

Aufzeichnung von Meteor - Echos durch Forward Scattering

Richard Walker, Rifferswil

richiwalker@bluewin.ch

Version 1.0 07/2018

1. Einleitung

Hier wird hier als Schwerpunkt die Detektion und Aufzeichnung von Meteorechos vorgestellt – eine radioastronomische Disziplin für welche die meisten Amateurfunker bereits voll ausgerüstet sind, die aber auch Besitzern von Breitbandempfängern offensteht. Dazu wird hier nur ein grober Überblick geboten, welcher aber Experimente mit eigenen Geräten ermöglichen soll. Ohne Zusatzaufwand können so aber nicht nur Meteorechos, sondern auch Flugzeug- und Mondreflexionen aufgezeichnet und analysiert werden. Bei dieser Technik, die im Fachjargon "Forward Scattering" [10] [16] genannt wird, werden reflektierte VHF Signale ausgewertet, welche von weit entfernten, d.h. ausserhalb des normalen Empfangsbereichs liegenden und meist leistungsstarken Sendeanlagen ausgestrahlt werden. Dazu genügt bereits ein einfacher, SSB fähiger KW/VHF Receiver, angeschlossen an einer Rundstrahl- oder Dipolantenne. Zur Aufzeichnung der Echos muss der Audio Ausgang des Empfängers lediglich mit der Soundkarte eines Computers mit installiertem *Audio Spectrum Analyzer* (Freeware) verbunden werden. Funkamateure können hier für erste Experimente mit dem Wasserfalldiagramm der weitverbreiteten WSJT-X Software beginnen. Die Freeware "*Spectrum Lab*" von DL4YHF [20] ist dazu jedoch wesentlich besser geeignet.

Der Autor beschäftigt sich als Amateurastronom hauptsächlich mit der Spektralanalyse astronomischer Objekte [23]. Als Amateurfunker (HB9BSU) interessiert er sich aber auch für die Radioastronomie. Gelegentlich ist er auf KW und dann meistens in CW oder SSB aktiv. Dieser Text wurde ursprünglich als Artikel für das Magazin *HB Radio* verfasst und hier für den "allgemeinen Gebrauch" angepasst.

2. Erste Schritte

Funkamateuren, die auf KW im gegenwärtig boomenden FT8 Mode aktiv sind und vielleicht mal etwas Abwechslung brauchen, eröffnet sich eine völlig andere Welt wenn sie mit gleichbleibendem FT8 Setup im USB Mode, lediglich einen Frequenzwechsel auf ca. 143.0487 MHz machen (Träger 143.05 MHz). Benutzer von Breitbandempfängern werden hier vorerst auf Kap. 4 verwiesen. Akustisch glaubt man zuerst einen Zeitsignalsender zu hören. Statt der zahlreichen, parallel von oben nach unten kriechenden "FT8 - Jammerkolonnen", offenbart das Wasserfalldiagramm jetzt ein komplexes und sich ständig änderndes Muster von Spuren, welches an einen Nachtflug über einen beleuchteten Güterbahnhof erinnert (Abb. 1).

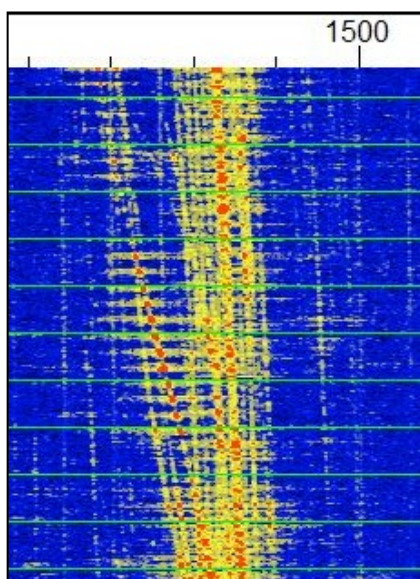


Abb. 1 Flugzeugreflexionen im WSJT Diagramm

Aufzeichnung von Meteor – Echos durch Forward Scattering

Was wir jetzt sehen sind hauptsächlich Reflexionen, welche infolge des Dopplereffektes, ein modifiziertes Abbild des aktuellen Flugverkehrs zeigen. Hörbar ist dieses Phänomen an den leicht unterschiedlichen Tonhöhen der Echos. Ähnlich einem Radarbild visualisiert hier das Diagramm das sog. *Airplane Scattering*, welches Amateurfunker in umgekehrter Richtung für VHF Verbindungen nutzen. Der Autor hat dazu in seinem leicht vergilbten Logbuch aus den 1980er Jahren entsprechende SSB Verbindungen auf dem 2m Band mit Norditalien gefunden.

3. GRAVES Radar

Dieses Signal auf 143.05 MHz wird durch die GRAVES Radaranlage ausgesendet ("Grand Réseau Adapté à la Veille Spatiale") welche vom Französischen Weltraumforschungszentrum ONERA [1] entwickelt wurde und nun von der Luftwaffe "Armée de l'air" betrieben wird. Über diese militärische Anlage existieren bereits zahlreiche, auch von Amateurfunkern verfasste Artikel, welche einen tieferen Einblick in dieses Konzept erlauben, siehe [3] bis [8]. Die Sendeanlage liegt in Ostfrankreich zwischen Besançon und Dijon, am nördlichen Pistenende der seit längerem aufgegebenen Luftwaffenbasis *Aéroport de Broyes-les-Pesmes*. Der Breitengrad entspricht hier ungefähr demjenigen von Zürich. Die Anlage umfasst vier phasengesteuerte und deshalb fix montierte Panelantennen (je ca. 15x6m), welche auf einer exakt südlich orientierten, halbkreisförmigen Plattform angeordnet sind (Abb. 2).



Abb.2: Panelantennen des GRAVES Radar (Bild: [5], [7])

Abb. 3 zeigt eine nach Google Earth angefertigte Layoutskizze der Panelantennen.

