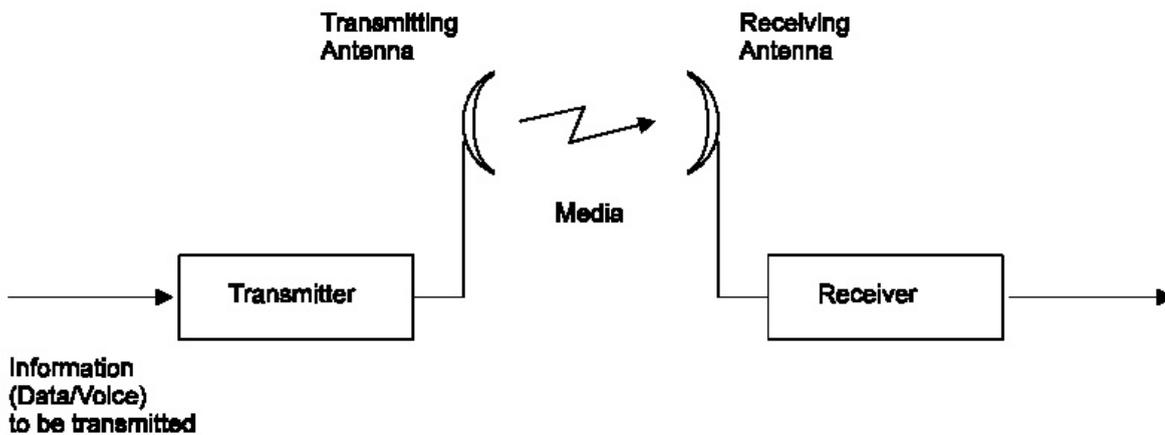


## 1.9.1 Funktechnik für Wireless LAN

Beschreibung von Antennen und Funk (RF Radio Frequency)



Grundsätzliches Diagramm von RF Übertragungssystemen:

Ein Funksystem überträgt Informationen zum Sender (Transmitter). Die Information wird durch die Antenne versendet, welche die Radio Frequenzen in elektromagnetische Wellen umwandelt. Das Übertragungsmedium (z. B. Luft) muss für elektromagnetische Wellen absolut frei sein.

Die elektromagnetischen Wellen werden von der Empfängerantenne wieder zurück in elektrische Signale gewandelt. Die besten Ergebnisse können erzielt werden, wenn die Sender- und die Empfangsantennen die selben Typen sind oder mindestens von selben Hersteller. Das Signal wird dann vom Empfänger ins original Signal demoduliert.

Zu den Berechnungen in dB siehe im entsprechenden Kapitel in den Unterlagen

### Der Wegverlust

Durch die Ausbreitung und die Molekulare Struktur der Luft werden elektromagnetische Wellen abgeschwächt, haben also eine Dämpfung die dB angegeben wird.

Die Dämpfung im Raum hat folgende Ursachen:

- Distanz zwischen Sender- und Empfangsantenne
- Sichtkontakt zwischen Sender- und Empfangsantenne
- Antennen Höhe
- Fresnel-Effekt, Verletzung dieser Eigenschaften, wird noch beschrieben)

Die Dämpfung von Elektromagnetischen Wellen im freien Luftraum können folgender massen berechnet werden:

$$\text{Verlust-im-freien-Raum} = 32.4 + 20 \times \text{Log}( F_{\text{MHz}} ) + 20 \times \text{Log}( R_{\text{km}} )$$

F ist die Sendefrequenz um MHz

R ist die Distanz zwischen der Sender- und der Empfangsantenne

Für 2.4GHz ergibt sich folgende Formel:  $x\text{dB} = 100 + 20 \times \text{Log}( R_{\text{km}} )$

### Antennen Charakteristik

Bei den Antennen haben wir nicht wie bei den Kabeln Dämpfungen sondern gewinne (engl. Gain). Wie ist das möglich? Wenn ich eine Referenzantenne Antenne frei im Raum aufhänge, so müsste diese gleichmässig im Raum wie eine Kugel um die Antenne abstrahlen. Meistens sind Antennen irgendwo montiert – wenn ich z.B. eine Antenne auf den Boden stelle so genügt es wenn sie wie eine Halbkugel die obere Hälfte des Raumes ausstrahlt. Das bedeutet 50% des Senderaumes entfällt – daraus folgt  $50\% = 3\text{dB}$ . Wenn also die Sendeleistung der unteren

Halbkugel nicht gebraucht wird und auch in der oberen Halbkugel gesendet wird, so haben wir in diesem Bereich die doppelte sende Abstrahlung.

