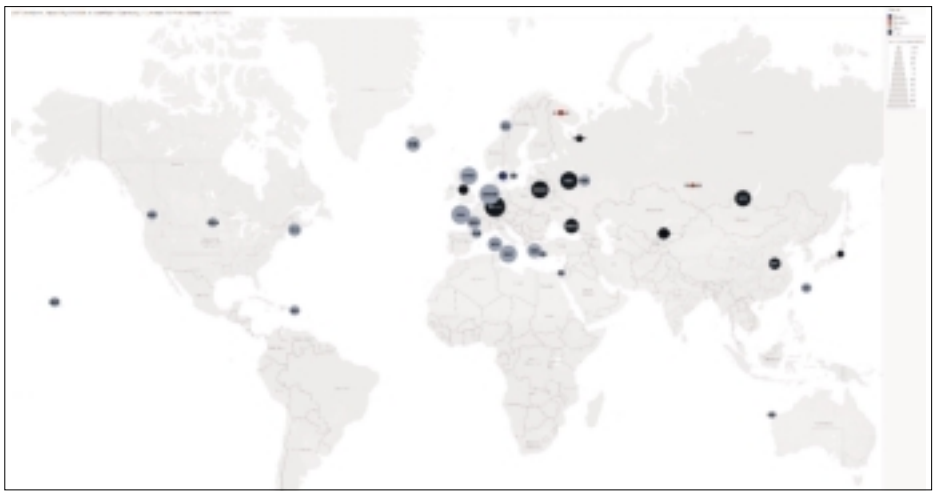

# Unter 100 kHz? Unter 100 kHz!

*Der Frequenzbereich unter 100 kHz wird selbst von begeisterten und erfahrenen Hörern oft ignoriert. Aber diese Tipps von Nils Schiffhauer, DK8OK, lassen die Ohren klingeln.*

Die Welt unter 100 kHz gilt für ebenso schwierig wie langweilig. Letzteres ist völlig richtig, wenn Sie sich nicht für DX aus Australien, den USA, aus Japan, China und Kirgisistan interessieren. Aber schwierig? Der Schlüssel hierzu ist doch auch nichts weiter als z.B. eine aktive Antenne und ein SDR unter 300 Euro plus einige kostenlose oder preiswerte Software – siehe Kasten „Was man braucht? Weniger, als Sie denken!“ Damit eröffnet sich eine Welt von Zeitsignal-Sendern zur Synchronisierung Ihres Weckers bis zur Nachrichtenübertragung für getauchte U-Boote über Entfernungen von mehr als 10.000 Kilometern - siehe Weltkarte, auf der alle Senderstandorte mit ihren maximalen Signalstärken markiert sind, aus denen ich in den letzten neun Monaten Signale empfangen habe. Tauchen wir nun mit einigen Beispielen ein in diesen Ozean von Möglichkeiten (**Abbildung 1**)!

## Wecker steuern, U-Boote versorgen

Deutschlands Zeitzeichensender DCF77 auf 77,5 kHz [2] bietet einen einfachen Start. Sie können ihn bereits täglich empfangen, wenn Ihr Wecker durch sein Zeitsignal synchronisiert wird - üblicherweise einmal am Tag während der Nachtstunden.

**Bild oben:** *Weltkarte: Alle Orte, aus denen der Autor in den letzten neun Monaten VLF-Signale gehört hat. Der Durchmesser der Kreise markiert die maximale Signalstärke während 24 Stunden. Es wird nur jeweils ein Rufzeichen/Dienst pro Standort erwähnt. Visualisierung mit der kostenlosen Software „Tableau Public“ [1]*

Stellen Sie Ihren Empfänger auf 77,5 kHz in CW ein, und Sie werden einen Ton hören, der im Sekundentakt kurz abgeschwächt wird. Die Zeitübertragung erfolgt durch dieses Absenken des CW-Dauertones über 100 bzw. 200 Millisekunden, was den digitalen Wert von „0“ bzw. „1“ repräsentiert. Diese wird nicht nur von Ihrem Wecker dekodiert, sondern auch von der kostenlosen Software SoDiRa [3], die sogar weitere Informationen aus dem Signal herausgekitzelt (**Abbildung 2**), aber auch von der Software „Clock“, einem Modul der Dekodersoftware MultiPSK. [4] Auch nach den großen Kahlschlägen dieser Sender insgesamt gibt es nach wie vor noch einige andere Länder, die diese drahtlose Synchronisation von Uhren nutzen. An der nächsten Ecke etwa tickt MSF [5] aus Großbritannien auf 60 kHz und erzeugt auch in Deutschland ein anständiges Signal. So stark, dass in unserem Ostseeurlaub unser Wecker, weil er immer automatisch auf das stärkste verfügbare Signal schaltet, von DCF77 auf MSF wechselt und somit auf UTC anzeigt.

Russlands Meterologisches Zentrum [6] unterhält den Zeitzeichensender RBU auf 66,66 kHz der sich am auch Rundfunkhörern bekannten Standort Taldom etwa 80 km nördlich von Moskau befindet. Dieser lässt sich ganztags auch in ganz Europa empfangen, während der Empfang des Irkutsker Senders RTZ auf 50 kHz mit nur 10 kW Leistung eine schwierigere Aufgabe darstellt. Am besten ist in CW der Träger aus Sibirien zu hören, aber die AM-modulierten Zeitsignale in ±100 Hz Abstand sind natürlich viel schwächer. Außerdem betreibt die russische Marine mehrere VLF-Sender, die ihre U-Boot-Flotte nach einem ziemlich komplexen Zeitplan um 25 kHz

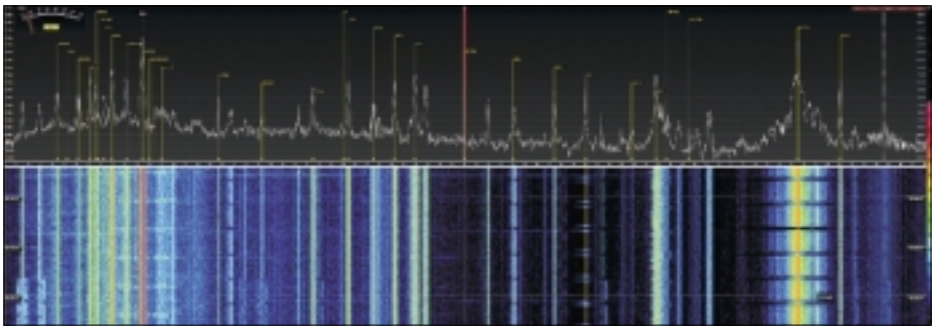

*Abbildung 1: Das gesamte Band, unretouchiert, wie ich es in der Nähe Hannovers Anfang Februar 2020 um 16:20 UTC empfangen habe. Man sieht einige Störungen im unteren Teil, aber auch den Zeitzeichensender BPC auf 68,5 kHz aus China.*

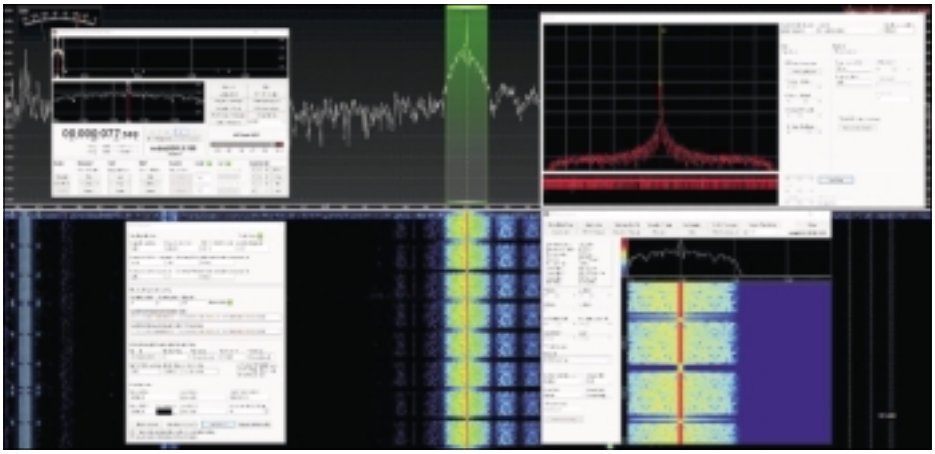

*Abbildung 2: Die kostenlose Software SoDiRa decodiert nicht nur die in AM modulierten Daten des Senders DCF77 wie Uhrzeit, Datum, Wochentag, Zeitzone und Senderstatus, sondern auch die in PSK übertragenen Feindaten („phase modulation with PRN data“) im Fenster „DCF77 Decoder“.*