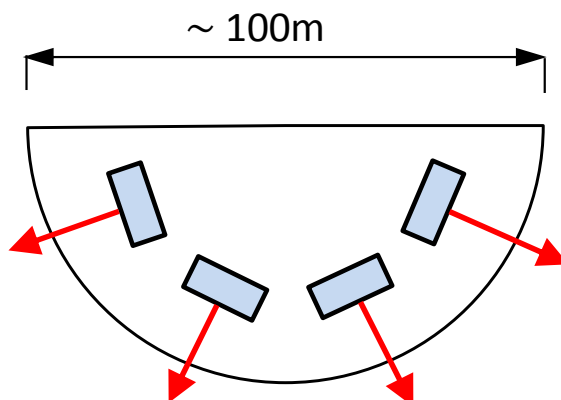


Abb. 3 Layoutskizze der GRAVES-Panelantennen

Aufzeichnung von Meteor – Echos durch Forward Scattering

Diese Konfiguration kann in Google Earth bei den Koordinaten 47° 20' 55" N, 5° 30' 55" O deutlich erkannt werden, ebenso die ca. 360 km südlicher und ungefähr 1 km südwestlich von *Revest du Bion* gelegene Empfangsstation, mit ihrer kreisrunden Antennenplattform (44° 4' 17" N, 5° 32' 5" O). Die Kombination beider Standorte bildet ein sog. *bistatisches Radarsystem*. Es dient in erster Linie der Lokalisierung und der Bestimmung der Bahnelemente von (Spionage-) Satelliten, welche auf niedrigen Umlaufbahnen das nördliche Mittelmeer und Frankreich überfliegen. Als weitere Aufgabe wird noch die Bahnvermessung von Weltraumschrott genannt.

Für unsere Zwecke ist lediglich relevant, dass die Anlage nach einem zeitlich monoton wiederholten Muster, einen Träger in unterschiedliche Richtungen der südlichen Kompasshälfte, d.h. im Azimutbereich von ca. 90° – 270° und mit einem Elevationswinkel von ungefähr 15° – 40° aussendet [3]. Dieser stetige Wechsel der Strahlrichtung verursacht ein starkes Schwanken der empfangenen Signalstärke – am Standort des Autors, ca. 20km südwestlich von Zürich, von knapp über dem Rauschen bis zu S8 (X30 Rundstrahler). Bereits innerhalb der Schweiz sind diesbezüglich sicher grosse Unterschiede zu erwarten. Über die Sendeleistung kursieren widersprüchliche Informationen, welche von einigen 10 KW bis zu >1 MW reichen. ONERA selbst gibt dazu keine Auskunft [1] [2].

4. Empfang und Aufzeichnung der Echos

Deshalb wird klar, weshalb in der Schweiz Reflexionen von GRAVES fast ausschliesslich aus dem südwestlichen Sektor empfangen werden. Ausser für den Empfang von Mondechos (siehe später) sind stark bündelnde Richtantennen mit hohem Gewinn eher hinderlich und beschränken unnötigerweise den zu überwachenden Sektor. Geeignet sind daher horizontal polarisierte Dipole (Abb. 13) oder allenfalls noch HB9CV Beam's, welche grob nach Südwesten gerichtet werden. Die unmittelbare Nachbarschaft der Radarfrequenz zum 2m Amateurband erlaubt für Funkamateure die Verwendung bereits vorhandener Antennen. Perfektionisten können ja noch ein "Finetuning" durchführen.

Falls der Empfang, wie bei FT8 üblich, in USB erfolgt, hat sich die VFO Frequenz von ca. 143.0487 MHz bewährt. Bei diesem Setting erscheinen die Echos im Bereich zwischen ca. 1400 – 1600 Hz und die Frequenz nimmt im Wasserfalldiagramm von links nach rechts zu. Für den Empfang der Flugzeugreflexionen und Meteorechos macht es Sinn, den dargestellten Bereich auf ca. 1000 – 2000 Hz zu zoomen. Gerade das Gegenteil ist aber erforderlich, wenn z.B. die stark Doppler-belasteten Reflexionen der Weltraumstation ISS verfolgt werden sollen [3] [6]. Wer sich vertiefter mit diesen Phänomenen – aber insbesondere mit Meteorechos – befassen möchte, sei dringend die Darstellung über die Freeware des *Audio Spectrum Analyzer "Spectrum Lab"* von DL4YHF empfohlen [20]. Diese ist höher auflösend, einfach zu bedienen und wird auch in der Radioastronomie verwendet. Zudem bietet das Programm diverse Auswerte-, Mess- und Darstellungsmöglichkeiten. Mit Ausnahme von Abb. 1 (WSJT-X) sind hier sämtliche Diagramme mit *Spectrum Lab* dargestellt.

5. Radialgeschwindigkeit und Dopplereffekt

Das Audiospektrum des Wasserfalldiagramms ermöglicht für ein Echo eine spektralanalytische Bestimmung der Radialgeschwindigkeit, wie sie analog auch in der Radio- und optischen Astronomie durchgeführt wird. Ausgewertet wird dabei die Frequenzverschiebung infolge des Dopplereffekts, welcher sich im Bereich der elektromagnetischen Wellen vergleichbar zu den allgemein bekannten Symptomen in der Akustik verhält. Nähert sich hier ein Objekt, so erscheint die Wellenlänge des HF Signals als

Aufzeichnung von Meteor – Echos durch Forward Scattering

gestaucht und entsprechend erhöht sich die empfangene Frequenz. Schliesslich muss dann in den Doppler-Formeln die Schall-, noch durch die Lichtgeschwindigkeit ersetzt werden [21] [22]. Abb. 4 zeigt eine Skizze zur Definition der Radialgeschwindigkeit und ihre Auswirkung auf ein Echo im Wasserfalldiagramm.

