

Miniatur-Antennen für GPS und WLAN

Antennen haben typischerweise Dimensionen, die der halben Wellenlänge der zu empfangenden Signale entsprechen. Bei GPS und WLAN wären dies also 10 und 6 Zentimeter. Solche Antennen fänden weder in Handys und schon gar nicht in steckbaren WLAN-Adapttern Platz. Patch-Antennen als Hohlraumresonatoren können jedoch im Millimeter-Format gebaut und in elektronische Leiterplatten integriert werden.

Die Orgel als Sendeantenne für Schall

Bei einer Kirchenorgel ist jede einzelne Pfeife ein Hohlraumresonator. Ihre Länge bestimmt die Frequenz f (Tonhöhe) des entsprechenden Tones und muss etwa die halbe Wellenlänge betragen, also $c_L/2f$. Dabei ist c_L die Schallgeschwindigkeit in Luft, die praktisch nicht verändert werden kann.

Wir nehmen als Beispiel den Kammerton a' mit $f = 440$ Hertz. Unter normalen Bedingungen beträgt $c_L = 343$ m/s, woraus sich eine halbe Wellenlänge von $343/880 = 0,39$ m ergibt. Die entsprechende Pfeife muss noch etwas kleiner sein, da sich der Bauch der stehenden Schallwelle $5/3$ Pfeifendurchmesser über dem Pfeifenende befindet (vgl. Abb. 1). Aus diesem Beispiel ist ersichtlich,

dass Orgeln in der Praxis nicht verkleinert werden können.

Theoretisch wäre dies aber trotzdem machbar, indem das Betriebsmedium Luft durch ein Gas bestehend aus schwereren Molekülen ersetzt würde. In Schwefelhexafluorid (SF_6) ist die Schallgeschwindigkeit nur 129 m/s und die halbe Wellenlänge für den Kammerton würde auf 15 cm schrumpfen. Durch den Austausch des Mediums im Hohlraum wäre es also möglich, eine Miniaturorgel zu bauen.

Radio- und Fernsehantennen

Die obigen Überlegungen gelten auch im Zusammenhang mit Sende- oder Empfangsantennen für elektromagnetische Wellen. Als Ausbreitungsgeschwindigkeit muss nun jedoch die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit $c_0 = 300\,000$ km/s eingesetzt werden. Die bekanntesten Antennen sind, analog wie die Orgelpfeifen, so gross wie die halben Wellenlängen $c_0/2f$.

Für den UKW-Bereich (UKW = Ultra Kurz Welle) um 100 MHz ergeben sich damit typische Dimensionen um 1,5 m. Im UHF-Bereich (UHF = Ultra Hoch Frequenz) mit Frequenzen zwischen 0,3 und 1 GHz betragen die halben Wellenlängen nur noch zwischen 50 und 15 cm, wie die häufig verwendeten Yagi-Antennen zeigen (vgl. Abb. 2).

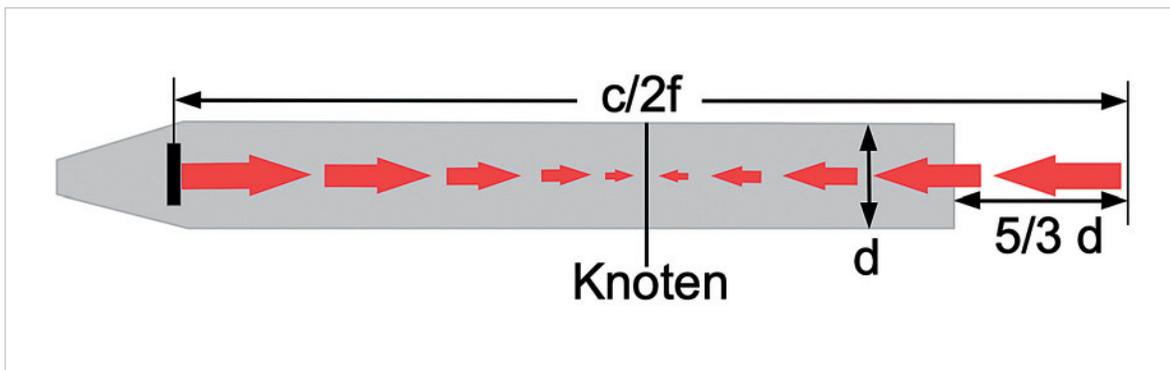


Abb. 1: Skizze der Grundschiwingung des Luft-Geschwindigkeitsfeldes in einer Orgelpfeife. Die roten Pfeile zeigen die maximale Stärke des oszillierenden Feldes. Die Schallrichtung und die Luftbewegungen sind parallel: Es ist eine longitudinale stehende Welle. Die Skizze gilt für den Moment des maximalen Druckes im Knoten. Nach einer halben Periode sind alle Pfeile umgekehrt und der Druck im Knoten ist minimal. (Bild: Fritz Gassmann)