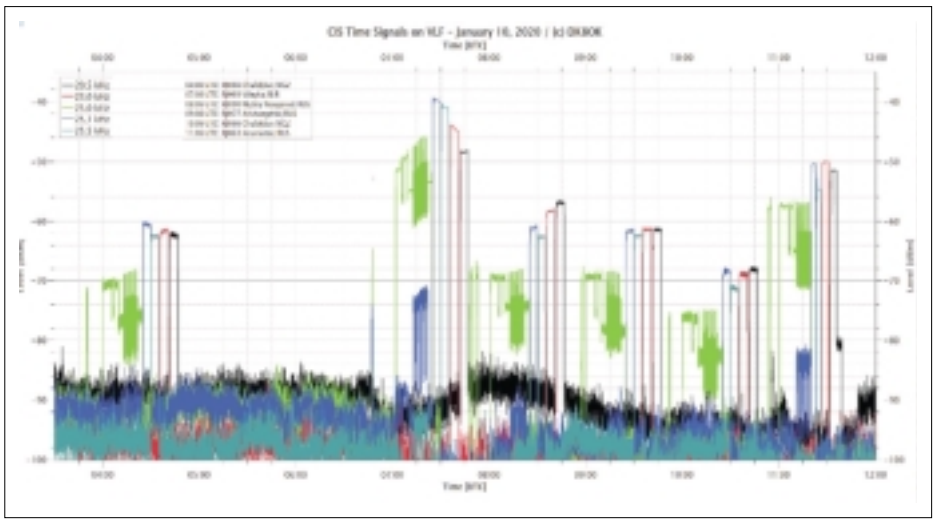

*Abbildung 3: Das komplexe Sendeschema der Zeitzeichensender der Russischen Marine – jede Sendung startet auf 25,0 kHz und geht dann zu anderen Frequenzen über.*

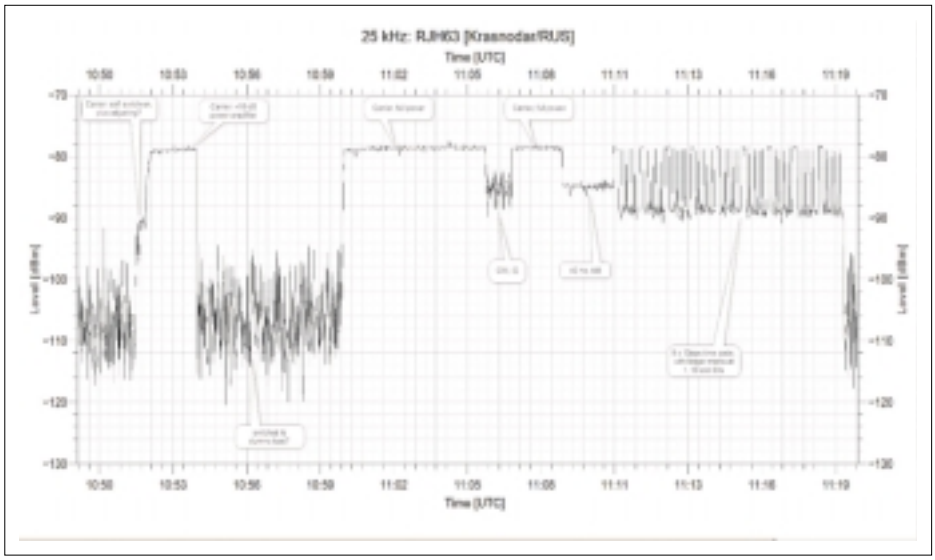


*Abbildung 4: Alle russischen Sender auf 25,0 kHz folgen einem ähnlichen Sendemuster, hier ist RJH63 aus Krasnodar dargestellt.*

mit Zeitsignalen versorgen – siehe Weblink für Zeitpläne sowie **Abbildungen 3** und **4**. Zumindest die Sender Archangelsk/RJH77, Krasnodar/RJH63 und Nizhny Novgorod/RJH90 in Russland sowie Vileyka/RJH69 in Weißrussland und Chaldybar/RJH66 in Kirgisistan sind leicht zu hören und lassen sich einfach durch ihr Rufzeichen identifizieren, das zu Beginn der Übertragung in zügigen Morsezeichen gegeben wird (**Abbildung 5**). Bislang habe ich den Sender Chabarowsk/RAB99 im Fernen Osten nicht empfangen können. Aber Sie werden das mit etwas Geduld womöglich schaffen!

Der Empfang von Zeitzeichenstationen aus anderen Ländern in Europa stellt eine ziemliche Herausforderung dar. Japans JJY [7] ist vor allem in unserer Winterzeit auf 40 kHz ein eher seltener Besucher, wobei allerdings die lokale Japanische Standardzeit JST sogar von der „Clock"-Software dekodiert werden kann – **Abbildung 6**, wenngleich das nicht immer komplett korrekt gelingt. Ein weiterer schöner Fang ist BPC [8] aus Shangqiu, Provinz Henan in China, auf 68,5 kHz, dessen Signal um deren lokalen Sonnenaufgang herum ihre Spitze erreicht – **Abbildung 7**. Stationen wie WWB/USA [9] auf 60 kHz und HLA/Daejeon [10] aus Südkorea auf 77,5 kHz teilen sich Kanäle europäischer Sender und sind hier daher kaum nicht zu hören.

## Lange Strecken, stabile Ausbreitung

Alle diese Stationen verwenden Frequenzen unter 100 kHz, weil die Ausbreitung in diesem Bereich viel stabiler ist als auf HF. Je größer die Wellenlänge, desto

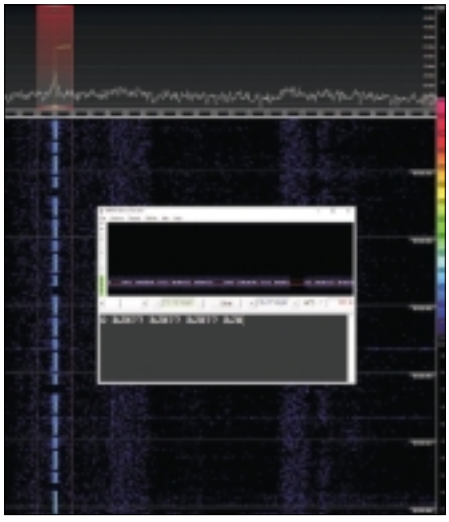

*Abbildung 5: RJH77 aus Archangelsk am Weißen Meer startet mit einem kontinuierlichen Träger auf 25,0 kHz, um dann seine Kennung RJH77 in Telegrafie zu senden. Die anderen Zeitzeichen auf 25 kHz folgen einem gleichen Muster.*