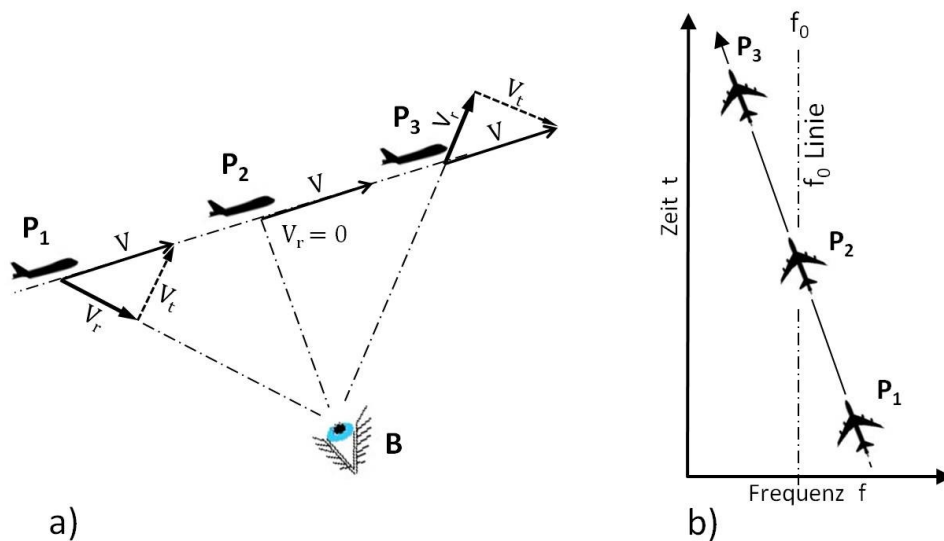


Abb. 4 Die Radialgeschwindigkeit und ihre Effekte im Wasserfalldiagramm

Abb. 4a zeigt ein Flugzeug, welches mit der konstanten Geschwindigkeit v über den Beobachter B hinweg fliegt. Die Radialgeschwindigkeit v_r ist die Geschwindigkeitskomponente, welche von B auf der Achse seines Sehstrahls beobachtet und spektroskopisch gemessen wird. Die Komponente v_t wird als Tangentialgeschwindigkeit bezeichnet und spielt für die folgenden Überlegungen keine Rolle.

Position P₁: Der Vektor der Radialgeschwindigkeit v_r ist auf B gerichtet.

Position P₂: Hier beträgt die von B gemessene Radialgeschwindigkeit $v_r = 0$

Position P₃: Der Vektor der Radialgeschwindigkeit v_r ist von B weg gerichtet

Abb. 4b zeigt die gleiche Situation als Echo im Wasserfalldiagramm.

Position P₁: B empfängt hier das HF Signal leicht gestaucht. Die empfangene Frequenz des Echos f erscheint daher höher als die Trägerfrequenz f_0 des Radars, d.h. $f > f_0$.

Position P₂: B empfängt hier das HF Signal neutral. Die empfangene Frequenz des Echos f entspricht der Trägerfrequenz f_0 des Radars, d.h. $f = f_0$

Position P₃: B empfängt hier das HF Signal leicht gedehnt. Die empfangene Frequenz des Echos f erscheint daher tiefer als die Trägerfrequenz f_0 des Radars, d.h. $f < f_0$

6. Berechnung der Radialgeschwindigkeit

Die Radialgeschwindigkeit v_r errechnet sich mit der "Radarformel" [22] für ein *reflektierendes Objekt* aus der Differenz der Trägerfrequenz des Radars f_0 und der gemessenen Frequenz f :

$$v_r = \frac{(f_0 - f) \cdot c}{2 \cdot f}$$

Aufzeichnung von Meteor – Echos durch Forward Scattering

f : gemessene Frequenz des Echos
 f_0 : Trägerfrequenz des Radars (Graves 143.05 MHz)
 c : Lichtgeschwindigkeit 300'000 km/s oder 10^8 m/s
 v_r : Resultierende Radialgeschwindigkeit, bezüglich B

Die Differenz $f_0 - f$ wird auch als Dopplerfrequenz f_D bezeichnet. Ist f_D negativ (-) nähert sich das Objekt dem Beobachter.

Anmerkung: Im Gegensatz zur Messung einer *bewegten Strahlungsquelle*, wie z.B. die meisten Objekte in der Radioastronomie, wirkt bei *reflektierten Signalen* der Dopplereffekt zweifach [22]. Deshalb wird in der "Radarformel" die resultierende Radialgeschwindigkeit *halbiert*! Dies gilt in hier in vernünftiger Näherung auch für das Bi-statische GRAVES Radar, wo Sender und Empfänger mehrere 100km distanziert sind. Dieser Effekt wird selbstverständlich auch bei den Radar-Blitzgeräten der Polizei berücksichtigt...

Beispiel: Für ein GRAVES-Echo wird eine Abweichung von 100 Hz oberhalb der Trägerfrequenz f_0 gemessen. Bei dieser Differenz beträgt gemäss Formel die Radialgeschwindigkeit 105 m/s oder 377 km/h. Damit lässt sich abschätzen, dass Echos von Verkehrsflugzeugen in einem Bereich von je ca. 200 Hz links und rechts der f_0 Linie auftreten können. Ohne Kenntnis von f_0 im Diagramm lässt sich aus dem Frequenzabstand zweier Spuren lediglich die absolute Differenz der beiden Radialgeschwindigkeiten errechnen. Selbstverständlich gilt diese Formel nicht nur für Flugzeugreflexionen, sondern auch für Echos von beliebigen Objekten.

7. Auswertung der Dopplerverschiebung im Diagramm

Am Standort des Autors sind vom GRAVES-Radar, selbst mit einem westlich gerichteten HB9CV Beam, meistens nur Doppler-verschobene Reflexionen, aber nur selten ein "Direktsignal", z.B. über Troposcatter, empfangbar. Dies erschwert die Lokalisierung der unverschobenen, vertikalen Linie, welche im Diagramm die Ruhe- oder Trägerfrequenz f_0 des Radars repräsentiert und für die Auswertung der Dopplerverschiebung wichtig ist. Eine Grobbestimmung der f_0 Linie erlauben jedoch Echokurven von startenden Flugzeugen, erkennbar in Abb. 5. Eine weitere Möglichkeit wäre ein Eichsignal auf der Radarfrequenz einzuspeisen. In Abb. 5 sind auch symmetrisch zu den Spuren liegende "Spikes" zu sehen – Artefakte welche von starken Echos erzeugt werden, aber keine "Meteor Pings" darstellen (siehe später)!

