

## Hallo, Echo!

Jetzt, wo die Sonnenflecken-Relativzahlen wieder steigen, hören wir auf manchen Bändern wieder verstärkt Echos. Nils Schiffhauer, DK8OK hat sich das näher angehört und überraschende Entdeckungen gemacht.

Als engagierter Kurzwellenhörer kennt man das vor allem aus besseren Sonnenfleckenzeiten: Vor allem in den Morgen- und Nachmittagsstunden sind auf Frequenzen zumeist ab 10 MHz manche Sender mit deutlichem Echo zu hören. Funkamateure hören sogar ihr eigenes Echo – besonders deutlich in Telegrafie, wenn der Transceiver auf full-bk (QSK) gestellt wurde. Gibt man eine Reihe von Punkten, kommen diese doppelt oder sogar mehrfach zurück. Gut geeignet ist dafür das 18-MHz-Band. Das hatte schon E. Quack erfahren, als er 1927 in Nauen auf 18,55 MHz Telegrafie-Signale aus den USA empfing und dabei ein Echo hören konnte. [1] Doch woher kommen sie, diese Echos?

Sie entstehen immer dann, wenn ein Signal auf mindestens zwei zeitlich unterschiedlichen Wegen den Empfänger und die davor sitzenden Ohren erreicht. Diese können – je nach Lautstärke, Tonhöhe, und Art – zwei Impulse dann getrennt wahrnehmen, wenn ihr Abstand zwischen etwa zehn und 30 Millisekunden liegt. Untersucht man hingegen eine Impulsfolge messtechnisch, so lassen sich noch Differenzen im Bereich von Nanosekunden nachweisen. Für den Hör-Empfang wollen wir jedoch festhalten:

**Bild oben,** *Abbildung 1: RFI Issoudun kommt auf 15.300 kHz um 10:00 UTC am 13.2.10 zunächst auf dem kurzen Weg, dem nach 122,8 Millisekunden das schwächere Echo auf dem langen Weg folgt.*

Unterscheiden sich zwei Wege um mehr als etwa 15 Millisekunden, so bildet sich der Höreindruck eines Echos heraus. Das alles gilt natürlich nur für das „unbewaffnete“ Ohr. Bei Hörgeräten oder Cochlea-Implantaten ist deren Signalverarbeitung ebenfalls mit zu berücksichtigen.

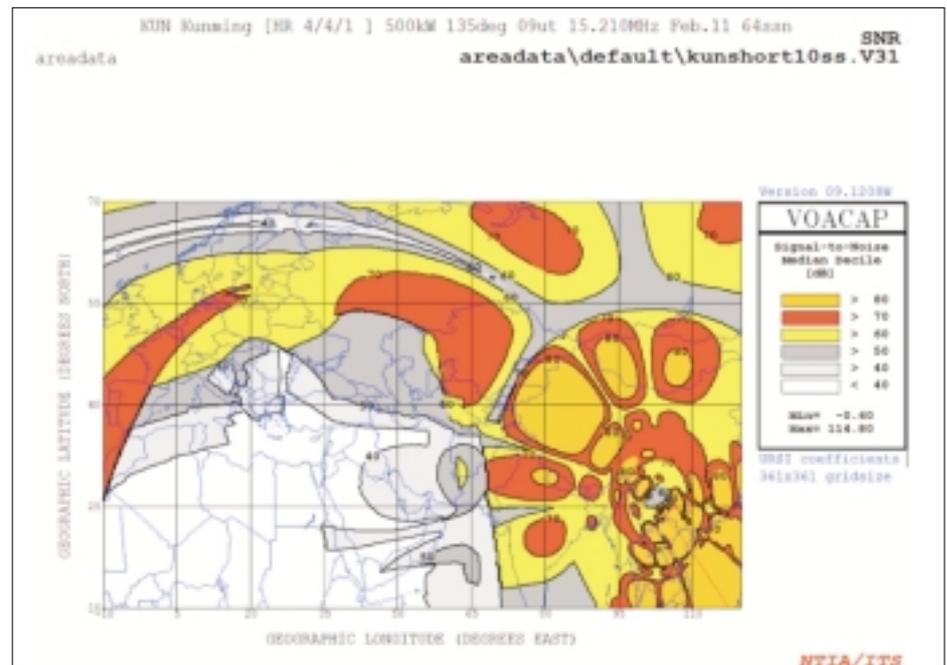
## In 138 Millisekunden um den Globus

10 Millisekunden entsprechen bei elektromagnetischen Wellen einer Laufzeit von 3.000 Kilometern. Das ist etwa ein Ionosphärensprung. Sehr deutlich wird das

