

Auswertung von WSPR Verbindungen im 20 m und 40 m Band

Reinhard Noll, DF1RN

Auf die digitale Betriebsart WSPR hatte mich Manfred, DH0KAI, von unserem Nachbar-Ortsverband Alsdorf, G02, hingewiesen [1]. Als Antenne habe ich einen Vertikalstrahler nach einem Bauvorschlag von PD7MAA aufgebaut [2], auf den mich Stefan, DJ2SEA, G01, aufmerksam gemacht hatte. Am Brüstungsgeländer auf der Dachterrasse unseres Hauses ist nun ein 12 m hoher Fiberglasmast der Fa. spider beam montiert [3]. Am Fußpunkt der Antenne wird der Antennendraht (Litze, 1.5 mm²) an einen Unun mit einem Transformationsverhältnis von 1 : 64 angeschlossen [2].

Aus meinem Arbeitszimmer im Dachgeschoss geht eine ca. 15 m lange Speiseleitung des Typs H 2007 [4] zur Dachterrasse und ist dort per N-Stecker an den Unun angeschlossen. Die Eigenschaften dieser Leitung hatte ich zuvor mit dem Netzwerkanalysator VNWA gemessen [5]. Bei 14 MHz beträgt die Dämpfung 2.5 dB/100 m und bei 7 MHz ca. 2 dB/100 m, d.h. im 20 m Band erreichen 92 % der Leistung das Kabelende, beim 40 m Band sind es 93 %.

Im WSPR Programm auf dem PC sind die *station parameters* einzugeben, siehe Tab. 1 im Anhang. Der KX3 wird über drei Leitungen mit dem PC verbunden: 1) von line out des PC zur Mikrofon-Eingangsbuchse des KX3, 2) von der Phones-Buchse zu line in am PC und schließlich von der Buchse ACC1 des KX3 zu einem USB-Anschluss des PCs. Die Einstellungen am KX3 zeigt Tab. 2.

Am Abend des 5.7.2016 habe ich mit einem 24 h Test auf dem 20 m Band mit 2 W Sendeleistung begonnen. Die Rapporte meiner Aussendungen können in der Datenbank auf der WSPR-Webseite abgerufen werden [6]. Ich habe mir insbesondere die DX-Verbindungen in diesem Zeitraum angeschaut und dabei die Rapporte von sechs Stationen mit Distanzen zwischen 5800 km und 16 900 km zu meinem QTH näher angeschaut.

Bild 1 zeigt das gemeldete SNR in dB über der Zeit UTC. Drei Stationen liegen in den USA, eine in Japan und DP0GVN gehört zur Neumayer Station in der Antarktis.

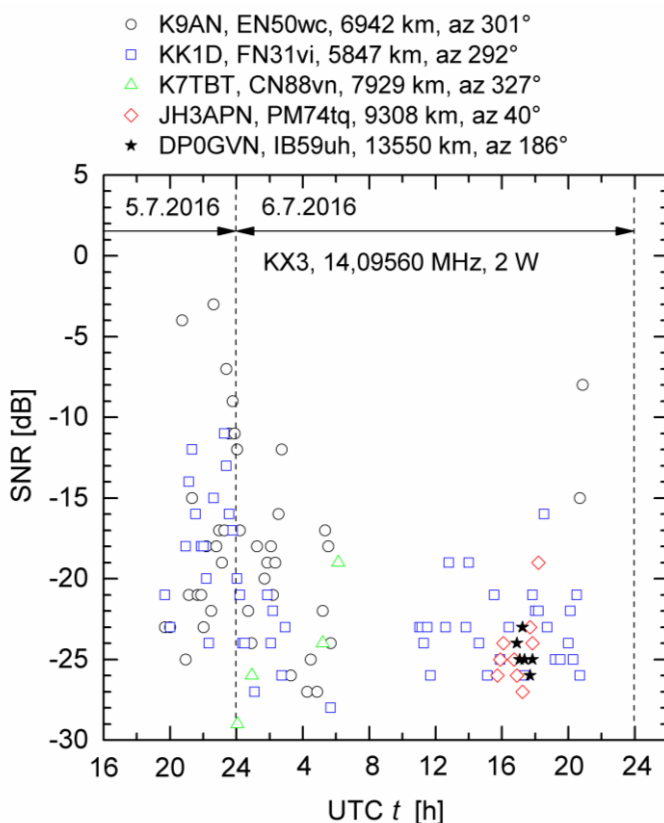


Bild 1: SNR als Funktion der Zeit UTC eines 24 Stunden Tests auf dem 20 m Band in der Betriebsart WSPR. Ausgewählt sind DX Verbindungen nach USA (Ost- und Westküste), nach Japan und zur Neumayer Station auf dem Ekstroem Ice Shelf in der Antarktis. Die Rapporte kommen von den Rufzeichen, die oberhalb des Diagramms aufgeführt sind. Die weiteren Informationen zeigen Locator, Distanz und Azimutwinkel (az) dieser Stationen

