

DL2 RSX

Groundgain und andere Spiegeleien

Wirkfläche A_w

Jede Antenne hat eine „Wirkfläche“ (catching oder capture area) der Größe $A_w = G_i \cdot \lambda^2 / 4\pi$. Auch ein punktförmiger Kugelstrahler hat eine. Es ist ein theoretischer Begriff einer Ausschnittsfläche aus dem Energiestrom, der die Antenne weiträumig umschließt und aus dem sie die HF-Leistung entnimmt.

Die Wirkfläche ist proportional dem linearen isotropen Antennengewinn G_i . Man muss annehmen, dass die Wirkfläche alle **aktiven** Elemente einer Antenne umschließt. Die genauen Konturen sind nicht bekannt und verändern sich z.B. bei Richtantennen mit der Stellung zum Energiefeld. Den max. Antennengewinn erhält man wenn die Wellenfront frontal auf die Antenne trifft. Eine Ausnahme besteht nur wenn in einer Antennengruppe durch phasenverschobene Antennenspeisung gewollt eine andere Hauptstrahlrichtung herbeigeführt wird (z.B. bei speziellen Radargeräten). Da die Wirkfläche proportional dem Gewinn ist verändert sie sich auch mit der Antennenstellung.

Auch eine Spiegelantenne hat eine Wirkfläche, die aber wegen des Spiegelwirkungsgrades kleiner sein kann als der Spiegel selbst. Mit einem gut konstruierten Spiegel von 10m Durchmesser für das 2m-Band erreicht der Funkamateurliebhaber einen Spiegelwirkungsgrad von etwa 55...60%. Darin enthalten sind auch die Spiegelausleuchtung und die Randüberstrahlung. Kommerziell werden besonders bei höheren Frequenzen etwas höhere Wirkungsgrade erzielt weil die Primärstrahler besser optimiert sind.

Eine 10m „Schüssel“ wie oben beschrieben hat einen Gewinn von etwa 23 dBi (200-fach) und damit eine Wirkfläche von $A_w = 63.16 \text{m}^2$. Die Fläche des Spiegels selbst ist 78.5m^2 groß.

Groundgain

An der Antenne geht das Energiefeld, bis auf eine kleine Menge, die die Antenne einfängt nutzlos daran vorbei und kommt nicht mehr zurück.

Wenn man jetzt eine Spiegelfläche optimal so gestaltet und anordnet, dass ein Teil davon so reflektiert wird, dass sie mit der richtigen Phase auf die Antenne trifft und sich zu der dort direkt eintreffenden Welle addiert, dann wäre es genau so als ob sich die Feldstärke für die Antenne verdoppelt hätte.

Eine mögliche Verdoppelung der Feldstärke ist der Maximalwert. Er hängt von der Qualität der Spiegelfläche ab. Wollte man eine solche konstruieren, dann müsste die sehr großflächig sein. Bei **Totalreflexion** einer linearpolarisierten Wellenfront **wechselt** die Polarität (Phasensprung) und bei zirkularer Polarisation die Drehrichtung. Das gilt auch für Reflexionen am Mond.

Die Antennen der terrestrischen Funktechnik arbeiten nicht im Freiraum. Sie sind alle auf einem Untergrund aufgebaut, der unterschiedliche Eigenschaften, wie Topografie, Bepflanzung und Leitfähigkeit aufweist.

Für viele Vertikalstrahler (MW, KW) ist ein leitfähiger Untergrund die Voraussetzung für die physikalische Funktion. Man kann diesen durch großflächige Belegung mit „Radials“ bedingt nachbilden, die auf dem Erdboden liegen oder flach darunter vergraben werden,

Richtantennen (Längs- oder Querstrahler, Yagi- oder Spiegelantennen haben eine ausgeprägte Richtcharakteristik. Wenn eine reflektierte Komponente eines Signals auf die Antenne trifft kann sie sich je nach Phasenlage zum Signal addieren oder subtrahieren. Dazu muss sie aber von der Antenne wahrgenommen werden. Fällt die Reflexion in eine Nullstelle einer

Richtantenne dann wird sie nicht erkannt. Trifft sie in einem Winkel auf die Antenne wo diese bereits eine größere Signaldämpfung aufweist, so kann sie auch nicht voll wirksam werden. Wenn man alle die o.g. Bedingungen berücksichtigt, dann kann man die Konstellation für eine Richtantenne mit „Bodenreflexion“ grafisch darstellen. Es ergibt sich das gleiche Bild als ob eine zweite gleiche Antenne unterhalb der Erdebene, im gleichen Abstand und gleiche Tiefe wirksam wird wie die über Grund aufgebaute Antenne.

