

# The DXer's Guide to the HF-Propagation

Langweiliger Deutscher Titel: Kurzwellenausbreitung

Wer Lust hat auf einen schrägen Kultroman: The Hitchhiker's Guide to the Galaxy



## Inhalt

<b>1 Einleitung</b> .....	2
<b>2 Ein wenig Theorie muss sein</b> .....	3
2.1 Beugung in der Ionosphäre .....	3
2.2 Funkwetterprognosen .....	10
2.3 Tote Zonen .....	11
2.4 Rauschen .....	13
2.5 Spezielle Ausbreitungsarten .....	14
2.5.1 Langer Weg .....	14
2.5.2 Crooked Path .....	15
2.5.3 Sporadisch E und TEP .....	15
2.5.4 Grayline .....	15
<b>3 Einfache Merksätze</b> .....	16
<b>4 Tools für die Ionosphärenprognose</b> .....	17
4.1 DXSummit .....	17
4.2 Clublog .....	19
4.3 VOACAP DX Charts .....	20
4.4 VOACAP online for Ham Radio .....	22
4.5 DX-Propagation von DR2W .....	24
<b>5 Eigene Bandbeobachtungen</b> .....	25

# 1 Einleitung

Für das Gelingen einer Weitdistanz-Übertragung mittels Kurzwellen müssen mehrere Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein. So braucht es geeignete Antennen und Geräte und die Ionosphäre muss mitspielen. Maximal erlaubte Sendeleistung und Monsterantennen in 30m Höhe an einem guten Standort bringen nichts, wenn die Ionosphäre gerade keine Lust zur Kooperation hat. Deshalb müssen ambitionierte KW-Funker ein Verständnis über den Aufbau der Ionosphäre und die Mechanismen der Wellenausbreitung haben, um zum Erfolg zu kommen.

Die Krux liegt in den beiden Worten «Verständnis» und «Erfolg»!

Verständnis kann man «zum Selbstzweck» haben. Man sucht nach einer Erklärung für beobachtete Phänomene und versucht, damit Vorhersagen zu machen. Das ist die naturwissenschaftliche Vorgehensweise: man baut sich ein Modell, das die Funktion der Ionosphäre erklärt. Dieses Modell kann aus sprachlich ausformulierten Regeln bestehen, z.B.: «Auf dem 10m-Band soll der Übertragungsweg in der Helligkeit sein, auf dem 160m-Band in der Dunkelheit.» Das ist ein sog. empirisches Modell, es kondensiert viele Beobachtungen in wenige Sätze. Es erklärt das «Wie», aber nicht das «Warum». Die Physiker als Theoretiker interessieren sich brennend für Letzteres und haben gerne mathematische Modelle, diese dürfen sogar beliebig kompliziert sein. Sie wollen nämlich das tiefe Verständnis.

Die Praktiker, d.h. die Anwender (und auch die Ingenieure) haben lieber leicht handhabbare Modelle und klare Regeln, die gerne einfach so hingenommen und nicht hinterfragt werden. Sie wollen den Erfolg mit möglichst wenig Aufwand.

Beide Vorgehensweisen sind berechtigt und sinnvoll. Es geht überhaupt nicht darum, welche Variante besser ist, es braucht beide. Die Frage ist hier einzig, wie kompliziert das Modell für die Anwender sein soll. Die Antwort ist die: so einfach wie möglich und nur so kompliziert wie notwendig. Und genau hier kommt die Zielsetzung des Anwenders ins Spiel.

Rundfunkanstalten z.B. müssen ihre Sendepläne mehrere Monate im Voraus publizieren. Sie brauchen also ausgefeilte Modelle, die für diesen Zeitraum belastbare Vorhersagen ermöglichen.

Bei den Funkamateuren sieht es ganz anders aus:

- Der **Gelegenheitsfunker** sitzt an die Station und muss ein Band und die Antennenrichtung auswählen. Es ist ihm ziemlich egal, ob eine Verbindung nach Indien oder Japan ins Log kommt. Dazu genügt bereits ein sehr einfaches Modell.
- **DX-Jäger** wollen wissen, zu welcher Tages- oder Nachtzeit eine gerade stattfindende DXpedition in ein rares Land am besten erreichbar ist. Vielleicht sogar für jedes Band einzeln. Und sie möchten wissen, ob eine Verbindung via «long path» erfolgversprechender ist und wann «grey line -QSOs» möglich sind.
- **DXpeditionäre** möchten in der Planungsphase wissen, zu welcher Jahreszeit ihre Expedition die besten Ausbreitungsbedingungen ausnutzen kann. Und am exotischen Ort angekommen müssen sie wissen, zu welcher Tageszeit die besten Chancen für Europa, Japan, Nordamerika usw. bestehen.
- **Contester** wollen für jedes Band einzeln wissen, wann welcher Kontinent erreichbar ist, sie wollen nämlich Multiplikatoren sammeln.

Seit einigen Jahrzehnten wird das Wissen der Theoretiker – deren mathematische Modelle – verpackt in Computerprogramme. Damit können die Praktiker spielen («die Ionosphäre durchprobieren») und ihre Erkenntnisse ableiten, ohne ein tiefes Verständnis für die Hintergründe zu haben. Dieses Phänomen ist allgegenwärtig: die wenigsten Anwender von Software Defined Radios (SDR) haben belastbare Kenntnisse über diskrete Fouriertransformation, digitale Filter usw., es geht auch ohne. Und die wenigstens Nutzer des Mobilfunks haben auch nur eine leise Ahnung, was physikalisch und technisch dahintersteckt.

Es stellt sich also die Frage, wie weit das Verständnis der Grundlagen gehen muss, um als qualifizierter Anwender durchzugehen. Fragt man 100 Leute darüber aus, so kriegt man 101 Meinungen, entsprechend zahlreich ist die Literatur zum Thema.

Meine Auffassung als Anwender: ein wenig Theorie muss sein, damit man die Tools richtig anwenden kann, z.B. die korrekten Parameter für die Rechnerei eingeben kann. Mit eigenen Beobachtungen und Erfahrungen kann man die Aussagen der Tools richtig interpretieren. Genauso ist dieser Text aufgebaut:

- etwas Theorie (Kapitel 2)
- daraus ableitbare Merksätze (Kapitel 3)
- Tools (Kapitel 4)
- eigene Beobachtungen (Kapitel 5)

## 2 Ein wenig Theorie muss sein

Dieses Kapitel soll ein Verständnis für die grundlegenden Mechanismen der Kurzwellenausbreitung erzeugen. Falls das dem Leser zu trocken oder zu mühsam ist, kann er mit nur wenig Einbusse an Lebensqualität dieses Kapitel einfach überspringen und sich erst nach der Lektüre der folgenden Kapitel auf den Geschmack bringen lassen.

### 2.1 Beugung in der Ionosphäre

Elektromagnetische Wellen (Radiowellen, Licht usw.) breiten sich im ungestörten (gleichförmigen) Medium geradlinig aus. Einstein hat nachgewiesen, dass es nicht einmal ein Medium braucht und schaffte damit den «Äther» ab.

Die meisten Menschen haben akzeptiert, dass die Erde eine Kugel ist. Und die Erfahrung zeigt täglich, dass man mit Kurzwellen zwei weit entfernte Punkte auf dieser Kugeloberfläche verbinden kann. Das wirft die Frage auf, wie das überhaupt möglich ist, da sich die Radiowellen ja geradlinig ausbreiten.

Eine Hypothese hatte Heaviside: Das Medium ist nicht gleichförmig, das führt zu einer Ablenkung der Radiowellen. Konkreter: in der Atmosphäre muss ein «elektrischer Spiegel» vorhanden sein, der die Radiowellen zurückwirft. Ein ähnlicher Effekt findet auch bei einer Fata Morgana statt. Um keine Fehler einschleichen zu lassen: die Kurzwellen werden in der Atmosphäre *nicht* reflektiert, sondern gebeugt.

Die Hypothese von Heaviside hat man überprüft, indem man gepulste Radiowellen nach oben abstrahlte und die Echos auswertete. Es ist dasselbe Verfahren wie beim Echolot, nur benutzt man nicht akustische Wellen sondern elektromagnetische Wellen und strahlt nicht nach unten, sondern nach oben. Dabei fand man je nach Frequenz Echos aus unterschiedlichen Höhen. Daraus schlossen die Wissenschaftler, dass es mehrere leitende Schichten in unterschiedlichen Höhen geben muss und nannten diese von unten nach oben D, E bzw. F-Schicht. Lustiges Detail: man wusste nicht, ob man nicht tiefer unten noch weitere Schichten finden würde und reservierte dafür die Buchstaben A, B und C.

Diese Schichten bestehen aus ionisiertem Gas, die Physiker nennen das ein Plasma. Ionisiert bedeutet, dass Elektronen aus den Gasmolekülen herausgeschlagen wurden, das Gas besteht dann aus positiv geladenen Ionen und freischwebenden negativ geladenen Elektronen und es wird elektrisch leitend. Es hat darum neue Eigenschaften gegenüber einem nichtionisierten Gas, deswegen ist das Plasma ein weiterer Aggregatzustand gegenüber den klassischen Zuständen fest, flüssig und gasförmig. Es gibt übrigens noch einen fünften Aggregatzustand: das Bose-Einstein-Kondensat. Dieses tritt auf bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt.

Die Gasmoleküle lassen sich ungern ionisieren, dieser Vorgang braucht deshalb Energie. Und diese Energie stammt aus dem UV-Licht der Sonne. Die Ionisation ist also abhängig von der Sonneneinstrahlung, d.h. der Tageszeit, der Jahreszeit und dem Sonnenfleckenzyklus. Dieser dauert ca. 11.6 Jahre, in diesem Rhythmus schwankt die Anzahl der Sonnenflecken und die Intensität der UV-Strahlung der Sonne. Dazu kommt noch eine Periode von 27 Tagen, das entspricht der Eigenrotationsdauer der Sonne. In Richtung Erde zeigende und somit auf der Erde wirksame Sonnenflecken verschwinden dank der Sonnendrehung, nach einem vollen Umlauf ist die Chance da, dass diese Flecken noch leben und wieder wirksam werden.

Bei einem ionisierten Gas sind Elektronen und positive geladene Moleküle getrennt, aufgrund der Coulomb-Kraft ziehen sich diese an. Dies führt zur Rekombination, das ist der umgekehrte Vorgang der Ionisation. Die Rekombination erfolgt umso rascher, je näher sich die Rekombinationspartner sind, also je grösser die Dichte der Atmosphäre ist, also je grösser der Luftdruck ist, also je tiefer die Ionisationsschicht ist. Die D- und die E-Schicht entstehen erst am Morgen und verschwinden nach Sonnenuntergang rasch wieder. Die F-Schicht ist in so dünner Atmosphäre, dass die Rekombination zu langsam ist und die F-Schicht auch nachts vorhanden ist, wenn auch mit geringerer Ionisation.

Beim Eindringen in die Atmosphäre wird das UV-Licht der Sonne zusehends absorbiert. Weit aussen ist die UV-Strahlungsenergie am grössten, aber die Dichte der Gasmoleküle am kleinsten. Die Ionisation ist darum gering. Weiter unten steigen die Dichte und somit die Ionisation an, noch weiter unten ist zwar die Dichte noch grösser, aber die UV-Strahlung geschwächt und die Rekombinationsrate grösser, die Ionisation nimmt wieder ab. Deshalb gibt es ausgeprägte Maxima der Ionisation, die Ionisationsschichten.

Mehrere Schichten gibt es darum, weil die unterschiedlichen Gasmoleküle (v.a.  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$  und  $CO_2$ ) unterschiedlich auf die verschiedenen Frequenzanteile der UV-Strahlung reagieren.

Bild 1 zeigt den Aufbau der Ionosphärenschichten. Zum Höhenvergleich: das Wetter spielt sich in den untersten 10 km ab, die Raumstation ISS ist ca. 400 km über der Erdoberfläche, also noch in der Ionosphäre.

Die D-Schicht ist diffus, deshalb sprechen Puristen lieber von einer D-Region. Ihre einzige Funktion für KW-Funker ist, lästig zu sein.

Die F-Schicht ist speziell, indem sie sich tagsüber in zwei Schichten aufteilt, genannt  $F_1$  und  $F_2$ . Nachts verschmelzen die beiden Schichten zu einer einzigen F-Schicht. Die F-Schichten sind die wichtigsten Schichten für den DX-Verkehr. Weil sie am höchsten liegen, lassen sie die grössten Sprungdistanzen von 2'500 bis 4'000 km zu. Danach trifft die Radiowelle auf die Erde oder das Meer, wird reflektiert (ja, jetzt ist es eine harte Reflexion und keine Beugung) und macht den nächsten Sprung (Hop) über die Ionosphäre (Beugung!).

Tabelle 1 fasst die Eigenschaften der Ionosphärenschichten zusammen.