Die empfangenden Stationen haben sicherlich unterschiedliche Antennen und Empfänger, sodass ein absoluter Vergleich der gemeldeten SNR-Werte schwierig ist. Bild 1 zeigt aber einen deutlichen Verlauf des SNR Pegels im Verlauf der 24 h mit den höchsten SNR-Rapporten in den zwei bis drei Stunden vor Mitternacht (UTC). Trotz der stark streuenden Werte ist ein deutlicher Tagesverlauf zu erkennen.

Diese Ergebnisse habe ich mit den Ausbreitungsdiagrammen für Juli 2016 verglichen, die in der Zeitschrift Funkamateure angegeben werden [7]. K9AN hat sein QTH südlich von Chicago in Indiana und KK1D liegt gegenüber Montauk auf Long Island. Daher habe ich das Vorhersagediagramm für New York ausgewählt, das in etwa diese Funkstrecken abbilden sollte. Bild 2 zeigt die Rapport-Daten von K9AN und KK1D (die gleichen Daten wie in Bild 1) überlagert mit dem Vorhersagebild für New York [7]. Die horizontale Zeitachse des Vorhersagebildes habe ich so skaliert, dass die UTC-Zeiten mit denjenigen des SNR-UTC Diagramms übereinstimmen. Die vertikale Koordinate des Vorhersagediagramms ist die Frequenz. Die vierte weiße horizontale Linie von unten entspricht 14 MHz. Auf dieser Spur "fahren" wir als Funktion der Zeit entlang. Die beiden nach rechts zeigenden Pfeile auf der 14 MHz-Linie verdeutlichen den Zeitraum indem Rapporte von K9AN und KK1D vorliegen.

Der erste Pfeil nähert sich gegen 24 h UTC der rot-gelb dargestellten Zone, diese repräsentiert hohe erwartete Signalstärken. Das passt gut zu den beobachteten höchsten SNR-Werten in der Zeit kurz vor 24 h. Die dickere weiße Kurve zeigt den Tagesverlauf der MUF (maximum usable frequency). Nach 22 h UTC bis ca. 10 h UTC liegt die MUF unterhalb von 14 MHz. Wenn die Strahlung auf die F-Schicht mit hinreichend flachem Winkel trifft, ist trotzdem Reflexion möglich. Der zweite weiße Pfeil zeigt die Situation in der Nachmittagszeit des Folgetages bis zum frühen Abend. Hier ist die MUF stets größer als 14 MHz, die erwarteten Signalpegel (grün-blau gefärbte Zone) sind geringer und erst gegen 20 h UTC nähert sich der Pfeil wieder der roten Zone und die gemeldeten Pegel steigen wieder. Zwischen 6 h UTC und ca. 10:30 h UTC habe ich keine Rapporte empfangen, hier liegt die MUF deutlich unterhalb von 14 MHz und die vorhergesagte Signalstärke liegt im blau-grünen Bereich.