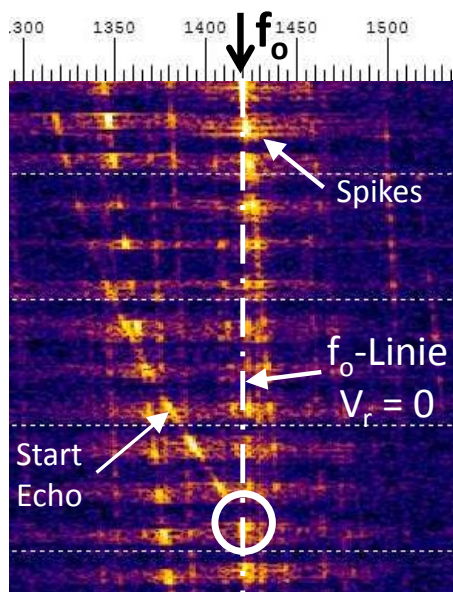


Abb. 5 Echo eines startenden Flugzeugs und f_0 Linie

8. Aufzeichnung von Mondechos mit dem GRAVES Radar

Der Empfang von Mondechos gelingt nur, wenn sich unser Erdtrabant im Kernbereich des Radarsektors bewegt. Dies ist ca. im 27 Tage Rhythmus jeweils für mehrere Tage der Fall. Der Autor konnte mit einem X30 Rundstrahler, am frühen Morgen zwischen 03'30 und 04'10 Uhr, das Mondecho grossenteils als Einzelspur, d.h. ohne störende Flugzeugreflexionen aufzeichnen. Die Elevation des Mondes betrug ca. 25° und das Azimut zwischen 185° und 196° . Sinnvoll sind hier aber der Empfang mit stark bündelnden Yagi Antennen, idealerweise sogar mit verstellbarer Polarisation.

Der Löwenanteil der *scheinbaren* Radialgeschwindigkeit des Mondes geht klar auf das Konto der Erdrotation. Auf dem Breitengrad von 47° N beträgt die rotationsbedingte Geschwindigkeit der Erdoberfläche ca. 1140 km/h. Durch diesen Einfluss ist beim Auf- und Untergang des Mondes jeweils die grösste Abweichung zu f_0 von bis zu minus-, respektive plus 300 Hz zu erwarten. Ein weiterer Faktor ist die stark elliptische Mondbahn. Die Abstandsdifferenz zwischen dem erdnächsten Punkt (Perigäum) zum erdfernsten- (Apogäum) beträgt ca. 50'000 km. Für einen solchen Transfer lässt sich aber der Erdtrabant jeweils ca. 14 Tage Zeit, was ungefähr einer *durchschnittlichen* Radialgeschwindigkeit von eher gemächlichen 150 km/h entspricht. Daher ist in der Summe die maximal zu erwartende Abweichung von ca. ± 350 Hz realistisch, wie sie für Mondechos in anderen Publikationen schon postuliert worden ist [3]. In den Phasen mit extremer "Auslenkung" des Echos ist auch die Verwechslungsgefahr mit Flugzeugreflexionen minimal.

Anmerkung: Als interessante Alternative für Funkamateure offeriert hier die "Echo" Funktion der WSJT-X Software die Möglichkeit, auch mit mittlerer Leistung, selbst erzeugte Mondechos zu detektieren und zu vermessen – vielleicht auch ein erster Schritt in die EME Aktivität (Funkverbindungen via Mondreflexion)!

9. Meteoroiden, Meteore und Meteorite

Im Weltraum sind die sog. *Meteoroiden* kleinere Überreste von der Entstehung unseres Sonnensystems. Ihre Grösse reicht von Bruchteilen eines Millimeters bis zu mehreren Metern – d.h. grösser als interplanetarer Staub und kleiner als Asteroiden. Wenn solche Objekte mit einer Geschwindigkeit von ca. 20 bis 70 km/s in die Erdatmosphäre eintreten, verglühen sie meistens in ungefähr 80 – 100 km Höhe als sog. *Meteore* und erzeugen eine ionisierte Leuchtspur, auch "*Trail*" genannt. Dieser wiederum reflektiert VHF Signale und bleibt, abhängig von der Grösse des Körpers, von Sekundenbruchteilen bis, in seltenen Fällen, zu mehreren Minuten reflexionsfähig. Ab einer Masse von mehreren Kilogramm können Reste eines Meteors schliesslich als *Meteorit* die Erdoberfläche erreichen.

Abb. 6 zeigt aus der Sammlung des Autors, ein kleines Bruchstück eines grossen Eisen-Nickel Meteoriten, der mit einem geschätzten Durchmesser von ca. 4 m, ursprünglich ungefähr 200 Tonnen wog. Dessen Druckwelle verursachte 1947 in Sikhote-Alin (Ostsibirien) mehrere geborstene Fensterscheiben.



Abb. 6 Eisen-Nickel Meteorit

10. Aufzeichnung von Meteorechos mit dem GRAVES Radar

Wichtige Vorbemerkung: Nicht nur für den Empfang von Meteorechos, sondern bei *sämtlichen* Signalen in der Radioastronomie, muss die AGC (Automatic Gain Control) des Empfängers zwingend deaktiviert oder, falls nicht möglich, als Kompromiss auf "Fast" gestellt werden! Die AGC ist eine automatische Schwundregelung und sorgt im Telefoniebetrieb bei schwankendem Eingangsspiegel, für eine ausgeglichene Amplitude am Ausgang des HF Vorverstärkers. Dieser Effekt ist für radioastronomische Messungen selbstverständlich höchst unerwünscht.

