

Sehen statt hören: DRM als Messinstrument

Noch ist digitaler Rundfunk auf Kurzwelle (DRM) kein großer Erfolg. Zehn bis zwölf Jahre haben nichts daran geändert, dass es so gut wie keine Geräte, so gut wie keine Hörer gibt. Nils Schiffhauer, DK8OK, vertreibt sich die Zeit bis dahin mit einer anderen Nutzung von DRM.

DRM ist gut gedacht, aber offenbar so schlecht ausgeführt, dass selbst das Trostwort vom „Nischendasein“ heillos übertrieben scheint. John Stanley, K4ERO, jedoch hat nicht geklagt, sondern diese Betriebsart kreativ genutzt [1]. Seine Anregungen boten für mich Gelegenheit, einige unsystematische Ansätze zu ordnen. Primär geht es dabei nicht um das Zu-Hören, sondern darum, an DRM-Signalen bestimmte Eigenschaften der Kurzwellenausbreitung zu zeigen und auszuwerten. Dafür bietet gerade das DRM-Signal vorzügliche Voraussetzungen:

- ⇒ Wir kennen die Struktur des ausgestrahlten Digitalsignals und
- ⇒ wir können Analysewerkzeuge des Decodier-Software DREAM für tiefgehende Einblicke nutzen

DRM überträgt seine Inhalte (Sprache und Daten) in einem derzeit auf Kurzwelle 10 kHz und auf Mittelwelle 9 kHz breiten Kanal. Einzelne Träger werden in einer QAM genannten Mischung aus Phasen- und Amplitudenmodulation moduliert. Für DRM sind die vier Modi A, B, C und D definiert. Sie unterscheiden sich u.a. durch die Anzahl der einzelnen Träger und ihren Frequenzabstand voneinander. Im üblicherweise auf Kurzwelle verwendeten Verfahren „B“ sind es 206 Träger im Abstand von 46,88 Hz. *Abbildung 1* zeigt einen entsprechenden Ausschnitt aus dem Spektrum von RTL/Junglinster, 6.095 kHz.

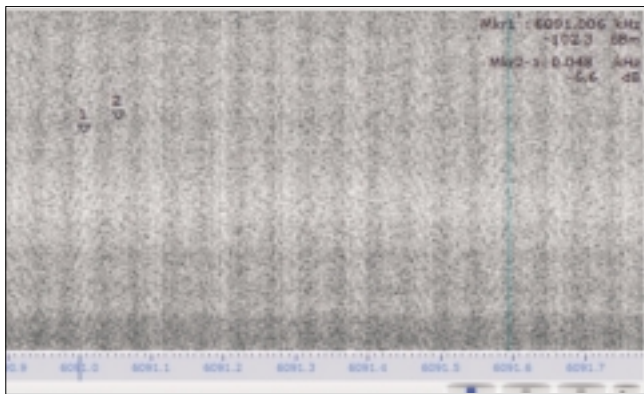


Abbildung 1: Die vertikalen Streifen in diesem Wasserfalldiagramm von RTL, das sind 19 modulierte Träger – von insgesamt 206.

Die einzelnen Träger werden mit derselben Leistung gesendet – bei RTL sind das somit knapp 250 Watt je Träger. Das alles summiert sich dann zur Hüllkurve eines Rechtecks, wie es den Sender verlässt. Beim Empfänger jedoch kommt dieses Rechteck nur im Ausnahmefall an. Denn auf dem Weg vom Sender werden dem Signal die Ausbreitungsbedingungen mit aufgeprägt. Den normalen Programmhörer stört das natürlich, aber wir etwas tiefgehender Interessierte sind mehr darauf scharf als auf die Eingeweidenschau deutscher Hinterbänkler bei der DW. *Abbildung 2* zeigt das empfangene DRM-Signal, das eigentlich wie ein langgestrecktes Kastenbrot aussehen sollte, reichlich zerklüftet. Wer sich dabei an das Ausschütteln eines Tuches erinnert, liegt prompt richtig: auch dieses bewegt sich wellenförmig.