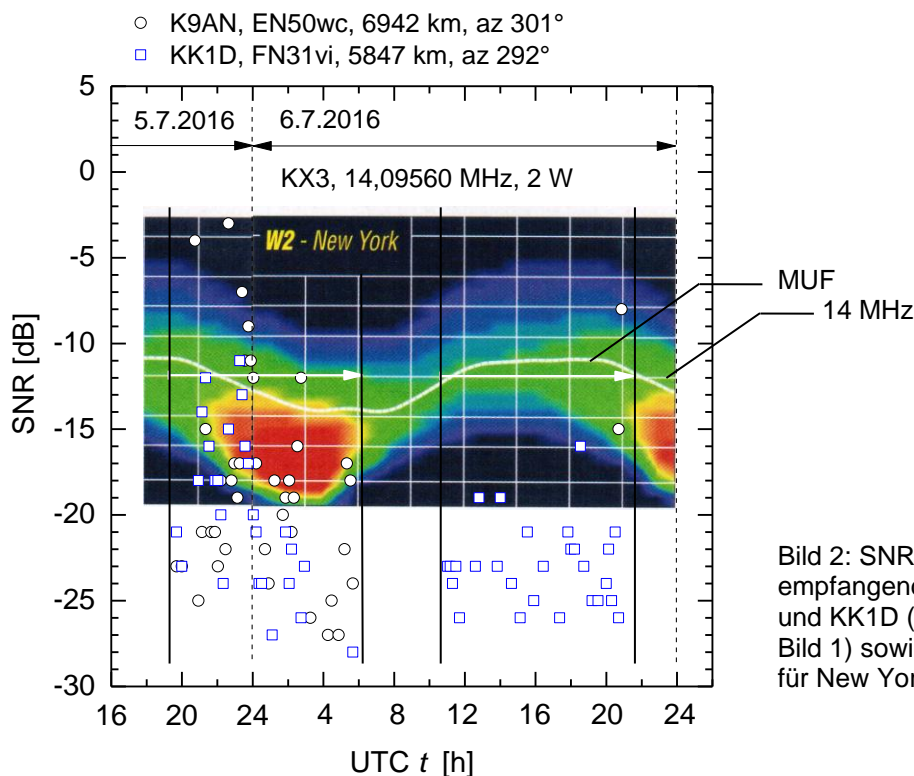


Bild 2: SNR über UTC der empfangenden Stationen K9AN und KK1D (gleiche Daten wie in Bild 1) sowie Vorhersagediagramm für New York [7].

Das QTH von K7TBT liegt etwas nördlich von Seattle, daher habe ich hier den Vergleich mit dem Vorhersagediagramm für San Francisco [7], gewählt, siehe Bild 3,. Der weiße Pfeil liegt wieder auf der 14 MHz Linie, seine Länge verdeutlicht den Zeitbereich in dem Rapporte von K7TBT vorliegen. Um ca. 4 h UTC hat er den geringsten Abstand zur rot-gelben Zone gegen 6 h UTC kommt der Pfeil der MUF Kurve etwas näher.

△ K7TBT, CN88vn, 7929 km, az 327°

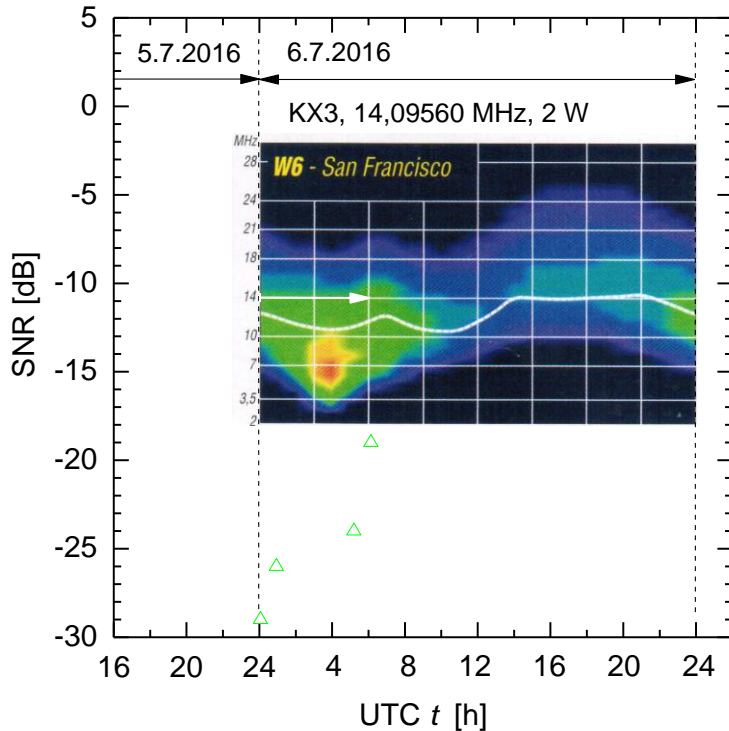


Bild 3: SNR über UTC der empfangenden Station K7TBT (gleiche Daten wie in Bild 1) sowie Vorhersagediagramm für San Francisco [7]

Die Station JH3APN hat ihr QTH in Osaka. Bild 4 zeigt die Überlagerung mit dem Vorhersagediagramm für Tokio [7]. In einem Zeitfenster zwischen 15 h und 18 h UTC habe ich Rapporte erhalten, siehe weißer Pfeil auf der 14 MHz-Linie. Nach 18 h UTC sinkt die MUF Kurve immer weiter in Richtung der 10 MHz-Linie ab.