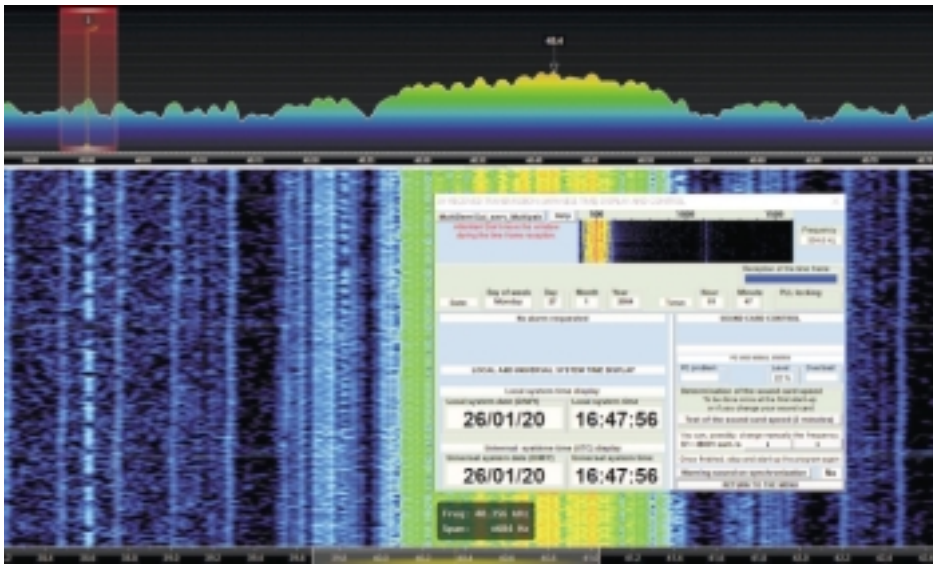


*Abbildung 6: Die Software „Clock" dekodiert einige unterschiedliche Zeitsignal-Formate wie hier JJY auf 40 kHz mit der Japanischen Standardzeit. Fast alles korrekt, aber die Bits mit der Jahreszahl wurden auf dem Weg von Japan nach Deutschland teilweise beschädigt – statt dem Jahr 2020 wird schon 2064 angezeigt.*

tiefer dringen Signale durch Wände und sogar einige zehn oder mehr Meter Ozeanwasser. Besonders bei sehr niedrigen Frequenzen, den very low frequencies VLF (3kHz - 30kHz), funktioniert die Ausbreitung eher wie in einem Wellenleiter zwischen Boden und Ionosphäre, anstatt wie Kurzwelle mittels Ionosphärensprüngen im Pingpong zwischen Ionosphäre und Erde zu hüpfen [12]. Dennoch folgt auch die VLF-Signalstärke in etwa dem Sonnengang, was während Morgen- und Abenddämmerung sowie bei Dunkelheit zu DX-Möglichkeiten, aber auch zu einigen Mehrwegproblemen nicht nur innerhalb des Versorgungsbereiches eines Senders führt. Je niedriger die Frequenz, desto robuster die Ausbreitung – **Abbildungen 8** und **9**. Auf der anderen Seite ist die nutzbare Bandbreite im gesamten Frequenzbereich unter 100 kHz sehr stark eingeschränkt. Ein Grund dafür ist, dass mehr als 50 Nationen diesen schmalen Bereich allein für ihre U-Boote benötigen, ein anderer, dass trotz ihrer gigantischen Abmessungen die nicht als vollwertige Halbwellendipole aufzubauenden Antennen nur eine sehr geringe 3dB-Bandbreite zur Verfügung stellen.

## STANAG-5030: Die Nachricht steckt im Rauschen

Daher verwenden die meisten Nationen und alle NATO-Länder in erster Linie eine Wellenform namens STANAG-5030/MIL-STD-188-140, die zwei oder vier Kanäle mit jeweils 50 Bit im Zeitmultiplex-TDM kombiniert. Die Modulation ist eine Schmalband-Frequenzumtastung MSK und/oder Phasenumtastung PSK. All dies führt zu einem rauschähnlichen Signal von entweder 100 Hz oder 200 Hz nominaler Bandbreite – **Abbildung 10**. Für die Dekodierung dieser zusätzlich auch noch verschlüsselten Signale ist kein Hobby-Decoder bekannt. Trotzdem kann man mit dem TDoA-Werkzeug des KiwiSDR-Netzes eine Peilung und ungefähre Bestimmung der Senderstandorte vornehmen. Auch die Kombination von Frequenzen/Standorten hat sich über Jahrzehnte vielfach kaum grundlegend verändert. Standorte? Nun, der Plural hat seinen Grund: Ein Land oder sogar eine Organisation wie die NATO verteilt einen Kanal abwechselnd auf unterschiedliche Standorte, um immer die besten Signale für das vorgesehene Versorgungsgebiet zu liefern.

Das „Programm“ ist zwar eintönig im wahrsten Sinne des Wortes, aber die Standorte sind oft interessant. Starten wir zunächst an der Heimatfront mit dem emsländischen Sender Ramsloh, der Marine auf 23,4 kHz, Rufzeichen DHO38; segeln zur

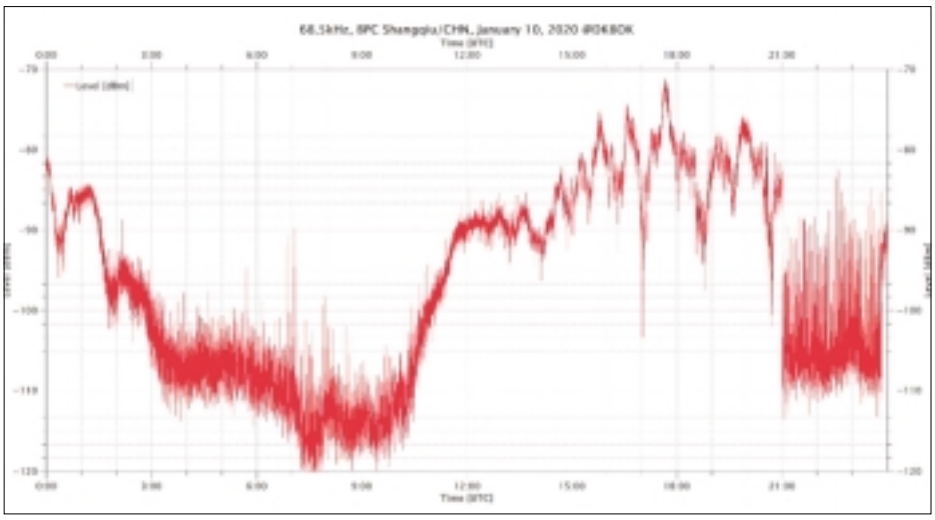


*Abbildung 7: BPC aus Shangqiu/China auf 68,5 kHz liefert ab etwa zwei Stunden vor Sonnenuntergang beim Empfänger (15:26 UTC am 10. Januar) ein anständiges Signal, das kurz nach Sonnenaufgang am Senderstandort (15:24 UTC) seinen Peak erreicht. BPC pausiert von 21:00 bis 00:00 UTC und ist dann bis etwa 03:00 UTC wieder zu hören. Der Sonnenaufgang bei DK8OK war an diesem Tag um 07:27 UTC [11].*