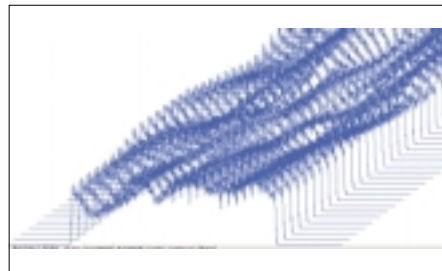


Abbildung 2: Moskau auf 13.620 kHz über etwa zehn Sekunden lässt die Dynamik ahnen. Die wohl im Druck nicht mehr sichtbaren 206 Träger haben unterschiedliche Pegel zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Besieht man sich ein solches Signal zweidimensional und gewissermaßen „von oben“, so erhält man einen Anblick wie in *Abbildung 3*. Links der Bayerische Rundfunk, rechts RTL, beide natürlich im 49-m-Band.

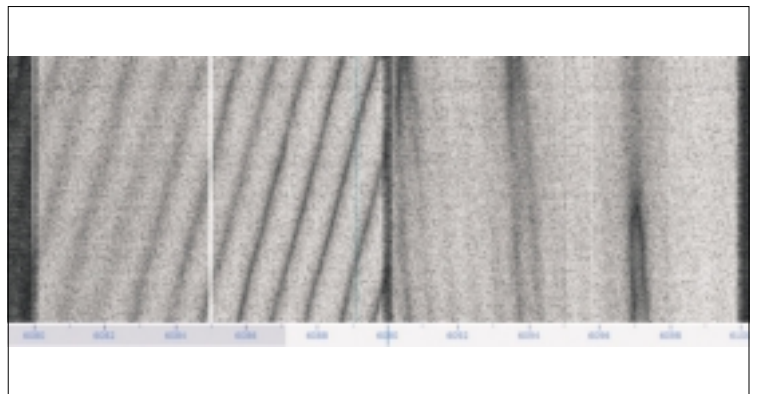


Abbildung 3: Links der Bayerische Rundfunk mit seinem typischen Träger in der Mitte und rechts RTL. Jedes Signal zeigt einen unterschiedlichen Verlauf der Fading-Muster.

Wir sehen, wie die jeweils unterschiedliche Ausbreitung (Ismaning-Hannover/Junglinster-Hannover) dem Signal unterschiedliche Muster aufprägt. Wer sich hier wiederum an den Physikunterricht mit seiner Wellenmechanik und der Interferenz von Wellen erinnert sieht, ist der Lösung schon dicht auf der Spur. Eigentlich müssten die mit der jeweils selben Sendeleistung ausgestrahlten 2 x 206 Einzelträger ja in der Aufsicht eine weitgehend gleichmäßige graue Fläche ergeben. Was ist passiert? Das Signal kommt auf mehreren Wegen zum Receiver, und jeder Weg ist unterschiedlich lang. Setzen sich diese verschiedenen „Pfade“ wieder im Empfänger zusammen, so ergeben sich bei zwei Wegen folgende Extreme:

- ⇒ Wellenberg trifft auf Wellenberg – die Summe beider Signale ist maximal
- ⇒ Wellenberg trifft auf Wellental – die Summe beider Signale ist Null

Auch dazwischen gibt es alle möglichen Zustände und Summen.

DREAM zeigt Pfade und ihre Verzögerungszeiten

Die gemeinfreie DRM-Software DREAM hat – im Gegensatz zur zudem kostenpflichtigen DRM-Software des DRM-Konsortiums – eine Reihe von Analysewerkzeugen an Bord, unter denen uns hier vor allem die unter „Channel“ interessieren sollen, da wir hier über die Eigenschaften des Übertragungskanal informiert werden. Am wichtigsten für unsere Zwecke ist dabei das Fenster „Channel Impulse Response“: Hier wird gezeigt, wie der Kanal einen kurzen Impuls weiterverarbeitet.