◇ JH3APN, PM74tq, 9308 km, az 40°

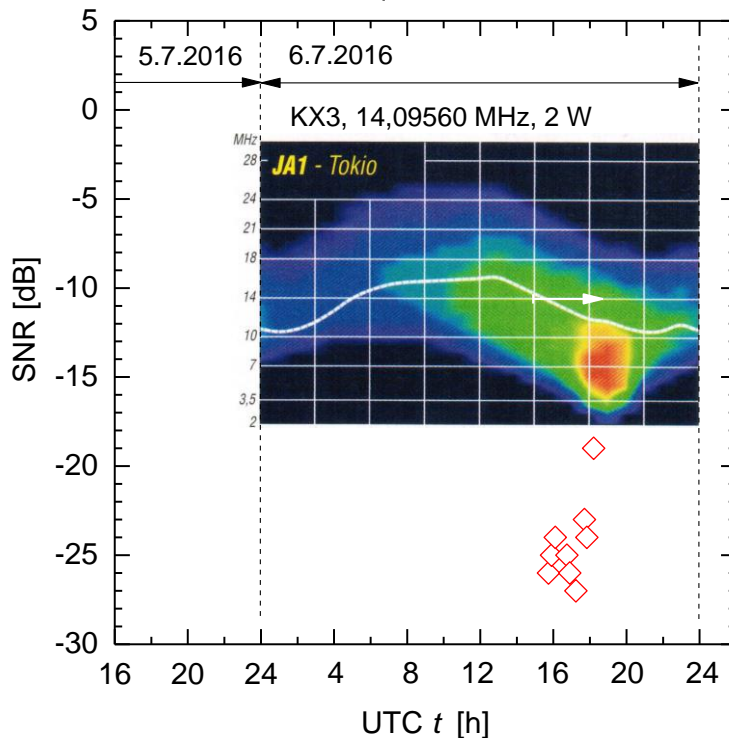


Bild 4: SNR über UTC der empfangenden Station JH3APN (gleiche Daten wie in Bild 1) sowie Vorhersagediagramm für Tokio [7]

Die Station DP0GVN liegt fast genau in südlicher Richtung von Aachen (az 186°). Bild 5 zeigt eine Überlagerung mit dem Vorhersagediagramm für Pretoria. Der weiße Pfeil verdeutlicht wieder den Zeitabschnitt in dem Empfangsrapporte vorliegen. Er tangiert gerade den Rand der prognostizierten gelb-roten Zone mit höheren Empfangsfeldstärken.

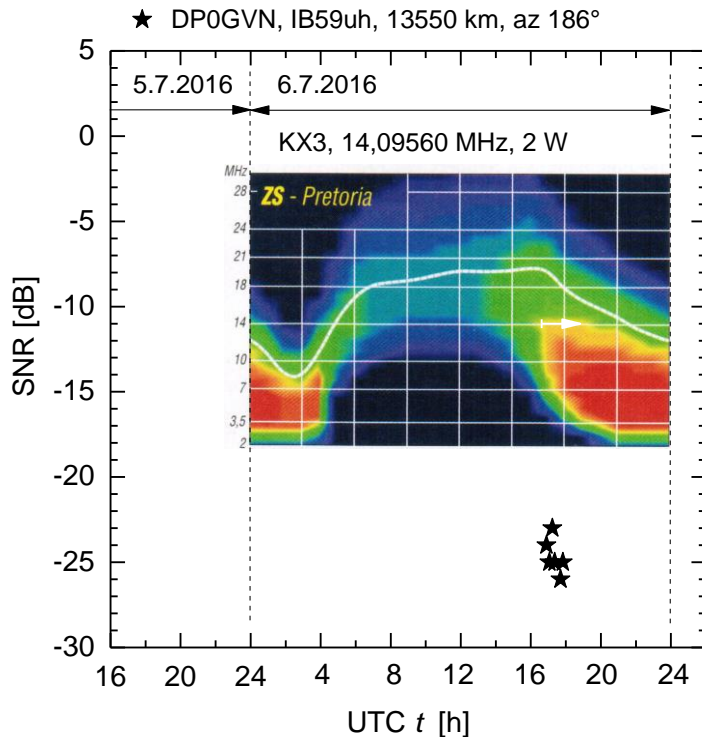


Bild 5: SNR über UTC der empfangenden Station DP0GVN (gleiche Daten wie in Bild 1) sowie Vorhersagediagramm für Pretoria [7]

Am 15.7.2016 hat mich eine Station in Tasmanien in einer Entfernung von 16890 km südlich von Melbourne gehört. Bild 6 zeigt die Rapporte und zum Vergleich das Vorhersagediagramm von Melbourne [7].