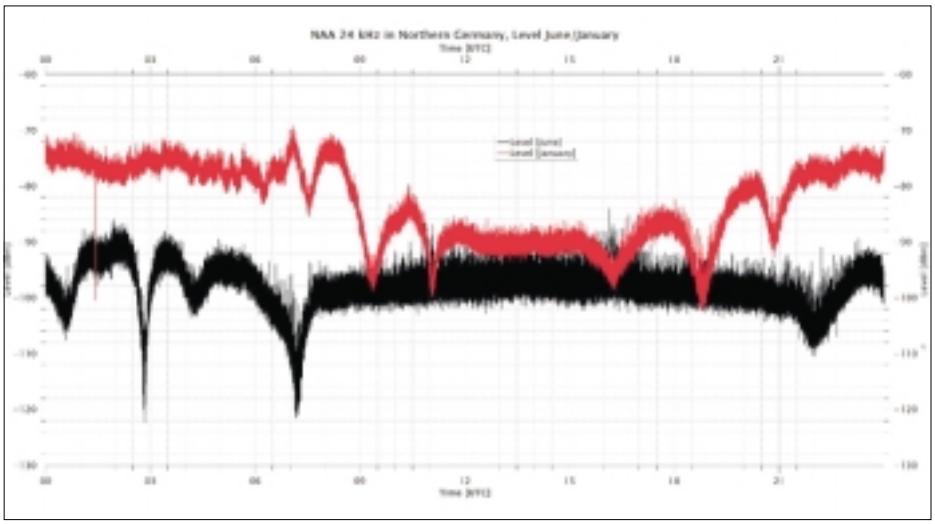


*Abbildung 8: Die Stärke der VLF-Übertragung – NAA aus Cutler/Maine liefert über 24 Stunden ein gutes Signal auf 24 kHz, unabhängig von der Jahreszeit (Schwarz: Juni 2019; Rot: Januar 2020). Es gibt nur einige wenige Einbrüche, die mit Sonnenaufgang und Sonnenuntergang an Sende- wie Empfangsort verbunden sind.*

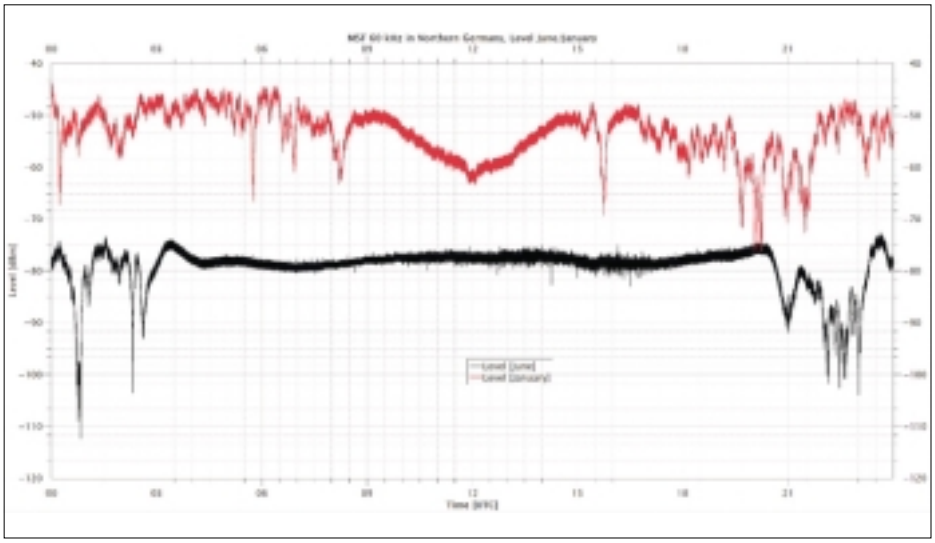


*Abbildung 9: Bei höheren Frequenzen ist der Unterschied zwischen Sommer und Winter etwas stärker, wie hier MSF auf 60 kHz zeigt.*

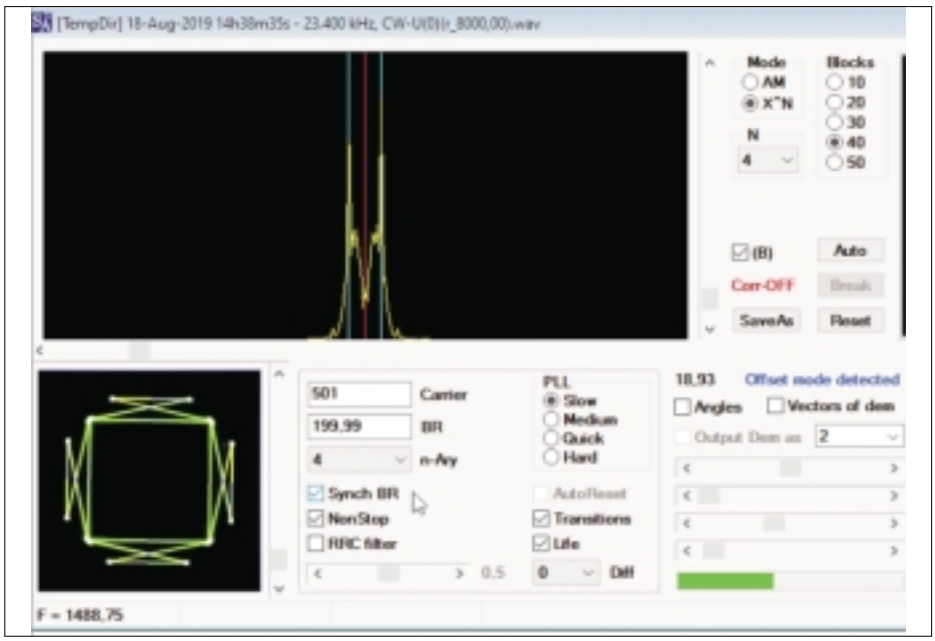


*Abbildung 10: Die Phasenkonstellation eines STANAG-5030-Signals von DHO38/Marine Ramsloh auf 23,4 kHz zeigt die komplexe Modulation dieses 200Hz breiten Signals.*

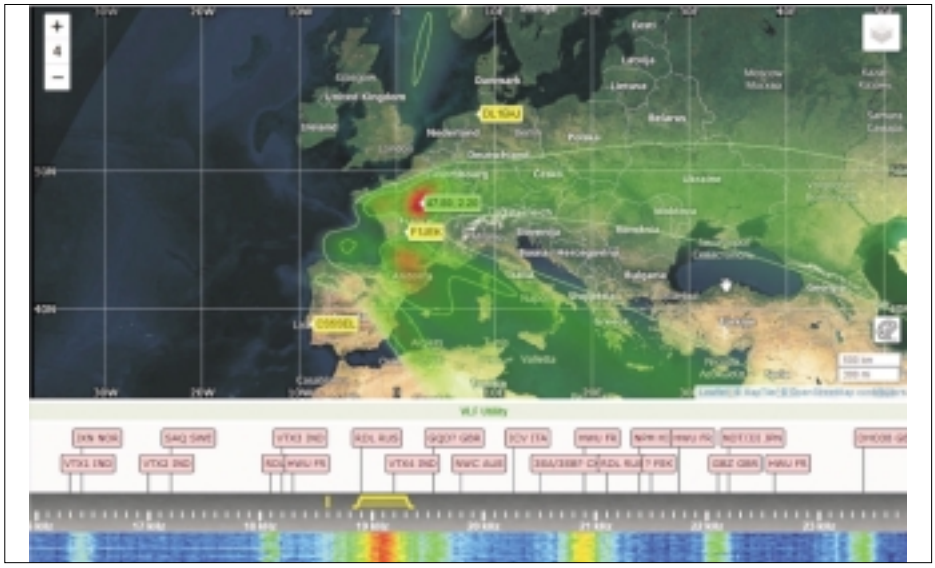

*Abbildung 11: Die Peilung im KiwiSDR-Netz lokalisierte den Sender auf 19,1 kHz in Mittelfrankreich, wo die riesigen VLF-Antennen bei Rosnay in die Luft streben.*