Statt vieler Theorie, gleich in die Praxis der *Abbildung 4*. Sie kombiniert für die Darstellung des Empfangs der Deutschen Welle über den Sender Moosbrunn auf 7.310 kHz gegen 07:20 Uhr UTC Spektrum und Was-

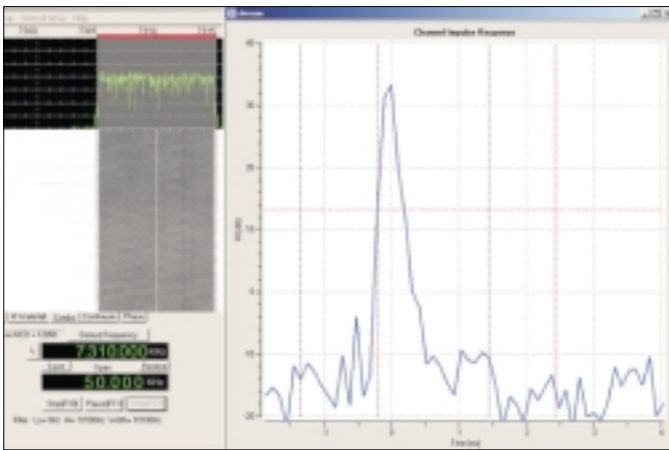


Abbildung 4: Die Deutsche Welle über den Moosbrunn kommt um 07:20 Uhr UTC auf 7.310 kHz im Wesentlichen über nur einen Ausbreitungsweg (F2-Schicht) herein.

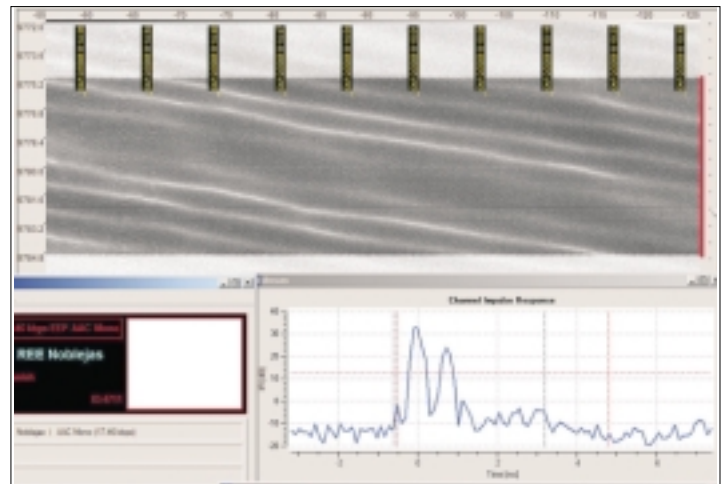


Abbildung 7: Radio Exterior de España kommt auf 9.810 kHz um 08:15 UTC auf zwei Wegen.

serfallendiagramm (links, mit dem SDR-14 aufgenommen) mit dem Dream-Fenster. Wir sehen einen großen Zacken, den ich auf 0 Millisekunden als *relative* Bezugsgröße gelegt habe. Alle anderen „Impuls-Antworten“ des Kanals liegen um mindestens etwa 35 dB unter diesen einem Zacken. Was heißt das? Es heißt, dass praktisch nur *ein* ionosphärischer Weg genutzt wird. Das kommt dem Ideal sehr nahe. Im Wasserfall ist nur im Original-Screenshot ein ganz leichtes Fading zu sehen. Zunächst habe ich diese Situation mit VoACAP [2] simuliert. Dessen „Modus 25“ errechnet uns nämlich die Ausbreitungswege, ihre Pegel und ihre Wahrscheinlichkeiten. Diese Software meldet zwei im Prinzip mögliche Wege:

- ⇒ ein Sprung via der in 125 km befindlichen E-Schicht mit einem Signal von -115 dBm (entsprechend S2) und einer Laufzeit von 2,34 Millisekunden
- ⇒ ein Sprung via der in 336 km Höhe befindlichen F2-Schicht mit einem Signal von -66 dBm (etwa S9+10 dB) und einer Laufzeit von 3,16 Sekunden.