Echo bei sogenannten Um-die-Welt-Signalen, auch RTW-Signal (round-the-world) genannt. Die Erde hat einen Umfang von 40.000 Kilometern, für die eine elektromagnetische Welle 133 Millisekunden bräuchte. Da sie sich zum Teil im Zickzack zwischen Erdoberfläche und Ionosphäre ausbreitet, ist der Weg immer ein wenig länger. Umfangreiche Untersuchungen [2] haben eine erstaunlich konstante Wegzeit rund um den Globus von 138 Millisekunden ergeben. Die geringen Abweichungen – vor allem in Richtung längerer „Reisedauer“ – erklären sich durch vielfältige Ausbreitungswege oder durch Abweichungen vom so genannten Großkreis, der als kürzeste Strecke zwei Orte auf dem Globus miteinander verbindet.

Die oftmals hohen Empfangspegel der Echosignale haben schon seit ihrer Entdeckung erstaunt. Doch erst fast ein halbes Jahrhundert später war man sich sicher, wie die Ausbreitung läuft. Die übliche Zickzack-Ausbreitung hätte Modellrechnungen von 1948 zufolge zwölf bis 17 „Sprünge“ erfordert. [3] Dann jedoch wäre einerseits die resultierende Dämpfung zu hoch, andererseits wären die Ausbreitungszeiten nicht so scharf um diese 138 Millisekunden konzentriert gewesen. Später kam man dann durch Experimente und theoretische Überlegungen auf folgendes:

⇒ Optimale RTW-Signale treten dann auf, wenn der Großkreis sich in der Nähe der Dämmerungszone befindet. Auf der Tagseite findet eine Ausbreitung über die F2-Schicht statt, während das Signal in der Nähe der Dämmerungszone in die



*Abbildung 2: Wenn Kunming in Richtung Australien sendet, bleibt dennoch genügend Signal von der Rückseite der Antenne zurück, um in Deutschland einen guten Empfang zu erzielen.*

E-Schicht eingekoppelt wird. Dort reist sie wie in einem Wellenleiter bis zum anderen Ende der Dämmerungszone, um dort wieder ausgekoppelt zu werden. [4]

Hierbei weist die Dämmerungszone eine geradezu „magnetische“ Anziehungskraft auf, die den Großkreis um bis zu 90 Grad „verbiegt“: Echsignale kommen also aus einer um 90 Grad verschobenen Richtung, als man sie – über den Großkreis kommend – erwarten würde! [5] Die russischen Untersuchungen von 1975 verweisen zudem darauf, dass die Großkreisabweichungen abhängig sind von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger, aber auch von der Jahreszeit. So weist im Winter die Hälfte aller RTW-Signale am Vormittag eine Großkreisabweichung von -40 Grad auf, die sich am Nachmittag auf +40 Grad dreht. Die Autoren der Studie nehmen an, dass Unregelmäßigkeiten in der Ionosphäre die Funkwellen den Weg des „geringsten Widerstandes“ wählen lassen und wie ein Wellenleiter funktionieren.

Dadurch können sich die zurückgelegten Entfernungen von RTW-Signalen verändern. Das kann man regelmäßig an Signalen sehen, bei denen Sender und Empfänger nicht am selben Ort sitzen, sondern in einigen 100 Kilometern Entfernung voneinander. *Abbildung 1* zeigt das am Empfang des Zeitzeichensignals von RFI Issoudun, 15.300 kHz. Der kurze Weg liegt bei 3,6 Millisekunden, der lange bei 135 Millisekunden. Da wir nicht absolute Ankunftszeiten messen können, sondern immer nur relative, sollte die Differenz bei 131,4 Millisekunden liegen. Mit 122,8 Millisekunden liegt jedoch die gemessene Zeit um 8,6 Millisekunden darunter. Die Messfehler liegen wegen der deutlichen Flanken sicherlich bei nicht mehr als  $\pm 1$  ms.