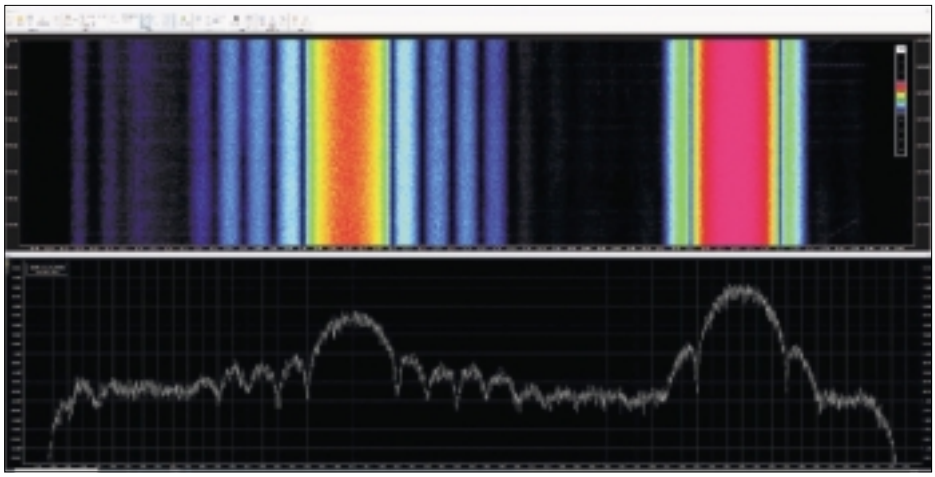

*Abbildung 12: Zwei Stationen mit derselben Modulation – die Marine auf 23,4 kHz (rechts) verwendet ein Gaußfilter, was zu stark reduzierten Nebenwellen führt, während die britische Marine auf 22,1 kHz (links) ein solches Filter nicht zu verwenden scheint, daher die je vier sichtbaren Nebenwellen im unteren und oberen Seitenband.*

Französischen Marine HWU auf 19,1 kHz, um schließlich über den Kanal zur Royal Navy auf 22,1 kHz zu wechseln.

Für mittleres DX drehen wir auf 29,7 kHz, wo die Israelische Marine von einem Sender in der Negev aus sendet oder auf 26,7 kHz zur U-Boot-Frequenz der Türk Deniz Kuvvetleri, der Türkischen Marine.

Die US Navy sendet von vielen Standorten in aller Welt, einige davon befinden sich sogar in Europa: NRK/37,5 kHz aus Island ist ein leichter Fang, aber auch NGR/ 33,3kHz aus Griechenland bietet ein gutes Signal. NAA auf 24,0 kHz aus Maine an der Ostküste der USA könnte Ihr erstes transatlantisches Signal sein (siehe auch vorangegangene **Abbildung 8**), NML4 Lamoure auf 25,2 kHz aus North Dakota Ihr zweites und schwächeres, wobei NWC/19,8kHz aus Exmouth/Nordwestaustralien die am weitesten entfernte Station ist, die überhaupt auf VLF in Europa empfangen werden kann – siehe **Abbildung 14**. Am schwierigsten war für mich jedoch der Empfang von NPM/21,4 kHz aus Hawaii, dessen Signal seinen Peak bei meinem lokalen Sonnenaufgang erreichte.

## Obacht bei „Indizien-Beweisen“!

Die Methode, ein Signal allein anhand seiner Wellenform und Frequenz zu identifizieren, hat viele Tücken. Sie sollten zusätzliche Indikatoren finden, wie z.B. eine TDoA-Peilung über das KiwiSDR-Netz – **Abbildung 11**. Hier müssen Sie die Empfangsstationen sorgfältig nach deren Standort und deren Fähigkeit auswählen, auf dem gegebenen Kanal ein anständiges Signal-Rausch-Verhältnis zu erzeugen. Leider trifft man hier in der Praxis auf viele lokale und DX-Störer, in erster Linie Fernsteuerung- und -überwachung über das Stromnetz, wie z.B. PLC. Nur ein kleiner Teil der Stationen im KiwiSDR-Netz ist überhaupt für die TDoA-Herausforderung unter 100kHz geeignet.

Schlecht unterdrückte Seitenbänder einiger Sender machen das DXen nicht eben einfacher, da ihre Seitenbänder in den zugewiesenen Sendekanal einer schwachen DX-Station fallen können. Ein sendeseitiges Gaußfilter reduziert diese Nebenwellen überzeugend, und auch ein Kosinusfilter funktioniert, wenngleich in diesem Punkte nicht so gut. Das Schlimmste allerdings ist, wenn gar kein Filter vorhanden ist, was zu bemerkenswerten Nebenkeulen führt, wie sie z.B. bei der US-Marine in Sizilien, bei NSY/45,9 kHz oder bei der UK Navy Anthorn auf 22,1 kHz zu finden sind – siehe

**Abbildung 12**, die das gewissermaßen live zeigen. In solchen Fällen kann man die Spreu vom Weizen trennen, indem man beide Signale über 24 Stunden analysiert: Ist ihr Muster identisch – wobei die plötzliche Unterbrechung des Senders überzeugender ist als die übliche Änderung der Signalstärke während des Tagesganges – , ist dies ein starker Indikator für dieselbe Quelle. Wenn nicht, werden die Quellen wahrscheinlich unterschiedlich sein – siehe **Abbildung 13**.

Der Bereich unter 100 kHz ist mit beinahe so vielen Fragen wie mit Signalen gefüllt. So gebietet angeblich Nordkoreas Volksmarine, Choson-inmingun Haegun, über die höchste Anzahl von U-Booten weltweit (83), gegenüber 74 derer von China und 66 derer der USA, aber meines Wissens wurde von dort noch kein VLF-Signal empfangen und von Hörern in Europa identifiziert. Ihre kleinen und unter 150 Tonnen verdrängenden U-Boote der Midget-Klasse operieren ohnehin nur in Küstennähe. Auch konnte der VLF-Sender Hamee/Pakistan, der Ende 2016 in Betrieb genommen wurde, hier noch nicht gehört/identifiziert werden. Ägypten, Brasilien und sogar der Binnenstaat Aserbaidschan – mit einer Küste lediglich am Salzwasser des Kaspischen Meeres – verfügen zwar über eine U-Boot-Flotte, aber es wurden von dort ebenfalls noch keine VLF-Signale identifiziert. Das Band ist also nicht nur voller Signale, sondern auch voller Rätsel und Wunder.

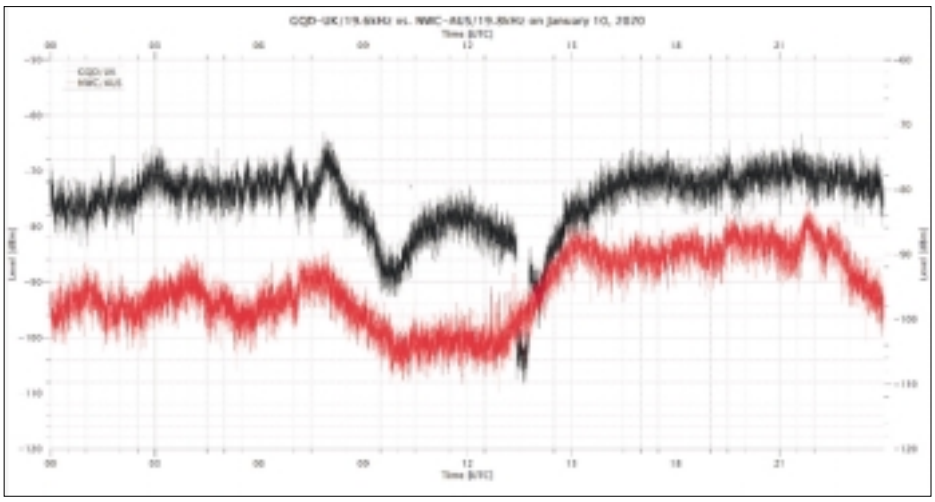

*Abbildung 13: Das obere Seitenband des Senders GDQ aus dem Vereinigten Königreich auf 19,6 kHz könnte das Signal der US-Marine von NWC aus Australien im Abstand von lediglich 200 Hz auf 19,8 kHz stören, beide senden in STANAG-5030. Dieser Vergleich der beiden Pegel über 24 Stunden zeigt jedoch deutlich den je unterschiedlichen Tagesgang beider Kanäle. Siehe etwa 12:30 UTC, wo GDQ sich kurzzeitig abmeldet, nicht aber das andere Signal. Außerdem sind das kontinuierliche Fade-in von NWC ab 13:00 UTC und der ausgeprägte Spitzenwert bei dessen Sonnenaufgang um 21:49 UTC mehr als nur Indizien für den Australien-Empfang unter schwierigen Bedingungen.*

Vorbei ohnehin die Zeiten, als ich die Kennung von VTX, der indischen Station auf 17,0 kHz im schlichten Morsekode empfing - als Antenne lediglich ein langer Draht, angeschlossen an die Mikrofonbuchse der Soundkarte meines PCs - und ich das Rufzeichen mit Hilfe eines Spektrogramms deutlich lesen konnte. Morsezeichen sind auf VLF selten geworden, aber man hört sie regelmäßig auf 17,2 kHz etwa von SAQ, wenn sie bei besonderen Anlässen ihren antiken Alexanderson-Sender mit seinem unverwechselbaren rauen Ton einschalten – **Abbildungen 14** und **15** [13].