AREPS [3] als Strahlverfolgungsprogramm ist hier – wie wir sehen werden – et-

was realistischer (Abbildung 5) und zeichnet als Reflexionshöhe lediglich etwa 210 km ein. Wieso: realistischer? Hier ist es ziemlich einfach, denn fast genau unter dem Reflexionspunkt liegt die Ionosonde Pruho-nice (Abbildung 6), aus deren viertelstündlich ins Internet gestellten Ionosphären-daten wir uns bedienen. Die Höhe der F2-Schicht beträgt zum interessierenden Zeitpunkt 212 Kilometer, die der E-Schicht 105 Kilometer [4]. Damit hat VoACAP sich bei der F2-Schicht um mehr als ein Drittel, bei der E-Schicht um etwas weniger überschätzt, während AREPS goldrichtig liegt. Das war ja einfach! Doch so ist die Realität selten. Und das ist ja gerade das Spannende! Das DRM-Signal von REE Noblejas zeigt uns gegen 08:15 Uhr UTC auf 9.810 kHz *zwei* Spitzen in der Kanalanzeige, die um etwa 1,5 Millisekunden und nur zehn Dezibel auseinanderliegen – *Abbildung 7*. Darüber hinaus sehen wir im Wasserfall-diagramm oben, dass diese offensichtlich beiden Ausbreitungswege einander stören.

Wieder das selbe Spiel, wobei wir die VoACAP-Sache hier überschlagen und uns gleich der Simulation in AREPS widmen wollen (Abbildung 8).

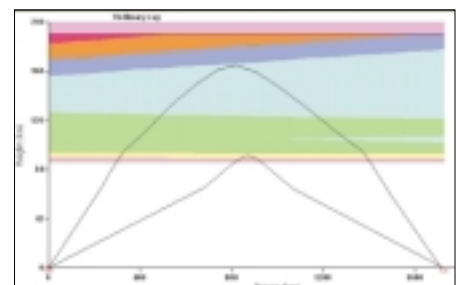


Abbildung 8: AREPS bestätigt die beiden Wege.

Hier sehen wir eine Reflexion in 84 km Höhe (E-Schicht) und eine in 168 km Höhe (F-Schicht). Der Weg über die E-Schicht braucht nur 5,68 Millisekunden bei 4,7 dB Absorption, der Weg über die F-Schicht 6,1 Millisekunden bei 6,1 dB Absorption. Die gemessenen 1,5 Millisekunden Differenz finden wir somit trefflich in APREPS simuliert, und auch ist das erste Signal stärker als das zweite, wengleich die in der Praxis zu diesem Zeitpunkt gefundene Differenz größer ist, was man mit Ungenauigkeiten zwischen Praxis (Momentaufnahme) und Theorie (statistische Aussage) erklären kann. Der greifbar nächste Standort mit aktuellem Ionogramm ist das belgische Dourbes; nord-östlich vom eigentlichen Reflexionspunkt.

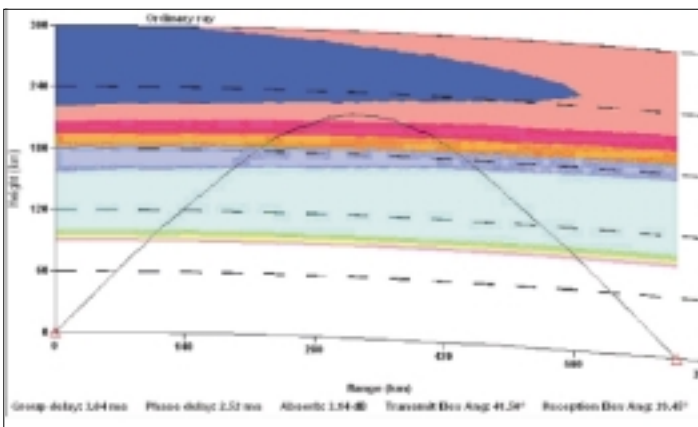


Abbildung 5: AREPS bestätigt die Praxis in der Theorie und zeigt eine einzige Reflexion.

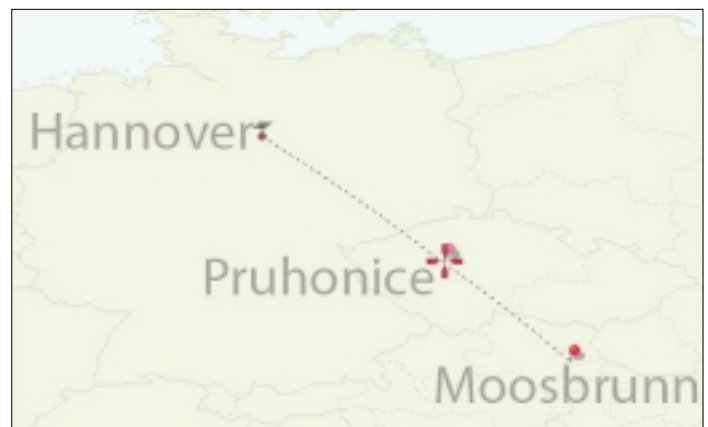


Abbildung 6: Die Strecke auf dem DX-Atlas – Pruho-nice liegt fast genau unter dem Reflexionspunkt!