10 FORSCHUNG – PHYSIK IM ALLTAG



Abb-2: Typische Yagi Fernseh-Antenne für den UHF Bereich mit guter Richtwirkung. Die Längen der 22 Antennenstäbe sind auf etwa die halbe Wellenlänge abgestimmt. (Bild: Tennen-Gas, CC BY-SA 3.0)

GPS Patch-Antennen

Für hohe Frequenzen können Hohlraumresonatoren als Antennen verwendet werden. Analog wie am theoretischen Beispiel der mit Schwefelhexafluorid betriebenen Miniorgel erklärt, kann die Dimension eines Hohlraumresonators für elektromagnetische Wellen verkleinert werden, indem man den Hohlraum mit einem gut isolierenden Material mit einer grossen Dielektrizitätskonstanten ϵ füllt.

Allgemein hängt ϵ vom Material, von der Frequenz und der Temperatur ab und liegt meistens unterhalb von 10. Es gibt jedoch wichtige Ausnahmen: Für Wasser liegt sie um 80 und für Bariumtitanat kann sie bis 10 000 erreichen. Es ist demnach verständlich, dass Materialien mit $\epsilon = 121$

hergestellt werden können.

Da sich die Wellen-Ausbreitungsgeschwindigkeit innerhalb isolierender Materialien um die Wurzel aus ϵ verringert, schrumpft die halbe Wellenlänge bei 1,5 GHz auf $10 \text{ cm} / 11 = 9 \text{ mm}$.

Abb. 3 zeigt die Patch-Antenne in einem GPS Gerät für den Einsatz im Auto. Sie besteht aus einem quadratischen Silberplättchen mit 9 mm Kantenlänge, das auf einem violetten 3 mm dicken Block eines Materials mit $\epsilon = 121$ geklebt wurde. Dieser Block sitzt auf der Aluminium-Bodenplatte, die Nullpotenzial hat (Minuspole der Batterie). Da der violette Block das Antennenplättchen allseitig überragt, bewegt sich das elektromagnetische Feld im Resonatorraum zwischen Antennenplättchen und Bodenplatte vollständig im violetten

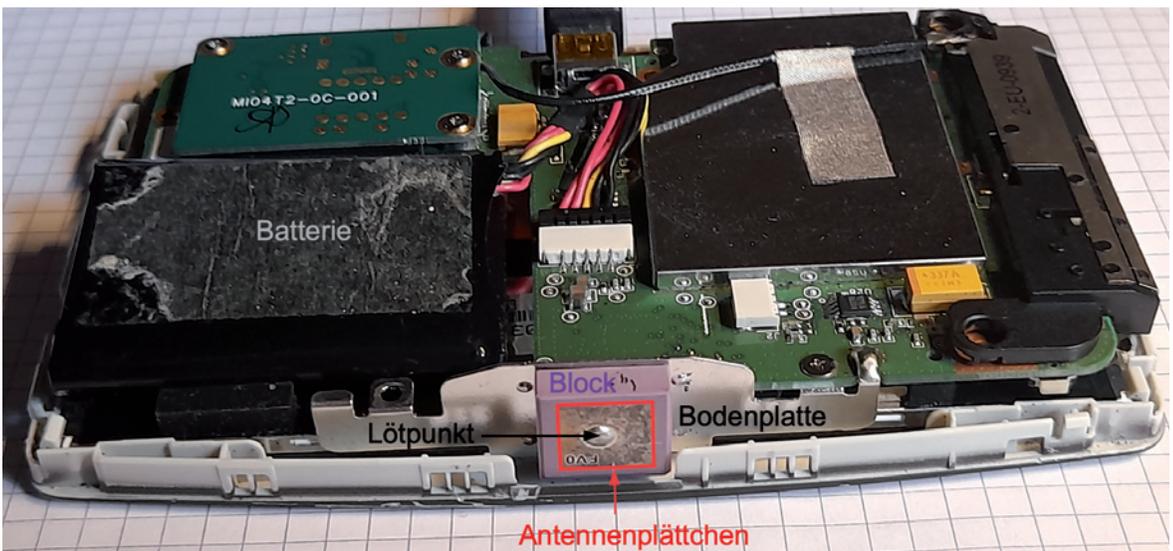


Abb. 3: Innenansicht eines GPS-Gerätes, das auf seiner Touch-Panel Vorderseite auf 4mm-Raster liegt. Das versilberte Antennenplättchen ist teilweise oxidiert. Erklärungen im Text. (Bild: Fritz Gassmann)