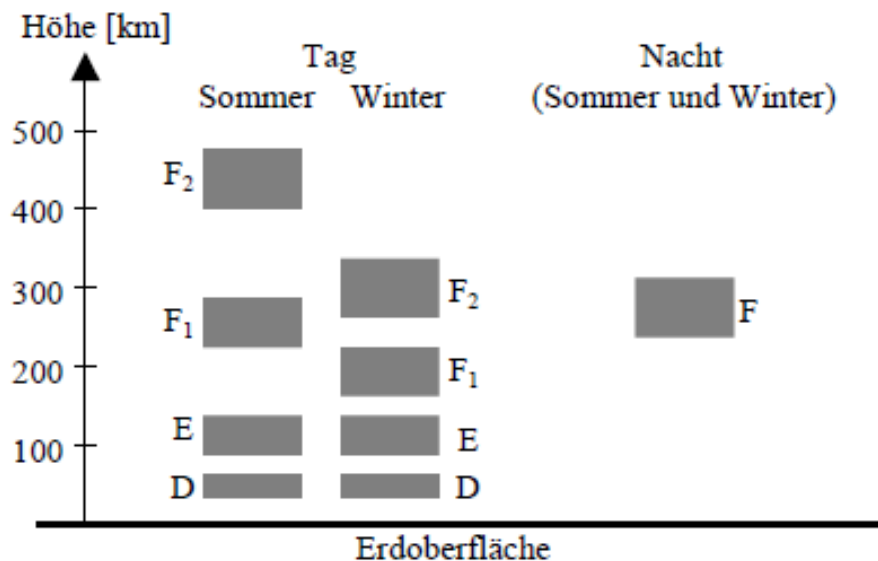


Bild 1: Die Schichten der Ionosphäre

Tabelle 1: Eigenschaften der Ionosphärenschichten

Schicht	Höhe [km]	zeitliches Auftreten	Wirkung
D	50 ... 90	nur tags, Maximum um 12.00 Lokalzeit	Beugung von Langwellen Dämpfung von Kurzwellen
E	90 ... 125	nur tags, Maximum um 12.00 Lokalzeit	Beugung von langen Kurzwellen Dämpfung von kurzen Kurzwellen
$F_1$	150 ... 250	nur tags, nachts Kombination mit $F_2$ zur F-Schicht	Beugung von kurzen Kurzwellen
$F_2$	350 ... 500	nur tags, nachts Kombination mit $F_1$ zur F-Schicht	Beugung von kurzen Kurzwellen

Die Schichten beeinflussen die Radiowellen je nach Frequenz unterschiedlich: tiefe Frequenzen werden stark gedämpft, hohe Frequenzen hingegen nur schwach. Faustregel: Eine Verdoppelung der Frequenz viertelt die Dämpfung (6 dB).

Auch die Beugung ist frequenzabhängig: tiefe Frequenzen werden besser gebeugt als hohe Frequenzen. Ist die Frequenz einer Radiowelle zu hoch, so durchdringt sie einfach die

Ionosphäre und verliert sich im Weltall. Das ist der Fall bei VHF und höher. Bei starken Sonnenfleckenmaxima kann man aber sogar auf 6m Verbindungen via F-Schicht erleben.

Das führt zu einem Dilemma bei der Wahl der Frequenz bzw. des Bandes: die QRG soll möglichst hoch sein, so dass die Dämpfung klein ist, aber ja nicht zu hoch, damit noch eine Beugung stattfindet. Wo die Grenze ist, hängt ab von der Ionisation, also von der Tageszeit usw. Deshalb muss man je nach Tageszeit das Band wechseln, um einen bestimmten Kontinent zu erreichen.

Tagsüber ist das 80m-Band ruhig, man hört höchstens Bodenwellen, die aber rasch absorbiert werden. Diese Frequenzen würden problemlos an der E-Schicht oder der F-Schicht gebeugt, sie gelangen aber wegen der D-Schicht gar nicht erst so hoch hinauf.

Mit sog. Ionosonden messen physikalische Institute regelmässig die Ionosphäre aus. Das ist nichts anderes als die Wiederholung der Versuche von Heaviside, also ein Radio-Echolot nach oben. Dabei sweepen sie mit ihrer Frequenz über den ganzen Kurzwellenbereich, im Spektrogramm (Wasserfall) der Empfänger sieht man dies als schräge Linien. Das Resultat ist ein sog. Ionogramm, Bild 2.

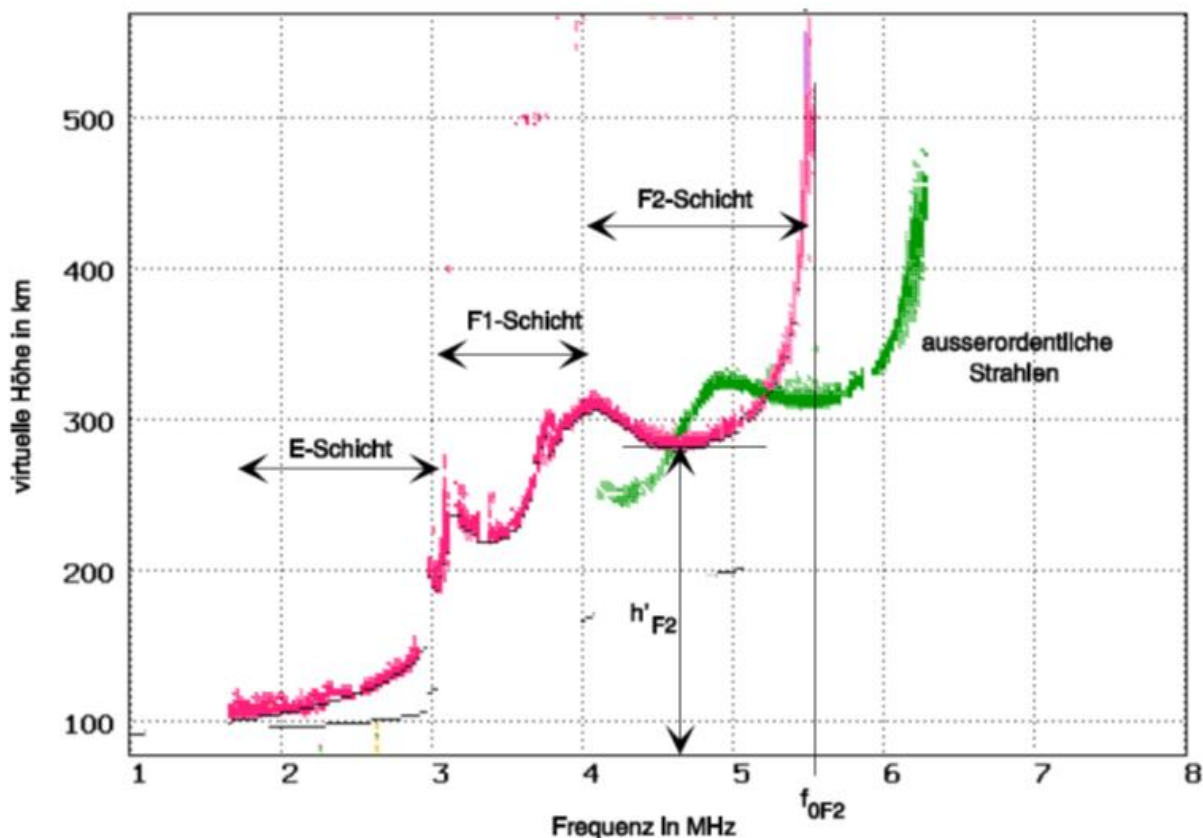


Bild 2: Beispiel für ein Ionogramm (Momentanaufnahme, das Aussehen ändert ständig)

Wellen unter 1.7 MHz in Bild 2 erzeugen kein Echo, sie werden von der D-Schicht absorbiert. Ab 1.7 MHz wird die D-Schicht durchstossen, an der E-Schicht findet eine Beugung statt und die Welle wird zurückgeworfen. Aus der Laufzeit kann man die virtuelle Höhe  $h'$  berechnen. Die effektive Höhe  $h$  ist kleiner, der Unterschied kommt folgendermassen zustande: In der ionisierten Schicht ändert sich der Brechungsindex, das führt zu einer Verkleinerung der

Ausbreitungsgeschwindigkeit. Dann wird die Welle kontinuierlich gebrochen, d.h. abgelenkt, bis sie die Richtung gewechselt hat. Nach dem Verlassen der Schicht steigt die Ausbreitungsgeschwindigkeit wieder auf die Lichtgeschwindigkeit an. Die virtuelle Höhe wird rechnerisch bestimmt, indem man annimmt, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit stets der Lichtgeschwindigkeit entspricht und eine harte Reflexion stattfindet, nicht eine stete Beugung. Die Höhe des harten Reflexionspunktes ist die virtuelle Höhe.

Knapp über 3 MHz durchstösst die Welle die E-Schicht und wird von der F<sub>1</sub>-Schicht zurückgebeugt. Ab 4 MHz wird die F<sub>1</sub>-Schicht durchstossen und an der F<sub>2</sub>-Schicht gebeugt.

Grün eingezeichnet sind die sog. ausserordentlichen Strahlen. Diese entstehen aufgrund einer Doppelbrechung wie in gewissen Kristallen. Ursache ist der Einfluss des Erdmagnetfeldes auf die Ionosphäre. Aus einer einfallenden Welle können also zwei ausfallende Wellen entstehen, die unterschiedliche Laufzeiten und Polarisationen haben. Dies führt zum für die Kurzwellen typischen Selektiv-Fading, das bei den F<sub>2</sub>- und F-Schichten am ausgeprägtesten ist, bei der F<sub>1</sub>-Schicht schwächer und bei der E-Schicht kaum merkbar.

Tagesaktuelle Ionogramme und detaillierte Erklärungen findet man z.B. hier:

<http://cms.hb9gl.ch/pages/aktuell/ionogramm.php>

Die Ionogramme eines vertikalen Sounders messen die sog. kritische Frequenz  $f_0$ . Das ist die maximale Frequenz, die bei *senkrechter* Einstrahlung gerade noch zurückgebeugt wird. Die Physiker nennen dies die Plasmafrequenz.

Bei *schräger* Einstrahlung werden auch höhere Frequenzen zur Erdoberfläche zurückgebeugt. Wenn also wie in Bild 2 die kritische Frequenz für die F<sub>2</sub>-Schicht 5.5 MHz beträgt, kann man trotzdem auf 20m und aufwärts DX-Verbindungen tätigen. Je flacher die Sendeantenne abstrahlt, desto eher wird noch gebeugt und desto grösser ist die Hop-Distanz. Bei DX-Verbindungen mit mehreren Hops reduziert sich deren Anzahl und damit auch die Anzahl der dämpfenden Durchquerungen der unteren Schichten. Für DX empfiehlt sich darum eine flache Abstrahlung!

Die beschriebenen Mechanismen kann man in einem Ionosphärenmodell mathematisch beschreiben und die Dämpfungen und Beugungen berechnen. Allerdings muss man dafür die Intensität der UV-Strahlung kennen. Und jetzt haben die Sonnenflecken ihren Auftritt!

Aufgrund des Tag-Nacht-Rhythmus der Ausbreitungsbedingungen war die Sonne schnell eine Hauptverdächtige für die Ursache. Und durch Erfahrung hat man rasch gemerkt, dass die Ausbreitungseigenschaften auf 15m und 10m sehr stark einem 11.6-jährigen Zyklus unterliegen. Und naheliegenderweise hat man dies mit dem ebenso langen Sonnenfleckenzyklus in Verbindung gebracht.

Sonnenflecken sind dunkle Gebiete auf der Sonnenoberfläche. Man kennt diese seit 2000 Jahren, ab 1849 wurden die Sonnenflecken von Prof. Wolf an der ETH Zürich systematisch erfasst, d.h. ausgezählt. Allerdings treten die Sonnenflecken zum Teil in Gruppen auf, andere sind Solitäre. Wolf hat vorgeschlagen, die Anzahl  $g$  der Gruppen und die Anzahl  $f$  der Einzelflecken separat zu erfassen und mit folgender Formel zu kombinieren:

$$R = k \cdot (10g + f) \quad \text{(Gleichung 1)}$$

$R$  heisst «Zürcher Relativzahl». Der Faktor  $k$  ist etwas willkürlich, er berücksichtigt die Leistungsfähigkeit des benutzten optischen Instruments. 2015 wurde dieser Faktor «abgeschafft» bzw. auf 1 gesetzt.

Die tägliche Schwankung von  $R$  ist deutlich grösser als diejenige der solaren UV-Strahlung, Bild 3. Darum ist  $R$  nicht geeignet, die UV-Strahlung der Sonne zu beschreiben. Diese Strahlung kommt nämlich von den sog. Sonnenfackeln, nicht von den Sonnenflecken. Letztere haben einzig den Vorteil, dass sie von der Erde aus sichtbar sind. Erstere liegen in der Umgebung der Flecken und ihre Intensität korreliert mit dem monatlichen Mittelwert  $R_s$  ( $s$  = smoothed, geglättet) der Sonnenflecken-Relativzahl.