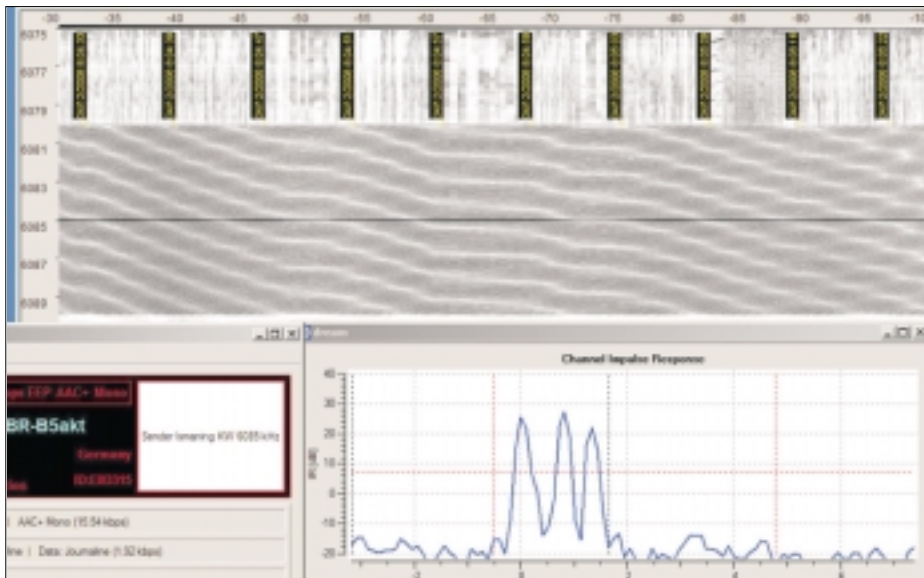


Abbildung 9: Bayern 5 kommt auf 6.085 um 08:00 Uhr UTC gleich im Dreierpack.

Dennoch stimmt es bemerkenswert: an diesem Tag und zu dieser Zeit liegt die E-Schicht in 84 km und die F-Schicht in 160 km Höhe [5].5

Jetzt *Abbildung 9*, wo Sender Ismaning gerade hereinfadet und auf drei einigermaßen gleichstarken Wegen kommt, wobei der zweite gut 0,8 und der dritte etwa 1,5 Millisekunden länger als der erste brauchen. AREPS, übernehmen Sie!

Das sieht dann zunächst so aus, dass AREPS in erster Näherung nur einen einzigen Weg kennt. Hoppla, das hatte doch sonst immer geklappt? Gemach, denn nun lassen wir AREPS zunächst ein *Ionogramm* erstellen, bei dem auch die *außerordentlichen* Strahlen mit berücksichtigt werden. Sie entstehen durch Spaltung der elektromagnetischen Welle in einem ionisierten Medium und breiten sich auf unterschiedlichen Wegen aus als die ordentlichen Strahlen. AREPS hat zu allerhand zu rechnen, das Ionogramm überschlagen wir und bieten in *Abbildung 10* gleich die sehr wirklichkeitsnah simulierte Situation zwischen Ismaning und Hannover um 08:00 Uhr UTC. Potzblitz – acht Wege gibt es nun! Man kann jeden einzelnen aufrufen und hinsichtlich Laufzeit (2,47 bis 13,05 Millisekunden) sowie Absorption 4,38 bis 38 dB) checken. Und damit wird die Analyse der drei Peaks aus *Abbildung 9* richtig spannend:

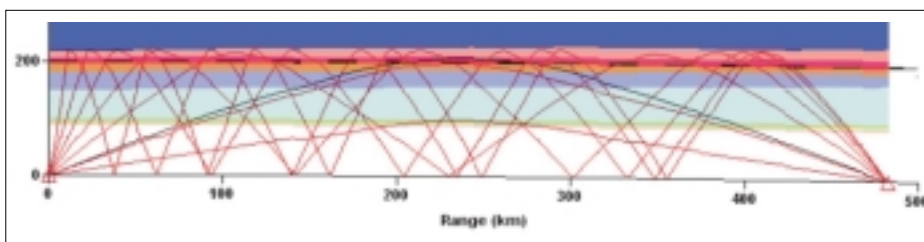


Abbildung 10: Acht Wege mit jeweils unterschiedlichen Laufzeiten und Dämpfungen errechnet AREPS zwischen Ismaning und Hannover.

Viele Wege führen zu vielen Mustern

Nachdem wir jetzt so schön die verschiedenen Ausbreitungswege kennengelernt haben: wie kommt nun das selektive Fading zustande – jenes Fading, das immer nur schmale Bereiche eines Signals ausblendet und besonders in AM beim Empfang mit dem einfachen Diodendemodulator zu oft unerträglichen Verzerrungen führt? Im Prinzip entsteht es daraus, dass sich die Wellen von zwei Pfaden mischen. Kommen diese mit einem jeweils kleinen Zeitverzug zum Empfänger, so kann diese Mischung auch dazu führen, dass sie sich ausblenden. Dann nämlich, wenn der eine Weg gerade einen Wellenberg, der andere jedoch ein Wellental bringt. Um das genauer zu sehen, müssen wir auf das *Ionogramm* zurückgreifen. Und zwar auf eines, das nicht die Senkrechtgrenzfrequenzen (vertical ionogram), sondern die Reflexionsmöglichkeiten zwischen Sender und Empfänger (oblique ionogram) zeigt. AREPS errechnet derartige Diagramme und stellt sie dar (*Abbildung 11*).

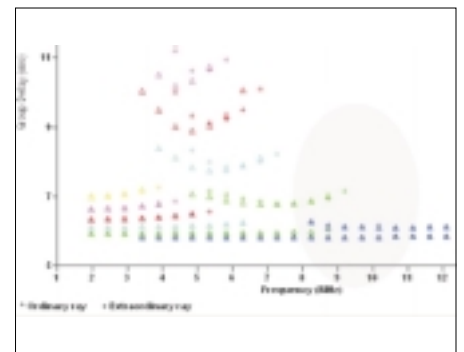


Abbildung 11: Die Simulation von REE zeigt gegen 08:00 Uhr UTC zwei bis drei Wege zwischen Noblejas und Hannover im 31-m-Band, die eine Ellipse markiert.

- ⇒ Der *erste Peak* ist ein außerordentlicher Strahl, den AREPS nach 1,79 Millisekunden Flugzeit und -12,5 dB beim Empfänger sieht. Er wird an der E-Schicht reflektiert.
- ⇒ Der *zweite Peak* stammt von der Ein-Hop-Reflexion an der F-Schicht. Er enthält zwei Komponenten: Den ordentlichen Strahl, der 2,48 Millisekunden bei -4,4 dB braucht. Und den außerordentlichen Strahl, den AREPS mit 2,47 Millisekunden Laufzeit und -8,3 dB berechnet. Die 0,8 Millisekunden Differenz zum ersten Peak in der Praxis trifft die Simulation bewundernswert genau!
- ⇒ Der *dritte Peak* verdankt sich nach AREPS einer Zwei-Hop-Ausbreitung ebenfalls an der F-Schicht. Der außerordentliche Strahl wird hier um 13,6 dB gedämpft, seine Reisezeit mit 4,4 Millisekunden berechnet; nach unserer *Beobachtung* müssten es 3,2 Millisekunden sein. Der Unterschied macht immerhin 360 Kilometer aus.

Die Theorie zu überprüfen, ist deshalb schwieriger, weil die nächstgelegenen Ionogramm-Stationen mit Juliusruh und Pruho nice nicht gerade günstig liegen und wenigstens zur Zeit der Abfassung dieses Manuskriptes das Juliusruh-Archiv (mal wieder) nicht zugänglich war.