Das bedeutet: Die Antenne macht nun einen Gewinn von 3dBi. Zu beachten ist noch, dass der dB Angabe bei Antenne für den Gewinn noch ein "i" angehängt wird also dBi.

Wenn das weiter getrieben wird, so kann ich das ganze Signal auch ausrichten wie ein Satelliten Transponder in Form eines Kegels. Also könnten wir auf die gesamte Leistung auf einen Öffnungswinkel von  $60^\circ$  horizontal und  $60^\circ$  vertikal konzentrieren. Wir erinnern uns an die Geometrie der Radius eines Kreises lässt sich 6 mal auf dem Umkreis abtragen, das bedeutet für die Kugel  $6^2=36$  Segmente.

→  $10 \times \text{Log}(36) = 15.5\text{dBi}$  Gewinn hat diese Antenne also.

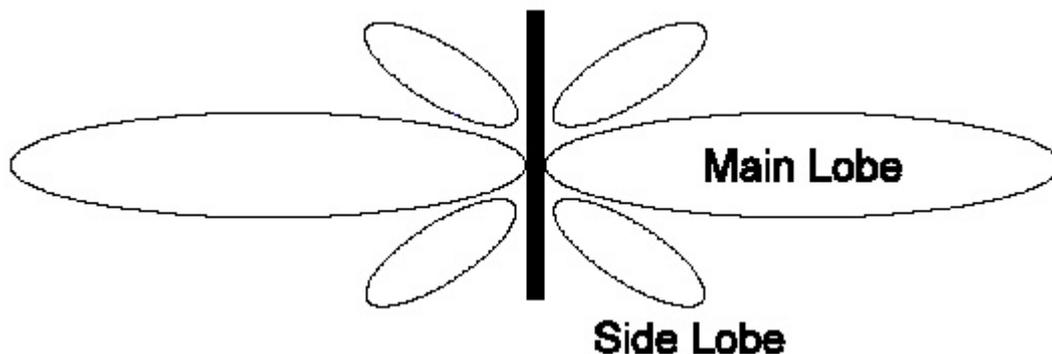
→ Mit  $6^\circ \times 6^\circ$  hätte man theoretisch  $10 \times \text{Log}(36 \times 100) = 35.5\text{dBi}$  Gewinn

Leider sind Antenne nie verlustfrei und 100% genau gerichtet!

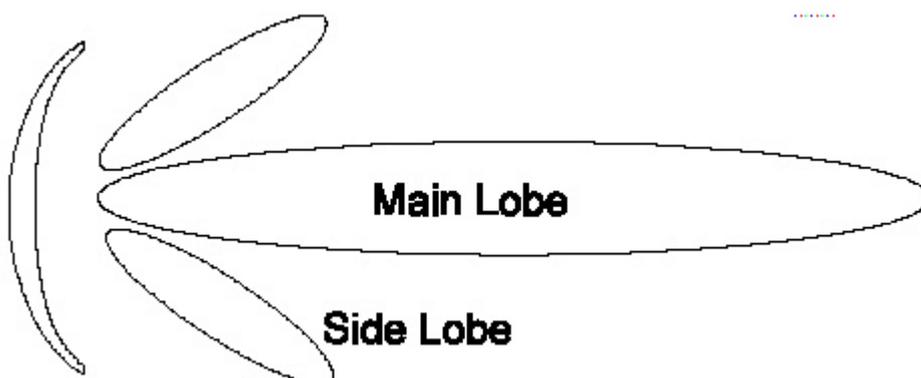
Nun ist auch klar, dass die maximale Sendeleistung durch das Bakom (Bundesamt für Kommunikation) nicht mit der Sendeleistung des Gerätes geregelt ist sondern mit der abgestrahlten Leistung nach der Antenne.