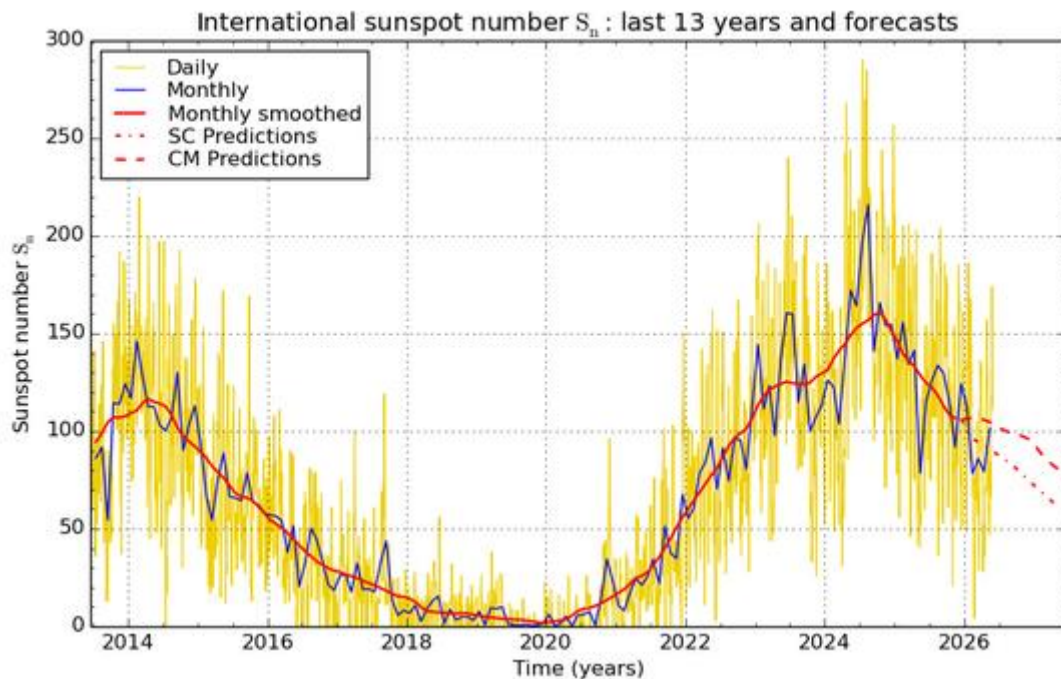


Bild 3: Tägliche Werte (gelb), monatliche gemittelte Werte (blau) und über 13 Monate gemittelte Werte (rot) von  $R$ . Bildquelle: <https://www.sidc.be/SILSO/home>

Tauglich für die Charakterisierung der aktuellen Sonnen-UV-Strahlung ist die blaue Kurve in Bild 3. Für Prognosen ist hingegen die rote Kurve bedeutsam.

Die Sonnenfleckenzyklen sind nicht identisch, es gibt gute (starke Maxima) und schlechte Zyklen. V.a. die Bänder 12m und 10m brauchen hohe Ionisationen, um noch von der Beugung in der Ionosphäre zu profitieren. Während Sonnenfleckenminima sind diese Bänder darum kaum nutzbar, während sie in guten Maxima dank der wegen der hohen Frequenz geringen Dämpfung in den unteren Schichten auch mit kleinen Sendeleistungen tolle DX-Resultate bringen.

Diese Schwankungen stimmen sehr gut mit den  $R_s$ -Werten überein, Bild 4 zeigt die Werte bis zurück nach 1760. Die schwarzen Kurven sind rückwärts extrapolierte Zahlen, während die blauen auf Zählungen beruhen.

Die Sonnenzyklen werden nummeriert ab demjenigen von 1760. Im Moment (2026) sind wir auf dem absteigenden Ast von Zyklus Nr. 25. Die Zyklen haben stark unterschiedliche Höchstwerte, die auch heute noch nicht vorhergesagt werden können. Für den Zyklus Nr. 25 z.B. schwankten die Prognosen zwischen unbrauchbar und hervorragend. Für einen Zeithorizont von einem Jahr lassen sich aber einigermaßen belastbare Vorhersagen machen.

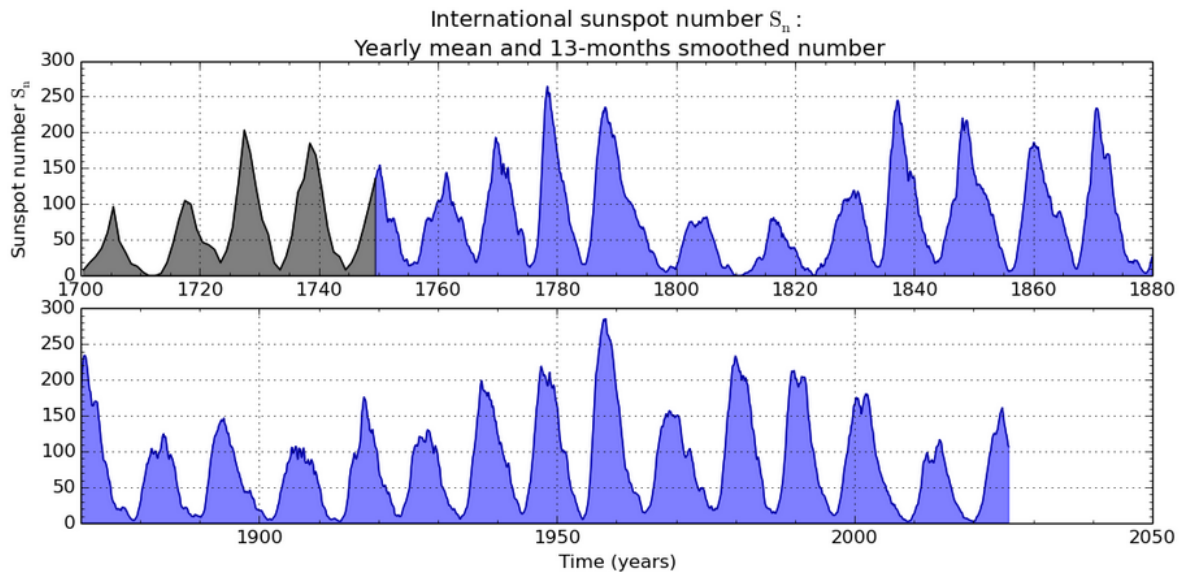


Bild 4: Geglättete Sonnenfleckenzahl seit 1700. Blau: Zählungen, schwarz: Schätzwerte  
 Bildquelle: <https://www.sidc.be/SILSO/yearlyssnplot>

Die Krux ist aber, dass man den heutigen Wert von  $R_s$  wegen der Mittelung erst im Nachhinein berechnen kann. Auch der Zeitpunkt des Sonnenfleckenzahlmaximums lässt sich erst post festum festlegen.

Man hat deshalb versucht, andere Indikatoren für die UV-Strahlung der Sonne zu verwenden. Direkt messen lässt sich diese ja nur von Satelliten aus, denn auf der Erdoberfläche ist sie bereits stark geschwächt.

Ein guter Indikator ist der solare Flux SF, das ist die Intensität der Sonnenstrahlung bei der Frequenz 2.8 GHz (Wellenlänge 10.7 cm). Dort ist die Wasserstoffabsorption der Erdatmosphäre gering. Der Zusammenhang zwischen SF und  $R_s$  ist ziemlich einfach:

$$SF \approx 67 + 0.572 \cdot R_s \quad (\text{Gleichung 2})$$

Mitte 2015 wurde die Zählweise für  $R_s$  geändert, der Faktor  $k$  in Gleichung 1 wurde abgeschafft. Zudem hat man die Gleichung 2 etwas modifiziert, oben ist die neue Form notiert. Ziel war die Beseitigung von Inkonsistenzen in den historischen Daten und die Verbesserung der Vorhersagen über 12 Monate. Beim Studium von Datensätzen muss man darum aufpassen, nach welcher Norm  $R_s$  gebildet wurde. Vor 2015 ergab ein  $R_s$  von 100 einen SF von 152, heute aber nur noch 125.

Der SF wird täglich von verschiedenen Observatorien gemessen. Manchmal wird er als SFI geschrieben (Sun Flux Intensity). Und SFI90 ist der 90-Tage-Mittelwert von SFI.

Genau so findet man als alternative Bezeichnung für  $R_s$  die Abkürzungen SN und SSN (Sunspot Number).

## 2.2 Funkwetterprognosen

Die Ausbreitungsbedingungen im KW-Bereich schwanken massiv mit der Stärke der Ionisation der D, E- und F-Schichten. Ursache ist der UV-Anteil des Sonnenlichtes, deshalb gibt es mehrere Schwankungsperioden:

- Tageszeitliche Schwankungen (Sonnenstand)
- Jahreszeitliche Schwankungen (Tageslänge)
- Sonnenfleckenzyklus (Intensität des UV-Lichtes)
- 27-Tage-Schwankung (Eigenrotation der Sonne, Sichtbarkeit der Sonnenflecken)

Diese Effekte sind gut erklärbar und darum auch prognostizierbar. Ionosphärenmodelle liefern für eine gewünschte Funkverbindung folgende Angaben:

- **MUF = Maximum Usable Frequency:** Das ist die höchste benutzbare Frequenz für diese Verbindung beim angegebenen Stand der Ionisation.
  - Wird die Frequenz höher gewählt, so reicht die Beugung nicht aus und die Radiowelle verschwindet im Weltall.
  - Wellen mit Frequenzen unterhalb der MUF werden auch gebeugt.
  - Bei DX-Verbindungen mit mehreren Hops muss für jeden Hop die MUF berechnet werden. Die kleinste dieser MUF ist dann die MUF für die gesamte Verbindung.
  - Die MUF ist unabhängig von der Sendeleistung. Mehr Power bringt gar nichts!
  - Die MUF ändert mit den Koordinaten von Sender und Empfänger. Liegen diese nahe beieinander, so ist eine steile Welle erforderlich, was zu einer Verkleinerung der MUF führt.
  - Berechnet man die MUF für eine Verbindung über eine ganz kurze Distanz, so erfordert dies eine vertikal abgestrahlte Welle. Die so berechnete MUF ist *nicht* die früher erwähnte kritische Frequenz  $f_0$ ! Die MUF ist ein Hirngespinnst aus einem Computermodell, die kritische Frequenz hingegen ein Messwert, also ein Gruss von der Realität.
  - Als Prognose aus einem Modell hat die MUF-Angabe eine Unsicherheit. Arbeitet man genau auf der MUF, so kommt die Verbindung innerhalb eines Monats an 15 Tagen zustande, d.h. man hat eine Wahrscheinlichkeit von 50 %.
- **FOT = Frequency of Optimum Traffic:** Die FOT beträgt 85 % der MUF. Damit erhöht sich die Verbindungswahrscheinlichkeit von 50 % auf 90 %. Die FOT ist also eine «MUF mit Sicherheitsmarge».
- **LUF = Lowest Usable Frequency:** Das ist die tiefste benutzbare Frequenz für die spezifizierte Verbindung. Sie ist abhängig von der Sendeleistung.
  - Tiefere Frequenzen werden durch die D-Schicht vollständig absorbiert.
  - Mit einer Erhöhung der Sendeleistung kann man die LUF nach unten schieben.  
Faustregel: Mit zehnfacher Leistung (10 dB) sinkt die LUF um 2 MHz.

Mit steigender Ionisation steigen auch MUF, FOT und LUF an.

Die LUF kann höher sein als die MUF, dann ist keine Weitverbindung auf Kurzwelle möglich.

Es kommen noch kurzfristige und zum Teil unvorhersehbare Effekte dazu, verursacht durch Eruptionen auf der Sonnenoberfläche. Dabei werden geladene Teilchen weggeschleudert, auf der Erde verursachen diese ionosphärische Störungen, Turbulenzen im Erdmagnetfeld und Nordlichter.

Ein Extrembeispiel ist der Mögel-Dellinger-Effekt: Sonnen-Eruptionen lassen die UV-Strahlung so stark ansteigen, dass die D-Schicht dermassen stark ionisiert wird, dass sie alle Radiowellen wegdämpft. Der Effekt tritt nur auf der Tagesseite der Erde auf, acht Minuten nach dem Ausbruch auf der Sonne steigt die Dämpfung bereits an. Ich habe das selber einmal erlebt, mitten in einem Plauder-QSO mit einem Amerikaner. Wir hatten komfortable Signalstärken, ich übergab ihm das Mikrofon und hörte dann vom Funkpartner schlicht nichts mehr. Und auch nichts von anderen Stationen. Ich vermutete einen Unterbruch in der Antennenzuleitung, die SWR-Messung ergab aber keine Auffälligkeiten. Nach einer halben Stunde war der Spuk wieder vorbei.

## 2.3 Tote Zonen

Die Sendeantenne strahlt je nach Bauform «verschiedene» Wellen aus, die Unterscheidung erfolgt nach dem Elevationswinkel:

- Bodenwellen breiten sich entlang der Erdoberfläche aus. Je tiefer die Frequenz, desto grösser ist die Reichweite. Auf Kurzwelle ist die Reichweite ein paar Dutzend Kilometer.
- Raumwellen werden nach oben abgestrahlt und nutzen die Beugung in der Ionosphäre aus. Die Frequenz muss wegen der Dämpfung genügend hoch sein, aber wegen der begrenzten Beugungsfähigkeit nicht zu hoch. Je flacher der Abstrahlwinkel ist, desto höher darf die Frequenz sein und desto weiter gelangt die Welle mit einem einzigen Sprung.

