

Ein einfaches Modell zur Identifizierung von Sporadisch-E

von Dr. Volker Grassmann, DF5AI, Hannoversche Str. 103, D-3400 Göttingen-Weende

1. EINLEITUNG

In diesem Aufsatz werden einige Grundkonzepte aus der Ionosphärenphysik auf die Sporadisch-E Ausbreitung angewendet. An Hand des Snelliusschen Brechungsgesetzes und der Dispersionsgleichung wird eine einfache Gleichung entwickelt, aus der einige wichtige Eigenschaften der Es-Ausbreitung abgeleitet werden können. Neben qualitativen Betrachtungen soll ferner eine quantitative Abschätzung gegeben werden, die die Es-Beobachtungen in anderen UKW-Bereichen (z.B. 50 MHz TV oder UKW-Rundfunk) in Beziehung setzt zu möglichen Sporadisch-E Verbindungen auf dem 2m-Band. Das Modell wird den tatsächlichen Sporadisch-E Bedingungen sicherlich nicht voll gerecht werden können. Zumindest erhält man aber eine relativ einfach durchzuführende und physikalisch begründbare Abschätzung der momentanen Sporadisch-E Situation, die dem intuitiven "Raten" vorzuziehen ist.

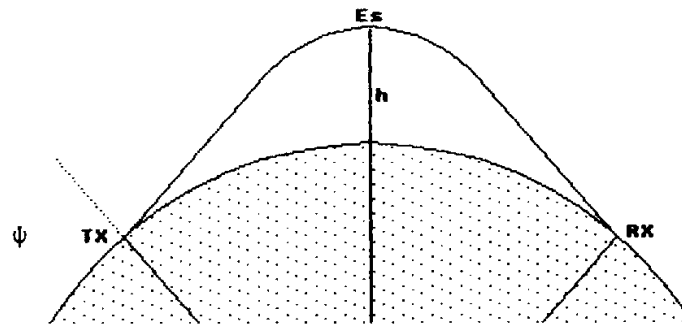


Abb.1: Der Strahlenverlauf in der Ionosphäre

2. BRECHUNGSINDEX UND DISPERSIONSFORMEL

Die mit der Höhe z veränderliche Elektronendichte N_z bewirkt eine Höhenvariation der Brechzahl n_z , so daß daraus ein gekrümmter Strahlenverlauf resultiert, siehe Abb.1. Für jeden Punkt der Strahlenbahn gilt das (hier in sphärischen Koordinaten formulierte) Snelliussche Brechungsgesetz:

$$(1) \quad n_z \cdot (r_E + z) \cdot \sin \psi_z = \text{const.}$$

Dabei bezeichnet ψ_z den momentanen Winkel zwischen der Vertikalen und dem Strahl und r_E den Erdradius. Gl.(1) wird nun angewendet auf den Anfangspunkt der Strahlenbahn ($z=0$, $n_z=1$, $\psi_z=\psi$) und auf den Scheitelpunkt der Strahlenbahn ($z=h$, $n_z=n_h$, $\psi_z=90^\circ$):

$$(2) \quad n_h \cdot (r_E + h) = r_E \sin \psi .$$

In Gl.(1) stellt h die Scheitelhöhe, d.h. die Höhe der Es-Region ($h \approx 105$ km) dar. Ebenso bezieht sich nun die Brechzahl n_h auf den am Scheitelpunkt angenommenen Wert. ψ ist ebenfalls ein konstanter Wert, nämlich die Differenz zwischen 90° und dem Elevationswinkel am Send- oder Empfangsort: $\psi = 90^\circ - \text{EL}$.

Die Brechzahl n_h im Schichtmaximum muß noch als unbekannte Größe gelten, die aber über die Dispersionsformel bestimmt werden kann, welche in einer einfachen Form lautet:

$$(3) \quad n_h^2 = 1 - \frac{f_p^2}{f^2} \quad , \quad f_p^2 \sim N_h$$

f_p ist die "Plasmafrequenz", die mit der Elektronendichte N_h im Schichtmaximum verknüpft ist. Die tatsächliche Arbeitsfrequenz von Sender und Empfänger ist durch f bezeichnet.