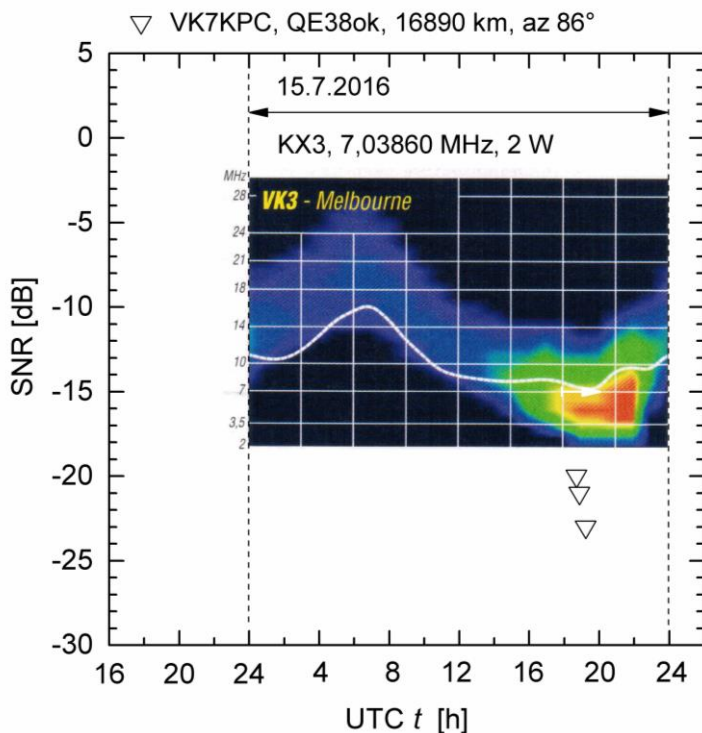


Bild 6: SNR über UTC der empfangenden Station VK7KPC am 15.7.2016 sowie Vorhersagediagramm für Melbourne [7]

Auf der WSPR-Webseite kann diese Verbindung angezeigt und mit einer Tag-Nachtdarstellung überlagert werden, siehe Bild 7.

Map

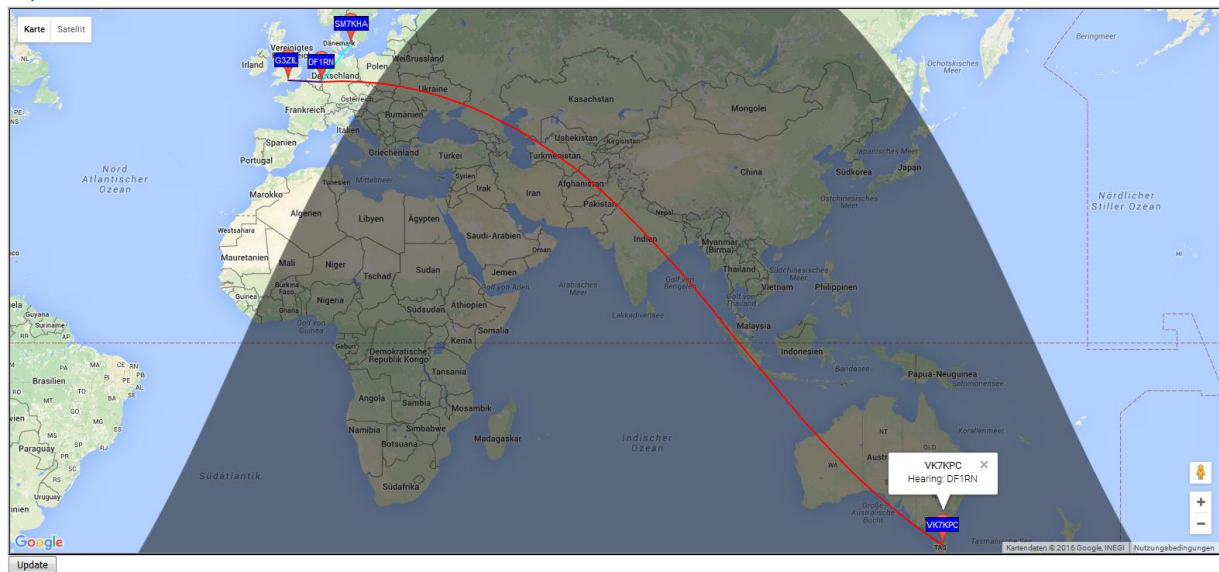


Bild 7: Die Station VK7KPC in Tasmanien südlich von Melbourne meldet "Hearing DF1RN" im 40 m Band, vgl. Bild 6

Ingesamt zeigen die Bilder 2 bis 6, dass die WSPR DX-Beobachtungen im Wesentlichen konsistent mit den Vorhersagediagrammen sind.