Mit diesen Erkenntnissen nun können wir die aktuelle Darstellung aus DREAM mit dem Ionogramm parallelisieren: DREAM zeigt uns bei richtiger Interpretation das jeweilige Ionogramm für die *eine Empfangsfrequenz*. Ich habe das mal am 19. April um kurz nach 19 Uhr mit der Deutschen Welle über den Sender Skelton auf 3.995 kHz ausprobiert, wobei sich insgesamt zwölf gleichzeitige Pfade ergaben: jeweils sechs des ordentlichen und des außerordentlichen Strahls mit zwischen einer und sechs Reflexionen an der Ionosphäre. Die Laufzeiten lagen zwischen 3,1 und 8,82 Millisekunden, die Absorption blieb im bemerkenswert engen Rahmen zwischen 1,3 und 9 dB. Diese Werte stammen aus dem mit AREPS errechneten Ionogramm, deren

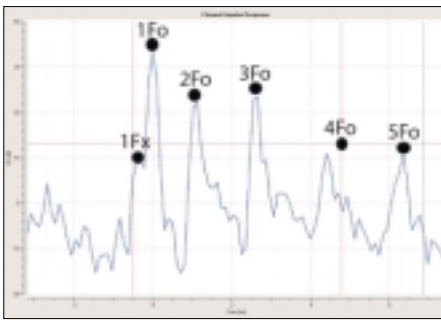


Abbildung 12: Aus der AREPS-Simulation wurden die wichtigsten Werte in das DREAM-Diagramm der Übertragung aus Skelton auf 3.995 kHz übertragen. Beispielsweise steht 3Fo für 'Dreifach-Reflexion an der F-Schicht des ordentlichen Strahles', das 'x' steht für den außerordentlichen Strahl.

Werte für sechs Wege ich dann auf die DREAM-Anzeige übertragen habe (Abbildung 12).

Deutlich werden die ordentlichen Pfade voneinander getrennt, während sich die meisten der außerordentlichen Pfade nur durch Verbreiterung der „Zacken“ auszeichnen. Bemerkenswert ist in jedem Fall die gute Auflösung eines komplexen Weges. Was bedeutet der Abstand der Schichten nun für den Abstand der Einschnitte im selektiven Fading? Das hatte schon 1963 John Ames systematisch untersucht. Und zwar der Einfachheit halber für lediglich zwei Wege, *Abbildung 13* [6].

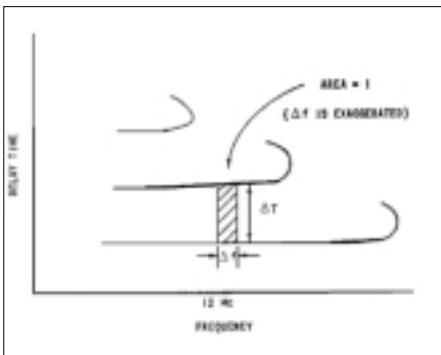


Abbildung 13: Zweiweg-Ausbreitung an einem idealisierten Ionogramm auf 12 MHz, wobei sich das selektive Fading im gestrichelten Bereich abspielt.

Dort sind zwei ionosphärische Schichten zu sehen, an denen ein Signal von der Breite Δf zu unterschiedlichen Zeiten (ΔT) reflektiert wird. Ames leitet mathematisch die Beziehung her, zu der die unterschiedliche Laufzeit in Millisekunden zum Abstand der Minima in Kilohertz bei selektivem Fading steht:

$$\Delta f = 1 / \Delta T.$$

Die Tendenz in Worten: je kleiner der Abstand der Schichten in Kilometer, desto kleiner der Laufzeitunterschied beider Signale und die Gelegenheit zu vielen Fadingeinbrüchen je Sekunde. Sind also die Abstände der Einbrüche groß, ist der Abstand der reflektierenden Schichten klein und umgekehrt – *Abbildung 14* zeigt den gewissermaßen idealisierten Zustand, den auch Ames in der Praxis nur in der allgemeinen Tendenz bestätigt findet. Zur Orientierung jedoch reicht es.