Die im Untergrund „gespiegelt“ dargestellte virtuelle Antenne ergibt mit der realen Antenne über Grund eine Antennengruppe, die die doppelte Feldstärke in 6dB mehr Leistung umsetzt. Wenngleich man bei einer solchen Darstellung, wie man sie auch in Fachbüchern findet, auch davon ausgehen muss dass auch die gespiegelte Antenne theoretisch auf einen gleichen virtuellen Abschlusswiderstand arbeitet, wie das Original, so sind diese in der Praxis jedoch nicht parallel geschaltet und das gesamte System arbeitet nicht auf eine Parallelschaltung der Widerstände, wie bei einer normalen Gruppenschaltung. Die max. 6 dB Zusatzgewinn bleiben also voll erhalten.

Die Bedingungen dafür sind jedoch stark eingeschränkt. Bei idealer Bodenreflexions- und Leitfähigkeit sind große Reflexionsflächen vor der Antenne erforderlich und die „Erhebungswinkel“ bei denen die reale Antenne eine Reflexion „erkennt“ sind gering, da diese in die Hauptkeule der Richtcharakteristik fallen muss. Je „richtschärfer“ die Richtcharakteristik einer Antenne oder einer Antennengruppe ist und um so höher sie über Grund aufgebaut sind um so geringer werden die Erhebungswinkel, bei denen eine solche Konstellation wirksam wird.

Die Bedingungen sind nicht gleich für lineare horizontale und vertikale Polarisation einer Antenne oder einer Antennengruppe. Bei vertikaler linearer Polarisation ergibt sich **kein Phasensprung** bei einer Reflexion.

Ich neige immer mehr dazu dem Leif doch Recht zu geben. Ich bin mir sicher, dass es viele oms einfach als gegeben hinnehmen, so wie ich mich habe auch von ihm erst einmal überzeugen lassen. Aber Restzweifel haben sich dann doch wieder ergeben nachdem ich mich mit deinen Problemen auseinandergesetzt habe.

Ein bisschen verwirrend ist es schon sich eine „verbuddelte“ Antenne vorzustellen. Natürlich ist das nur eine Krücke als Lösung, denn es ist ja keine da und der Fußpunkt-Widerstand dazu schon gar nicht. Das rührt nur daher, dass man bei einer zeichnerischen Darstellung der Verhältnisse an dieser Stelle eben eine Antenne hin malen kann wenn das Vorstellungsvermögen dafür ausreicht, dass da auch eine sein könnte.

Eigentlich besser erklärt es sich wenn man das elektrische Feld nimmt in der Nähe der Antenne. Es ist ja durch die Feldstärke gegeben, also eine Spannung. Die Stärke des Feldes ist entscheidend für die Spannung, die man am Antennenausgang misst.

Die Spannungen von zwei realen Antennen addieren sich und am Punkt der Zusammenschaltung der Antennen halbiert sich der Widerstand, sodass 3 dB abgezogen werden müssen von der Leistung. Bei der virtuellen Darstellung werden die Fußpunktwiderstände nicht parallel geschaltet. Sonst würde man das ja messen können wenn er bei der Reflexion kleiner wird. Die Spannung, die die Antenne aufgenommen hat ergibt am virtuellen Fußpunkt eine Leistung (U^2/R).

Dass am Fußpunkt der Antenne ein Widerstand ist, der eigentlich der Widerstand der „Antenne“ ist obwohl man ihn trotzdem nicht sieht, ergibt sich schon daraus, dass er sich an einer realen Antenne messen lässt und dass man eine gewaltige HF-Leistung direkt an ihn anschließen kann. Mit einem Reflektometer lässt sich auch messen, dass es eine Wirkleistung ist, die da weg geht.

Wir schlaun Funkamateure wissen natürlich, dass damit elektrische Felder aufgebaut werden, die sich als Wellenfront weiter verbreiten und irgendwo mal auf eine Empfangsantenne treffen. Natürlich fließen überall in der Antenne HF-Ströme, die Teile auch erwärmen wo ohmsche Widerstände sind.

DL6 WU hat z.B. fest gestellt dass sich der erste Direktor der 70cm- „Fahradspeichen-Yagis“ von Flexa (das sind ja seine) bei 1 kW deutlich erwärmt. Der Strahler ist zu dick um das zu erkennen, wenn man da anfasst. Er wird natürlich auch eine Puseratze wärmer.

Der virtuelle „Wirkwiderstand“ ist eben die Antennenstruktur selbst und man misst eigentlich nicht einen Widerstand bekannter Ausführung, sondern die Antenne. Die Antenne selbst ist der Widerstand und die Anschlusspunkte dafür sind die Zuführungen am Strahler. Alles andere ist nur eine „Blackbox“ mit bestimmten elektrischen Eigenschaften.