Wer die GRAVES-Echos, auch akustisch eine gewisse Zeit verfolgt, kann neben dem monotonen Geräusch des Radars, sporadisch kurze Pfeifgeräusche – die sog. "Pings" hören. Stärkere Echos klingen allerdings anders, d.h. phonetisch ausgedrückt häufig wie "Fiuu" [fiu:]. Auf dem Wasserfalldiagramm werden solche Ereignisse meistens als verschieden lange, und horizontal von rechts nach links verlaufende "Bremsspuren" aufgezeichnet. Solche schwachen Echos werden von Trails mit einer relativ geringen Dichte an freigesetzten Elektronen reflektiert, was im Fachjargon englisch als "*under dense*" bezeichnet wird [9]. Wer sich hier "Geröllblöcke" vorstellt, liegt völlig falsch. Die "Pings" werden meistens von Objekten im Millimeterbereich verursacht! Die Helligkeit der aufgezeichneten Spur hängt u.a. mit der Grösse des Objekts zusammen, die Länge aber auch vom Eintrittswinkel in die Erdatmosphäre.

Abb. 7 zeigt eine Auswahl unterschiedlich starker, horizontal aufgezeichneter "Pings" im Bereich "under dense". In diesen Diagrammen können lediglich die Längen der Echos aber nicht der Frequenzbereich verglichen werden. Die Spuren 5 und 6 zeigen am linken Ende ein kurzes Nachleuchten des ionisierten Kanals. In ausgeprägten Fällen kann ein solches Echo sogar hakenförmig aussehen. Die schwächsten Echos (Spur 4) werden zwar aufgezeichnet, sind aber kaum hörbar.

Aufzeichnung von Meteor – Echos durch Forward Scattering

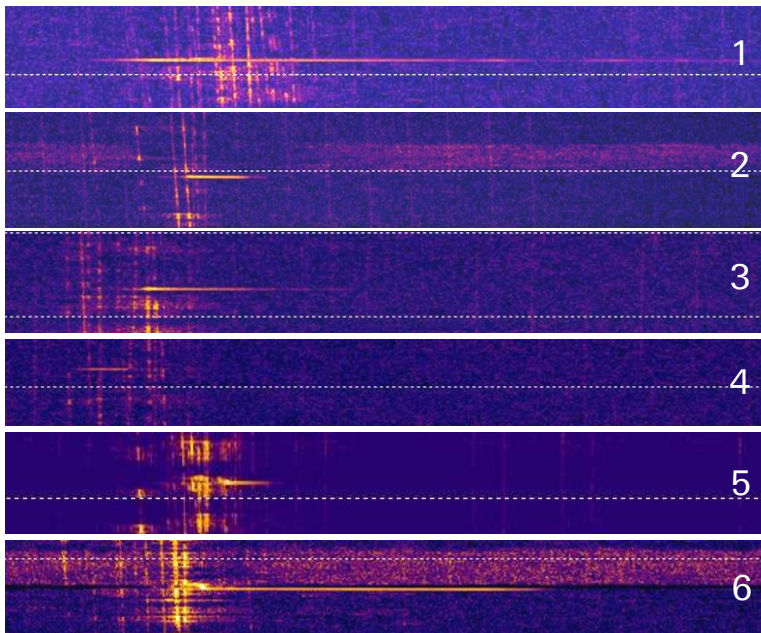


Abb. 7 Horizontale Meteor Pings ("under dense") im Wasserfalldiagramm

Die seltenen "Bursts" werden von grösseren Objekten verursacht, dauern länger als eine Sekunde und werden von Trails mit einer hohen Dichte an freigesetzten Elektronen reflektiert. Dieser Fall wird als "*over dense*" bezeichnet [9]. Abb. 8 zeigt das flächig aufgezeichnete Echo eines kleinen Bursts, der einige Sekunden andauerte (siehe Zeitskala am linken Rand).

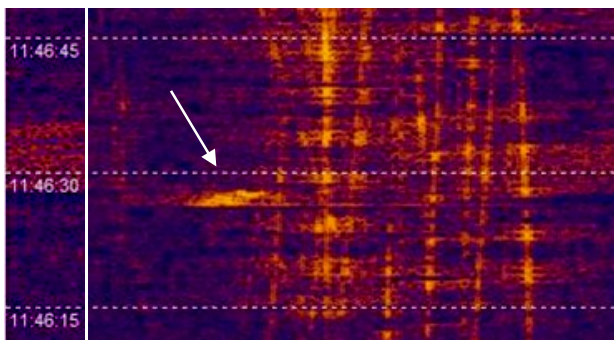


Abb. 8 Kleiner Burst ("over dense") im Wasserfalldiagramm

Abb. 9 zeigt noch die ~rechtwinklig zum Radarsignal verlaufende Darstellung von zwei Meteor "Pings" im 3D Diagramm der *Spectrum Lab* Software. Damit lässt sich auch der Helligkeitsverlauf der einzelnen Echos darstellen.

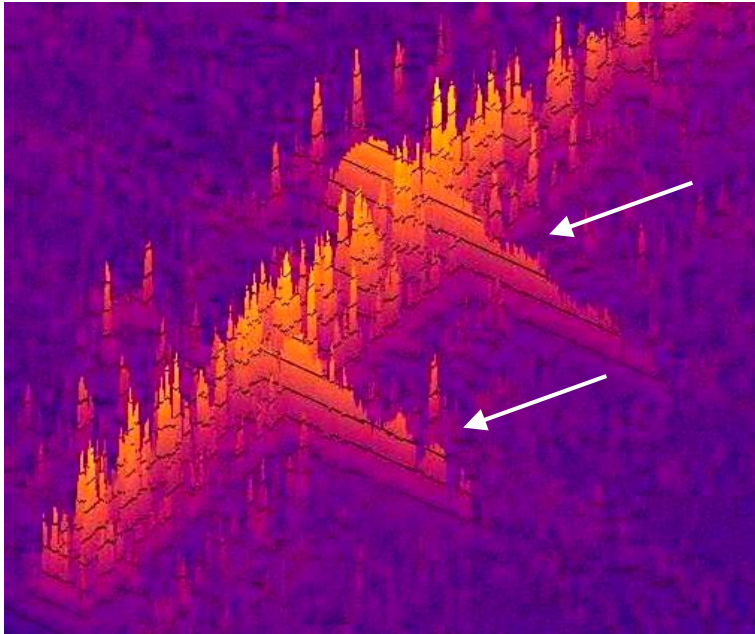


Abb 9 Meteor "Pings" in 3D Darstellung

Fazit: Das GRAVES Radar eignet sich sehr gut zur Demonstration der Meteordetektion – so z.B. bei Volkssternwarten. Zudem lässt sich auch immer feststellen, ob die Anlage überhaupt in Betrieb ist. Der störende Einfluss der starken Flugzeugreflexionen ist jedoch offensichtlich. Sehr schwache Echos, welche fast punktförmig- oder als kurzer, vertikaler Strich erscheinen, können so überprägt werden.