Es tritt nun häufig der Fall auf, dass nach z.B. 100 km die Bodenwelle absorbiert ist, aber wegen des steilen Winkels die Raumwelle nicht zurückgebeugt wird. Letzteres ist (je nach Ausbreitungsbedingungen und Frequenz) erst nach hunderten von Kilometern der Fall. Dazwischen ist kein Empfang möglich, das ist die tote Zone.

Weitdistanzübertragungen bestehen aus mehreren Ionosphärensprüngen. Reicht der erste Hop z.B. 3000 km weit, so endet der zweite Hop bei 6000 km Distanz. Dazwischen kann sich eine zweite tote Zone ausbilden. Mit einem einzigen Hop ist dieser Punkt nicht erreichbar, für zwei Hops müsste der Abstrahlwinkel aber steiler sein, wofür die Beugung zu gering ist. Je nach Ausbreitungsbedingungen kann sich sogar eine dritte tote Zone bilden. Auf 10m ist dies natürlich häufiger der Fall als auf dem 20m-Band, weil bei Letzterem die Wellen mit höheren Elevationswinkel dank der tieferen Frequenz eher zurückgebeugt werden.

Bild 5 zeigt ein Beispiel. Rechts in Bild 5 ist die Skala mit den Signal-Rausch-Abständen abgebildet, je röter, desto besser.

- Der Sender liegt in Deutschland. In kurzer Distanz um den Sender ist die Bodenwelle empfangbar, erkennbar am hellblauen verschwommenen Punkt im grossen dunkelblauen Kreis.
- Praktisch ganz Europa liegt in der toten Zone (dunkelblau).

- Südlich der Sahara tritt eine zweite tote Zone auf, südlich des Äquators sogar eine Dritte.
- Japan und Nordamerika sind im Moment auf 10m nicht erreichbar. Beide Gebiete liegen im Dunkeln und die Ionisation ist zu schwach.
- Richtung Norden gibt es nur eine Skipzone, danach ist die Ionisation auch zu schwach.
- Zum Vergleich zeigt Bild 6 die Prognose für einen um zwei Stunden früheren Zeitpunkt. Sehr schön sieht man im Vergleich, wie die Skipzonen mit dem Sonnenstand mitlaufen.

Wäre die Ionosphäre gleichmässig ionisiert, so würden die verschiedenen toten Zonen auf konzentrischen Kreisen um den Senderstandort liegen. Man spricht darum vom MUF-Trichter.

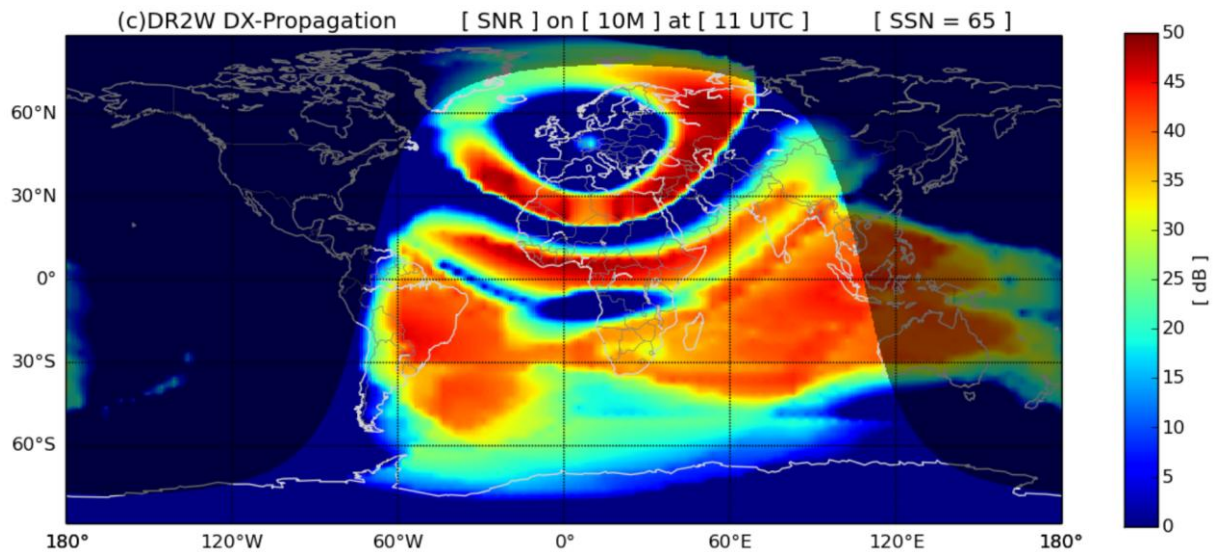


Bild 5: Mehrere tote Zonen (blau) auf dem 10m-Band. Prognose für den Juni 2026, Mittagszeit in Mitteleuropa. Quelle: DR2DW

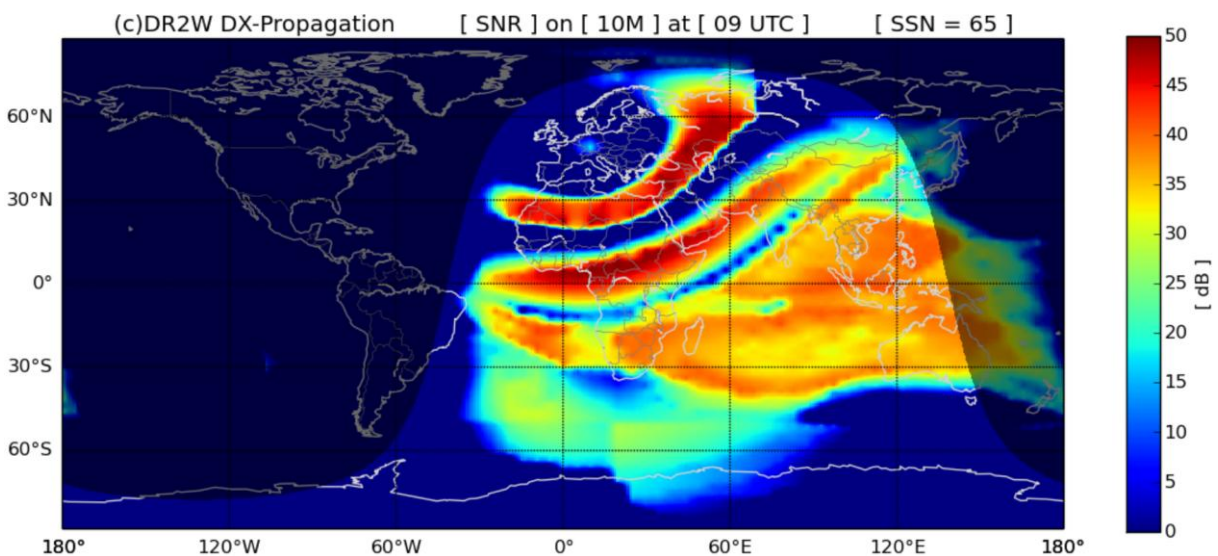
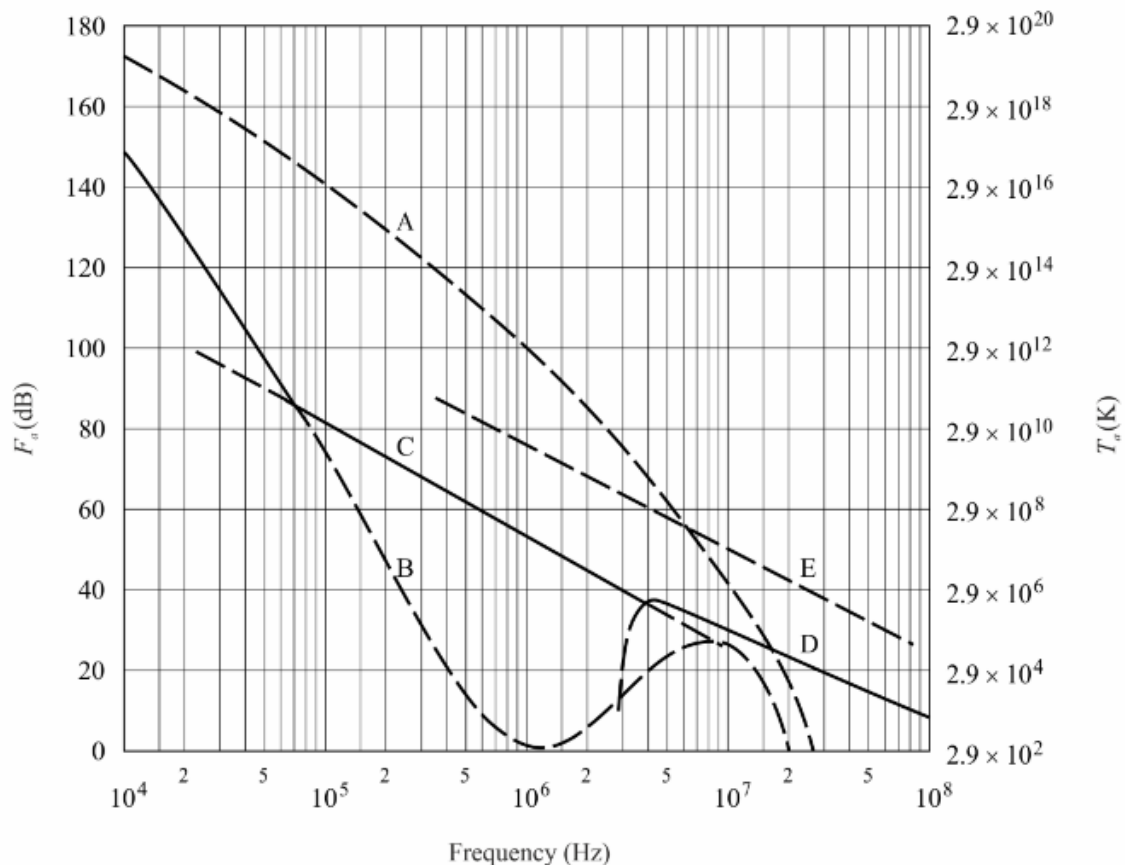


Bild 6: Wie Bild 5, aber zwei Stunden früher

## 2.4 Rauschen

Nicht umsonst sind in den Bildern 5 und 6 nicht die Signalstärken angegeben, sondern die Signal-Rausch-Abstände. Diese sind nämlich das Mass aller Dinge für eine erfolgreiche Nachrichtenübertragung. Ein erfreulich lautes Signal, das in einem ebenso lauten Rauschen verborgen ist, macht keine Freude mehr. Den Signal-Rausch-Abstand (SNR, signal to noise ratio) kann man verbessern mit einer Erhöhung der Signalstärke und/oder einer Verringerung der Störungen und des Rauschens. Das Rauschen setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, Bild 7 zeigt die Grössenverhältnisse:

- Atmosphärisches Rauschen: dieses sinkt mit steigender Frequenz, ist ein Problem auf 160m und 80m und kaum störend auf den Bändern 15m bis 10m.
- Galaktisches Rauschen: dieses ist im KW-Bereich vergleichsweise schwach und darum vernachlässigbar.
- Elektrosmog, d.h. menschengemachte Störungen: diese sind in urbanen Gebieten ein grosses und noch grösser werdendes Problem. Die Ursache sind regelbare Beleuchtungen und Antriebe, Schaltnetzteile, Photovoltaikanlagen usw.



- A: Atmospheric noise, value exceeded 0.5% of time  
 B: Atmospheric noise, value exceeded 99.5% of time  
 C: Man-made noise, quiet receiving site  
 D: Galactic noise  
 E: Median city area man-made noise  
 ——— Minimum noise level expected

P.0372-02

Bild 7: Rauschmass  $F_n$  in dB im Frequenzbereich 10 kHz bis 100 MHz

Quelle: ITU Recommendation ITU-R P.372

## 2.5 Spezielle Ausbreitungsarten

### 2.5.1 Langer Weg

Der kurze Weg (short path) ist der «normale» Verbindungsweg zwischen Sender und Empfänger. Er verläuft auf dem Grosskreis (dieser liegt in der Ebene, welche durch Sender, Empfänger und Erdmittelpunkt gebildet wird) und ist maximal 20'000 km lang, das ist die Hälfte des Erdumfanges.

Der lange Weg (long path) verläuft auf demselben Grosskreis, aber in die entgegengesetzte Richtung. Die Antennen sind also um 180 Grad gedreht. Der lange Weg ist immer länger als 20'000 km, nämlich Erdumfang minus Länge des kurzen Weges.