Beim Betrachten der Bilder 1 - 6 stellte sich mir die Frage, wieviele Skips eigentlich erforderlich sind, um diese DX Stationen zu erreichen. Dazu muss die Skipentfernung bei einem gegebenen Elevationswinkel berechnet werden. Bild 8 zeigt die betrachtete vereinfachte Geometrie eines Schnitts durch die Erde und die Ionosphäre.

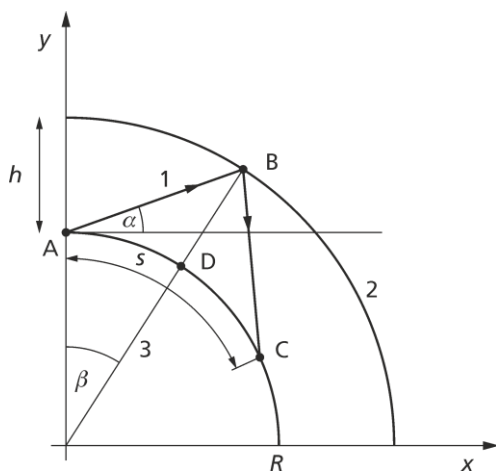


Bild 8: Skizze zur Berechnung der Skipentfernung s bei gegebenem Elevationswinkel α am Sendort A und einer Höhe h der reflektierenden Ionosphärenschicht über der Erdoberfläche mit dem Radius R

Vereinfachend wird angenommen, dass die Erde eine Kugel mit dem Radius R ist und der Sendestrah 1 ausgehend vom Punkt A an der reflektierenden Schicht 2 am Punkt B reflektiert wird und schließlich am Punkt C wieder auf der Erdoberfläche auftrifft. Weiterhin nehmen wir an, dass die reflektierende Höhe der Ionosphäre überall h beträgt. Nach einigen Rechnungen erhalten wir für die Steigung der Geraden 3:

$$m = \frac{1}{\cos \alpha \left(-\sin \alpha + \sqrt{\sin^2 \alpha + 2 \frac{h}{R} + \left(\frac{h}{R} \right)^2} \right)} + \tan \alpha . \quad (1)$$

Erwartungsgemäß hängt diese Steigung vom Elevationswinkel α und vom Verhältnis der Höhe zum Radius h/R ab. Diese Gerade 3 wird durch die Gleichung $y = mx$ beschreiben, sie schneidet die Erdoberfläche im Punkt D. Für dessen x -Koordinate x_D muss daher die Kreisgleichung gelten:

$$x_D^2 + m^2 x_D^2 = R^2. \quad (2)$$

Daraus folgt:

$$x_D = \frac{R}{\sqrt{1+m^2}}. \quad (3)$$

Mit dieser Koordinate können wir den Sinus des Winkels β gegen die y -Achse berechnen:

$$\sin \beta = \frac{x_D}{R}. \quad (4)$$

Schließlich erhalten wir aus (4) mit (3):

$$\beta = \arcsin\left(\frac{1}{\sqrt{1+m^2}}\right). \quad (5)$$

Die Skipentfernung s beschreibt den Bogen auf der Erdoberfläche von A über D nach C. Für diese Skipentfernung gilt:

$$s = 2 \frac{\beta}{2\pi} \cdot 2\pi R = 2R \arcsin\left(\frac{1}{\sqrt{1+m^2}}\right). \quad (6)$$

Mithilfe der Beziehung (6) und (1) können wir bei den gegebenen Größen: Radius R , Höhe h und Elevationswinkel α die Skipentfernung berechnen. Bild 9 zeigt die Skipentfernung als Funktion des Elevationswinkels für die beiden Höhen 300 km und 400 km. Die F2-Schicht der Ionosphäre befindet sich nachts bei ca. 300 km und tagsüber steigt sie im Sommer auf eine Höhe von ca. 400 km an. Die berechneten Werte decken sich in etwa mit den Angaben in einer Tabelle im Rothammel [8], eine mathematische Beziehung ist dort allerdings nicht angegeben.