Für eine wissenschaftlich relevante Auswertung von GRAVES-Meteorechos sind deshalb Standorte auf etwas nördlicheren Breitengraden besser geeignet, so z.B. in Mitteleuropa und Südengland. Ein weiterer Nachteil von GRAVES ist die unbekannte Sendeleistung sowie das ständig wechselnde Azimut der Strahlrichtung. Dies erschwert z.B. die Abschätzung der Parameter eines Meteor-Trails [9].

11. Das BRAMS Meteor Radar

Eine Alternative zum GRAVES Radar bildet die Base des BRAMS Projektes (**B**elgian **R**adio **M**eteor **S**tations). Sie steht im Süden von Belgien bei Dourbes ($50^{\circ} 05' 51''$ N, $4^{\circ} 35' 19''$ E), auf dem Gelände des *Royal Meteorological Institute of Belgium (RMI)* [14]. Sie sendet einen zirkular polarisierten Dauerträger auf der Frequenz von 49.97 MHz, mit einer konstanten Leistung von 150 W. Die Antenne ist eine modifizierte Ground Plane (GP) mit einer Grundfläche von 8 x 8 m und optimiert für eine Abstrahlung in vertikaler Richtung, Details siehe Abb. 10 und [14].

Der Empfang dieser Echos erfolgt durch mehr als 20 exakt zeitsynchronisierte Stationen, welche über ganz Belgien verteilt sind. Dadurch entsteht ein sog. *multistatisches Radarsystem*, welches u.a. die räumliche Rekonstruktion der Meteor-Trails ermöglicht. Involviert sind hier diverse Amateurfunker, Amateurastronomen, sowie mehrere Sternwarten. Zur Vereinfachung der Auswertung wurden die Empfangsanlagen standardisiert und bestehen durchwegs aus IC-R75 Empfängern, bei welchen sich die AGC vollständig abschalten lässt, sowie 3 Element Yagi Antennen. BRAMS gilt als Beispiel eines sehr erfolgreichen, sog. Pro-Am Projekts, in dem Profis und Amateure zusammenarbeiten.

Auf den ersten Blick erscheint die Sendeleistung von BRAMS, verglichen mit den mutmasslichen Werten von GRAVES, als sehr bescheiden. Es gilt aber zu berücksich-

Aufzeichnung von Meteor – Echos durch Forward Scattering

tigen, dass die empfangene Intensität eines Meteorechos ungefähr mit der dritten Potenz (!) von der Wellenlänge λ , aber lediglich proportional von der Sendeleistung abhängt [9] [19]. Vergleicht man so das 2m Band (GRAVES) mit dem 6m Band (BRAMS) ergibt dies, bei gleicher Sendeleistung, eine ca. 20 bis 30 fach höhere Effizienz zugunsten von BRAMS. Dies ist auch der Grund weshalb spezifisch für die Meteorforschung konzipierte Anlagen, Frequenzen zwischen 30 und 50 MHz bevorzugen.



Abb. 10 Modifizierte GP Antenne der BRAMS Bake (Bild: [12])

Die Versuche des Autors beschränkten sich hier bisher auf den improvisierten Empfang mit einer 14 m Langdrahtantenne. Ideal wäre sicher eine nordwestlich gerichtete 3-Element Yagi Antenne. Immerhin gelang es so, bei der VFO Frequenz von ca. 49.9685 MHz, drei Meteorechos aufzuzeichnen (Abb. 11). Das Bakensignal konnte bei den gegenwärtigen Bedingungen nicht direkt empfangen werden. Ca. 400 Hz oberhalb der BRAMS Frequenz steht hier permanent ein schwacher, nicht identifizierter Dauerträger. Die Meteorechos erscheinen zu dessen Spur entsprechend versetzt.

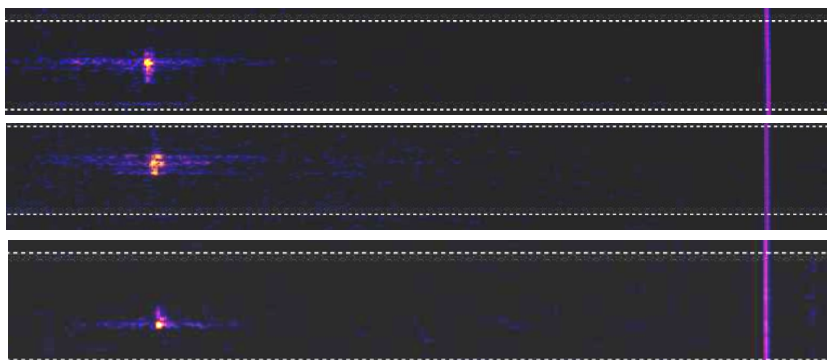


Abb. 11 Meteorechos der BRAMS Bake

12. Tagesgang der Meteorechos

In allen hier gezeigten Diagrammen sind, mit lediglich zwei Ausnahmen, sämtliche Echos am frühen Vormittag aufgezeichnet worden. Dies ist kein Zufall sondern wird durch den Orbit der Erde um die Sonne verursacht. Auf diesem Umlauf "sammelt" unser Planet laufend *Meteoroide*, d.h. interplanetare Gesteinstrümmer und Staub. Die Schätzungen reichen von einigen hundert- bis zu 5000 Tonnen pro Tag [11]. Dieser Vorgang ist etwa vergleichbar mit Insekten, welche während der Fahrt an der Front-

Aufzeichnung von Meteor – Echos durch Forward Scattering

scheibe eines Fahrzeugs zerschellen. Am frühen Morgen ist unser Standort auf der Erdoberfläche etwa in die "Bewegungsrichtung" auf dem Orbit gerichtet, weshalb dann die meisten Eintritte in die Atmosphäre verzeichnet werden. Am Abend hingegen schauen wir "nach hinten" so quasi zur "Heckscheibe" hinaus, weshalb diese Ereignisse jetzt deutlich seltener werden. Dieser Zusammenhang kann mit der beschriebenen Ausrüstung einfach nachvollzogen werden.