Das heisst beim 2.4GHz Frequenzband sind in der Schweiz 20dBm (100mW) abgestrahlte Sendeleistung zulässig! Dies wird im englischen als 20 dBm ERP angegeben. (ERP Emitted Radio Power)

Antennen haben auch noch auf der Seite zusätzliche Abstrahlungsgebiete (engl. Side Lobes). Eine Omni-Direktionale Stab-Antenne hat folgende Abstrahlungscharakteristik:



Die Abstrahlung von Unidirektionalen Antenne (Richtantennen) ist auch nicht exakt, es gibt ebenfalls Abstrahlungen und Side Lobes wie folgendes Bild zeigt:



Die Abstrahlungseigenschaften werden immer mit 3dB gemessen. D.h. die Position bei der nur noch die Hälfte des Signals vorliegt wird als Grenze des Lobes angesehen.

## Systemcharakteristiken (Sender und Empfänger)

Die Empfangsempfindlichkeit muss natürlich auch noch berücksichtigt werden. Was nützt es wenn die Empfangsantenne nicht genügend Signal zusammen bringt, dass es vom Empfänger detektiert werden kann.

Das wird als EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) angegeben. Das ist das Verhältnis von abgegebener Leistung an der Antenne im Verhältnis zur Sendeleistung am Ausgang des Senders abzüglich Kabel- und Stecker- Verluste plus Antennen Gewinn.

Berechnung der Leistung am Eingang des Empfängers:

$$S_i = P_{out} - C_t + G_t - P_l + G_r - C_r \quad \text{EIRP} = P_{out} - C_t + G_t$$

$P_{out}$	Ausgangsleistung des Senders in dBm
$C_t$	Verluste des Sender-Kabels in dB
$G_t$	Gewinn der Sendeantenne in dBi
$G_r$	Gewinn der Empfangsantenne in dBi
$P_l$	Verluste durch den Übertragungsraum in dB
$C_r$	Verluste des Empfänger-Kabels in dB
$S_i$	Leistung die beim Empfänger ankommt in dBm
$P_s$	Empfänger Empfindlichkeit in dBm

Ein Beispiel:

Frequenz:	2.4GHz
$P_{out}$ :	4 dBm (2.5mW)
Kabel:	( $C_t$ und $C_r$ ) = 10m Kabel Typ RG214 (0.6dB/meter) = 6dB
Antennen:	( $G_t$ und $G_r$ ) Sender und Empfänger zusammen 18dBi
Strecke:	Sichtverbindung 3km
Empfindlichkeit:	am Empfänger ( $P_s$ ) = -84dBm

$$\text{EIRP} = P_{out} - C_t + G_t = 4\text{dBm} - 6\text{dB} + 18\text{dBi} = 16\text{dBm}$$

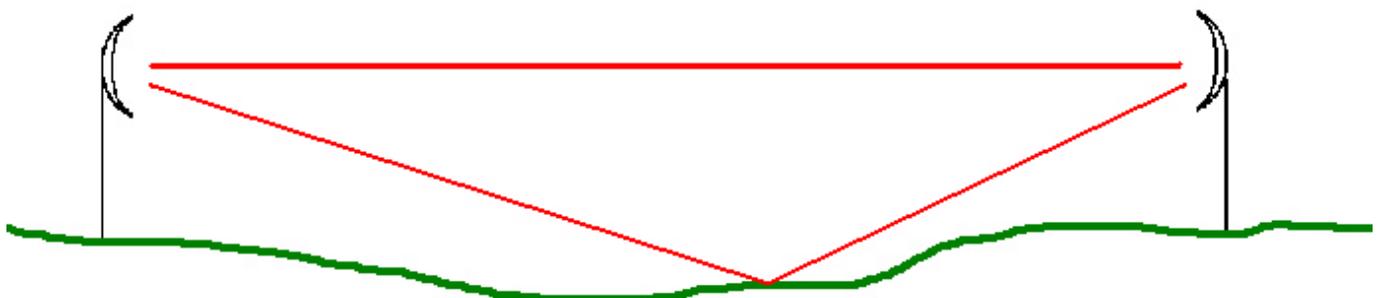
$$P_l = 32.4 + 20 \times \text{Log}(\text{FMHz}) + 2 \times \text{Log}(R\text{km}) = 32.4 + 20 \times \text{Log}(2.4\text{e}6) + 2 \times \text{Log}(3) = \text{ca. } 110\text{dB}$$