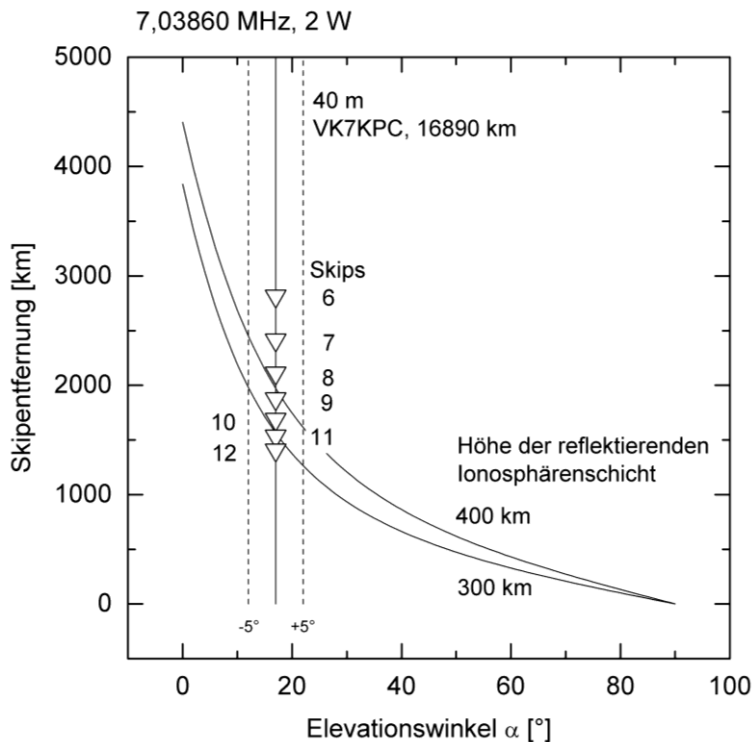


Bild 9: Skipentfernung als Funktion des Elevationswinkels α . Die senkrechte Linie bei 17° Elevationswinkel zeigt die Lage des Maximums für einen $\lambda/2$ -Dipol über einer Erdoberfläche mittlerer Leitfähigkeit [8], vgl. Bild 10. Die strichlierten Linien liegen bei $\pm 5^\circ$ davon.

Für die DX Verbindungen von Bild 1 und Bild 6 nehmen wir an, dass der Elevationswinkel des Vertikalstrahlers ausschlaggebend ist, bei dem die größte Feldstärke zu erwarten ist. Bild 10 zeigt das Vertikaldiagramm eines $\lambda/2$ -Strahlers [8]. Das Maximum liegt bei 17° . Für diesen Elevationswinkel beträgt die Skipientfernung 1565 km für $h = 300$ km und 1972 km für $h = 400$ km. In Bild 9 sind bei 17° und bei $\pm 5^\circ$ davon jeweils senkrechte Linien eingezeichnet.

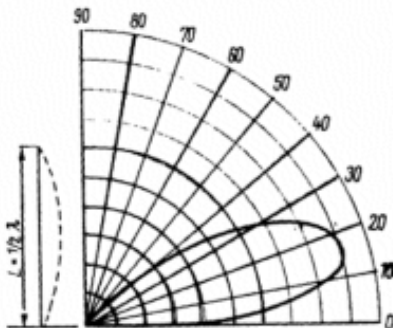


Bild 10: Vertikaldiagramm einer $\lambda/2$ -Monopolantenne über einer Erdoberfläche von mittlerer Leitfähigkeit [8]

Nehmen wir vereinfachend an, dass die DX-Verbindung durch eine idealisierte Aneinanderreihung von Skips gleicher Sprungweite zustande kommt. Das ist natürlich eine starke Vereinfachung, da ja auf dem Verbindungsweg die Höhe der reflektierenden Schicht variieren kann, diese ist eventuell sogar unduliert und weiterhin tritt bei der Reflexion der Raumwelle am Boden auch diffuse Streuung auf.

Wir dividieren die Entfernungen der DX-Station zu meinem QTH durch eine ganze Zahl n und erhalten so die Skipientfernung eines Sprungs bei einer Verbindung mit insgesamt n Sprüngen. In Bild 9 ist dies beispielhaft für die Station VK7KPC in Tasmanien für $n = 6$ bis 12 dargestellt. Nehmen wir an, dass vor allem der Elevationswinkel von 17° entscheidend für die DX-Verbindung ist (oder nur geringe Abweichungen davon), so ist Bild 9 zu entnehmen, dass dafür 9 bis 11 Skips erforderlich sind, je nach angenommener mittlerer Höhe der reflektierenden Schicht.

In analoger Weise können wir so die erwartete Anzahl von Skips für die anderen DX-Verbindungen aus Bild 1 abschätzen, siehe Bild 11. Damit nicht alle Datenpunkte bei 17° übereinander liegen, habe ich diese zur besseren Sichtbarkeit etwas nach links und rechts versetzt von der 17° Linie dargestellt.