Es mag ja paradox erscheinen, eine Verbindung über den langen Weg laufen zu lassen. Dies kann aber vorteilhaft sein:

- Auf den oberen Bändern (20m bis 10m), wenn der lange Weg in der Helligkeit liegt, der kurze Weg in der Dunkelheit. Damit ist die Chance auf Beugung grösser.
- Auf 30m und 40m, wenn der lange Weg in der Dunkelheit liegt, der kurze Weg in der Helligkeit. Damit wird die Dämpfung kleiner.
- Wenn die Chance auf einen Chordal Hop besteht, Bild 8. Am Morgen ist die Verbindung von Europa nach Australien auf dem langen Weg über Mittelamerika oft besser. Auf der Nachtseite ist die Ionisation geringer als auf der Tagseite, deswegen wird die Welle nur leicht gebeugt, schrammt an der Erde vorbei und trifft ohne Bodenreflexion wieder auf die Ionosphäre. Dieser Pfad hat weniger Dämpfung. In Mittelamerika ist das Signal also unhörbar.

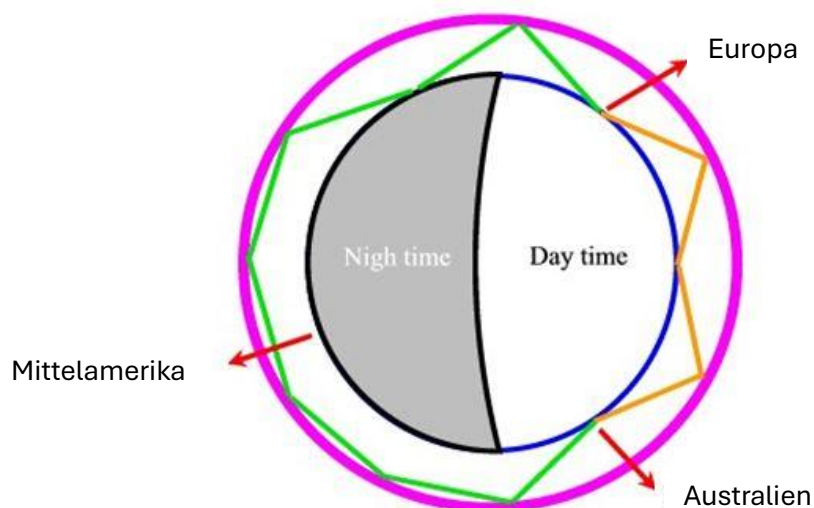


Bild 8: Chordal Hop auf dem langen Weg (grün) im Vergleich zum kurzen Weg.

Relativ rasch gewinnt man Erfahrungen über das Verhalten der Ionosphäre und erfasst intuitiv die Ausbreitung auf dem kurzen Weg. Beim langen Weg ist das ganz anders, dieser Weg ist immer wieder für Überraschungen gut. Deshalb sollte man bei weiten DX-Verbindungen immer beide Varianten prüfen, mit den in Kapitel 4 beschriebenen Tools sind das nur ein paar zusätzliche Mausklicks.

### 2.5.2 Crooked Path

Es kann vorkommen, dass die Welle irgendwie abgewinkelt wird und nicht aus der erwarteten Richtung (short path oder long path) eintrifft. Man ärgert sich, wenn man Kollegen bei einem QSO zuhört, selber aber kein Signal aufnimmt. In solchen Fällen ist es lohnenswert, den Beam um plus und minus 45 Grad zu drehen, vielleicht hilft das. Und wenn nicht: weniger als nichts ist immer noch nichts, aber man hat es wenigstens versucht.

### 2.5.3 Sporadisch E und TEP

Das ist etwas für das 6m-Band. Manchmal wird die Ionosphäre in einer Höhe von ca. 100 km (also in der Höhe der E-Schicht) stark ionisiert. Es bildet sich aber nicht eine schöne Schicht aus, sondern ionisierte «Wolken», die zudem noch umherdriften.

Der Grund ist nicht klar, man vermutet Scherwinde. Der Effekt tritt sporadisch auf, deshalb heisst diese Ausbreitungsart «sporadisch E» oder E<sub>s</sub>. Gehäuft tritt das Phänomen von Mai bis August tagsüber auf. Da nicht die Sonne dafür verantwortlich ist, ist E<sub>s</sub> unabhängig vom Stand des Sonnenfleckenzyklus.

Diese Ionisation lässt die kritische Frequenz bzw. die MUF ansteigen und gestattet Verbindungen über 1000 km auf dem 6m-Band. Bei starker Ionisation sogar auch auf dem 2m-Band.

Vom Effekt betroffen sind auch das 10m-Band und das 12m-Band. Dort nennt man ihn «short skip», weil die MUF im Kurzdistanzbereich höher als normal ist und Europaverbindungen möglich sind, die sonst wegen der toten Zone nicht stattfinden würden.

TEP-Verbindungen (Trans Equatorial Propagation) laufen über den magnetischen Äquator, d.h. Europa – Afrika und Europa – Südamerika und reichen weiter als E<sub>s</sub>.

Für Prognose-Tools sind E<sub>s</sub> und TEP natürlich Albträume, diese Verbindungen sind nicht vorhersagbar. Anders ist es mit F<sub>2</sub>-Verbindungen auf 6m, nur treten diese äusserst selten auf, nämlich lediglich während extrem starken Maxima des Sonnenfleckenzyklus, die Sonnenfleckenanzahl muss über 200 sein. Mit anderen Worten: de facto gibt es kein Prognose-Tool für 6m.

### 2.5.4 Grayline

Jetzt sind wir am anderen Ende der Frequenzskala, nämlich bei den low bands. Mit Grayline (manchmal auch grey line geschrieben) ist die Dämmerungszone gemeint. Auf den Bändern 160m und 80m sind die besten Zeitpunkte für Weitdistanzübertragungen dann, wenn eine Station in der Dämmerung und die andere in der Dunkelheit liegt oder wenn sogar beide in der Dämmerung liegen. Diese Bandöffnungen dauern nur etwa 15 Minuten, die Hardcore-DXer stürzen sich aber darauf.

Das soll reichen als Theorie-Abrieb. Wer tiefer eintauchen möchte, findet leicht eine Fülle an Materialien. Empfohlen sei speziell «Here to There: Radio Wave Propagation» aus dem ARRL-Bookshop. Aber auch das ARRL Handbook, ARRL Antenna Book und ARRL Operating Manual enthalten alle Kapitel über die Wellenausbreitung. Und dann gibt es da noch das Internet.

### 3 Einfache Merksätze

Mit dem Wenigen an Theorie sind die dominanten Effekte erklärbar. Profis machen es nicht viel komplizierter, sondern viel, viel, viel, viel komplizierter! Kondensiert lauten die Erkenntnisse:

#### a) Mechanismen:

- Massgebend für die Kurzwellenausbreitung ist die Stärke der Ionisation der Ionosphäre. Das hängt ab von der UV-Strahlung der Sonne und unterliegt Schwankungen:
  - tageszeitliche Schwankung
  - jahreszeitliche Schwankung
  - Sonnenfleckenzyklus (11.6 Jahre)
  - Eigenrotation der Sonne (27 Tage)
- Als Mass für die Ionisation gelten die Intensität des solaren Flux (SFI) oder die geglättete Sonnenfleckenzahl  $R_s$  (auch SN oder SSN = Sunspot Number genannt)
- Aus  $R_s$  oder SFI kann man für eine bestimmte Funkverbindung folgende Grössen berechnen:
  - MUF (Maximum Usable Frequency) aufgrund der Beugung
  - FOT (Frequency of Optimum Traffic) = 85 % der MUF (→ Sicherheitsmarge)
  - LUF (Lowest Usable Frequency) aufgrund der Dämpfung
- Je höher die Frequenz,
  - desto schlechter ist die Beugung,
  - desto geringer ist die Dämpfung,
  - desto kürzer ist die Reichweite der Bodenwelle.
- Je flacher der Einstrahlwinkel, desto höhere Frequenzen werden noch gebeugt.

#### b) Tendenzen:

- Stärke der Ionisation:
  - Tagsüber ist die Ionisation stärker als nachts
  - Im Sommer ist die Ionisation stärker als im Winter
  - Im Sonnenfleckenzahlmaximum ist die Ionisation stärker als im Minimum
- Auswirkung: mit stärkerer Ionisation
  - steigt die MUF, weil auch höhere Frequenzen von den F-Schichten gebeugt werden
  - steigt die LUF, weil die D-Schicht stärker dämpft
- Folgerungen für die Frequenz- bzw. Bandwahl:
  - Bei stärkerer Ionisation benutzt man höhere Frequenzen als bei schwacher Ionisation.
  - Tagsüber sind die Bänder 60m bis 160m kaum zu gebrauchen wegen der D-Schicht
  - Die Bänder 20m bis 10m folgen dem Sonnenstand: morgens Richtung Osten, abends Richtung Westen.

## 4 Tools für die Ionosphärenprognose

Mit Ionosphärenmodellen kann man berechnen und vorhersagen, ob eine KW-Funkverbindung zustande kommen kann. Diese Vorhersagen sind natürlich nicht 100 % sicher, es ist wie bei der Wetterprognose: Climate is what you expect, weather is what you get!

Diese Modelle müssen gefüttert werden mit Eingabedaten. Mindestens braucht es:

- SFI oder  $R_s$ . Diese Daten können sich die Programme selber im Internet holen.
- Standorte von Sender und Empfänger.

Jetzt können schon einmal die MUF und die FOT berechnet werden. Sollen auch die LUF und die Signalstärke bestimmt werden, braucht es zusätzlich:

- Die benutzte Sendeleistung
- Antennengewinne der Sende- und der Empfangsantenne
- Abstrahlwinkel der Antennen, dieser hängt ab von
  - der Masthöhe
  - der Geländebeschaffenheit (Topographie, Bodenleitfähigkeit) in der Umgebung der Antennen

Massgebend ist letztlich der Signal-Rausch-Abstand beim Empfänger, dazu braucht es noch

- Den Rauschpegel beim Empfänger
- Die benutzte Bandbreite bzw. die Modulationsart

Seien wir ehrlich: viele Angaben sind dem Nutzer von Prognoseprogrammen unbekannt. Die gute Nachricht ist aber, dass egal ob der Nutzer rätselt oder lügt, die Resultate trotzdem sehr wertvoll sind. Für Funkamateure geht es ja meistens darum, den besten Zeitpunkt für einen Verbindungsversuch herauszufinden. Die Signalstärke und das SNR sind zweitrangig, umso mehr, als es sich bei Prognosen ja nur um Schätzungen handelt.

Die Ausbreitung auf dem 160m-Band ist zu komplex, da kapitulieren die Ionosphärenmodelle. Als Behelf kann man sich an der Prognose für 80m orientieren: wenn auf 80m nichts läuft, dann auf 160m erst recht nicht. Und wie schon erwähnt, gibt es auch für das 6m-Band keine Prognose.

Das berühmteste Ionosphärenmodell ist wohl VOACAP (Voice of America Coverage Analysis Program). Für dieses mächtige Werkzeug wurden zahlreiche Programme geschrieben, welche die Benutzung vereinfachen.

### 4.1 DXSummit

Die prominenteste Anwendung dürfte das im finnischen DX-Cluster «DXSummit» integrierte Prop Wheel (Propagation Wheel, Ausbreitungsrad) sein, Bild 9. Adresse des Clusters:

<http://new.dxsummit.fi/#/>

Oben rechts kann man nach einem Call z.B. einer DXpedition suchen und dann die Prognose für die Bänder 10m bis 80m über 24 Stunden abrufen.

Einstellbar sind nur die Ausbreitungsrichtung «Short Path» (kurzer Weg) und «Long Path» (langer Weg) sowie die Schlagkraft der eigenen Station mit den Kategorien «Basic» und «Super». Einfacher geht es nicht mehr!

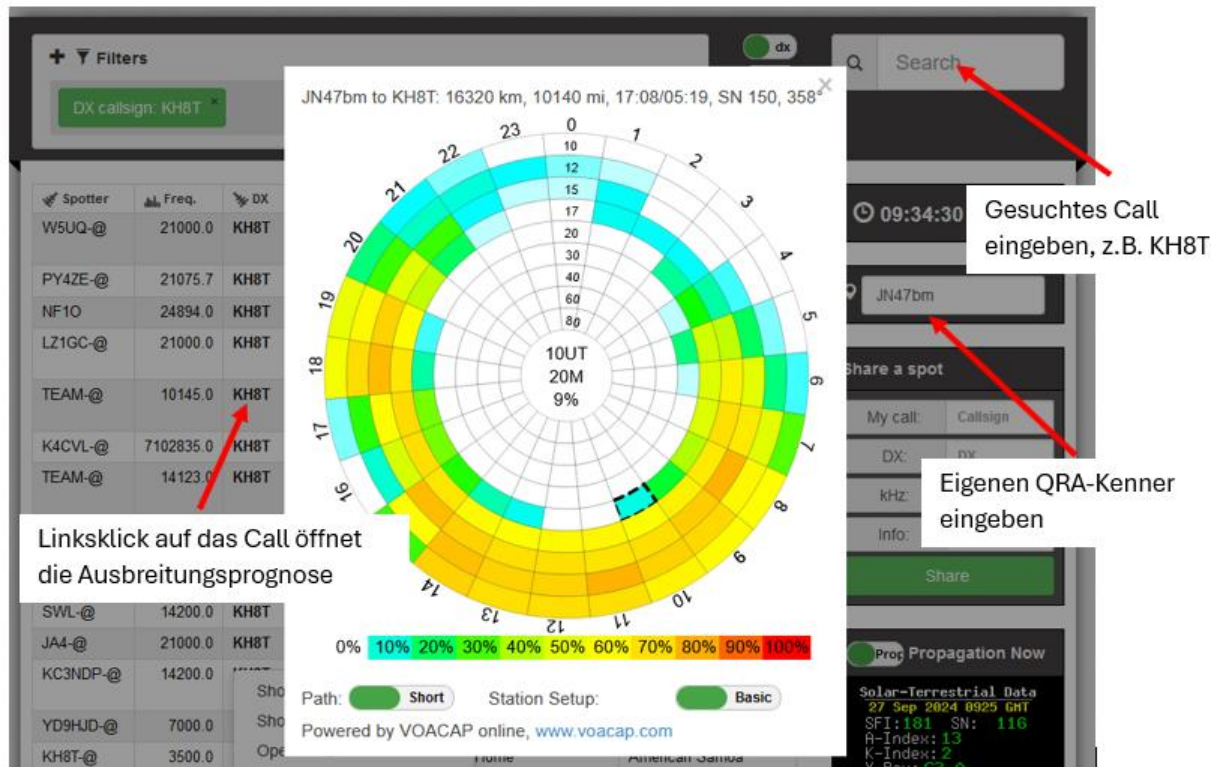


Bild 9: VOACAP Prop Wheel in DX Summit.