Aus Gl.(2) und (3) ermittelt man (siehe z.B. [1]):

$$(4) \quad \frac{f_p}{f} = \sqrt{1 - a \cdot \sin^2 \psi} \quad , \quad a = \left(1 + \frac{h}{r_E}\right)^{-2}$$

3. ERSTE SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die beiden Größen f_p und a beschreiben Eigenschaften der Sporadisch-E Region (Elektronendichte bzw. Höhe) und müssen somit als vorgegebene Parameter angesehen werden. Auch der Winkel ψ ist bereits festgelegt, denn die Sporadisch-E Region wird am Beobachtungsort unter einer bestimmten Elevation eingesehen. Zur Lösung der Gl.(4) verbleibt also keine Freiheit über die Wahl der Arbeitsfrequenz f . Wenn die Sporadisch-E Region z.B. den Empfang einer UKW-Rundfunkstation ermöglicht, dann sind gleichzeitige 2m-QSOs über die selbe Es-Region nicht möglich! Selbst Fernsehsender auf tieferer Frequenz bleiben ausgeschlossen! Diese Situation kann sich nur ändern falls 1) die Es-Region ihre physikalischen Eigenschaften ändert (f_p), 2) die Es-Region die geographische Position verlagert (ψ) oder 3) wenn andere Es-Regionen zusätzlich zur Verfügung stehen.

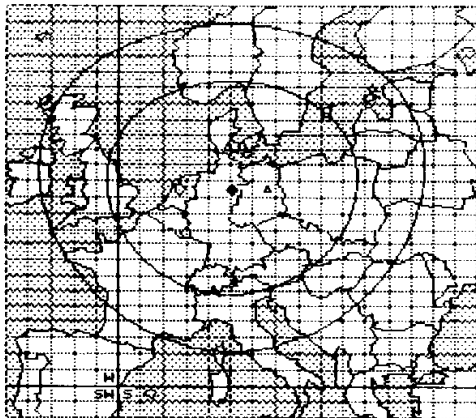


Abb.2: Entfernungsbereich für Es-Regionen, die in FM42f unter 0^0 bis 5^0 Elevation beobachtet werden.

Auf zwei Sonderfälle soll an dieser Stelle noch hingewiesen werden. Bei senkrechter Einstrahlung in die Sporadisch-E Region wird $\psi=0^0$, so daß als Arbeitsfrequenz $f=f_p$ zu wählen ist. Diese Frequenz heißt "kritische Frequenz" f_{crit} und liegt stets im Kurzwellenbereich. Bei der ionosphärischen Echolotung erhält man übrigens auch Reflexionssignale für kleinere Frequenzen als die kritische Frequenz. Dies scheint zunächst im Widerspruch zu den bisherigen Betrachtungen zu stehen, bei denen wir nur eine Frequenz als Lösung erhielten. An Stelle einer festen Höhe h müßte man nämlich ein Höhenintervall von $h-\Delta h$ bis $h+\Delta h$ betrachten, da die Ionosphärenschicht eine endliche Dicke besitzt. Gleichzeitig würde die Plasmafrequenz f_p über die Schicht variieren, so daß auch mehrere Lösungen für f gefunden werden könnten. f_{crit} bleibt aber die höchste Reflexionsfrequenz, die beobachtet werden kann. Als weiteren Sonderfall betrachte man den streifenden Einfall in die Es-Region. Auf Grund der Krümmung der Erde, kann ein bestimmter Einfallswinkel jedoch nicht unterschritten werden. Den Grenzwert erhält man bei horizontaler Abstrahlung am Sendeort, d.h. $\psi=90^0$ (siehe Abb.1). Die Übertragungsfrequenz nimmt mit der "Maximum usable frequency (MUF)" einen Maximalwert an. Die MUF steht also nur in den Fällen als Arbeitsfrequenz zur Verfügung, in denen die Es-Region am Horizont des Beobachtungsortes aufgefunden werden kann. I.a. ist das auch die Voraussetzung für Es-Funkverbindungen auf dem 2m-Band. Der ringförmige Entfernungsbereich in Abb.2 umfaßt als Beispiel die typischen Aufenthaltsorte von Sporadisch-E Regionen, die in FM42f zu 2m-Funkverbindungen führen (Entfernungskreise für 0^0 - und 5^0 - Elevation bei $h=105$ km). Ist die Elevation am Beobachtungsort größer 0^0 , so ist an Stelle der MUF eine niedrigere Frequenz zu wählen, die wir "Frequency of optimum traffic (FOT)" nennen wollen.

