

ZUM DOPPLEREFFEKT BEI AURORA-VERBINDUNGEN

Dr. Volker Grassmann, DF5AI, Hausfeld 68, 5600 Wuppertal 23

Bei Aurora-Funkverbindungen wird das Empfangssignal immer eine mehr oder weniger große Dopplerverschiebung gegenüber dem Sendesignal aufweisen. Jedoch bleibt diese Frequenzverschiebung i.a. unbeobachtbar, da auf der Empfangsseite kein Referenzsignal zur Verfügung steht. Erst wenn die Aurora-Station gleichzeitig auf dem direkten, troposphärischen Weg hörbar ist, bemerkt der Beobachter einen Tonhöhenunterschied zwischen beiden Empfangssignalen. Bei großräumigen Aurora-Ereignissen bemerkt man bisweilen auch eine Frequenzverschiebung in Abhängigkeit von der Antennenrichtung. In derartigen Fällen läßt sich natürlich nur die Differenz zwischen verschiedenen Dopplerverschiebungen messen, nicht jedoch die Verschiebung bezüglich der Sendefrequenz.

Es liegt nahe, aus dem Frequenzversatz Δf eine Geschwindigkeit v zu ermitteln, wobei man z.B. von der bekannten Beziehung

$$(1a) \quad \Delta f = f_0 \cdot \frac{v}{c}$$

$$(1b) \quad = \frac{v}{\lambda_0}$$

Gebrauch machen könnte (f_0 , λ_0 - Frequenz und Wellenlänge des Sendesignals, c - Lichtgeschwindigkeit). Es stellt sich dann allerdings die Frage, welche Bedeutung nun der Geschwindigkeit v zukommt. Oftmals wird fälschlicherweise angenommen, daß es sich bei der Geschwindigkeit v um die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Aurora-Streuvolumen und dem Empfänger handelt.

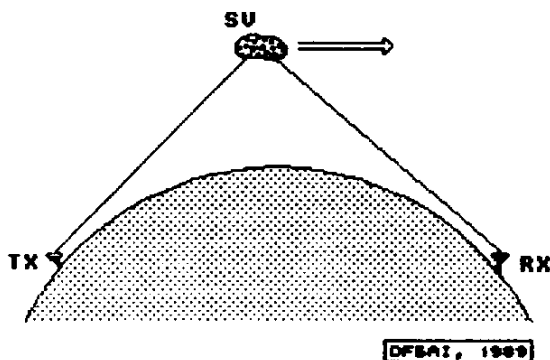


Abb.1 Geometrie einer Aurora-Verbindung

Abb. 1 zeigt schematisch die Situation bei einer Aurora-Funkverbindung, bei der der Sender TX über das Streuvolumen SV mit dem Empfänger RX in Verbindung tritt. Aufgrund der Driftbewegung des Streuvolumens beobachtet man am Empfangsort eine dopplerverschobene Frequenz.

In einem Gedankenexperiment denken wir uns am Ort des Streuvolumens SV eine Relaisstation, die die eingehenden Signale frequenzgleich wieder abstrahlt. Diese Relaisstation möge sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit bezüglich der Erdoberfläche bewegen. Aufgrund der Relativbewegung zwischen TX und

SV wird die fiktive Relaisstation bereits ein dopplerverschobenes Signal angeboten bekommen. Das dopplerverschobene Signal wird von der Relaisstation abgestrahlt - die Relativbewegung zwischen SV und RX prägt diesem Signal nun aber eine zusätzliche Dopplerverschiebung auf. Der gesamte Dopplereffekt zwischen TX und RX setzt sich also auf nicht ganz einfache Weise aus verschiedenen Beiträgen zusammen. Aus dem Gedankenexperiment müssen wir folgern, daß uns die Anwendung der Gl.(1a,b) eine Geschwindigkeit v liefert, die weder der Relativgeschwindigkeit Sender/Aurora noch der Relativbewegung Aurora/Empfänger entspricht.

Multipliziert man beide Seiten der Gl.(1b) mit 2π , so läßt sich schreiben: $\Delta\omega = k \cdot v$, wobei $\Delta\omega = 2\pi \cdot \Delta f$ die Dopplerkreisfrequenz und $k = 2\pi/\lambda$ die Wellenzahl darstellt. Auf diese Weise kann man zu der bequemeren Vektorschreibweise

$$(2) \quad \Delta\omega = \underline{k} \cdot \underline{v}$$

übergehen. Um die Gl.(2) auf die beiden Ausbreitungswege TX-SV und SV-RX anzuwenden, sei vereinbart, daß der Wellenvektor \underline{k} stets vom momentanen Sender zum momentanen Empfänger weist und die Geschwindigkeit \underline{v} stets die Geschwindigkeit des Empfängers darstellt. Der Sender wird stets als ruhend angenommen.