Der klassische Fall ist jedoch, dass die Signale den jeweiligen Großkreisen folgen, selbst wenn sie in die Dämmerungszone einkoppeln. Nehmen wir den Sender Kunming, der vom Süden Chinas aus Australien und Neuseeland in Englisch mit 500 kW Sendeleistung und Richtantennen versorgt. *Abbildung 2* zeigt die Situation auf dem kurzen, *Abbildung 3* die auf dem langen Weg. Das Audiobeispiel wurde gegen 09:30 Uhr UTC empfangen, für die Simulation mit VoAAREA konnte daher sowohl auf 09:00 UTC (08:30 - 09:30 UTC, kurzer Weg), als auch 10:00 UTC (09:30 - 10:30 UTC) zurückgegriffen werden.

Der Pegelunterschied beider Wege liegt in der Größenordnung von nur 10 dB. Das Signal auf dem „kurzen Weg“ erreicht uns über die Rückseite der Richtantenne etwas

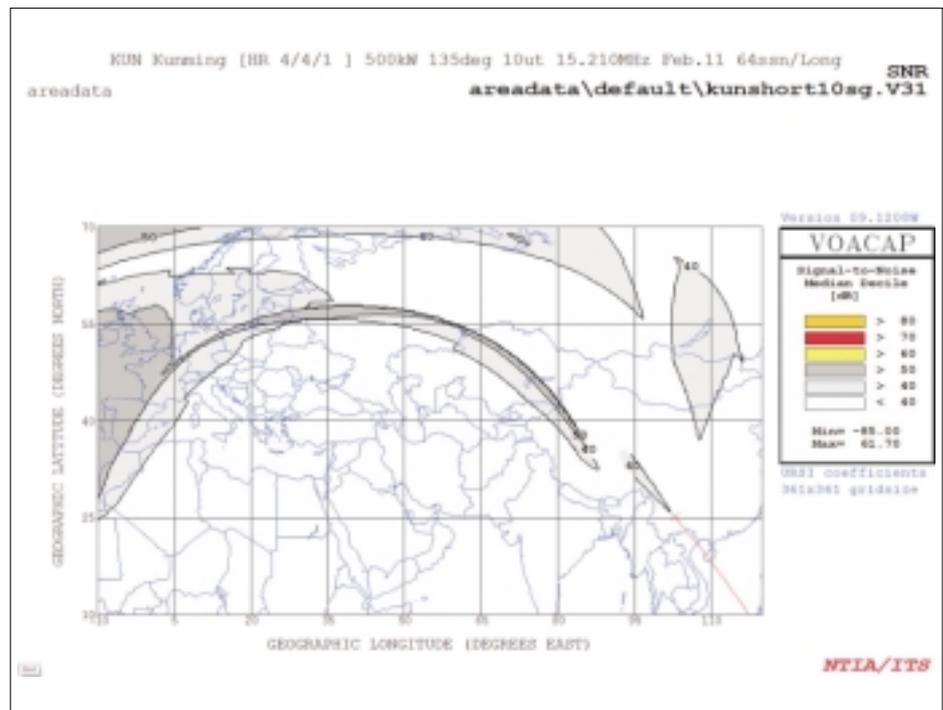


Abbildung 3: Doch auch etwas von dem in Hauptstrahlrichtung gesendeten Signal erreicht Deutschland - und zwar auf dem 'langen Weg'.

## Wie messen?

Um Zeitunterschiede im Millisekundenbereich präzise zu messen, braucht man drei-erlei:

- ⇒ einen einzigen Sender auf freier Frequenz.
- ⇒ einen Ausschnitt aus einer Sendung mit a) deutlichem Echo und b) deutlich erkennbarer Flanke – Zeitzeichen sind natürlich ideal!
- ⇒ eine Software, die Zeitmessungen ermöglicht.

Wichtig ist natürlich, dass nicht das Programm selbst mit Echo *gesendet* wurde, was allerdings seltener der Fall ist. Die Messungen sollte man bei Rundfunksendern nur in einem Seitenband vornehmen. Falls sich durch selektives Fading jedes Seitenband unterschiedlich ausbreitet, kann das die Messung beeinflussen. Am besten, man zeichnet die Sendung auf, wofür sich SDRs natürlich am besten eignen. Dann kann man jenen Bandausschnitt herauspräparieren, der die klarste Darstellung verspricht. Das sei am Beispiel des Empfangs des Zeitzeichens von RFI Issoudun auf 15.300 kHz Schritt für Schritt erklärt:

- ⇒ Man sucht sich das Seitenband mit dem klarsten Empfang, in diesem Fall das obere.
- ⇒ Dieses stellt man wie ein Telegrafiesignal „auf Mitte“ ein. Da die Tonhöhe des Zeitzeichens 1.000 Hz beträgt, stellt man also den Receiver auf 15.301 kHz (*Abbildung 5*).