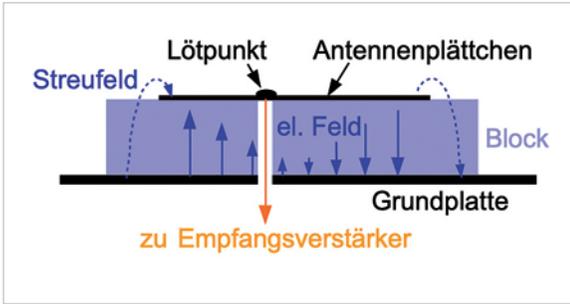


Abb. 4: Skizze der Grundschiwingung des elektrischen Feldes im mit Material gefüllten Hohlraum (Block). Die Länge der Pfeile zeigt die maximale Stärke des oszillierenden Feldes. Man vergleiche diese transversale stehende Welle mit der longitudinalen in Abb. 1. (Bild: F. Gassmann)



Abb. 5: WLAN-Erweiterung mit USB-Anschluss für Gerät ohne eingebautes WLAN. (Bild F. Gassmann)

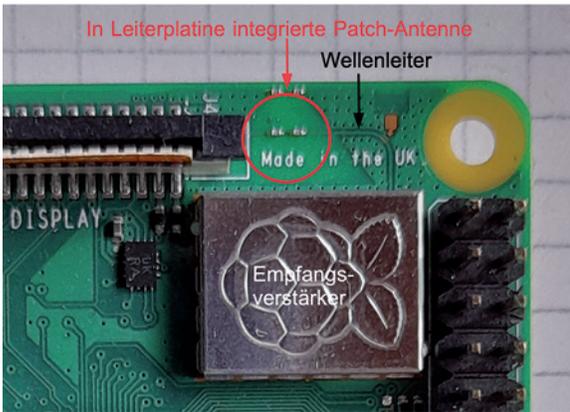


Abb. 6: Im Mini-Einplatinencomputer Raspberry Pi 3 eingebaute WLAN-Antenne. Abgebildet ist eine Ecke der 53 mm x 86 mm grossen Platine auf einem 4 mm Raster liegend, in der sich der Empfangsverstärker befindet. Sichtbar ist auch der Wellenleiter als Verbindung zur Patch-Antenne mit den typischen Lötspunkten nahe des Zentrums der Antenne. Die Antennengeometrie ist aus der Abbildung nicht ersichtlich. (Bild: F. Gassmann)

Material. Die Streufelder an den Rändern erlauben die Ankopplung an die schwachen externen Satellitensignale (vgl. VJS 1|2022, S.8-11).

Für die Grundschiwingung, die ähnlich aussieht wie diejenige der Orgelpfeife, hat es auch hier einen Knotenpunkt im Zentrum des Antennenplättchens, wo keine Spannung abgegriffen werden kann (Abb. 4).

Ganz am Rand ist ein Abgriff der Spannung ebenfalls ungünstig, weil dort der Resonator zu stark gedämpft würde. Meist wird deshalb der durch die Lötstelle gut sichtbare Abgriffpunkt bei etwa 40 Prozent der Mittellinie gewählt. Der angelötete Draht ist senkrecht zum Antennenplättchen durch Block und Bodenplatte hindurchgeführt und mit dem Hochfrequenz-Empfangsverstärker verbunden.

WLAN-Antennen

Für die beiden WLAN-Bereiche um 2,5 und 5 GHz werden die benötigten Antennendimensionen mit derselben Technik wie bei GPS-Antennen noch einmal kleiner und erreichen nur noch eine Grösse von wenigen Millimetern. Sie können deshalb problemlos in kleinen Geräten wie Uhren oder WLAN-Anschlüssen an USB-Steckern (vgl. Abb. 5) untergebracht werden.

Teilweise sind die Antennen so gut in die Leiterplatte der Geräte integriert, dass man sie von Auge gar nicht mehr sieht, selbst wenn ihr Ort genau bekannt ist. Abb. 6 zeigt ein typisches Beispiel einer gut versteckten Antenne.

Fritz Gassmann