Es muß ausdrücklich betont werden, daß die am eigenen Standort vorhandenen Funkbedingungen nicht repräsentativ sind für die Beobachtungsmöglichkeiten anderer Funkamateure. Diese werden i.a. einen anderen Aspektwinkel ψ vorfinden, so daß deren Arbeitsfrequenz deutlich höher oder tiefer ausfallen kann. Aus diesem Grunde sind die UKW-Amateure zu einer intensiven Zusammenarbeit aufgerufen (20m-VHF-Net!). Die UKW-Rundfunk Beobachtungen des einen Funkamateurs können nämlich einem

anderen die Möglichkeit für 2m-Es signalisieren! Dies sei im folgenden etwas näher erläutert.

4. DIE IDENTIFIZIERUNG VON 2m-SPORADISCH-E

Es sei angenommen, daß zwischen zwei Standorten S und P eine Es-Übertragung auf der Frequenz f_S möglich ist. Diese Tatsache sei dem Funkamateurl am Beobachtungsort B mitgeteilt. Dieser möchte nun in Erfahrung bringen, ob er 1) über die selbe Sporadisch-E Region ebenfalls Funkverbindungen abwickeln kann, 2) welche Frequenz f_B er zu wählen hat und 3) an welchem Standort X sich seine mögliche Gegenstation befindet. Dazu geht er wie folgt vor:

- Die geographischen Koordinaten des Mittelpunktes der Strecke SP werden ermittelt. Man nehme an, daß sich dort in ca. 105 km Höhe die Es-Region befindet. So bestimmt man den Elevationswinkel EL_B , unter dem die Es-Region am Beobachtungsort erscheint. Ist dieser größer Null, so ist die Sporadisch-E einsehbar. Ist er kleiner Null, so befindet sich die Es unter dem Horizont und kann nicht genutzt werden.
- Der Elevationswinkel EL_S , unter dem die Sporadisch-E Region am Ort S erscheint, wird berechnet. Daraus ermittelt man den Aspektwinkel $\psi_S = 90^\circ - EL_S$, der für berichtete Sporadic-E Verbindung gültig ist.
- Nun bestimmt man die kritische Frequenz der Sporadisch-E Region gemäß

$$(5) \quad f_{\text{crit}} = f_S \cdot \sqrt{1 - a \cdot \sin^2 \psi_S}, \quad a = \left(1 + \frac{h}{r_E}\right)^{-2}$$

- Die Maximum usable frequency (MUF) wird bestimmt zu:

$$(6a) \quad MUF = f_S \cdot \sqrt{\frac{1 - a \cdot \sin^2 \psi_S}{1 - a}}$$

$$(6b) \quad MUF \approx 5.7 \cdot f_{\text{crit}} \quad (h = 105 \text{ km})$$

Die MUF bezeichnet die höchste Frequenz, die von der Sporadisch-E Region übertragen werden kann. Sie ist i.a. nicht gleichzusetzen mit der höchsten Arbeitsfrequenz, die an einem bestimmten Beobachtungsort zur Verfügung steht!

