

TDoA im KiwiSDR-Netz: Funkpeilung für Alle!

Mit dem Peilmodul im weltweiten SDR-Netz von Kiwi-Receiver geht ein lange gehegter Traum von Funkamateuren und SWLs in Erfüllung: die Peilung von Sendern!

„Peilen“ im Bereich von 0 bis 30 MHz war bislang verbunden mit großen Antennen professioneller Stationen, doch das auch von Profis schon länger genutzte Verfahren der Auswertung unterschiedlicher Laufzeiten zu Empfängern an unterschiedlichen Positionen steht nun kostenlos und diskriminierungsfrei im weltweit fortschrittlichsten SDR-Netz zur Verfügung.

Das Konzept nennt sich „time difference on arrival“ (TDoA) und funktioniert, grob gesagt, folgendermaßen: Benötigt werden mindestens drei Empfänger an unterschiedlichen Orten. Alle Receiver empfangen denselben Sender, zu dem ihre Entfernung jeweils unterschiedlich ist. Eine Software vergleicht die I/Q-Ströme der Empfänger miteinander, die via GPS mit Zeitstempeln von hoher Genauigkeit versehen sind. Dieser Vergleich nennt sich „Korrelation“. Dabei werden die I/Q-Ströme von jeweils zwei Empfängern gewissermaßen so gegeneinander verschoben, bis sie deckungsgleich sind. Im allerersten Schritt weiß man dann, wie groß die Zeitdifferenz ist, zu der das Signal bei den beiden Receivern eintrifft. Die Visualisierung dieser Zeitdifferenz auf einer Karte ergibt dort eine Hyperbel. Irgendwo auf dieser Kurve also sollte sich der Sender befinden.

Oben: Bild 1 – Der Sender ist an einem Referenzempfänger einzustellen.

Zuverlässige Ergebnisse nur bei gleicher Ausbreitung

Erst mindestens ein dritter Empfänger macht die Peilung komplett. Die paarweise Differenzmessung aller Receiver ergibt Hyperbeln, die sich im Idealfall genau an der Position des Empfängers schneiden. Das ist dann das Peilergebnis.

Gemessen wird also die *Laufzeit*, legt doch ein Funksignal in einer Millisekunde 300 km zurück. Daran ist zu sehen, dass auch der Ausbreitungsweg eine Rolle für die Genauigkeit der Peilung spielt. Am einfachsten wäre es, alle Empfänger und Sender wären über einen Draht miteinander verbunden (Großkreis-Entfernung). Damit würden sämtliche Einflüsse der Ionosphäre wegfallen. Gute Ergebnisse lassen sich aber auch im Längst- und Langwellenbereich erzielen, wo sich Funkwellen wie in einem Hohlleiter ausbreiten ohne das Pingpong an der Ionosphäre.

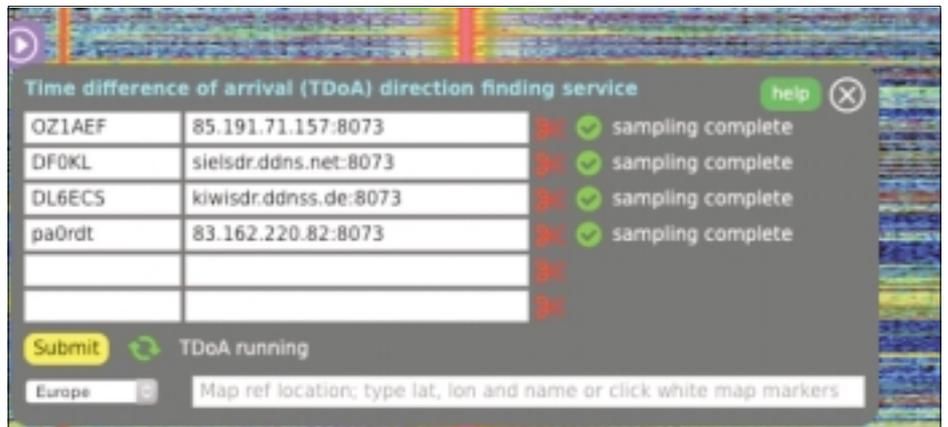


Bild 2: Dann wählt man auf einer Karte bis zu sechs Messstationen und stößt die Messung an, die nach 30 Sekunden abgeschlossen ist.