Das Prop Wheel ist eine Modellrechnung mit entsprechenden Unzulänglichkeiten, die besten Zeiten für eine Verbindung stimmen aber erstaunlich gut.

Unten rechts in Bild 9 sieht man noch einen Ausschnitt der Kennzahlen für die KW-Ausbreitung. Bild 10 zeigt das ganze Bild. Wichtig sind folgende Zahlenangaben:

- SFI (Sun Flux Intensity): ein guter Indikator für die Ionisation der F-Schichten. Der Bereich reicht von 67 bis 210 (vgl. Gleichung 2). Hohe Zahlen sind gut für die höheren Bänder.
- SN (Sunspot Number): korreliert mit SFI, Bereich 0 bis 250. Je höher, desto besser.
- A-Index: täglicher Mittelwert der geomagnetischen Aktivität, Bereich 0 bis 400. Werte unter 10 sind gut, sie zeigen ein ruhiges Magnetfeld.
- K-Index: Logarithmisches Mass für die Schwankung des Magnetfeldes, dreistündiger Mittelwert im Bereich 0 bis 9. Werte unter 3 sind gut.

Eine komplette Erklärung aller Kennzahlen findet man hier:

<https://www.hamqsl.com/solar2.html>

Wer seine Affinität zum Thema Wellenausbreitung öffentlich kundtun möchte, kann das aktuelle Bild 10 oder Varianten davon in seine eigene Homepage integrieren. Anleitung:

<https://hamqsl.com/>

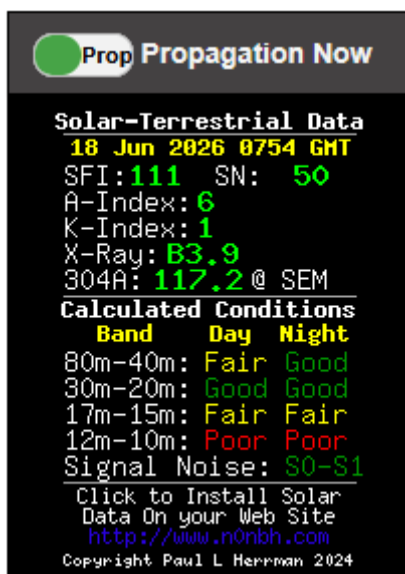


Bild 10: Schnellübersicht über die Ausbreitungsbedingungen

## 4.2 Clublog

Für eine gerade laufende DXpedition kann man auch anstelle der Modellrechnung die früheren realen Verbindungszeiten zu Rate ziehen. Diese sind in Clublog erhältlich, Bild 11.

Link: <https://clublog.org/expeditions.php>

Das ist demnach keine Prognose mit Hilfe eines Modells, sondern eine Extrapolation von kürzlich getätigten Verbindungen auf die die kommenden paar Tage. Für das Arbeiten einer DXpedition ist das ein sehr taugliches Vorgehen.

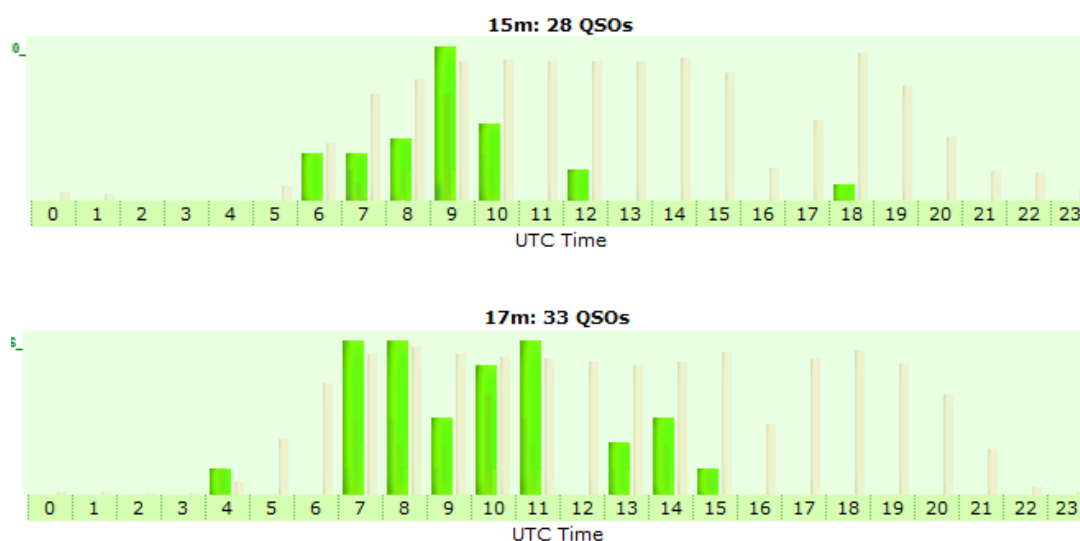


Bild 11: Club Log-Statistik (nur 2 Bänder dargestellt) über die QSOs von KH8T (American Samoa) mit HB9-Stationen. Grün: tatsächlich stattgefunden QSOs. Mattbraun: Verbindungsmöglichkeiten laut VOACAP.

### 4.3 VOACAP DX Charts

Weder mit DXSummit noch mit Clublog kann man in die Zukunft schauen. Dafür gibt es die Seite VOACAP DX Charts, <https://www.voacap.com/dx/>. Dort sind für künftige DXpeditionen die Ausbreitungsverhältnisse berechenbar, Bild 12.

Eigentlich ist dies nur eine praktische Oberfläche zu VOACAP, indem der Standort der DXpedition sowie der vorhergesagte Sun Flux bereits eingegeben sind. Alle anderen Daten kann man selber parametrisieren, wenn man dazu lustig ist.

Die Bedienung ist ansonsten identisch wie beim allgemeinen VOACAP, siehe folgenden Abschnitt.

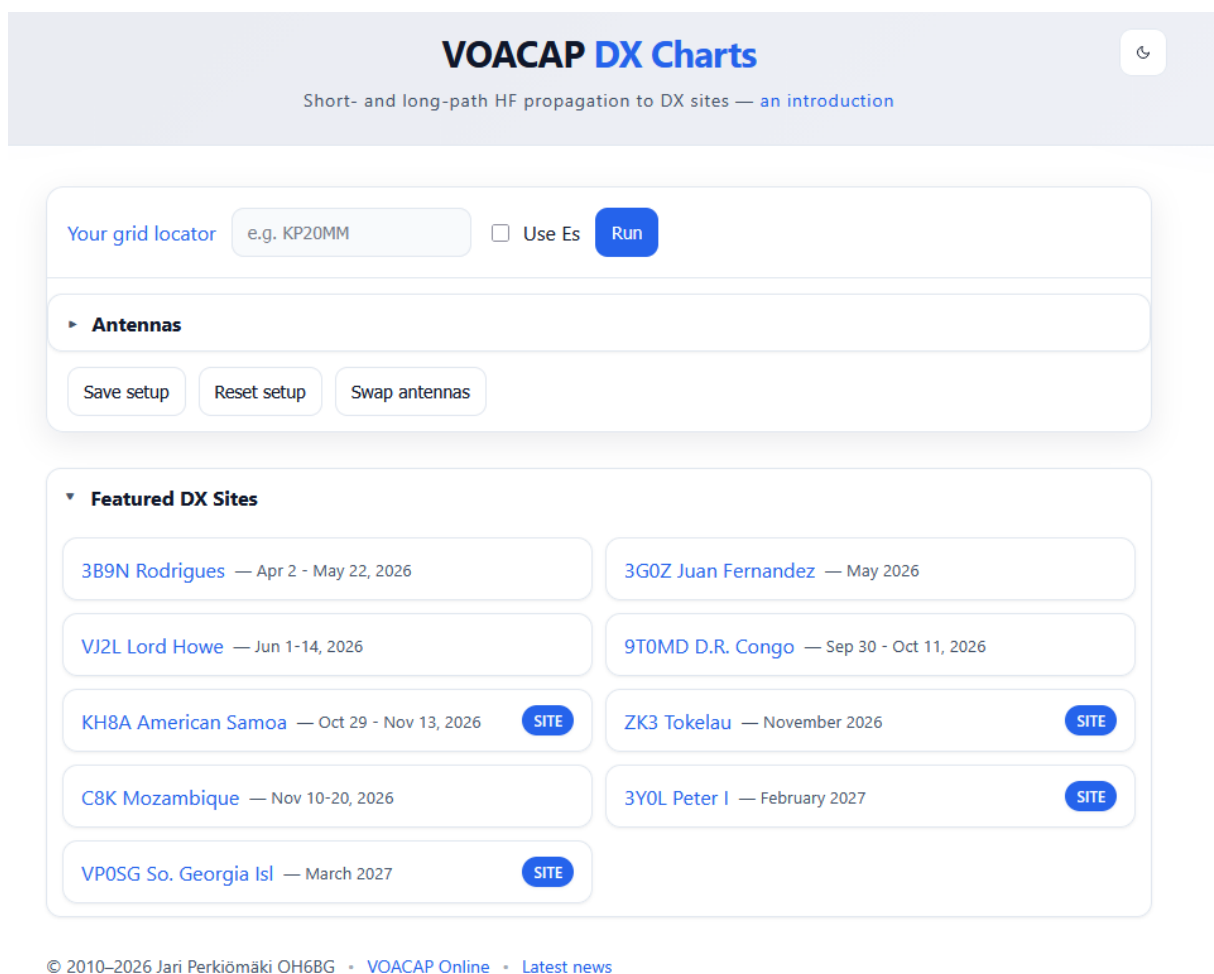


Bild 12: Vorgefertigte VOACAP-Ausbreitungsprognosen für künftige DXpeditionen  
Link: <https://www.voacap.com/dx/>

Als Output kriegt man z.B. Übersichten über 24h mit den zu erwartenden Signalstärken auf jedem Band für den kurzen und den langen Weg, Bild 13. Unten in den Bildern zeigen die grauen Kästchen, wann der Sender in der Dunkelheit liegt, wann dies der Empfänger tut und wann der Mittelpunkt der Verbindungsstrecke (MP).

# VOACAP ITURHFProp Propagation Analysis

JN47BM (47.52, 8.12) — KH8A (-14.35, -170.78) · Nov 2026 · REQ.SNR: 19 · ITU Noise: 162 · Power: 0.500 kW · SSN: 52

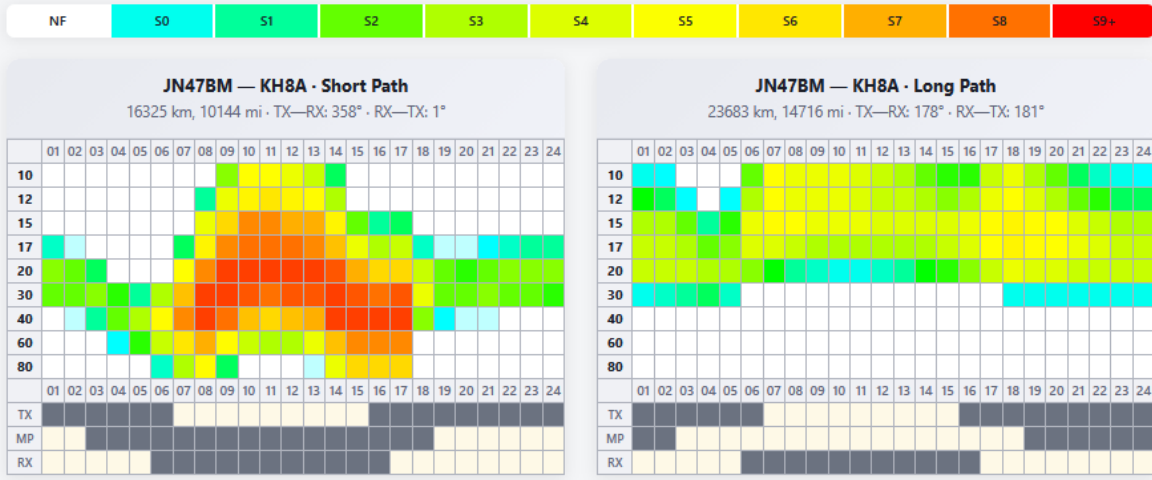


Bild 13: Prognose für die künftige DXpedition KH8A

Für jedes Band kriegt man auch detailliertere Angaben, Bild 14.