13. Periodische Meteorschauer

Die jährlich wiederkehrenden, bekannten *Meteorschauer* sind meistens Überreste grosser Kometen und halten sich, im Gegensatz zu den sog. *Sporadischen Meteoren* nicht an diesen Tagesgang. Sie werden mit dem lateinischen Namen des Sternbildes bezeichnet in dem der sog. *Radiant* liegt (Abb. 12), welcher den scheinbaren Schnittpunkt aller beobachteten Leuchtpuren des Schwarms bildet.



Abb. 12 Radiant eines Meteorschauers (Bild: [11])

Bekannte Beispiele sind die *Perseiden* (Sternbild Perseus) und die *Leoniden* (Sternbild Löwe). Eine kleine Auswahl wichtiger, periodischer Meteorschauer ist in Tabelle 1 zusammengefasst [11]. Das Datum und die jeweils ideale Beobachtungszeit können für solche Ereignisse der Fachpresse, dem Internet und manchmal sogar den allgemeinen Medien entnommen werden.

Schauer	Datum	Maximum
Quadrantiden (Bootiden)	28. Dez. – 12. Jan.	3. Jan.
Lyriden	16. Apr. – 25. Apr.	22. Apr.
Perseiden	17. Jul. – 24. Aug.	12. Aug.
Tauriden	15. Sep. – 25. Nov.	10. Nov.
Leoniden	6. Nov. – 30. Nov.	17. Nov.
Geminiden	4. Dez. – 17. Dez.	14. Dez.

Tab. 1 Kleine Auswahl periodischer Meteorschauer [11]

14. Meteorechos von TV Sendern im Band I

Bis vor mehreren Jahren waren weit entfernte TV Sender im Band I (47 – 68 MHz), mit Sendeleistungen im dreistelligen Kilowatt Bereich, beliebte Strahlungsquellen für die Aufzeichnung von Meteorechos. In den vergangenen Jahren haben aber in Europa noch die letzten verbliebenen Stationen den Betrieb eingestellt – ein deutlicher Verlust für die Meteorforschung [15]. Die gute Nachricht: Den Amateurfunkern hat erst der Exodus dieser fernmeldetechnischen "Saurier" die Freigabe des 50 MHz Bandes ermöglicht!

15. Aufzeichnung der Echos in der professionellen Radioastronomie

Die Detektion und Auswertung von Meteorechos im VHF Bereich ist eine eigenständige Disziplin der professionellen Radioastronomie. Hier existieren unterschiedlich aufwendige Systeme. Ein Beispiel für eine sehr einfache Anlage ist der *Jodrell Bank Observatory's Meteor Detector* JBOMD [16]. Die Antenne ist ein simpler, horizontal polarisierter Dipol und nachgeschaltetem Bandfilter, mit welchem bis zur Betriebseinstellung von 2012, die Meteorechos eines starken TV Senders in der Nähe von Madrid auf 48.25 MHz aufgezeichnet worden sind. Die bescheidene Antenne ist am Stationsgebäude des riesigen Lovell- Radioteleskops von Jodrell Bank (GB) montiert (Abb. 13).

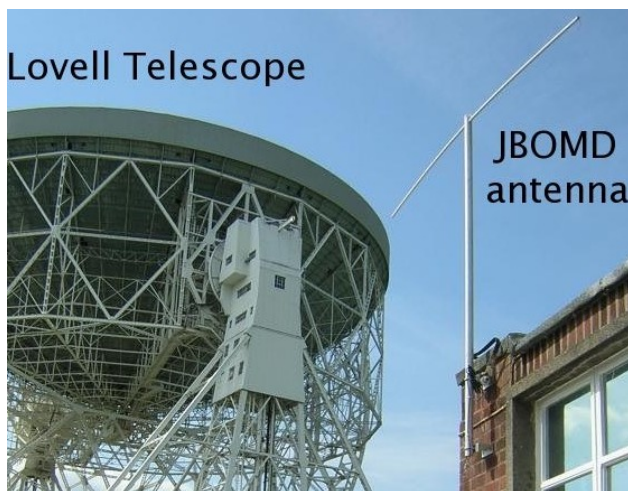


Abb. 13 JBOMD Dipol in Jodrell Bank (Bild: [16])

Ein deutlich komplexeres Beispiel ist in Norddeutschland das Meteorradar des Leibniz Instituts für Atmosphärenphysik IAP in Juliusruh [17]. Diese Anlage sendet mit einer Leistung von 12 KW ein gepulstes Signal auf den Frequenzen 32.55 und 53.5 MHz, welches über eine 3-Element Kreuz-Yagi-Antenne zirkular polarisiert und senkrecht nach oben abgestrahlt wird. Empfangen wird das Echo mit fünf ebenfalls vertikal nach oben gerichteten 2-Element Kreuz-Yagi-Antennen (Skizze Abb. 14). Die Auswertung erfolgt hier nach dem Prinzip der Interferometrie.

