Sendeleistung von 35mW = 15dB

Die so genannte Leistungsflussdichte (S) berechnet sich aus:
$$S = P_s * G_s / (4 * \pi * d^2) = EIRP / (4 * \pi * d^2)$$
 (ohne dB)

Wobei:

P_s = Sendeleistung (wird vom Sender beeinflusst)
 G_s = Antennengewinn (wird von der Antenne beeinflusst)
 d = Kugeldurchmesser

EIRP = Equivalent Isotropically Radiated Power = $P_s + G_s$ (in dB)

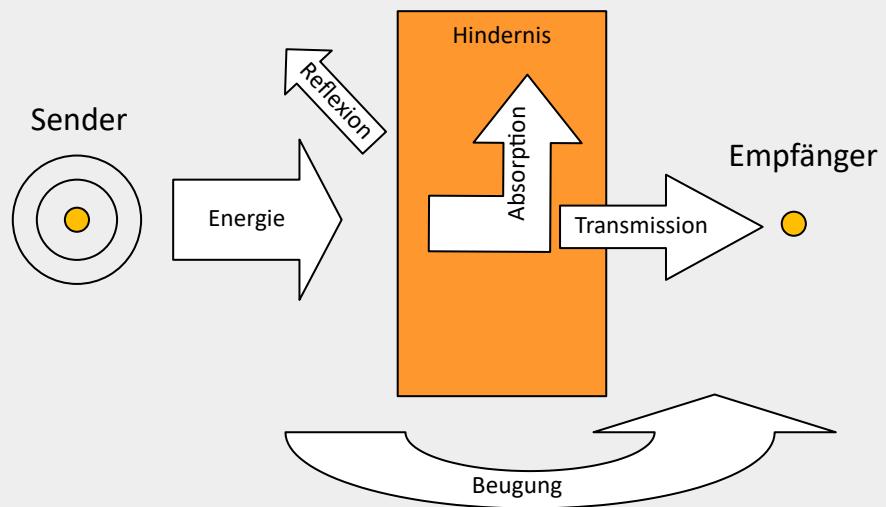
EIRP ist die maximale Sendeleistung, die zulässig ist.
Sie ist regional unterschiedlich!

Nationale Festlegungen nutzen die EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power), also die Sendeleistung unter Berücksichtigung der Antennenbauform.

Dafür wird die Sendeleistung des Senders mit dem Antennengewinn addiert.

$$\text{EIRP [dBm]} = \text{Sendeleistung [dBm]} + \text{Antennengewinn [dBi]}$$

Absorption / Beugung / Transmission / Reflexion von Funkwellen



Da sich Funkwellen wie Lichtwellen ausbreiten unterliegen sie auch den selben physikalischen Effekten wie Beugung, Reflexion, Absorption und Transmission

Zahlen aus der Praxis

Dämpfung von Baumaterialien

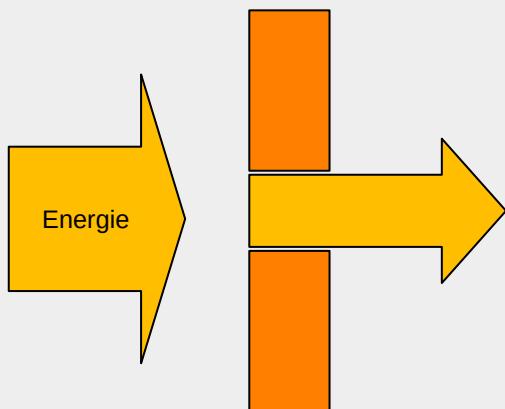
Material	Dimensionen	Dämpfung in dB		
		900MHz	2,4GHz	5GHz
Backstein (hohl)	89mm	3	5	15
Fensterglas	6 mm	1	1	1
Gipskarton	13mm	0	1	0
Holz	114mm	3	7	13
Sperrholz	13mm	0	1	0
Mauerstein Beton (hohl)	203mm	11	11	15
Beton (C8 Mischung)	203mm	27	35	56
Bewehrungsstahlgitter	19mmØ 79mm Raster	14	10	3
Stahlbeton (C8 Mischung)	19mmØ 79mm Raster	29	37	58