Für Kurzwellenpeilungen sind die Ergebnisse *dann* zuverlässig, wenn der Ausbreitungsmechanismus – und damit die Flugzeit der Signale – zwischen Sender und allen Empfängern gleich ist. Also dann, wenn beispielsweise nur *eine* Reflexion über die F2-Schicht stattfindet (1F2).

Christoph Mayer [1] hat nun eine Software entwickelt, die diese TDoA-Peilung im KiwiSDR-Netz hochkomfortabel ermöglicht. Auf seiner Website führt er in die Tiefen des Konzeptes und die seiner Software ein; wir wollen hier eher sehen, was sich auf der Anwenderebene damit anstellen lässt. Man braucht dazu keinen eigenen KiwiSDR, und da die Rechenarbeit andernorts erledigt wird, lässt sich das alles selbst auf einem Tablet nachvollziehen!

Peilen – Schritt für Schritt

Man sollte mit einem bekannten Sender im Längst- oder Langwellenbereich starten, um das Verfahren kennenzulernen, als Beispiel nehme ich hier den Deutschen Wetterdienst in Pinneberg, der ganztägig auf 148 kHz eine RTTY-Sendung ausstrahlt:

- ⇒ KiwiSDR-Seite aufrufen [2], einen Receiver mit gutem Empfang anklicken (hier: SWLJO43/2 in Hamburg) und so einstellen, dass der Sender mittig in der Durchlasskurve erscheint (*Bild 1*).
- ⇒ Dann auf der Karte bis zu sechs andere Empfänger anklicken (hier: OZ1AEF, DF0KL, DL6ECS und PA0RDT) und mit Klick auf „Submit“ die Messung starten. Daraufhin werden alle angeklickten Receiver auf dieselben Werte wie die Referenzstation SWLJO43/2 gestellt. Danach empfängt jede Station für 30 Sekunden diesen Sender und zeichnet die I/Q-Daten mit GPS-Zeitstempel auf. Die Anzeige „sampling complete“ signalisiert die Beendigung dieses Vorgangs (*Bild 2*).

- ⇒ Im nächsten Schritt wird der Vergleich der I/Q-Daten angestoßen, die eigentliche Korrelation: Mausklick auf „Submit“ – die Anzeige „TDoA running“ läuft ein paar Sekunden. In dieser Zeit erfolgt nicht nur der Vergleich, sondern auch die Auswertung.
- ⇒ Ist das abgeschlossen, so stehen in einem Pull-Down-Menü verschiedene Anzeigemöglichkeiten der Ergebnisse zur Verfügung (Bild 3).
- ⇒ Darunter ist die „TDoA map“ das, was wir als Ergebnis erwarten: ein mehr oder minder großer Klecks, der farblich codiert die Wahrscheinlichkeiten für den Standort des Senders angibt (Bild 4).

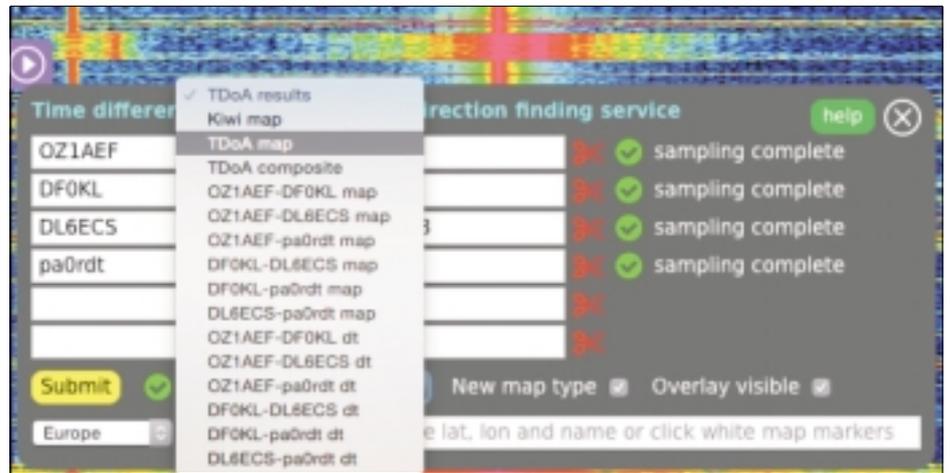


Bild 3: Nachdem alle Berechnungen automatisch erfolgten, wählt man die gewünschte Darstellung der Ergebnisse ...