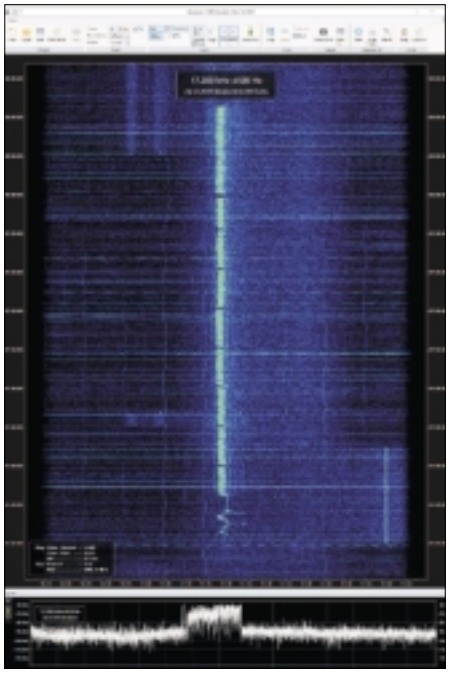

*Abbildung 14: Opa Alexanderson zittert ein wenig auf SAQ/17,2kHz, wie dieser Verlauf der gesamten Übertragung am 24. Dezember 2019 zeigt. Aber nicht schlecht für den jahrelangen, vollmechanischen Maschinensender.*

Eine der wenigen anderen Stationen mit zumindest gelegentlichem CW wird von der Russischen Marine auf z.B. 18,1 kHz unter ihrem Sammelrufzeichen RDL von verschiedenen Orten in Russland plus je einer in Kirgisistan und Weißrussland getastet. Glücklicherweise senden sie in RTTY, plus Telegrafie in FSK-Umtastung – **Abbildungen 16** bis **18**. Dank unterschiedlicher Signalpegel und mittels TDoA und lassen sich verschiedene Senderstandorte erst erkennen und dann orten.

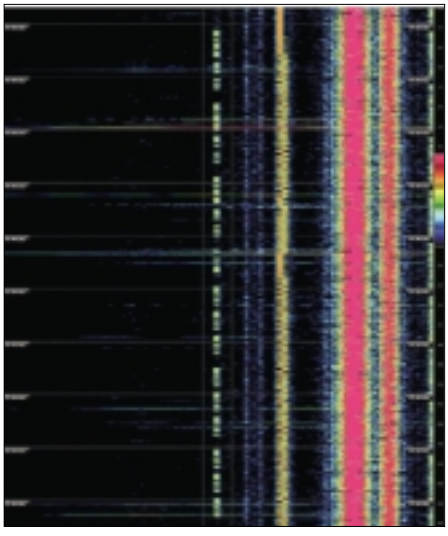

*Abbildung 15: Und selbst mit 94 Jahren tastet er „VVV DE SAQ“ noch absolut stilsicher.*

## Von ALPHA zu OMEGA: Hyperbelnavigation

Der VLF-Bereich wurde auch für die weltweite Navigation eingesetzt. Sowohl die NATO, als auch der Warschauer Pakt betrieben unterschiedliche Systeme. Die UdSSR begann 1962 mit RSDN-20 (Radiotechnitscheskaja sistema dalnei nawigazii, Radiotechnisches Fernnavigationssystem), das von der NATO „ALPHA“ genannt wurde. Die NATO wiederum betrieb ihr OMEGA-System zwischen 1968 und 1997. Sogar in der Zeit der Satellitennavigation macht diese Hyperbelnavigation, die auf der Berechnung von Phasenunterschieden beim Empfang verschiedenen Sendern basiert, für untergetauchte U-Boote einen gewissen Sinn. Der Status der RSDN-20 bleibt unklar. Monate ohne jegliche Aktivität wechseln sich mit einigen Tagen sporadischer Signale auf 11,905 kHz, 12,649 kHz und 14,881 kHz ab. Ich habe sie z.B. im Januar 2020 gehört, siehe **Abbildungen 19** und **20**. Mit LORAN-C überlebt in einigen Regionen der Welt wie China, Russland, Korea, Saudi-Arabien und sogar in Europa noch ein weiteres Hyperbelnavigationssystem; allerdings auf 100 kHz, am Rande unserer hier

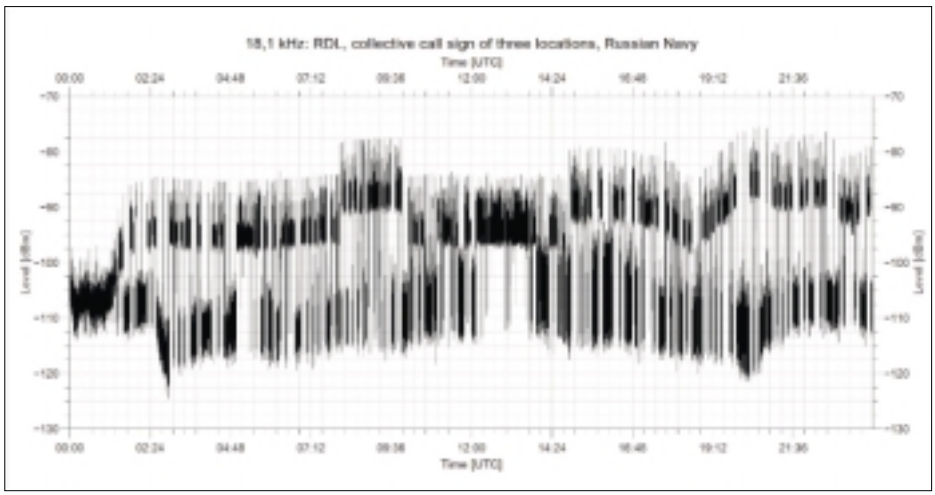


*Abbildung 16: RDL auf 18,1kHz sendet von mindestens drei verschiedenen Standorten, um die russische Marine auf allen Meeren informationstechnisch zu versorgen.*