Schirmung von Materialien

Material	Dimensionen	Dämpfung in dB		
		940 MHz	2,4 GHz	5 GHz
Stahlgitter Verzinkt magnetisch	18,2*17,2mm 0,8mmØ	16	6	1
Stahlgitter Verzinkt magnetisch	12,4*12mm 0,8mmØ	20	9	7
Alu Fliegengitter	1,75*1,4mm 0,2mmØ	40	30	28
Stahl Fliegengitter Verzinkt magnetisch	1,35*1,35mm 0,2mmØ	45	37	38
Haushalts Alufolie	19mm 2 Bahnen gefalzt	54	>70	>70
Dampfsperre mit Alu-Partikeln		0	0	0
Windschutzscheiben Sonnenschutz (Luftpolsterfolie Alubeschichtet)		22	15	18
Rettungsdecke Alubedampft	10µm	43	40	36

In den Tabellen sind die Dämpfungswirkungen von Baumaterialien und die Schirmwirkung von entsprechenden Materialien aufgezeigt.

Dämpfungsrückgang durch Spalte



Spaltbreite [cm]	Dämpfungsrückgang [dB]		
	940MHz	2,4GHz	5GHz
0	54	>70	>70
1	38	34	34
3	30	30	32
10	14	21	23

Je nach verwendetem Material tritt durch Absorption eine Dämpfung ein.

Sobald jedoch im Material ein Spalt auftritt schwindet die Absorptionswirkung, entsprechend der Spaltgröße.

Faktoren, welche die Reichweite beeinflussen

Faktor	Auswirkung [positiv / negativ]	Einheit
Sendeleistung	positiv	dBm
Antennengewinn der Senderantenne	positiv	dB _i
Verlust in Antennenkabeln auf der Senderseite	negativ	dB
Verlust in Steckern auf der Senderseite	negativ	dB
Verlust in der Sendeausstattung	negativ	dB
Reguläre Dämpfung über die Funkstrecke	negativ	dB
Zusätzliche Dämpfung durch Hindernisse (z.B. Wände)	negativ	dB
Zusätzliche Dämpfung durch Störsignale	negativ	dB
Verlust in der Empfangsanlage	negativ	dB
Verlust in Steckern auf der Empfängerseite	negativ	dB
Verlust in Antennenkabeln auf der Empfängerseite	negativ	dB
Antennengewinn der Empfängerantenne	positiv	dB _i

Rechenbeispiel:

Sendeleistung: 50mW

Antennengewinn der Sendeantenne: 10dB_i

Antennengewinn der Empfangsantenne: 0dB_i

Antennenleitung sendeseitig: 1dB

Stecker sendeseitig: 2 * 0,5dB

Stecker empfangsseitig: 2 * 0,5dB

Antennenleitung empfangsseitig: 2dB

Freiraumdämpfung bei 10m: 60,2dB

2 Wände: 20dB

$$17\text{dbm} + 10\text{dB}_i - 1\text{dB} - 1\text{dB} - 2\text{dB} - 60,2\text{dB} - 20\text{dB} = 27\text{dB} - 85,2\text{dB} = -58,2\text{dB}$$

Die Empfängerempfindlichkeit muss besser (größer) als der errechnete Wert sein.

Inhalt

- Antennen
 - ◆ Halbwellendipol
 - ◆ Freiraumdämpfung
 - ◆ Antennenbauformen
 - Halbwellendipole
 - Stabantennen
 - Dipolgruppen
 - Patch-Antenne
 - Richtantennen
 - ◆ Öffnungswinkel / Halbwertsbreite
 - ◆ Fresnel-Zone (Bestimmung der Antennenhöhe)
 - ◆ Berechnungen
 - ◆ Reichweite