$$S_i = \text{EIRP} - P_l + G_r - C_r = 16\text{dBm} - 110\text{dB} + 18\text{dBi} - 6\text{dB} = -82\text{dBm}$$

Zu jedem Empfänger gibt es eine Tabelle die besagt, mit welchem Signal-Pegel noch welche Datenrate möglich ist. Wenn die maximale Empfindlichkeit des Empfängers bei -89dBm liegt ist auf jeden fall eine Verbindung möglich.

## Verzerrungen und Interferenzen

Interferenzen entstehen durch Verzögerungen, wenn verschieden lange Wege für das Funksignal möglich sind. Dies zum Beispiel Spiegelung am Boden oder an einem Gebäude, das das Signal auch wieder zur Antenne zurück bringen kann.



Die Zeitverzögerung durch den zweiten weg lässt sich leicht berechnen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Funkwellen ist nahezu Lichtgeschwindigkeit. Das sind dann 300'000km pro Sekunde.

Z.B. bei  $l_1=1000\text{m}$  Distanz des Haupt Pfades und  $l_g=10\text{m}$  hohen Gebäuden hätte der 2. Schwache Pfad  $l_2=l_1-2*\text{Sqr}((l_1/2)^2+(l_g)^2) = 1000-2*\text{Sqr}(500^2+10^2)=0.2\text{m}$

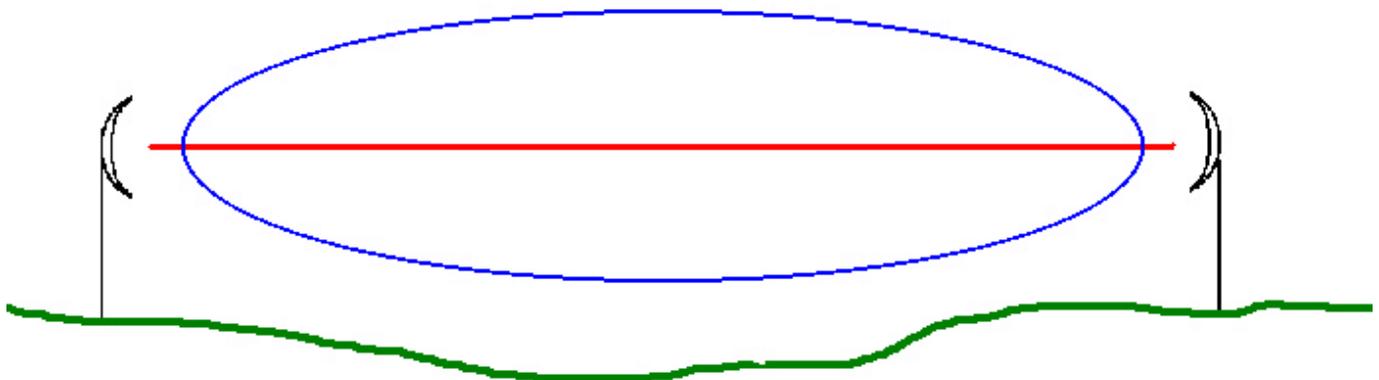
→  $t = 1/300'000'000\text{m/s}/0.2\text{m}=0.66\text{nS}$

(oder Verzögerung als Frequenz 1.5GHz das entspricht fast 2 Halbwellen des 2.4GHz Nutzsignals)

## Schlechte Sichtverbindung (Fresnel/Regen/Nebel)

Eine schlechte Sichtverbindung – das tön aber abstrus? Entweder die Sichtverbindung ist da oder nicht!?