Zurück zum Groundgain.

Auch bei einer gedachten zweiten gespiegelten Antenne sind die Antennen nur virtuell zusammen geschaltet. Da können sich keine Antennenwiderstände parallel schalten und daher braucht man auch keine 3 dB abziehen.

Wenn ich jetzt an deine Antennen mit nach geschalteten Verstärkern denke kommen mir auch Zweifel. Auch da liegen die Antennenwiderstände nicht direkt parallel, sondern sie werden durch die Verstärker gepuffert. Die Fußpunktwiderstände sehen sich also nicht direkt, sondern nur über drei Ecken.

Wenn man die Gruppe als Sendeantenne sieht würde man jede der beiden Antennen getrennt mit „Vollast“ betreiben können und man würde damit auch die doppelte Feldstärke am Empfangsort erzeugen können. Wenn sie aber als Gruppe gespeist werden bekommt natürlich jede auch nur die halbe Leistung. Da stimmt die Rechnung wieder.

In der Literatur habe ich keine Angaben gefunden, die Aufschluss darüber geben, aber es werden ja dutzende Spiegelantenne für die Radioastronomie mit nach geschalteten Verstärkern zusammen geschaltet und nicht erst alle parallel und dann erst verstärken.

Vergiss alle meine gewagten Spekulationen in Bezug auf ein Antennenwunder! Warum kommt man immer erst ganz zum Schluss auf eine einfache Erklärung und warum sucht man erst nach allen möglichen Erklärungen wie z. B. nach vergrabenen Antennen und deren Widerstände wenn man das mit zwei Sätzen besser darstellen kann: 1. Totalreflexionen ergeben einen Phasensprung. 2. Bei günstiger Totalreflexion kann sich die Feldstärke in der Umgebung der Antenne erhöhen. Ich hatte vorher schon einmal geschrieben, dass bei Parallelschaltung von Verstärkern sich das Signal/Rauschverhältnis nicht verschlechtert. Das stimmt, **aber es wird auch nicht besser!** Vorausgesetzt die Antenne erhält ein nahezu rauschfreies Signal angeboten, dann hängt das Signal/Rauschverhältnis nur davon ab wie viel Eigenrauschen vom nach geschalteten Verstärker dazu addiert werden muss. Nur bei einer Anhebung des Signalpegels wird $(S+N)/N$ kleiner. Man kann natürlich auch N kleiner machen indem man den Verstärker optimiert und dessen Rauschzahl kleiner macht. Das macht man ja sowieso schon. Wenn man das aber nicht mehr kann muss man das Signal anheben. Das geht mit einer besseren Antenne oder dem Aufbau einer Antennengruppe. Wenn die Antennen **vor dem gemeinsamen Verstärker** zusammen geschaltet werden, dann bleibt das Verstärkerrauschen gleich.

Beispiel 2 Antennen:

Bei einer Antenne wäre bei $S=10$, $N=1$, $(S+N)/N=11$, Rauschanteil am Signal ist $1/11=9.09\%$
Bei zwei Antennen verdoppelt sich S aber N bleibt gleich, also $(20+1)/1=21$. Rauschanteil $1/21=4.8\%$.

Schaltet man hinter jede Antenne einen Verstärker und addiert die Signale, dann wird auch das Rauschen durch jeden Verstärker mit verstärkt, genau so wie die Signale auch und danach müssen zu beiden Signalen auch die **beiden** Rauschkomponenten addiert werden. Es ergibt sich dann $(S+N)/N=(2S+2N)/2N$, also keine Verbesserung gegenüber nur einer Antenne. Die Signale sind vielleicht beide nur größer geworden ohne das Signal/Rauschverhältnis zu verbessern.

Es ist alles nur so wie mit einer Antenne. Die Verstärkung kann größer sein, aber das Signal/Rauschverhältnis bleibt dasselbe. Da kann man bei nur einer Antenne den VV etwas weiter aufdrehen und hat genau dasselbe. Verstärken kann man immer und beliebig, aber darauf kommt es ja nicht an. $(S+N)/N$ soll besser werden.

Und die Anordnung von vielen Spiegeln in der Radioastronomie macht man nicht um das Signal/Rauschverhältnis zu verbessern sondern um die Basisbreite wegen der Auflösung zu vergrößern. Dass man da Stickstoff-gekühlte Verstärker gleich an die Antenne anbindet macht man nur, weil die Zusammenschaltung über größere Strecken sonst zu große Dämpfungen ergeben würden.