Ausgehend hiervon kann man sich nun auch bei anderen (breitbandigen) Sendungen halbwegs einen Reim darauf machen, wie diese zum Teil seltsamen Muster im Wasserfalldiagramm zustande kommen. Am besten ist das natürlich bei Datensignalen mit regelmäßiger Modulation zu sehen (*Abbildung 15*), aber auch bei Rundfunksendern (*Abbildung 16*).

Text & Abbildungen (außer Nr. 13):
Nils Schiffhauer, DK8OK

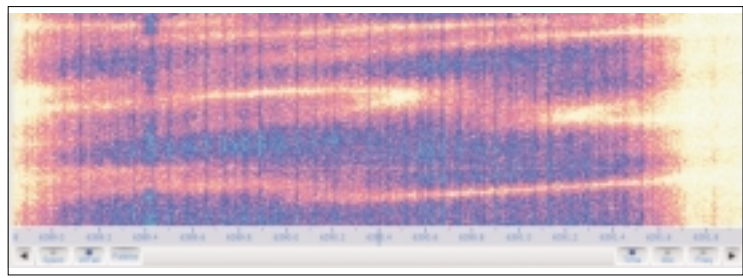


Abbildung 15: Auch Datenkanäle machen selektives Fading sichtbar - wie hier bei einem Mehrkanal-System um 6.390 kHz in den Morgenstunden.

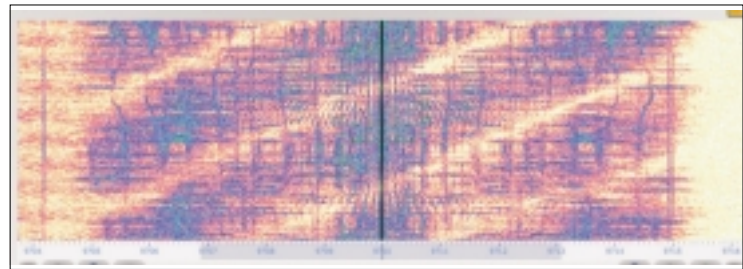


Abbildung 16: Durch die dem Sprach- oder Musikverlauf folgende unregelmäßige Modulation ist selektives Fading bei Rundfunksendern am besten bei Sendern mit hoher Aussteuerung sichtbar – hier REE auf 9.710 kHz.

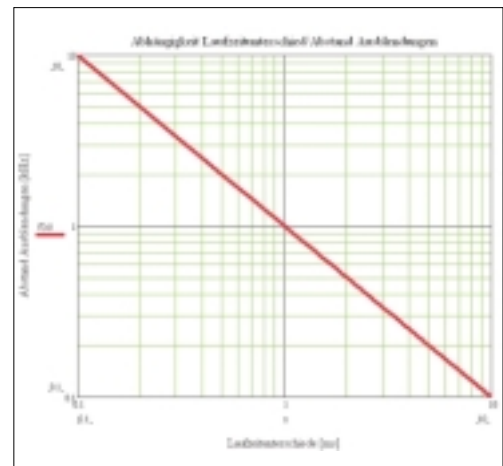


Abbildung 14: Große Laufzeitunterschiede (x-Achse) bedingen einen kleinen Abstand der Ausblendungen (y-Achse). Hier ist die Auswirkung von Laufzeitunterschieden von bis zu zehn Millisekunden direkt ablesbar

Achtung: doppelt logarithmische Skalierung.

Verweise

- ⇒ [1] <http://www.arrl.org/qex/2007/01/stanley.pdf>
- ⇒ [2] jeweils neueste Version kostenlos unter: <http://www.greg-hand.com/hfwin32.html>
- ⇒ [3] jeweils neueste Version kostenlos unter: <http://areps.spawar.navy.mil/>
- ⇒ [4] http://147.231.47.3/cgi-bin/UniSearch.exe?Data=1&Column=3&Row=5&Width=240&ImageOrder=ascending&Page=3&SelectedPic=/IonoGIF/PQ052_2008103071500_IO.PNG
- ⇒ [5] http://digisonde.oma.be/IonoGIF/DB049_2008103081505.GIF
- ⇒ [6] Ames, John: The Correlation between Frequency-Selective Fading and Multipath-Propagation over an Ionospheric Path. Journal of Geophysical Research, Vol. 68, No. 3, February 1, 1963, S. 759-768