- ⇒ Die Bandbreite wähle man nicht extrem schmal, um (vor allem bei analogen Filtern) nicht-lineare Effekte („Klingeln“) zu vermeiden, die ein Signal nur vortäuschen. Sonst misst man ja so eine Art Echo des Filters ...
- ⇒ AGC auf OFF und mit Handregelung so einstellen, dass die stärkste Signalkomponente gerade noch nicht verzerrt wird. Dadurch gehen einerseits leise Echos nicht unter, und andererseits entsprechen die dargestellten Audiopegel in etwa den HF-Pegeln.
- ⇒ Das HF-WAV-Filter direkt und ohne Umweg über eine MP3-Konvertierung auf eine NF-Analyse-Software geben. (Notlösung: Hat man keinen SDR, eignen sich zur Speicherung der Audio auch verlustfreie Formate, also WAV.)
- ⇒ Ansehen, ausmessen, fertig!

Welche Analyse-Software man nimmt? Das ist beinahe egal, nur muss der Schwerpunkt auf einer guten *Zeitdarstellung* liegen. Eine gute und kostenlose Wahl ist hier etwa der „Soundkarten Oszillograph“ von Christian Zeitnitz [7], während ich schon seit Jahren das universelle SpectraPlus [8] nutze, mit dem auch die entsprechenden Abbildungen dieses Artikels entstanden.

Und wenn es keine Zeitzeichen gibt? Dann sucht man sich andere „scharfe Kanten“ heraus. Musik eignet sich dazu, Sprache auch. Beispiele dann dazu weiter im Haupttext.

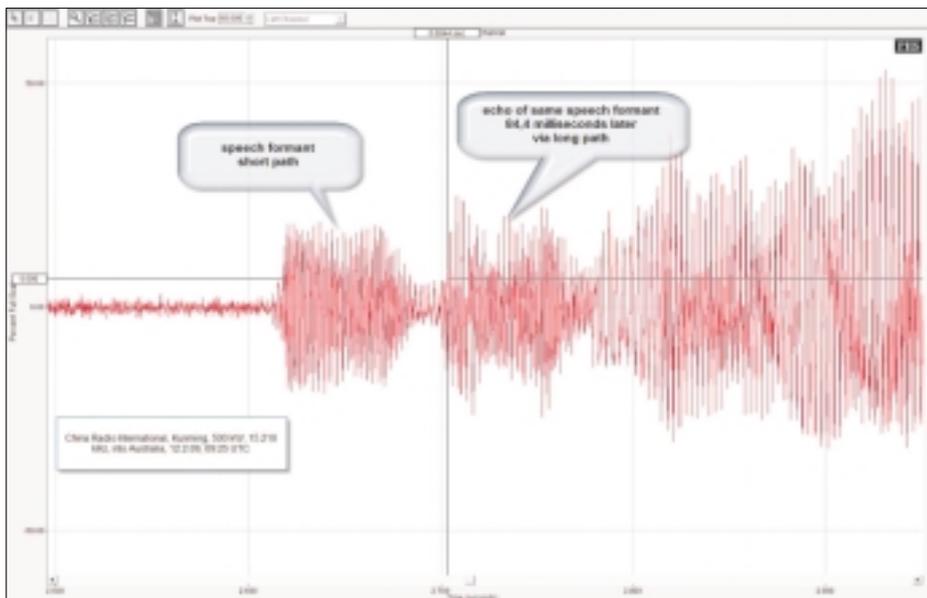


Abbildung 4: Kurzer und langer Weg unterscheiden sich bei China Radio International auf 15.210 kHz in Deutschland um rund 83,3 Millisekunden, was mit einer Messung von 84,4 Millisekunden gut übereinstimmt.

