

# Antennen für Mikrowellen-Anwendungen

Antennen lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen, wie Anwendungsgebiet, Frequenzbereich und Ausführungsform. Unser Beitrag nimmt sich besonders diese drei wichtigen Aspekte etwas näher vor.



**Bild 2: Die PCB-Antenne Antu-PCB-Dip für 867 MHz misst nur 175 x 35 x 1,6 mm (ohne Kabelverbindung) und ist elektrisch verkürzt (induktiv) sowie mit Dachkapazitäten versehen, was den Platzbedarf minimiert. Anschluss über Kabel 30 cm mit MMCX-Stecker (Quelle: MeshedSystems)**



**Bild 1: PCB-Antenne Antu-Loop-20-MMCX-F für 867 MHz von MeshedSystems, Abmessungen 40 x 21 x 1,6 mm (4-mm-MMCX-Buchse)**

In der Entwicklung der Funktechnik ist es gelungen, sukzessive immer höhere Frequenzbereiche zu erobern. Schrittmacher und gleichzeitig Flaschenhals war und ist dabei die Halbleiterindustrie. Durch immer kleinere Strukturen gelang es, die parasitären Störgrößen zu minimieren und das Tor zu höheren Frequenzbereichen aufzustoßen.

Wenn auch heute Anwendungen im zweistelligen Gigahertz-Bereich Stand der Technik sind, so gibt es doch hierfür ganz verschiedene Typen von Antennen. Oft ist von Beginn an bekannt, welcher Typ von Antenne für die vorgegebene Aufgabe optimal ist, doch in manchen Fällen muss der Designer den besten Typ auswählen. Dieser Artikel gibt Hilfestellung.

## Welche Anwendung?

Mikrowellen-Anwendungen lassen sich z.B. nach der Reichweite einteilen. Eine hohe Reichweite wird mit terrestrischen Richtfunkverbindungen realisiert. Noch höher ist die Reichweite bei der Satellitenkommunikation (Navigation, Rundfunk).

Extrem hohe Reichweiten sind bei der Kommunikation mit Forschungs sonden im Weltraum erforderlich. Beim Zellularfunk, wie bei den Mobilfunksystemen GSM und LTE, kann man von einer mittleren Reichweite sprechen.

Für kleine Reichweiten (Short-Range) gibt es heute vielfältige Spielarten, wie drahtlose Sensornetze, Bluetooth, ISM, Personal Area Networks, WiFi oder WirelessHD. Weiter kann man Ultra-Short-Range-Technologien definieren, wie Near-Field Communication und RFID.

Die maximale HF-Leistung einer Sendeantenne, und der Gewinn von Sende- und Empfangsantenne begrenzen die mögliche Reichweite.

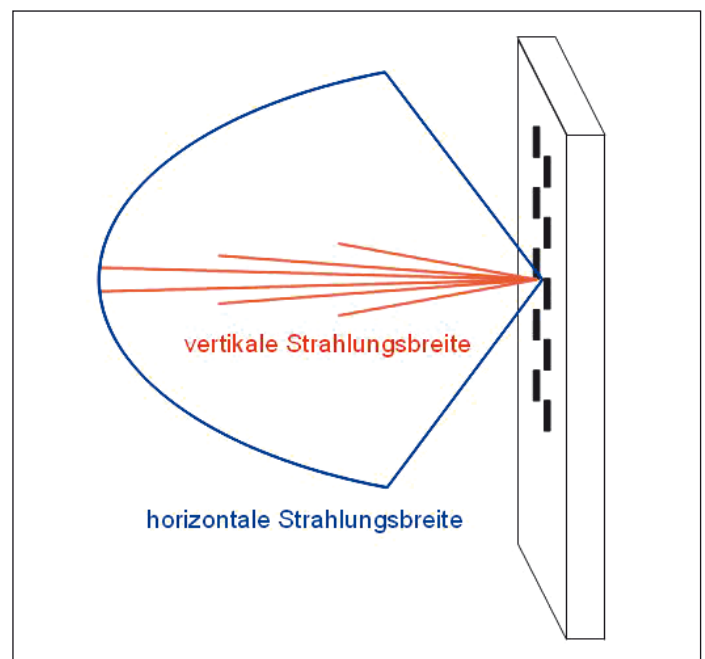
## Welche Frequenz?

