

Neues aus der Fachgruppe Radioastronomie (Juli 2023)

Aufbau und Merkmale von leistungsfähigen Parabolantennensystemen

von Thomas Freina

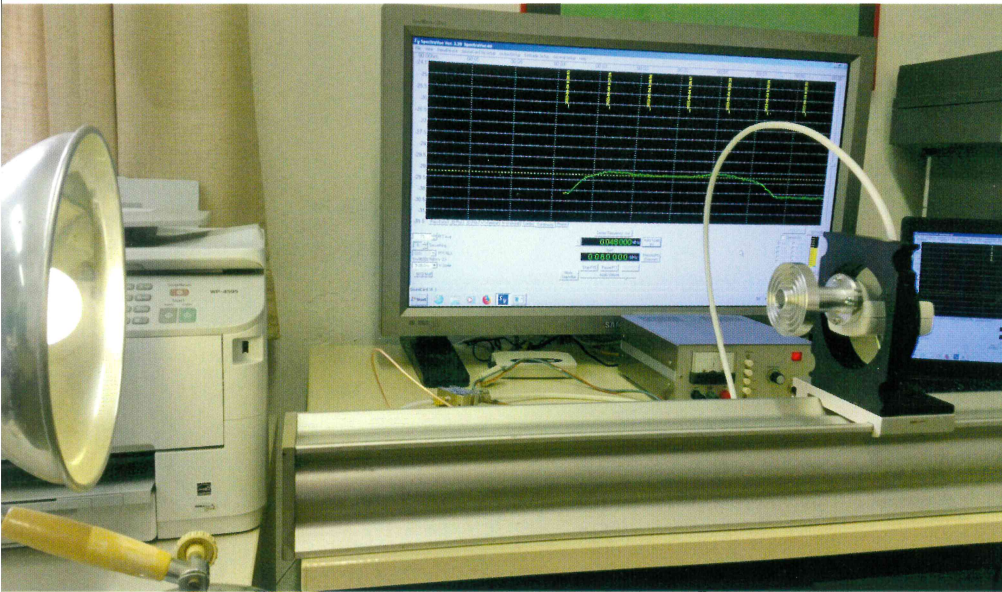
Genauso wie bei optischen Systemen will man bei Radioteleskopen durch einen idealen Aufbau ein Optimum an Effizienz bezüglich der empfangenen Signale erreichen. Dabei spielt in beiden Fällen der präzise mechanische Aufbau der Systeme eine entscheidende Rolle.

Um bei einem optischen Teleskop ein scharfes Bild zu erhalten, muss das gesamte System ordentlich fokussiert werden. Das-

selbe gilt prinzipiell auch für ein Radioteleskop. Im Unterschied zum optischen Teleskop erzeugt ein Radioteleskop allerdings kein Bild, welches man betrachten und so seine Qualität beurteilen kann. Besteht ein Radioteleskop zum Beispiel aus einem Parabolreflektor und einem Wellensensor in Form eines so genannten LNBs (Low Noise Block), welcher vor dem Reflektor angeordnet ist, spielt der Abstand zum Reflektor eine entscheidende Rolle bei der Emp-

fangsqualität des Gesamtsystems. Um nun den idealen Ort für ein LNB vor einem Reflektor zu ermitteln, müssen einige technische und physikalische Eigenschaften von Parabolantennen geklärt und in Betracht gezogen werden.

Antennen mit Parabolreflektoren sind wichtige Komponenten in der Kommunikation und der Radioastronomie. Sie bündeln elektromagnetische Wellen sehr effi-



1 Einfacher Versuchsaufbau zur Ermittlung des optimalen Abstandes des Reflektors von der Parabolantenne. Bild: Thomas Freina

zient. Parabolantennen gibt es in verschiedenen Größen und Formen. Angefangen von TV-SAT-Antennen mit einem Durchmesser von 40, 60 oder 80 Zentimetern über größere Richtfunkantennen zwischen 1 und 3 Metern bis hin zu den großen Antennen auf den Satellitenbodenstationen, wie man sie bei Fuchsstadt oder bei Usingen und auch in Raisting weithin sehen kann. Die größte Parabolantenne in Deutschland mit 100 Meter Durchmesser steht in der Eifel bei Effelsberg. Sie dient der Radioastronomie und ist Teil des Event-Horizon-Teleskopverbundes, mit dem vor Kurzem u. a. das Black Hole in M 87 abgebildet wurde.

Parabolantennen können Signale über große Entfernungen exakt übertragen oder von Satelliten und auch von fernen Sternen empfangen. In diesem Beitrag werden wir uns mit den technischen Leistungsmerkmalen von Parabolreflektoren befassen, einschließlich ihrer Fähigkeit, Signale zu fokussieren, ihrer Empfindlichkeit gegenüber Störungen und ihrer Anwendungsgebiete in verschiedenen Feldern.