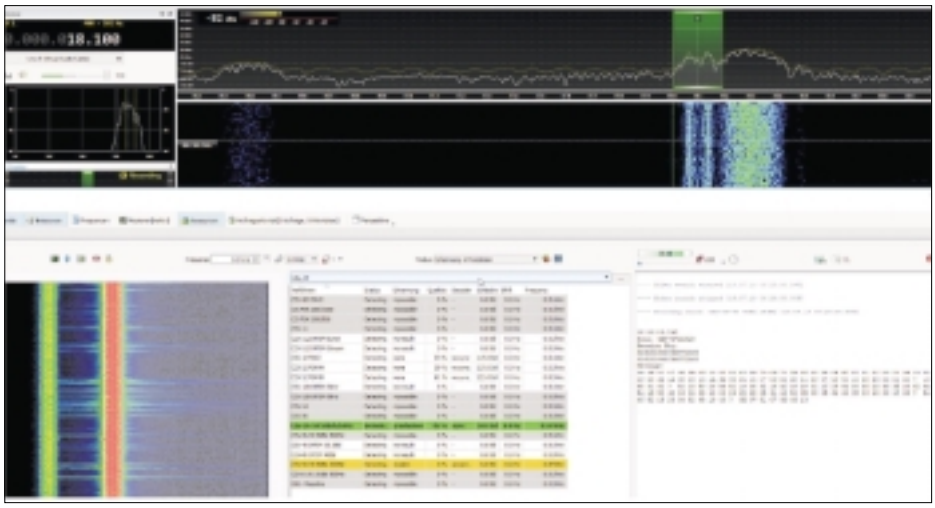

*Abbildung 17: Von RDL stammt auch eines der wenigen VLF-Signale, die man zumindest dekodieren, wenngleich natürlich nicht entschlüsseln kann – hier eine eine CIS36-50 FSK-Übertragung auf 18,1 kHz. Könnte man auch STANAG-5030 dekodieren, würde das Ergebnis höchstwahrscheinlich ähnlich kryptisch aussehen.*

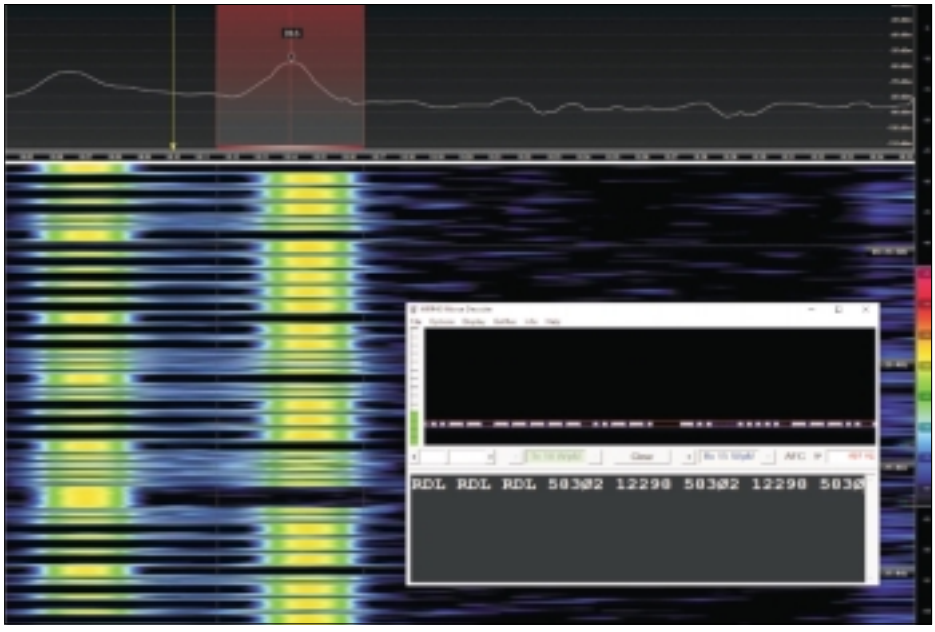


*Abbildung 18: RDL/18,1kHz mit seinem Kollektivrufzeichen für verschiedene Standorte und einigen Fünfergruppen mittels Morsezeichen, die den oberen Ton der FSK-Modulation zur positiven Tastung nutzen. Der untere Ton wird ebenfalls mit dieser Nachricht getastet, jedoch in umgekehrter Polarität.*

selbst gesetzten Grenze. Die erste LORAN-Version geht auf das Jahr 1940 zurück, erlebte am Ende des Zweiten Weltkriegs mit insgesamt rund 75.000 Empfängern seine Blütezeit, um ab den 1980er-Jahren einen langen Rückgang in eine – wie man heute sieht – ungewisse Zukunft anzutretend [14]. „Kommt eigentlich zu spät zu dieser Party", hieß es auf der Website der KiwiSDR [15], als die ihren LORAN-C-Decoder vorstellte. Spät, aber nicht zu spät; siehe **Abbildung 21**. Marcus Verster, DF6NM, betreibt seit 16 Jahren einen LORAN-Grabber auf seiner Website [16] und empfängt sogar Stationen aus dem Fernen Osten, wie z.B. aus Ussurisk bei Wladiwostok. Dort sieht man auch, dass weiterhin die Kaukasuskette aktiv ist, allerdings nur mit einer begrenzten Zeit am Tag.

Läuft nun alles? Dann sind Sie bereit für noch mehr DX. Entdeckungen werden Sie vor allem hinsichtlich der oben erwähnten STANAG-5030-Signale machen, obwohl zunächst ja nicht mehr als Rauschen dort zu sehen ist. Aber dieses Signal kann viele interessante Geschichten erzählen. Es gibt da ja nicht nur die Frequenz, die fast sicher auf eine gelistete Station/Land hinweist, sondern auch der Tagesgang der Pegel, der Wechsel mit anderen Sendern, besondere Aufwärm- und Abschaltzeremonien und schließlich, als Königsweg, die TDoA-Peilung bieten ein spannendes Feld unter 100 kHz!

Wie alles andere Monitoring, so bleibt auch DXen unter 100 kHz ein kaum jemals abzuschließendes Gebiet. „Das Internet" ist voll von Informationen dazu – vor allem von reichlich angestaubten. Ich habe hier versucht, einige aktuelle Hinweise zu geben, die hauptsächlich auf eigenem Monitoring basieren. Allerdings enthält auch die hier vorliegende Arbeit möglicherweise diesen oder jenen Irrtum, aber ganz gewiss allerhand Leerstellen. Korrekturen und Ergänzungen sind willkommen!

*Text & Abbildungen:*
*© Nils Schiffhauer,*
*dk8ok@gmx.net*

P.S.: Besonderer Dank an Antonio Anselmi [17] (STANAG-5030) und die Jungs von UDXF [18]!

## Endnoten

Quellen in Deutsch oder Englisch, so vorhanden. Stehen Quellen nur in Landessprachen wie Russisch oder Koreanisch zur Verfügung, bemühe man Google Translate [27] oder, im Ergebnis deutlich besser, allerdings mit erst wachsender Sprachauswahl, DeepL [28].

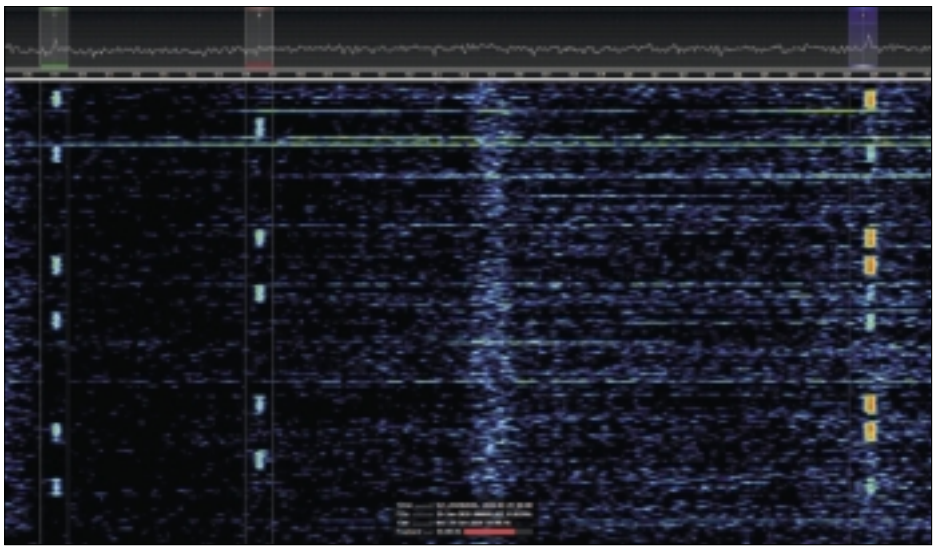

*Abbildung 19: Die unregelmäßig zu hörenden RSDN-20-Signale folgen einem 3,6 s langen, komplexen Wechsel von Zeit, Frequenz und Standort.*