- Aus dem unter a. ermittelten Elevationswinkel EL_B bestimmt man zunächst den am Beobachtungsort gültigen Aspektwinkel $\psi_B = 90^\circ - EL_B$. Die zu wählende Frequency of optimum traffic (FOT) errechnet sich zu:

$$(7) \quad FOT = \frac{f_{\text{crit}}}{\sqrt{1 - a \cdot \sin^2 \psi_B}}$$

- Der Standort X der zu erwartenden Gegenstation bestimmt sich, indem man die Strecke vom Beobachtungsort zur Es-Position um das Doppelte verlängert.

5. DIE PRAKTISCHE ANWENDUNG AN HAND EINES BEISPIELS

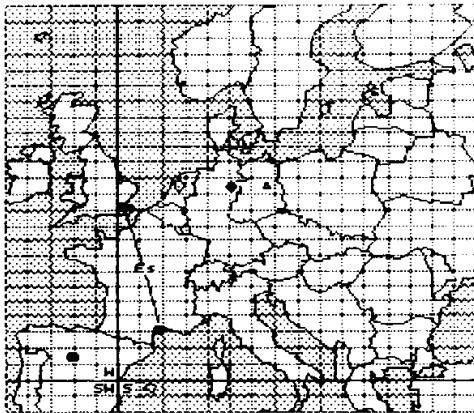


Abb.3: Eine Es-Übertragung zwischen Südengland und Südfrankreich signalisiert mögliche Es-Verbindungen auf 2m zwischen Norddeutschland und Spanien.

Der Beobachter in FM42f (siehe Abb.3) erhielt auf dem 20m-VHF-Net den Hinweis, daß in Südengland (AL74e) eine südfranzösische Rundfunkstation (BD80a) auf 106.5 MHz über Sporadisch-E zu empfangen ist. Diese Funkstrecke ist in Abb.3 als durchgezogene Linie eingetragen. Der berechnete Standort der Sporadisch-E Region ist in der Karte als "Es" markiert und liegt innerhalb des in Abb.2 gezeigten Entfernungsbereiches. Nach dem oben beschriebenen Modell errechnet sich die MUF zu 153.0 MHz - die Es-Region könnte also grundsätzlich 2m-Verbindungen möglich machen. Für den Bezugsort bleibt 2m-Es bis zu einer Auswertung der FOT jedoch ungewiß. In dem hier gewählten Beispiel errechnet man für FM42f aber eine Arbeitsfrequenz von 144.5 MHz! Abb.3 zeigt, daß nordspanische Funkamateure als QSO-Partner in Frage kommen. Für den Bezugsort DL42f ergibt sich übrigens 120.7 MHz als FOT - das Ende der Es-Strecke verlagert sich zu den Pyrenäen. Anm.: das hier gezeigte Beispiel wurde an Hand der neuesten Version des Atari ST Programms QTH-LOC (DF5AI PD-Soft, Diskette 2) ausgewertet.

6. ABSCHLUSSBEMERKUNGEN

Das Modell kann selbstverständlich auch die eigenen Es-Beobachtungen, z.B. UKW-Rundfunk, berücksichtigen. Man gewinnt aber dadurch wenig neue Erkenntnisse. Die ermittelte FOT reproduziert, wie zu erwarten, die anfangs eingegebene Beobachtungsfrequenz.

Es sei nochmals ein intensiver Austausch von aktuellen Es-Beobachtungen unter den UKW-Amateuren angeregt. Abb.2 zeigte bereits am Beispiel eines mitteleuropäischen Beobachters, wo die interessanten Es-Regionen auftreten müssen. Besonders hervorzuheben ist der Abschnitt Südfrankreich, Norditalien, Nord-Jugoslawien und Ungarn für Es-QSOs nach CT, EA, IT9, SV usw. Die für eine Auswertung besonders wichtigen Beobachtungsberichte sollten von möglichst weit entfernten Stationen (mindestens 500 km) geliefert werden, so daß eine Zusammenarbeit idealerweise auf dem 20m-VHF-Net stattfinden sollte.

7. LITERATURHINWEIS

- [1] Wellenausbreitung II, J.Grosskopf, BI Hochschultaschenbücher 539/539a, Mannheim 1970