Aufzeichnung von Meteor – Echos durch Forward Scattering

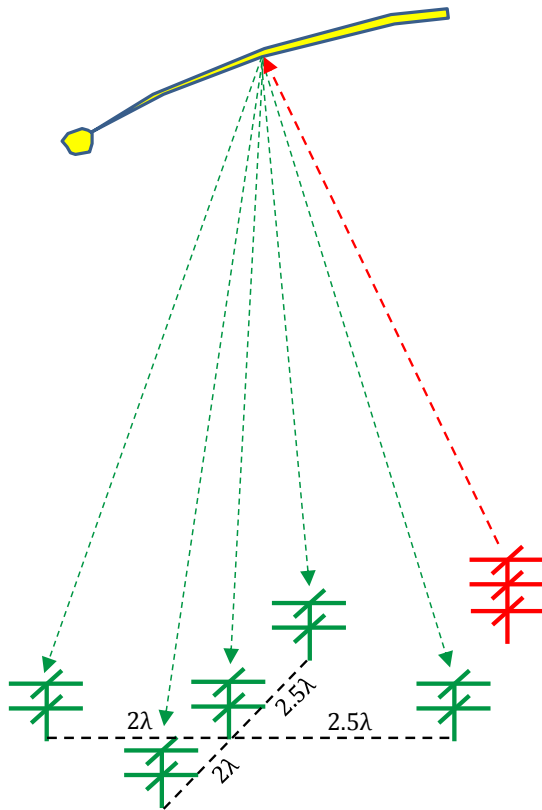


Abb. 14 Meteorradar in Juliusruh (Skizze schematisch nach IAP, [17])

16. Die Fachgruppe Meteorastronomie in der Schweiz

Die Fachgruppe Meteorastronomie (FMA) operiert in der Schweiz unter dem Dachverband der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft (SAG) und betreibt das Schweizerische Meteornetzwerk [18]. Dieses hat die Aufgabe, die Meteore sowohl visuell als auch elektronisch zu beobachten und daraus wissenschaftlich verwendbare Daten zu generieren.

Zur Detektion existiert heute im optischen Bereich ein relativ dichtes Netz von sog. All-Sky Kameras mit automatisierter Videoaufzeichnung. Diese sind bei zahlreichen Sternwarten installiert und überwachen permanent den gesamten, lokal sichtbaren Himmelsausschnitt. Mittels Triangulation werden dann von gleichzeitig beobachteten Meteoren die Bahnkurven und orbitalen Elemente rekonstruiert. Mit der Radiodetektion von Meteoren befassen sich hier u.a. auch lizenzierte Funkamateure.

Die FMA pflegt schliesslich den Datenaustausch mit den angrenzenden Beobachtungsnetzwerken im Ausland, sowie mit der International Meteor Organization IMO [9].

Aufzeichnung von Meteor – Echos durch Forward Scattering

Internetlinks

- [1] ONERA *Graves Radar*
<https://www.onera.fr/actualites/reseau-de-surveillance-graves>
- [2] ONERA *Communiqué de presse 2016*
https://www.onera.fr/sites/default/files/communiqué_de_presse/files/20161212-CP-Graves-ONERA.pdf
- [3] Rob Hardenberg, PE1ITR: *The 143.050MHz Graves Radar a VHF Beacon for Amateur Radio*
<http://www.itr-datanet.com/~pe1itr/graves/>
- [4] Rob Hardenberg, PE1ITR: *VHF and UHF Weak Signal Experiments*
<http://www.itr-datanet.com/~pe1itr/>
- [5] Federation of American Scientists (FAS): *A GRAVES Source Book*
<https://fas.org/spp/military/program/track/graves.pdf>
- [6] Karl Schmidt, *DK5EC: Empfang von Echos aus dem Weltraum mit einfachen Amateurfunk-Mitteln* <http://dk5ec.de/Graves-Echo.pdf>
- [7] Denis Auquebon, F6CRP: *Radar VHF et émission d'amateur*, MEGAHERTZ Magazine Nov. 2007, <http://f6crp.pagesperso-orange.fr/ba/graves.htm>
<https://archive.org/details/MegahertzMagazineNo296Nov2007>
- [8] British Astronomical Association BAA: *Detection & Analysis of Meteors by RADAR*
https://www.britastro.org/radio/projects/Detection_of_meteors_by_RADAR.pdf
- [9] IMO, International Meteor Organization: *Theory of Meteor Reflection*
<https://www.imo.net/observations/methods/radio-observation/reflection/>
- [10] IMO, International Meteor Organization: *Introduction to Forward Scattering Radio Techniques* <https://www.imo.net/observations/methods/radio-observation/intro/>
- [11] Wikipedia: *Meteor*
<https://de.wikipedia.org/wiki/Meteor>
- [12] Belgian Radio Meteor Stations: *What is BRAMS*
<http://brams.aeronomie.be/>
- [13] Hervé Lamy, *BRAMS :The Belgian Radio Meteor Stations*
<https://www.imo.net/imcs/imc2010/talks/Lamy.pdf>
- [14] British Astronomical Association: *Meteor Radar in the UK using the BRAMS Transmitter in Belgium* https://www.britastro.org/radio/projects/BRAMS_Meteor_Radar.pdf
- [15] Phillip GOISW, *Radio Meteor Scatter detection*
<http://www.gsl.net/g0isw/g0iswms.htm>
- [16] JBOMD, *Jodrell Bank Observatory's Meteor Detector*
<http://www.jb.man.ac.uk/meteor/>
- [17] *Meteorradar, Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik IAP in Juliusruh*
<https://www.iap-kborn.de/forschung/abteilung-radarsondierungen/instrumente/meteorradare/juliusruh-meteor-radar/>
- [18] FMA, *Fachgruppe Meteorastronomie der SAG*
<http://www.meteorastronomie.ch/>
- [19] Nedeljković Saša: *Meteor forward scattering at multiple frequencies*
<http://adsabs.harvard.edu/full/2006pimo.conf...16N>
- [20] DL4YHF's Amateur Radio Software: *Audio Spectrum Analyzer "Spectrum Lab"*
<http://www.gsl.net/dl4yhf/spectra1.html>
- [21] Praktikum Uni Wuppertal: *Messungen mit einem Radioteleskop*
<http://at-web.physik.uni-wuppertal.de/PPRadioTeleskop/Radio.pdf>

Aufzeichnung von Meteor – Echos durch Forward Scattering

[22] Christian Wolff: *Grundlagen der Radartechnik*
<http://www.radartutorial.eu/11.coherent/co06.de.html>

[23] *Richard Walker's Page* – Eine Subpage von Urs Flükigers "ursusmajor" Homepage
<http://www.ursusmajor.ch/astrospektroskopie/richard-walkers-page/index.html>