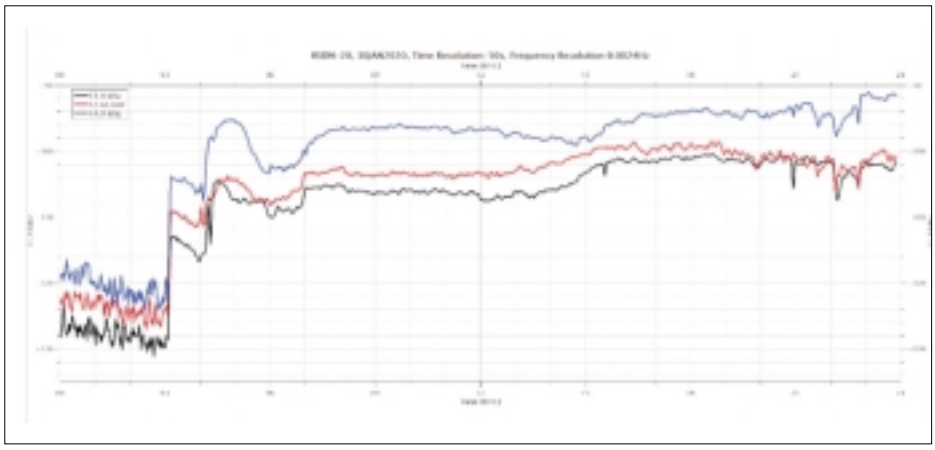

*Abbildung 20: Selbst an Tagen, an denen sie senden, tun sie das nicht die gesamten 24 Stunden.*

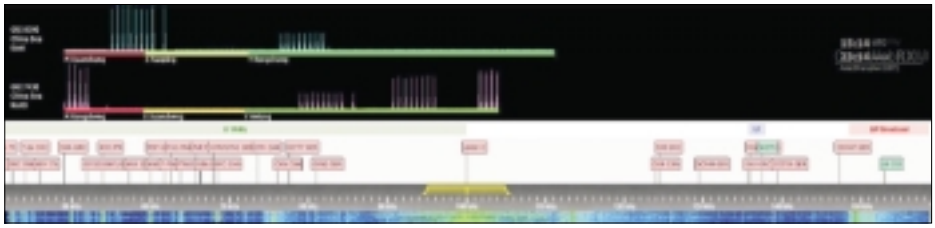

*Abbildung 21: Die Software des KiwiSDR-Netzes bietet einen LORAN-Decoder. Hier rastet er bei einem in Shanghai betriebenen KiwiSDR auf zwei Ketten im Chinesischen Meer ein. Neun statt acht Markierungen zeigen den Hauptsender der Kette.*

## Verweise


⇒ [1] https://public.tableau.com/de-de/s/download

⇒ [2] https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_4/4.4_zeit_und_frequenz/pdf/2012_Piester_ProcPTTI2011.pdf

⇒ [3] http://www.dsp4swls.de/sodirasdr/sodirasdreng.html

⇒ [4] http://f6cte.free.fr/index_anglais.htm

⇒ [5] https://www.npl.co.uk/products-services/time-frequency/msf-radio-time-signal/msf_time_date_code

⇒ [6] ftp://ftp.vniiftri.ru/BULLETINS/V/BulV_16_2018.pdf

⇒ [7] http://jjy.nict.go.jp/jjy/index-e.html

⇒ [8] http://english.ntsc.cas.cn/ns/sr_23707/201912/t20191220_228052.html

⇒ [9] https://www.nist.gov/pml/time-and-freque ncy-division/radio-stations/wwvb

⇒ [10] https://www.kriss.re.kr/standard/krisstory_view.do?seq=1475&category=1&page=1

⇒ [11] http://english.ntsc.cas.cn/ns/sr_23707/201912/t20191220_228052.html

⇒ [12] Siehe z.B. übersichtlich und instruktiv mit über 40 Abbildungen: „VLF Waveguide Propagation: The Basics“, Kenneth J.W. Lynn, AIP Conference Proceedings 1286, 3 (2010); https://doi.org/10.1063/1.3512893

⇒ [13] https://alexander.n.se/?lang=en

⇒ [14] https://www.loran-history.info/default.htm

⇒ [15] https://www.kickstarter.com/projects/1575992013/kiwisdr-beaglebone-software-defined-radio-sdr-with/posts/1626151?lang=de

⇒ [16] http://df6nm.bplaced.net/LoranView/Lora nGrabber.htm

⇒ [17] http://i56578-swl.blogspot.com/

⇒ [18] http://www.udxf.nl/

⇒ [19] https://airspy.com/airspy-hf-discovery/

⇒ [20] https://www.winradio.com/home/g65ddce.htm

⇒ [21] https://www.bonito.net/hamradio/en/megadipol-md300dx-wideband-active-dipole/

⇒ [22] http://www.amateur-radio-antenna.com/ferrite-antenna/hfaferriteantenna/ferrite-antenna-hfa3.php

⇒ [23] https://www.herostechnology.co.uk/pages/RF_Measurement.html

⇒ [24] https://www.sdr-radio.com/

⇒ [25] https://www.qtiplot.com/

⇒ [26] http://f6cte.free.fr/index_anglais.htm

⇒ [27] https://translate.google.com/?hl=de

⇒ [28] https://www.deepl.com/translator


### Was man braucht? Weniger, als Sie denken!

Für den Empfang unter 100 kHz benötigen Sie einen HF-Empfänger, der diesen Bereich abdeckt. Jedes vernünftige SDR erfüllt diese Aufgabe – von einem Airspy Discovery HF+ [19] bis hin zu Winradios Sigma [20], den ich hauptsächlich einsetze. Auch die Antenne muss diesen Bereich abdecken. Ich verwende einen aktiven Dipol MD300DX [21], der vertikal montiert ist und eine Länge von 2 x 5m aufweist. Die Ferritantenne HFA 3 von BAZ [22] ist eine professionelle Speziallösung für diesen Bereich, die durch ihre ausgeprägten beiden Nullstellen auch Interferenzen gezielt unterdrücken kann. Der Empfang mit nicht so guten Empfängern wird stark durch ein Tiefpassfilter verbessert, wobei ich das 7. Ordnung [100 kHz] von Heros Technology [23] nur empfehlen kann. Mit einer solchen Kombination von Antenne, Filter und Receiver ist der einzige limitierende Faktor für echtes DX nur noch der lokale Rausch- und Störpegel, wobei nicht allein lokale Gewitter den Empfang ebenfalls stark beeinträchtigen.
Zur Bedienung des SDRs, und um z.B. Signalstärken über 24 Stunden darzustellen, verwende ich die kostenlose Software SDRC V3 [24] von Simon Brown. Sie können Excel oder eine andere Tabellenkalkulationssoftware verwenden, um dann die Signalpegel zu visualisieren und einige Berechnungen durchzuführen – z.B. das Rauschen zu subtrahieren. Wenn man hier mit zwölf Kanälen über 24 Stunden arbeitet, überschreitet man allerdings schnell eine Million Pegelwerte, so dass eine spezielle Software wie QtiPlot [25] eine weitaus bessere Alternative bietet. Zu guter Letzt möchten Sie vielleicht noch einige Zeitsignale dekodieren. Dies geschieht am besten mit dem Uhrenmodul von MultiPSK [26], das ohnehin ein Muss für den seriösen Utility-Hörer ist.