Teilweise ist mit der Anwendung schon der Frequenzbereich vorgegeben, aber oft gibt es verschiedene Möglichkeiten. So stehen für ISM zwölf Bereiche zwischen 6,765 MHz und 246 GHz zur Verfügung. Ein markantes Beispiel für den Trend zu höheren Frequenzen innerhalb einer bestimmten Anwendung ist WiFi (klassisch 2,4 GHz, zukünftig mehr und mehr 5,6 GHz). Grundsätzlich gilt: Je höher die Frequenz, umso kleiner lässt sich die Antenne ausführen.

## Welche Ausführungsform?

Konkrete Anwendung und Einsatzort bestimmen die Basistechnologie der verwendeten Antenne. Heute trifft man bei den Mikrowellenantennen beispielsweise auf die folgenden Grundtypen:

- **Leiterplattenantennen**  
Sie lassen sich einfach und kostengünstig herstellen und eignen sich am besten für Frequenzen über einigen 100 MHz. Es bestehen praktisch keine Anforderungen an die Bauhöhe.



**Bild 3: Typische Abstrahlung einer Schlitzantenne (Quelle: Brennpunkt SRL)**

Verfahren	Aufgabe	Frequenz	Reichweite	Leistung
ANT	persönliche Sensornetze	2,4 GHz	ungefähr 1 m	ultra-low power
Bluetooth	Heimnetz	2,4 GHz	bei 10 m	1, 2,5 oder 100 mW
Bluetooth Low Energy	Heimnetz	2,4 GHz	wenige Meter	extrem gering
Near-Field Communication	sichere Zahlungen	13,56 MHz	typisch 5 cm	sehr gering
Short-Range Devices	Funkkommunikation	863...870 MHz	wenige Kilometer	gering
Radio Frequency Identification	Identifikation von Waren/Lebewesen	13,56 MHz	einige Millimetern bis 10 m	gering/passiv
Ultra Wideband	Highspeed-Heimnetz	3,1...10,6 GHz	10...50 m	0,5 mW HF
Wibree	universeller Datenaustausch	2,4 GHz	bei 10 m	sehr gering
WiFi/WLAN	Internet	2,4/5,8 GHz	ungefähr 50 m	gering
WiGig (Wireless Gigabit)	HDTV-Signalübertragung	61 GHz	bis 10 m	sehr gering
Wireless HART	Datenübertragung im Industriebereich	2,4 GHz	ca. 50 m	gering
WirelessHD	Heim-Datenübertragung	z.B. 61 GHz	bis 10 m	sehr gering
WirelessUSB	Human Interface Devices	2,4 GHz	wenige Meter	ultra-low power
Wireless USB	USB-Interface	2,4 GHz	wenige Meter	gering
Zigbee	Sensoren, IoT	2,4 GHz bzw. 868/915 MHz	10...75 m	extrem gering
Z-Wave	Haus- und Gebäudeautomation	z.B. 908,42 MHz	um 30 m	1 mW HF

## (Ultra-)Short-Range-Funkanwendungen

Die Richtwirkung ist normalerweise gering. Neben Ausführungen für den Kurzwellenbereich mit mehreren gedruckten Windungen am Rand einer relativ großen Platine kennt man vor allem die einfache Schleife (Bild 1) und den verkürzten Dipol (Bild 2). Der Anschluss kann über Kabel/Stecker oder

eine Streifenleitung direkt auf der Platine erfolgen.

- **Schlitzantennen (Slot-Antennen)**

Eine solche Antenne erkennt man an ihren Schlitzen im Metallkörper. Bei elektrischer Anregung entwickelt sie ein Feld, das vergleichbar ist mit

dem einer Dipolantenne (Bild 3). Allerdings sind E- und H-Felder vertauscht. Slot-Antennen lassen sich gut durch Metallgehäuse schützen. Es ergibt sich dann eine ausgeprägte Vorzugsrichtung. Die Schlitzantenne folgt einem ungewöhnlichen Prinzip: Gewöhnlich werden Antennen so konstruiert, dass eine durchgehende metallische Struktur die Wellen abstrahlt, beim Schlitzstrahler sorgt hingegen eine Unterbrechung einer metallischen Struktur für die Abstrahlung. Oft entspricht diese Unterbrechung dem Prinzip des Dipols, kann aber auch theoretisch jede andere Geometrie besitzen. Bild 4 zeigt eine WLAN-Hohlleiter-Schlitzantenne. Die Strahlungswinkel sind 150° (um lange Achse) und 6°; der Gewinn wird mit 18 dBi angegeben. Die Größe beträgt immerhin 900 x 100 x 50 mm.