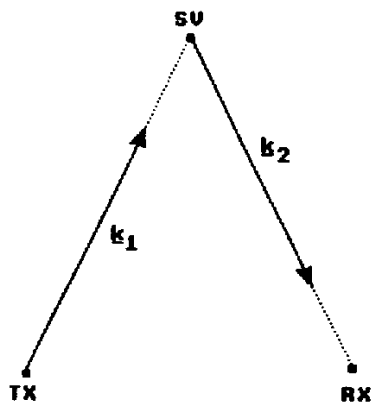
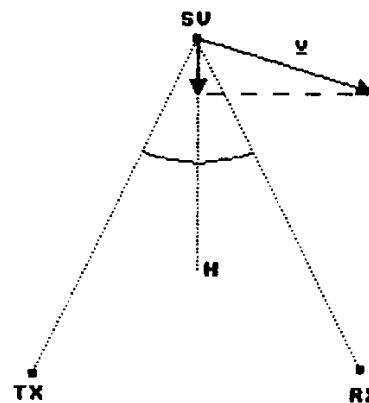


Abb.2a Wellenvektoren im bistatischen Radarfall



DFSAI, 1989

Abb.2b Geschwindigkeitskomponente entlang der Winkelhalbierenden

Die Anwendung der Gl.(2) auf den Ausbreitungsweg TX-SV führt zu der Dopplerverschiebung $\Delta\omega_1 = \underline{k}_1 \cdot \underline{v}$, wobei \underline{v} der Geschwindigkeitsvektor des Streuvolumens bezüglich der Erdoberfläche ist. Beim Ausbreitungsweg SV-RX weist \underline{k}_2 nun in Richtung von RX (siehe Abb.2a), da das Streuvolumen anstelle des Senders tritt. Entsprechend der obigen Vereinbarung, bei der der Sender ruhend, der Empfänger aber in Bewegung angenommen wird, ist dem Empfänger

RX der Geschwindigkeitsvektor $-\underline{v}$ zuzuordnen, d.h. $\Delta\omega_2 = \underline{k}_2 \cdot (-\underline{v})$. Die Gesamt-Dopplerverschiebung von RX bezüglich TX ermittelt sich somit zu

$$(3) \quad \Delta\omega = (\underline{k}_1 - \underline{k}_2) \cdot \underline{v}$$

Das Ergebnis läßt sich sogleich geometrisch interpretieren: $(\underline{k}_1 - \underline{k}_2)$ ist der Diagonalenvektor in dem von \underline{k}_1 und \underline{k}_2 aufgespannten Parallelogramm. D.h. bei Aurora-Verbindungen beobachtet man einen Dopplereffekt gemäß der Geschwindigkeits-Komponente entlang der Winkelhalbierenden H im Streudreieck TX-SV-RX, vergleiche mit Abb. 2b.

Als Sonderfall der Gl.(3) sei der monostatische Radarfall betrachtet, bei dem Sende- und Empfangsort identisch sind (z.B. im Falle eines Ionosphärenradars). Hier gilt näherungsweise $\underline{k}_2 = -\underline{k}_1$, so daß $\Delta\omega = 2 \cdot \underline{k}_1 \cdot \underline{v}$. D.h. bei der Bestimmung der Relativgeschwindigkeit Radar-Streuvolumen ist der beobachtete Dopplereffekt zu halbieren.

Ein praktische Anwendung dieser Zusammenhänge findet man z.B. bei den Radaranlagen der European Incoherent Scatter Association (EISCAT). Ein Sende-/Empfangsradar befindet sich im nordnorwegischen Tromsö, während in Kiruna (Nord-SM) und Sodankylä (Nord-OH) jeweils eine Empfangsstation installiert ist. Die drei Stationen stellen ein tristatisches Radarsystem dar, mit dem der Geschwindigkeitsvektor vollständig rekonstruiert werden kann. Aus dem Geschwindigkeitsvektor senkrecht zum erdmagnetischen Feld läßt sich z.B. die Stärke des elektrischen Feldes in der Ionosphäre ermitteln. Bei den Experimenten, die auf 932MHz stattfinden, werden jeweils 30m-Parabolspiegel und ca. 1 Megawatt Spitzenleistung eingesetzt. Neben den Driftgeschwindigkeiten des ionosphärischen Plasmas kann man zahlreiche weitere Größen bestimmen, z.B. die Elektronendichte-Konzentration und die Elektronen- und Ionentemperaturen.