In der Radioastronomie werden neben anderen Bauformen wie zum Beispiel den Dipolantennen beim LOFAR-Array oft

auch Antennen mit Parabolreflektoren verwendet. Sie sind zum Beispiel schon bei Mikrowellenfrequenzen sehr empfindlich. Eine 60 cm große Parabolantenne kann bei 10 GHz tausendmal mehr Richtwirkung haben als eine einfache Dipolantenne. Der Zugewinn an Richtwirkung hängt dabei nur von der Größe der Parabolantenne ab. Allerdings kann man solch hohe Gewinne nur erzielen, wenn das gesamte Antennensystem, bestehend aus Parabolantenne, Speisesystem und Halterung, die physikalischen Grundlagen der Wellenausbreitung optimal ausnutzt.

Das Speisesystem ist dabei ein wichtiger Bestandteil der Parabolantenne. Es sorgt dafür, dass die elektromagnetischen Wellen, welche vom Reflektor kommen, gut aufgenommen und effizient weiterverarbeitet werden können. Das Speisesystem besteht aus einem zylindrischen Hohlleiter, der auf der Seite zum Reflektor hin offen ist. Innen im Hohlleiter befindet sich ein kleines Metallstäbchen, das die Wellen aufnimmt und an ein Kabel weiterleitet. Bei radioastronomischen Anwendungen folgt auf den Hohlleiter idealerweise ein rauscharmer Verstärker (Low Noise Amplifier) mit geringem Rauschfaktor und hoher Ver-

stärkung. Der Hohlleiter selbst kann unterschiedliche Formen haben. Zum Beispiel gibt es den so genannten „Dosenstrahler“ oder „Coffee Can Feed“, bei dem der Hohlleiter auf der Vorderseite keine Veränderungen in der Form aufweist. Eine andere Bauform ist das klassische „Hörnchenfeed“, das bei TV-SAT-LNBs verwendet wird. Dabei geht der Hohlleiter in einen trichterförmigen Bereich über, der innen konzentrische Rillen hat. Form und Ausprägung des Hohlleiters sind wichtig für den Übergang der Wellen von einer leitungsgebundenen Ausbreitung zu einer Ausbreitung im freien Raum. Aber zurück zum Reflektor.

Für diese Betrachtung beziehe ich mich auf einen rotationssymmetrischen Parabolreflektor, dessen Brennpunkt auf seiner Rotationsachse liegt. Die überall an Gebäuden sichtbaren TV-Satellitenempfangsschüsseln mit Offset-Reflektoren können nicht direkt mit den hier beschriebenen Primärfokus-Systemen verglichen werden.

Primärfokus-Parabolreflektoren

Ein Primärfokus-Parabolreflektor ist ein Parabolreflektor, bei dem das Signal an einem Punkt namens Primärbrennpunkt gebündelt wird. Der Brennpunkt befindet sich direkt auf der Rotationsachse des Paraboloids vor dem Reflektor. Wenn Radiowellen den Paraboloiden treffen, werden alle Wellen eines parallelen Strahlungsbündels im Brennpunkt zusammengeführt. Je nach Krümmung des Paraboloids kann sich dieser Brennpunkt näher am oder weiter weg vom Zentrum des Reflektors befinden. Bei flachen Parabolreflektoren ist der Brennpunkt weiter entfernt als bei tiefen Systemen.

Das f/D -Verhältnis bei Parabolantennen ist das Verhältnis zwischen dem Abstand des Brennpunkts (f) und dem Durchmesser (D) des Reflektors. Ein höheres f/D -Ver-

hältnis ($> 0,5$) bedeutet, dass der Brennpunkt weiter vom Reflektor entfernt ist. Ein niedrigeres f/D -Verhältnis ($< 0,5$) bedeutet, dass der Brennpunkt näher am Reflektor liegt.

Offsetsysteme, die bei TV-SAT-Anlagen häufig verwendet werden, haben normalerweise ein f/D -Verhältnis größer als 0,5 und sind daher als flacher zu beschreiben. Primärfokus-Systeme haben in der Regel ein f/D -Verhältnis kleiner als 0,5 und werden daher als tiefer betrachtet. Es ist deshalb zum Beispiel technisch nicht sinnvoll, ein handelsübliches TV-SAT-LNB, das für einen flachen Reflektor entwickelt wurde, zusammen mit einem tiefen Primärfokus-Reflektor zu verwenden. In einem solchen Fall spricht man dann von einem nicht vollständig ausgeleuchteten Reflektor. Das System ist ineffizient. Die Ausleuchtung, also die Illumination eines Reflektors, spielt eine große Rolle für die Qualität und Leistungsfähigkeit eines Antennensystems.