Nicht so bei magnetischen Wellenübertragung, da gibt es einen sogenannten Fresnel Effekt. Das heisst um die Optische Sichtverbindung muss ein imaginärer Tunnel verfügbar sein. Es existiert also wie ein Rohr um die direkte optische Sichtverbindung zwischen den Antennen. Eine schlechte Sichtverbindung existiert, wenn dieses virtuelle Rohr durch irgend einen Gegenstand verletzt wird. Weiter ist zu bemerken, dass dieses Rohr (Fresnel Zone) im Durchmesser immer grösser wird je weiter die Antennen auseinander liegen.



Wenn nun ein Hausdach in diese Fresnel-Zone hinein ragt, so wird die Übertragung bedeutend gestört. Wenn 80% der Fresnel-Zone verfügbar ist, so wird keine relevante Dämpfung vorhanden auftreten.

Der Durchmesser dieser Fresnel-Zone (Rohr) berechnet sich folgender masen:

$$R = 0.5 * \text{Sqr}(\lambda \times D)$$

R = Radius der Fresnel-Zone

$\lambda$  = Wellenlänge =  $c / f$  (bei 2.4GHz =  $0.3\text{e}9\text{m/s} / 2.4\text{e}9\text{Hz} = 0.125\text{m} = 12.5\text{cm}$ )

D = Distanz zwischen den Antennen

Beispiel für 6km:  $R = 0.5 * \text{Sqr}(\lambda \times D) = 0.5 * \text{Sqr}(0.125 \times 6\text{e}3) = 13.7\text{m}$  (Durchmesser = 27m)

Ein Intensiver Regen dämpft das Funk-Signal ebenfalls:

z.B.: 150mm Regen pro Stunde dämpft bei 2.4GHz mit etwa 0.02dB/km

Auch der Wind kann die Übertragung verschlechtern, dies ist aber ein rein mechanisches Problem. Wenn die Antenne nur einen cm durch den Wind abgedrückt wird, so ist dies bereits mehr als 20% der Sinushalbwelle vom 2.4GHz Trägersignal!

Weitere Störungen, die die Reichweite reduzieren können sind fremde Sender im gleichen Frequenz spektrum. Entweder andere WLANs oder Mikrowellen Öfen oder der gleichen.

Zu beachten ist auch noch, dass die Abstrahlung von Antennen polarisiert ist. Bei Omni-direktionalen Antenne (Stab) ist ja alles gegeben. Bei Unidirektionalen Antennen kann ich auch beide Antennen um 90° Drehen. Also kann ich wenn Störungen von anderen Anlagen auftreten bei meinen Anlagen die Polarisation ändern. Dann ist das Frequenzband für diese Polarisation frei! (wie bei SAT Empfangsspiegel mit dem X und Y Eingang)

## Antennenbau

Bei Richtfunk Anlagen ist folgendes zu beachten:

- Masten Müssen so hoch sein, dass keine Menschen / Lastwagen das Signal stören
- Der Masten muss geerdet sein. Blitzschutz (man denke an das Ende des Ethernet Kabels)
- Das Koax Kabel muss mit einem Blitzschutz versehen sein (Gas entladungs Typ oder so)
- Die aktiven Komponenten sollten gut zugänglich sein (nicht bei der Antenne)
- Bei langen Kabeln müssen hochwertige Typen verwendet werden (Dämpfung)
- Alle Stecker müssen mit Fulkanisierband gegen Wasser geschützt sein
- Der Mast muss so stabil sein, dass auch bei 200km/h kein vibrieren entsteht!
- Eventuell müssen zwei Antennen verwendet werden für diversity (mehrfach Links)
- Stromversorgungen im freien sollten mit FI versehen sein
- Stromversorgung mit USV vor Schwankungen schützen