12M (24.9 MHz)

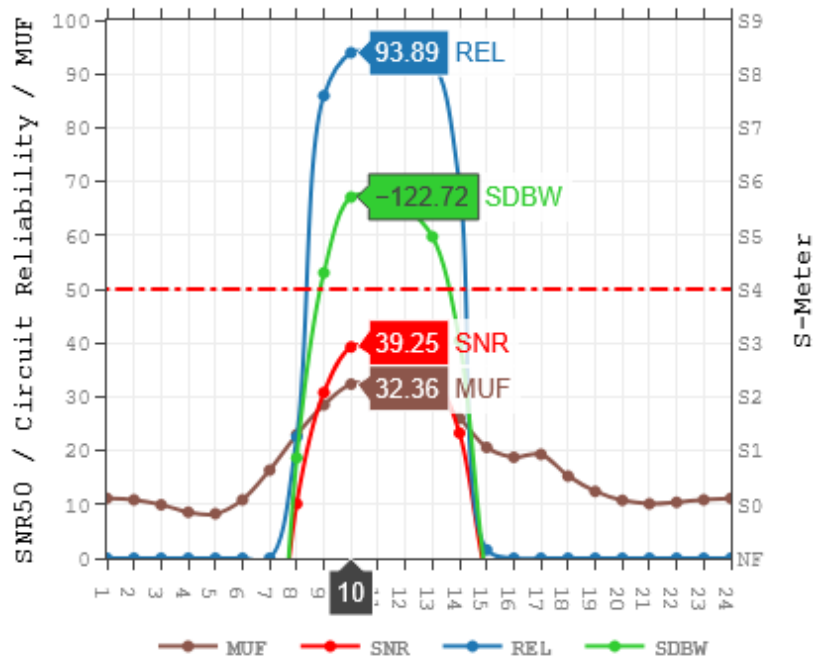


Bild 14: Prognose für das 12m-Band short path während der DXpedition KH8A

- braun: MUF Maximum Usable Frequency in MHz
- rot: SNR Signal o Noise Ratio (Signal-Rausch-Abstand) in dB
- blau: REL Reliability (Zuverlässigkeit) in %
- grün: SDBW Signalstärke in dBW (im grünen Label) und umgerechnet auf S-Stufen (rechte Skala)

Die Labels mit den Zahlenwerten erscheinen, wenn man mit der Maus über die Kurven «hoovert».

## 4.4 VOACAP online for Ham Radio

Unter <https://www.voacap.com/hf/> kriegt man Zugriff auf ein universelles Tool zur Ausbreitungsprognose, Bild 15. Die Plots von VOACAP DX Charts (Abschnitt 4.3) plus viele weitere kann man damit selber erzeugen.

Natürlich muss man sämtliche Daten selber eingeben, das geschieht einigermaßen intuitiv. Eine umfangreiche Anleitung ist hier erhältlich: <https://www.voacap.com/>

Die Standorte von Sender und Empfänger lassen sich mit der Maus, über Dropdown-Menüs oder numerisch (Locator oder Koordinaten) eingeben.

Unten links kann man das Datum für die Berechnung festlegen, dann wird der richtige (bzw. der prognostizierte) Wert für den SFI geladen.

Sehr praktisch ist der Slider unten links über dem Kalender: Damit lässt sich die Tageszeit schieben und man sieht schön, wie die Grayline wandert. Dasselbe macht auch das simple Programm auf <http://www.5b4wn.com/main/map.php>

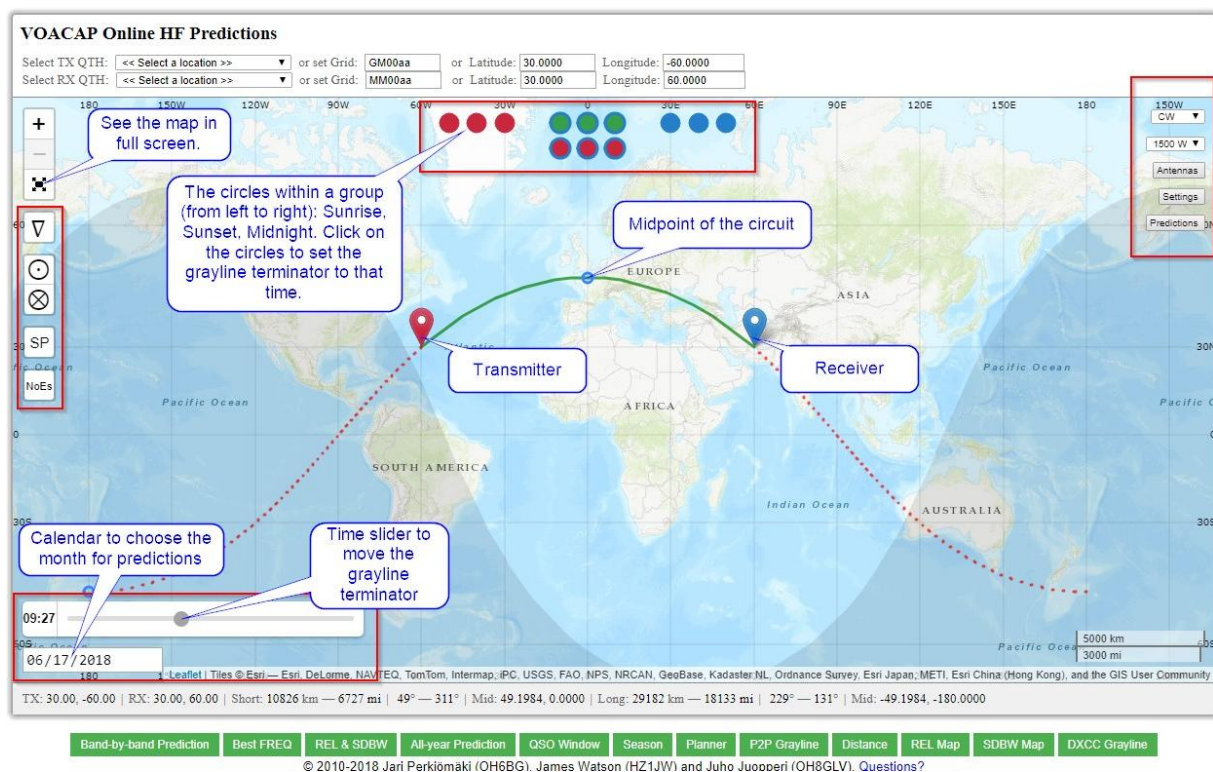


Bild 15: Kurzanleitung zu VOACAP online.

Quelle: <https://voacap.blogspot.com/2018/06/voacap-online-hf-predictions-users.html>

Bild 16 zeigt Spielereien mit VOACAP online für eine Verbindung von HB9 nach Kalifornien auf dem 20m Band. Gezeigt sind vier Bilder analog zu Bild 14. Interessant sind die Signalstärken in dBm (grüne Labels), gezeigt jeweils an der Stelle mit dem grössten Pegel um 04:00 UTC. Am rechten Bildrand sieht man die S-Meter-Skalen.

Die Teilbilder a) und b) vergleichen einen Dipol in 20 m Höhe bei 100 W bzw. 1000 W Sendeleistung. Das ist ein Unterschied von 10 dB, genau das zeigen auch die Zahlen für den Pegel (grüne Labels) bzw. den Signal-Rausch-Abstand (rote Labels). 10 dB machen 1.7 S-Stufen

aus, auch das sieht man am rechten Bildrand. Die MUF-Kurven (braun) sind identisch (das gilt für alle vier Bilder), die MUF hängt ja weder von der Antenne noch von der Leistung ab. Die Unterschiede sind also überhaupt nicht überraschend, die grüne und die rote Kurve sind lediglich um 10 dB nach oben verschoben. Die blaue Kurve (Zuverlässigkeit) schlägt mehr aus, weil bei 1 kW die Reserve grösser ist.

Teilbild c) zeigt die Wirkung einer Yagi mit 5 Elementen. Gegenüber dem Dipol in Teilbild a) hat diese einen Gewinn von ca. 8.5 dB bzw. 1.4 S-Stufen. Das ist dieselbe Wirkung wie mit einem Dipol und 700 W Sendeleistung statt nur 100 W. Ernüchternd ist Teilbild d): die Yagi mit 5 Elementen ist in 10 m Höhe statt in 20 m Höhe verliert 5 dB, das ist fast eine S-Stufe. Eine Yagi mit 2 Elementen in 20 m Höhe ist genauso gut wie diejenige mit 5 Elementen in 10 m Höhe! Der Grund: Das Maximum des vertikalen Abstrahlwinkels der Yagi in 20 m Höhe ist 14 Grad, in 10 m Höhe aber 24 Grad, die Wellen kommen jedoch mit 8 Grad Elevation daher. Alle diese Zahlen berechnet VOACAP online, eine Entdeckungsreise durch dieses Tool ist durchaus lohnenswert.

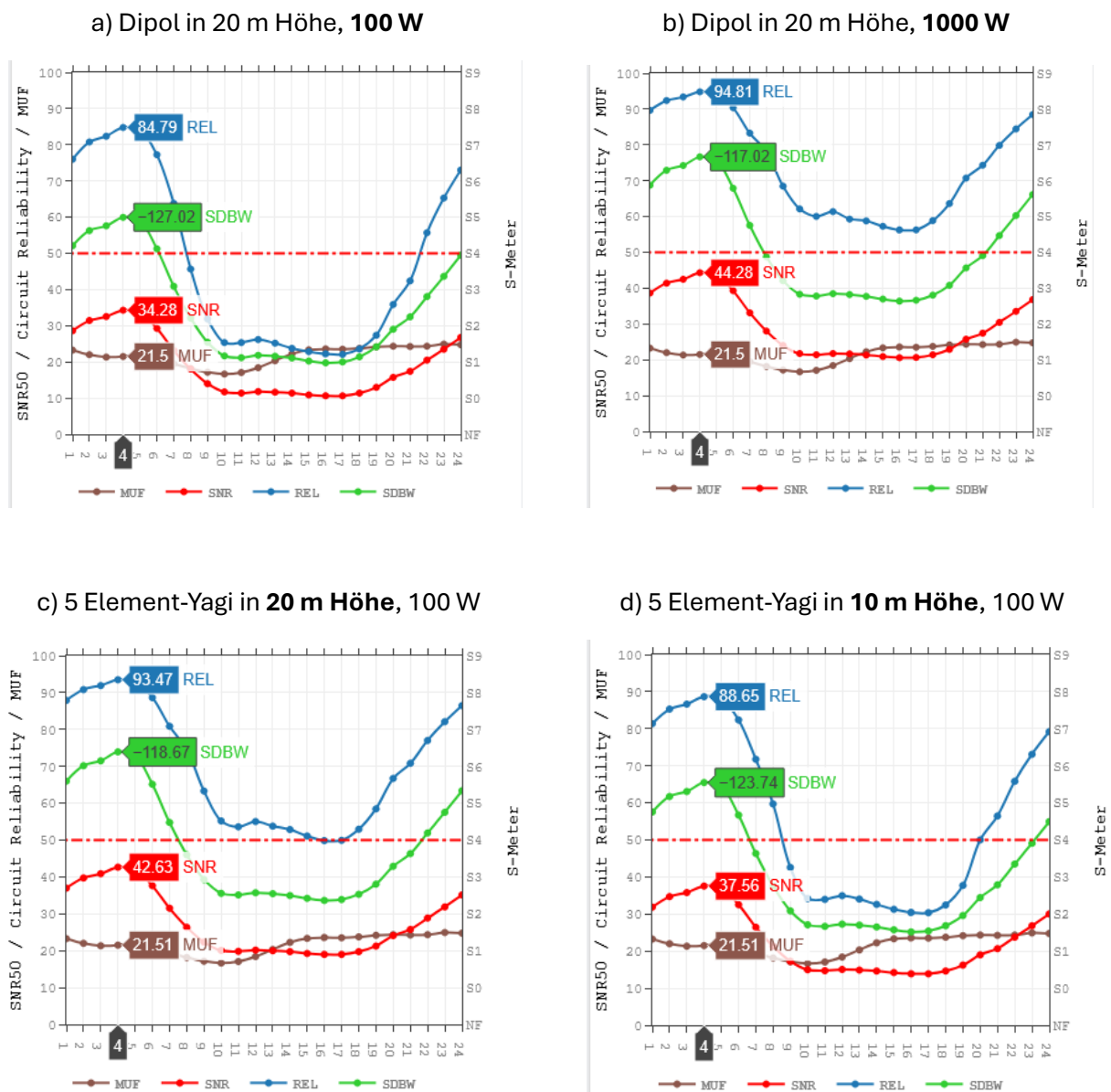


Bild 16: Vergleich der Auswirkung der Leistung, Antennengröße und der Antennenhöhe.