Phasenzentrum des Speisesystems

Das Phasenzentrum des Speisesystems ist der virtuelle Ort, an dem alle elektromagnetischen Wellen, die vom Reflektor kommen, phasengleich zusammentreffen. Es ist ein wichtiger Parameter, um die genaue Position und Ausrichtung des Speisesystems im Fokuspunkt zu bestimmen, da er beeinflusst, wie gut Signale empfangen werden. Eine Veränderung der Position kann zu Signalverzerrungen führen und die Genauigkeit und Effizienz des Antennensystems beeinträchtigen.

Es ist also wichtig, den genauen Ort des Phasenzentrums am Speisesystem zu kennen, insbesondere bei der Verwendung von Mikrowellensystemen, bei denen die Wellenlänge nur knapp drei Zentimeter beträgt. Dieser Ort sollte dann auf wenige Millimeter genau bestimmt werden können.

Ausleuchtung (Illumination)

Die Ausleuchtung eines Reflektor-Antennensystems bezieht sich darauf, wie die elektromagnetische Energie auf der Oberfläche des Reflektors verteilt ist, wie sie von der Antenne gebündelt wird und durch das Speisesystem vor dem Reflektor aufgenommen werden kann. Man kann es sich vereinfacht so vorstellen, als würde man eine Wand mit einer Taschenlampe beleuchten wollen. Wenn man zu nah an der Wand steht, ist die beleuchtete Fläche klein, aber hell. Steht man weiter entfernt, wird die beleuchtete Fläche größer, aber lichtschwächer. Die Ausleuchtung eines Parabolreflektors ist ähnlich, aber komplexer. Es reicht nicht aus, den Reflektor nur optimal zu beleuchten. Die Phasenlage der elektromagnetischen Wellen, die auf das Paraboloid treffen und ins Speisesystem reflektiert werden, muss phasengerecht sein. Andernfalls könnten sich Wellen gegenseitig auslöschen und die Effizienz des Systems stark verringern.

Man kann die Ausleuchtung eines Reflektor-Antennensystems auf verschiedene Weisen bestimmen. Zum Beispiel kann man die Energieverteilung auf der Oberfläche des Reflektors messen und mit einer idealen Verteilung vergleichen. Man kann auch Simulationen mit elektromagnetischen Feldern durchführen, um die Ausleuchtung zu analysieren.

Vergleich zum Fokussieren bei optischen Systemen

Wie bei einem optischen Teleskop erfolgt das „Fokussieren“ eines Radioteleskops also durch Anpassung der Position des LNBs zur Position des Hauptspiegels. Dadurch wird ermöglicht, dass einfallende Radiowellen präzise auf einen Punkt fokussiert werden, um eine maximale Signalstärke des beobachteten Himmelsobjekts zu erhalten. Das Fokussieren bei einem optischen Teleskop erfolgt oft durch eine Feinjustierung

der Optik, um das bestmögliche Bild zu erzeugen. Im Unterschied dazu erfolgt das Fokussieren bei einem Radioteleskop durch Anpassung der Position des Speisesystems zum Reflektor. Obwohl Radiowellen viel größere Wellenlängen haben als optisches Licht, sind die Anforderungen an das Fokussieren nicht weniger präzise.

Ein weiterer Unterschied liegt in der Tatsache, dass optische Teleskope oft mit Okularen oder Kameras ausgestattet sind, die es ermöglichen, das fokussierte Bild direkt zu betrachten. Bei Radioteleskopen wird das empfangene Signal in der Regel auf elektronischem Wege verstärkt und analysiert, um Informationen über das beobachtete Himmelsobjekt zu extrahieren. Dadurch ist eine direkte Betrachtung der Signalqualität beim Fokussieren nicht immer möglich, wodurch der Abgleichprozess sehr schwierig werden kann. Er erfordert deshalb detaillierte Kenntnisse der technischen und physikalischen Grundlagen des Gesamtsystems Radioteleskop, um erfolgreich damit arbeiten zu können.

In der Abbildung 1 ist ein einfacher Versuchsaufbau zur Ermittlung der optimalen Einstellung des Choke-Rings am Speisesystem zu sehen. Dabei wird der Reflektor einer alten „Höhensonne“ zusammen mit einer Energiespar-Leuchtstofflampe als sehr breitbandige Rauschquelle genutzt, was links im Bild zu erkennen ist. Das LNB zusammen mit dem Feed ist auf einem verschiebbaren Reiter auf der optischen Bank montiert, um den richtigen Abstand im Fernfeld zur Quelle einzustellen. Der Bildschirm im Hintergrund zeigt eine Linie (grün) mit zwei Höckern, die wiedergibt, bei welcher Einstellung des Choke-Rings wie viel Leistung aufgenommen wird. So konnte ich ermitteln, bei welchem Abstand der Spiegel mit einem f/D von 0,36 optimal ausgeleuchtet wird.