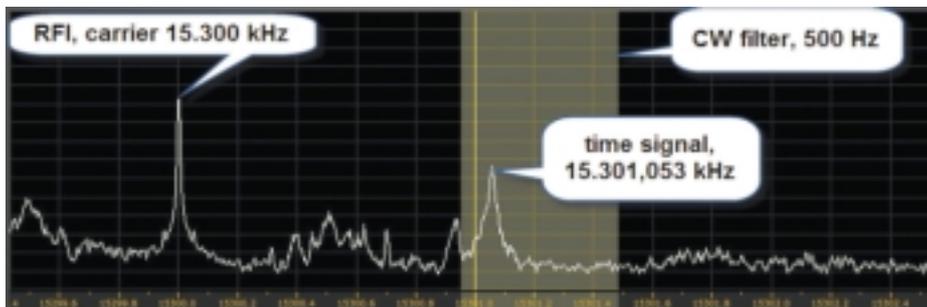


Abbildung 5: Fertige Einstellung zur Messung des Zeitzeichens von RFI Issoudun auf 15.300 kHz [9].

stärker, während auf dem „langen Weg“ das in Hauptstrahlrichtung gesendete Signal etwas schwächer ankommt. Soweit die Theorie.

Die Laufzeit auf dem kurzen Weg beträgt rund 28 Millisekunden; auf dem langen Weg sind es etwa 111 Millisekunden. Die

Differenz von 83,3 Millisekunden sowie der nicht sonderlich große Pegelunterschied ergeben ein deutlich wahrnehmbares Echo, das die Verständlichkeit erheblich beeinflusst.

Abbildung 4 zeigt die Differenzmessung an Sprachformanten (mangels anderen Pro-

## Verweise

- ⇒ [1] Quack, E: Propagation of Short Waves Around the Earth. Proc. IRE 15, 341-345, 1927
- ⇒ [2] Wegweisend: Fenwick, RB: Round-the-World High-Frequency Propagation. Techn. Rep. 71, Radioscience Laboratory, Stanford University, Stanford, 1963
- ⇒ [3] Hess, HA: Investigations of High-Frequency Echoes. Proc. IRE 3,6 981-992
- ⇒ [4] Tyler, M.A.: Round the world high frequency propagation: a synoptic study. DSTO-Research Report-0059, 1995, S. 35, siehe auch: <http://dspace.dsto.defence.gov.au/dspace/bitstream/1947/3374/1/DSTO-RR-0059%20PR.pdf>
- ⇒ [5] Bubnov V.A. und Rumyantsev G.A.: Propagation of Round-the-World and Back-Echo Signals outside the Plane of a great Circle. Radiophysics and Quantum Electronics, Volume 18/Number 9 (1975), S. 1023 ff.
- ⇒ [6] <http://bit.ly/bc4r8O> im Eintrag „Round-the-World“-Echoes ...
- ⇒ [7] [http://www.zeitnitz.de/Christian/scope\\_de](http://www.zeitnitz.de/Christian/scope_de)
- ⇒ [8] <http://www.spectraplus.com/> (kostenlose Version für 30 Tage)
- ⇒ [9] 13.2.09, 10:00 UTC, 15.300 kHz

gramms). Die Messung ergibt eine Differenz von 84,4 Millisekunden, mit einer Ungenauigkeit von sicherlich  $\pm 2$  ms.

Auf meiner Website habe ich ein kurzes englischsprachiges Paper über dieses Phänomen erstellt, das auch einige typische Hörbeispiele enthält. [6]

Text & Abbildungen:  
Nils Schiffhauer, DK8OK 2010

**NEU! NEU! NEU!**



## 10-Jahres-CD-ROM 2000-2009

Auf dieser CD finden Sie die **kompletten Daten** der Jahrgänge 2000-2009 unserer Zeitschrift, incl. aller Artikel, Listen, Berichte und Bilder. Erstellt wurde die CD im PDF-Format. Eine umfangreiche Suchfunktion ermöglicht das blitzschnelle und problemlose Auffinden jedes beliebigen Suchbegriffs.

**Surfen Sie für nur 49 Euro durch ein Jahrzehnt Rundfunkgeschichte !**

Bestellungen durch Einsenden des Betrages per V-Scheck oder in bar an: ADDX, Scharsbergweg 14, 41189 Mönchengladbach. Alternativ: Bestellung per E-Mail an: [redaktion@radio-kurier.de](mailto:redaktion@radio-kurier.de) und Überweisung des Betrages auf unser Konto Nr. 86 86 800 bei der Deutschen Bank Düsseldorf, BLZ 300 700 24.