Auf die Kurzwelle!

Hat man sich auf diese Weise etwas mit der Bedienung vertraut gemacht, kann man sich auf die Kurzwelle wagen. Auch dort sollte man sich zunächst an Sendern mit zumindest ungefähr bekanntem Standort versuchen (Bild 5), um ein Gefühl dafür zu entwickeln, wie etwa die Mischung von der Grundwelle mit einer Ausbreitung über die E- und die F2-Schicht nicht nur Berge, sondern auch Sender scheinbar um Hunderte von Kilometern versetzen kann. Kenntnisse von Ausbreitungsmechanismen und kritische Überprüfung der Ergebnisse sowie zu anderen Tageszeiten wiederholte Messungen sind unerlässlich, will man nicht allein auf die Bestätigung bekannter Locations setzen, sondern Neuland betreten. Bild 6 zeigt nicht nur die schlüssige Ortung eines Senders mit bislang unbekanntem Standort, sondern dieses außerdem bei einem eher schwachen Signal auf einer für zuverlässige Peilungen schon recht hohen Frequenz.

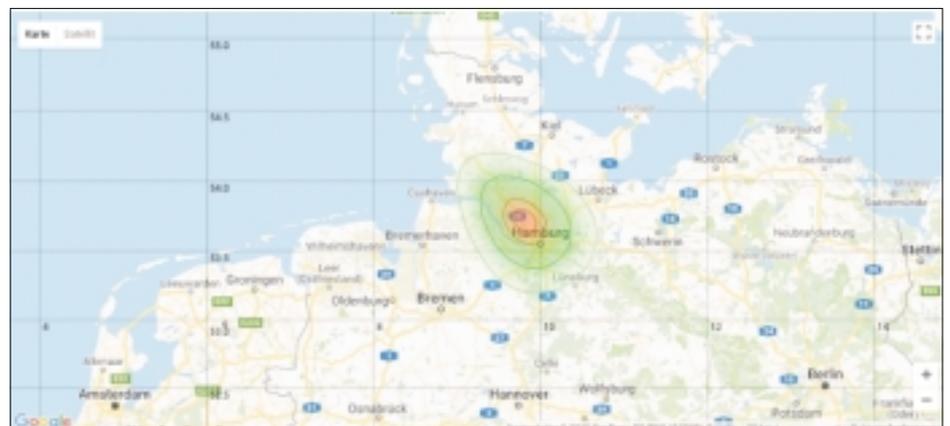
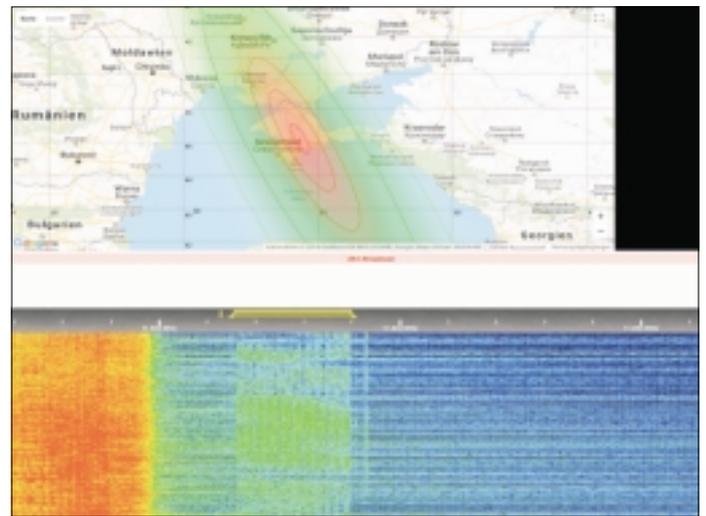
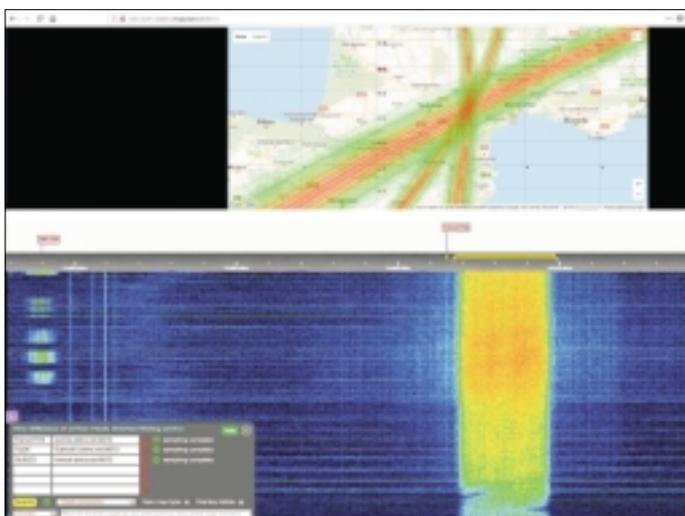