Fazit: Spielereien mit der Sendeleistung und der Antennengröße bringen keine bahnbrechenden Erkenntnisse, nur andere Zahlen, welche zudem genau den Erwartungen entsprechen. Es lohnt sich also überhaupt nicht, mit Akribie im Simulator die richtige Antenne und Sendeleistung einzustellen, den besten Zeitpunkt für eine Verbindung findet man auch ohne.

VOACAP online gestattet die Wahl zwischen zwei verschiedenen Ionosphärenmodellen: VOACAP oder ITU-R P.533-14.

Nur für letzteres gibt es eine Variante zu VOACAP online, nämlich Proppy (<https://soundbytes.asia/propy/>). Einfach ausprobieren.

## 4.5 DX-Propagation von DR2W

Bisher haben wir stets Vorhersagen für eine Punkt zu Punkt – Übertragung betrachtet. Die Bilder 5 und 6 zeigen hingegen sog. Coverage-Maps, diese beantworten die Frage, welche Teile der Erde im Moment erreichbar sind. Natürlich nimmt man eine Rundstrahlantenne für diese Berechnungen. Die Bilder sagen aber nicht, ob die Verbindung über den langen oder den kurzen Weg laufen, sondern lediglich, welche Gebiete erreichbar sind.

VOACAP online kann auch das, speziell praktisch finde ich aber das (ebenfalls auf VOACAP basierende) Tool von DR2W:

<https://propagation.dr2w.de/dxprop.php?area=europe&band=10M&mode=1&time=utc>

Die Eingabe ist erfreulich simpel: man gibt an, in welchem Kontinent der Sender sitzen soll und welches Band man ausgewertet haben möchte. Der Clou ist aber die Animation, die eine Diashow mit stündlichen Prognosen ausgibt. Dies ist ein gutes Hilfsmittel, um die Ausbreitungsmechanismen zu verstehen. Sehr nützlich ist das auch bei der Vorbereitung eines Contests: auf einfache Art kann man sich einen Fahrplan zusammenstellen, wann auf welchem Band man die Multiplikatoren von welchem Kontinent holen soll.

Zum Schluss zur Ergötzung noch ein «analoges Tool»: Gleich wie die Wetterberichte am TV gibt es die Funkwetterberichte von der «Space Weather Woman» Dr. Tamitha Skov, WX6SWW. Dazu hat sie einen eigenen Youtube-Kanal: <https://www.youtube.com/user/SpWxfx/videos>, Bild 17.



Our Sun Goes Spotless During Storming | Space Weather Spotlight 23 February 2026

18.894 Aufrufe • vor 3 Monaten

*Bild 17:* Funkwetterbericht von der Astrophysikerin Dr. Tamitha Skov, WX6SWW

<https://www.youtube.com/user/SpWxfx/videos>

## 5 Eigene Bandbeobachtungen

Theorie ist gut (Kapitel 2 und 3), Tools ebenso (Kapitel 4). Und dasselbe gilt für die eigene Erfahrung. Die Kombination aller drei Standbeine bringt den grössten Erfolg.

Bei der Bandbeobachtung geht es um die Frage, auf welchem Band und in welche Richtung gerade jetzt eine Bandöffnung besteht. Herumkurbeln am VFO ist ineffizient und langweilig, da gibt es bessere Methoden.

1979 hat die NCDXF (Northern California DX Foundation) zusammen mit der IARU das International Beacon Project ins Leben gerufen. Seit 1995 sind über die Erde verteilte 18 Stationen QRV mit 100 W an einer Vertikalantenne auf den Bändern 10m, 12m, 15m, 17m und 20m. Jede Bake sendet in CW ihr Rufzeichen, gefolgt von 4 Strichen mit 100 W, 10 W, 1 W, 0.1 W. Eine Aussendung dauert 10 Sekunden, danach springt die Bake auf das nächste Band und eine andere Bake übernimmt die QRG auf dem alten Band. Ein Durchlauf über alle Baken dauert somit 3 Minuten pro Band. Auf der Seite <https://www.ncdxf.org/beacon/> findet man die Frequenzen, Zeitpläne und viele Tools (auch für CW-Muffel), um die Beacons zu empfangen. Die Idee hinter den Beacons war, ständig Betrieb auf den Bändern zu machen. Sonst hören die Funkamateure ein Band ab, stellen keine Aktivität fest und verlassen das Band anstelle CQ zu rufen.

Man kann auch einfach einen Webcluster anschauen, z.B. den bereits erwähnten DX Summit <http://new.dxsummit.fi/#/>. Allerdings kriegt man dort auch unnütze Informationen, z.B. Spots, die von Benutzern aus anderen Kontinenten eingegeben wurden.

Seit der Einführung von FT8 hat sich die Situation auf den Amateurfunkbändern grundlegend geändert. Heute finden zwei Drittel der QSOs in FT8 statt, ausserhalb von Contests noch mehr. Und diese Stationen tummeln sich alle in denselben 3 kHz eines Bandes. Man muss also lediglich z.B. 14074 kHz einstellen und mit einem FT8-Programm die Signale decodieren. Dann sieht man sofort, wer QRV ist und woher die Signale kommen. Das ist gleichwertig wie das Beacon-System der NCDXF.

Etwas anders ist die Situation auf 6m. Dort sind die Ausbreitungspfade häufig lokal begrenzt und variieren zeitlich rasch. Mit anderen Worten: jetzt höre ich nichts, aber in einer Viertelstunde könnte das ganz anders sein. Als «DX Cluster für 6m» hat sich DXMaps etabliert, Bild 18. Dort sieht man z.B., dass HZ1DG gerade QRV ist. Wenn ich wissen möchte, ob HZ1DG in HB9 empfangbar ist, dann lässt sich das mit dem PSKReporter anzeigen, Bild 19. Der PSKReporter funktioniert für alle Bänder, nicht nur für 6m. Er bezieht seine Daten von den FT8-Programmen der aktiven Funker, sofern diese in ihrem Programm das entsprechende Häkchen gesetzt haben und damit der Weitergabe ihrer Empfangsdaten zugestimmt haben.

Ich empfehle dringendst, Instant-Tools (PSK-Reporter usw.) und Prognose-Tools (VOACAP usw.) kombiniert zu verwenden. Nur so lernt man, mit den Prognosen richtig zu arbeiten und das Maximum aus seiner Station herauszuholen.

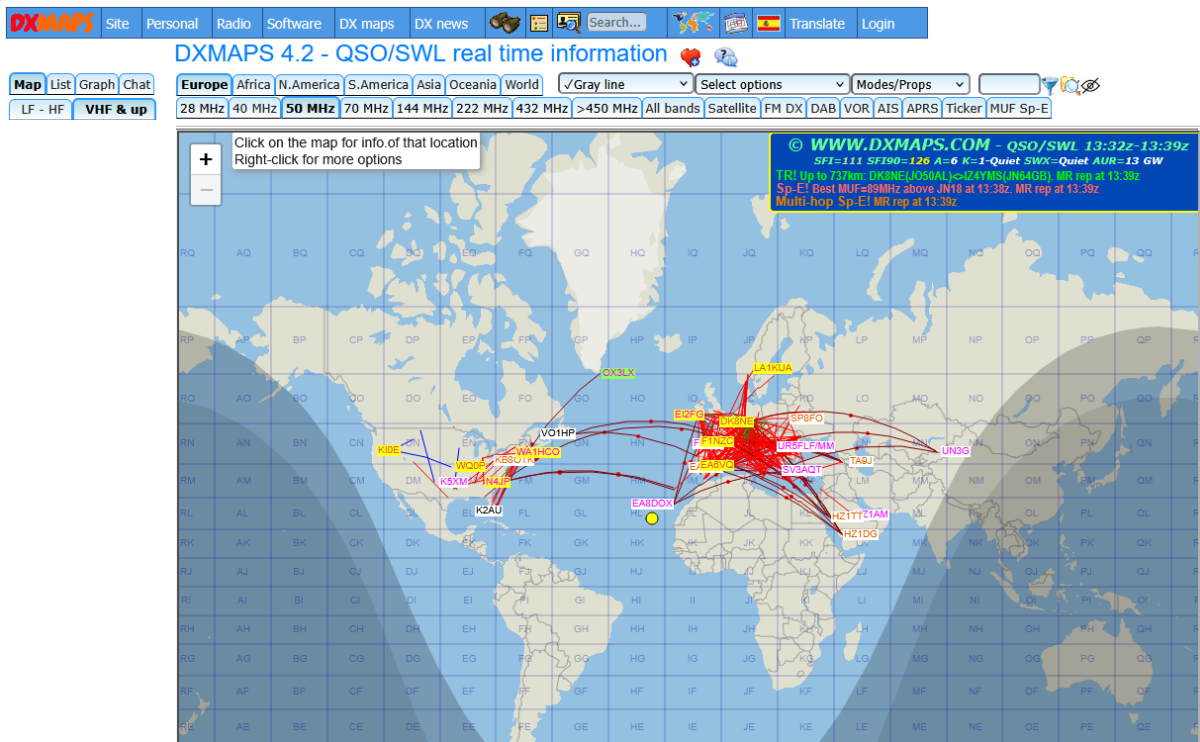


Bild 18: DXMaps gibt einen raschen Überblick über die momentane Aktivität auf dem 6m Band.  
<https://www.dxmaps.com/spots/mapg.php?&HF=N&ML=M&Frec=50&Map=EU>

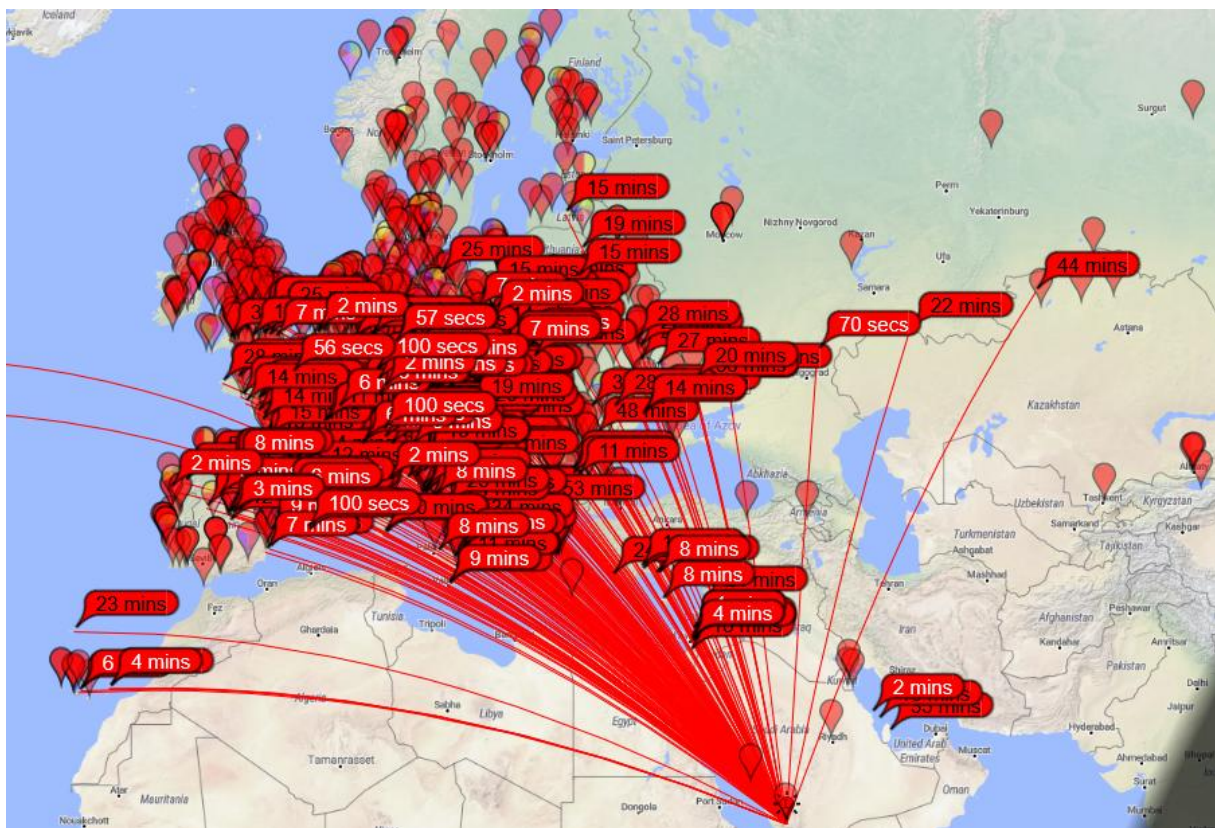


Bild 19: Verfolgung einer bestimmten Station (hier HZ1DG) auf dem 6m Band mit PSKReporter  
<https://pskreporter.info/pskmap.html>