**Bild 4: WLAN-Hohlleiter-Sektorantenne mit acht Schlitzen für 2,45 GHz (Quelle: Brennpunkt SRL)**

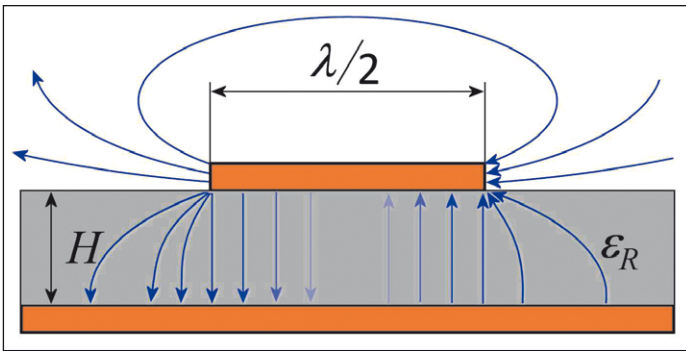
Sie hat eine flächenförmige Geometrie. Im einfachsten Fall wirkt die Metallfläche als Resonator, ähnlich wie bei einer Dipolantenne (Bild 5). Eine Patch-Antenne wird durch Anbringen eines Metallblechs auf einem isolierenden dielektrischen Substrat, zum Beispiel von einer Leiterplatte, mit einer durchgehenden Metallschicht auf der entgegengesetzten Seite des Substrats, die mit Masse verbunden

Frequenzbereich	Typ	Bemerkung
6,765...6,795 MHz	A	SRD
13,553...13,567 MHz	B	SRD
26,957...27,283 MHz	B	SRD
40,66...40,70 MHz	B	SRD
433,05...434,79 MHz	A	SRD, nur Region 1
902...928 MHz	B	nur Region 2
2,4...2,5 GHz	B	-
5,725...5,875 GHz	B	-
24...24,25 GHz	B	-
61...61,5 GHz	A	-
122...123 GHz	A	-
244...246 GHz	A	-

Typ A: Anwendungen bedürfen einer Genehmigung der jeweils regionalen Autoritäten.

Typ B: Einzelne Länder weisen daneben auch noch weitere Bereiche aus. So sind in der BRD z.B. auch 149,995...150,005 MHz freigegeben

## ISM-Bänder (Industrial, Scientific and Medical)



**Bild 5: Grundaufbau einer Patch-Antenne (Quelle: Christian Wolff, radartutorial.eu)**

ist, hergestellt. Daher sind Patch-Antennen einfach zu entwerfen und kostengünstig herzustellen, vom UHF-Band bis hoch zu 100 GHz. Häufig werden quadratische (Bild 6) oder rechteckige Formen genutzt, aber auch runde oder elliptische Formen sind möglich. Patch-Antennen können für alle Polarisationsarten gebaut werden.

Es gibt darüber hinaus viele weitere Arten von Antennen für Mikrowellen. Es sind auch

Kombinationen aus verschiedenen Typen möglich.

### Weitere Kriterien

Neben der Richtwirkung beeinflussen mehrere weitere Punkte die Antennenauswahl. Dazu gehört der Preis. So sind Patch-Antennen, was der Name (Flickchen, Flickwerk) nicht unbedingt vermuten lässt, manchmal verhältnismäßig teuer. Antennen werden mehr oder weniger von leitenden Objekten in ihrer Richtwirkung sowie Impedanz



**Bild 6: Die Patch-Antenne Aomway 5.8 GHz CP hat 14 dBi Gewinn und misst 86 x 86 mm**

beeinflusst. Falls man das nicht beachtet, weichen die konkret gebotenen Eigenschaften der Antenne von den im Datenblatt genannten Werten ab.