Bild 4: ... unter denen die „TDoA map“ farblich codiert die wahrscheinlichste Position des Senders anzeigt. Hier ist Pinneberg nordwestlich von Hamburg ziemlich gut getroffen.

Für Bild 5 hatte ich die Darstellung der Peil-Hyperbeln gewählt (Menü: „TDoA composite“). Jede Hyperbel gehört jeweils einem Empfängerpaar. Diese Kurve beschreibt genau jene Positionen, die sich im selben Abstand – bezogen auf die gemessene

Zeitdifferenz des Signals – von beiden Empfängern befinden. Damit zeigt sich zugleich das Prinzip des Peilverfahrens. Je schärfer eine Hyperbel gezeichnet ist, desto verlässlicher sind im Allgemeinen Messung und Auswertung. Das ist auch in Bild 7 zu



Links: Bild 5 – Bekannt ist der Standort von FUG12, einem STANAG4285-Sender der französischen Luftwaffe bei Saissac. Empfangen auf 12.666,5 kHz, werden hier auf der Karte die Peil-Hyperbeln angezeigt, in deren Schnittpunkt tatsächlich Saissac liegt.
 Rechts: Bild 6 – Das OFDM-12-Signal auf 11.836 kHz lässt sich schlüssig auf der Krim bei Sewastopol verorten.



Bild 7: Die Peilung auf 15.320 kHz fördert in der „TDoA map“ oben dessen Position im Mittelwesten Frankreichs zutage.

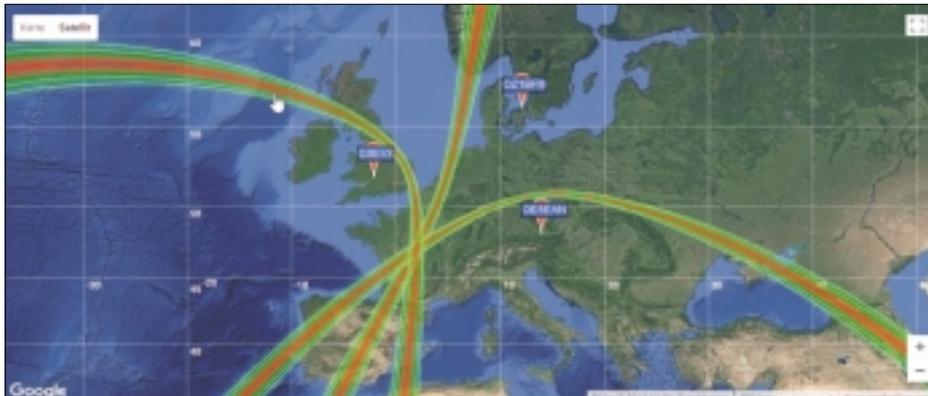


Bild 8: Die Hyperbeln zeigen die Zeitdifferenz von drei Receivern an. Sie sind für diese eher hohe Kurzwellenfrequenz von 15.320 kHz überraschend scharf begrenzt, was für die Zuverlässigkeit der Messung spricht.