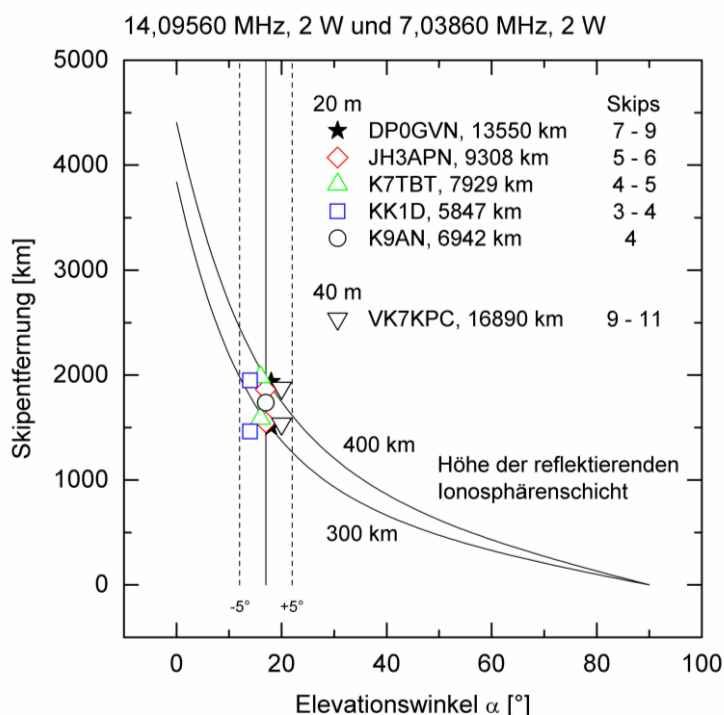


Bild 11: Skipientfernung über dem Elevationswinkel für die Höhen 300 km und 400 km einer reflektierenden Ionosphärenschicht (durchgezogene Kurven, gleiche Kurven wie in Bild 9). Eingezeichnet sind für die DX-Verbindungen aus Bild 1 und Bild 6 die abgeschätzte Anzahl von Skips unter der vereinfachenden Annahme der Aneinanderreihung idealisierter Skips. Je nach Entfernung der empfangenden Station sind 3 bis 11 Skips erforderlich

Fazit

Die Betriebsart WSPR erlaubt mit relativ einfachen Mitteln differenzierte Einblicke in das Ausbreitungsverhalten von DX-Kurzwellenverbindungen und das bei geringen Sendeleistungen wie den hier verwendeten 2 W.

30.9.2016, Reinhard, DF1RN

Bezugsdokumente

- [1] <http://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/wspr.html>
- [2] Multiband end-fed antenna, PD7MAA, <http://pa-11019.blogspot.de/2012/04/149-transformer-for-endfed-antennas-35.html>
- [3] http://www.spiderbeam.com/product_info.php?info=p3_Spiderbeam%20HD%2012m%20fiberglass%20pole.html
- [4] Kabel-Kusch, Dorstr. 63 - 65, 44143 Dortmund
- [5] Messungen am Koaxialkabel H 2007, DF1RN, 24.4.2016, http://www.darc.de/fileadmin/filemounts/distrikte/g/ortsverbaende/01/Speisekabel_H_2007_rev.1.1_df1rn_2016_04_24.pdf
- [6] <http://wsprnet.org/drupal/node>
- [7] Ausbreitung Juli 2016, Funkamateure 7/16, S. 682
- [8] Rothammels Antennenbuch, 12. Auflage, Alois Krischke, DJ0TR, DARC Verlag, 2001, S. 54, Tab. 2.1; Vertikaldiagramm: S. 435, Bild 19.2.3

Anhang

Tab. 1: Station parameters im Programm WSPR für den Betrieb des Elecraft KX3 Transceivers

Station parameters	
Call	DF1RN
Grid	JO30BR
Audio in	3 Eingang (High-Definition Audio-Gerät), Pegel 20
Audio out	5 Lautsprecher (High Definition Audio-Gerät), Pegel 50
Power [dBm]	33
PTT method	PTT
PTT port	none
CAT	enable
CAT port	COM6
Rig number	229 Elecraft K3
Serial rate	38400
Data bits	8
Stop bits	2
Handshake	none

Tab. 2: Einstellungen am Elecraft KX3

Lautstärke	AF8
AGC Speed	AGC-F
Preamp	20 dB