Man muss also alle relevanten Anforderungen definieren. Um die richtige Antenne für eine bestimmte Anwendung zu finden, benötigt man folgende Informationen:

- Frequenz(bereich)
- verfügbarer Bauraum
- Objekte im Nahfeld der Antenne (Entfernung bis zwei Wellenlängen)
- Nennimpedanz

- gewünschte Abstrahlcharakteristik (möglichst in 3D)
- Polarisierung (horizontal, vertikal, zirkular)
- mechanische Einflüsse (Schock, Vibration, Wasser, Staub)

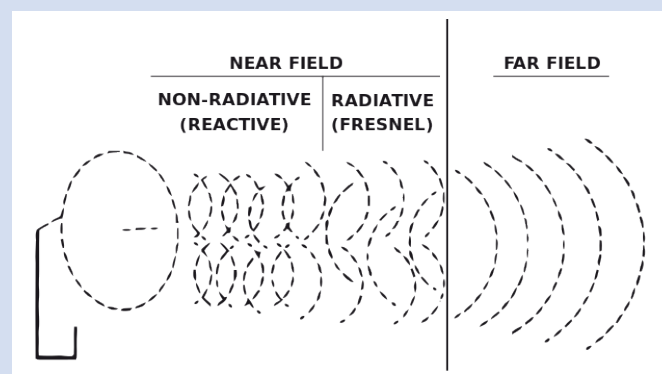
Basierend auf solchen definierten Anforderungen kann eine fertige Antenne ausgewählt oder aber eine Antenne von einem Entwickler konstruiert werden. Simulationsprogramme erlauben den Test der Antennenstruktur am Computer unter Vorgabe diverser Nebenbedingungen. Diese Programme sind sehr hilfreich und ihre Ergebnisse oft erstaunlich präzise. Physikalisch lässt sich eine Antenne im Freifeld, in einem Absorberraum oder unter realen Betriebsbedingungen z.B. mit einem Vektornetzwerkanalysator testen. Wichtig ist es jedoch immer, die Abstrahlcharakteristik zu vermessen, grob veranschlagt durch den Antennengewinn und vollständig dargestellt durch eine 3D-Simulation.

**FS**

## Nah-, Übergangs- und Fernfeld

Die Begriffe Nahfeld und Fernfeld beschreiben in der Antennentechnik unterschiedliche Raumgebiete, welche strahlende Antennensysteme umgeben. Diese Gebiete werden durch das Verhältnis von elektrischer zu magnetischer Energie pro Volumeneinheit gekennzeichnet.

Dieses Verhältnis äußert sich im Wellenwiderstand des entsprechenden Raumes. Sind elektrische und magnetische Komponente gleich verteilt, beträgt dieser 377 Ohm. Das Nahfeld reicht ein bis zwei Wellenlängen weit. Daran anschließend folgt das Übergangsfeld, auch als Fresnel-Region oder als strahlendes Nahfeld bezeichnet. Der Beginn des Fernfelds, auch Fraunhofer-Region genannt, richtet sich nach dem Verhältnis der mechanischen Ausdeh-



nung der strahlenden Antennenkomponente zur Wellenlänge. Er liegt oft bei drei bis fünf Wellenlängen.

Dies ist der Bereich, in welchem sich die elektromagnetische Welle unabhängig von der Antenne als ebene Welle im Raum ausbreitet. Elektrische und magnetische Komponenten haben die gleiche Energie, sodass sich ein Wellenwider-

stand von 377 Ohm errechnen lässt. Die Grenzen zwischen den einzelnen Regionen sind fließend und in der Literatur nicht einheitlich festgelegt. Eine Herausforderung für jedes System bei der Simulation von Antennen ist normalerweise die Kombination von Nahfeld und Fernfeld. Das Nahfeld erfordert einen sehr detaillierten Blick auf kleine Objekte und auf sich schnell ändernde Felder. Auf

der anderen Seite erfordert das Fernfeld die Berechnung der Felder an Orten, die weit (mindestens mehrere Wellenlängen) von der Antenne entfernt sind und an denen normalerweise keine weiteren Objekte vorhanden sind. Beispielsweise behandelt das Simulationsprogramm Felicitas FieldSolver 3D diese Herausforderung u.a. durch eine Nah- zu Fernfeld-Transformation: Ein kubisches Volumen wird erstellt, das die komplette Antenne beinhaltet. Aus dem Feld auf der Oberfläche dieses Volumens wird das Fernfeld berechnet und in 3D visualisiert. Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, dass das Simulationsvolumen vergleichsweise klein ist und somit mit einer hohen Auflösung simuliert werden kann.

*Bildquelle: Goran M. Djuknic, Wikipedia*