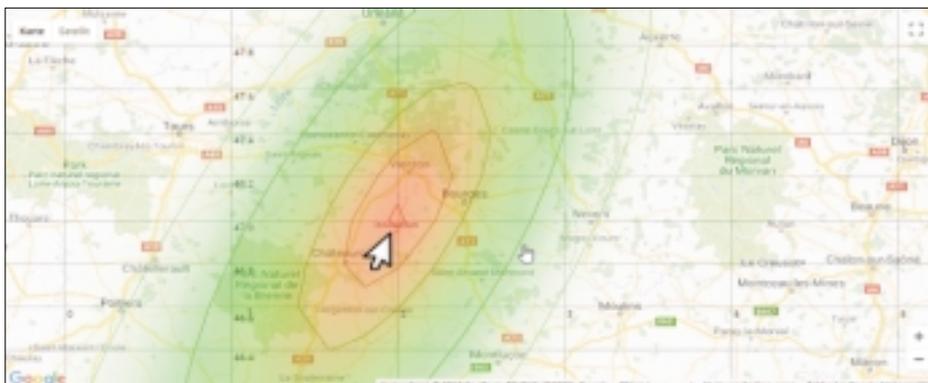


Bild 9: Die Pfeilspitze zeigt auf den tatsächlichen Standort des Senders Issoudun, rund einen Kilometer westlich des Stadtkerns, während die Peilung auf eine Position gut einen Kilometer nördlich verweist: das ist schon haargenau getroffen!

sehen, wo auf 15.320 kHz der Sender Issoudun mit drei Receivern (Bild 8) sehr gut getroffen wird (siehe Bild 9).

... und es geht weiter

Schon die Ergebnisse der bei Redaktionsschluss vorliegenden Software-Version sind ebenso sensationell wie die einfache Handhabung des Moduls. Und all' das scheint erst ein Anfang zu sein. Denn nach wie vor limitierender Faktor der Genauigkeit ist die weitgehende Unkenntnis über den jeweiligen Ausbreitungsmechanismus. Lässt man hier aktuelle Ausbreitungsbedingungen zusammen mit einem Strahlverfolgungsprogramm („ray tracing“) einfließen, so wäre das ein weiterer Fortschritt. Auch schließt die derzeit erforderliche Aufnahmezeit von 30 Sekunden kürzere Sendeaktivitäten wie die rund acht Sekunden langen 8-FSK-Signale des automatischen Verbindungsaufbaus ALE noch von der Peilung aus.

Des Weiteren sind zwar Europa und Nordamerika recht dicht mit KiwiSDRs bestückt, aber in vielen anderen Regionen sieht es so dünn aus, dass Peilungen nur ins Ungefähre weisen. Interessant könnte überdies die dieser Tage von Willi Passmann angeregte Verknüpfung der Google-Weltkarte mit einer großen geo-referenzierten Senderdatenbank sein.

Alles in allem ist dieses geniale Werkzeug eine der wichtigsten Entwicklungen im Bereich des Funkhobbys seit Einführung von SDRs und ihrer Vernetzung über das Internet. Ein herzlichen Dank jenen, die das alles für die Anwender entwickelt haben und geradezu beispielhaft kostenlos sowie diskriminierungsfrei zur Verfügung stellen!

P.S. Es wäre anzuregen, dass auch der Amateurfunk dieses anspruchsvoll-innovative Konzept adaptiert, um beispielsweise bei der Dokumentation von Bandeindringlingen („Intruder Watch“) technische Exzellenz zu zeigen. Das für immerhin über 25.000 Euro aufgebaute SDR-Netz des DARF könnte hierfür womöglich eine Grundlage bilden, wenngleich es selbst im fünften Jahr seiner Existenz noch nicht einmal die versprochenen Basisfunktionen bietet.

Nils Schiffhauer, DK8OK

Verweise

- ⇒ [1] <https://hcab14.blogspot.com>
- ⇒ [2] <https://sdr.hu>