

About Spectrograms of Head Echoes and Spectrograms of Meteor Echoes at Different Stages of the Radiant Position of the Quadrantids 2025

Version 1.0 vom 6.1.2025

Wilhelm Sicking

Abstract:

In dieser Arbeit werden die Spectrogramme der Quadrantiden 2025 an verschiedenen Positionen des Radianten diskutiert. Wie schon bei den Quadrantiden 2024 werden die Daten mit Hilfe von AI / ML untersucht. Allerdings verwende ich nun eine Eggbeater-Antenne und die Anlage steht an einem neuen Ort mit weniger Störungen.

Im zweiten Teil der Arbeit wird eine Sammlung von unterschiedlichen Kopfechos gezeigt. Die Kopfechos zeigen in meinen 3D-Darstellungen oft eine quasi oszillierende Struktur. Die Ursache dafür ist mir noch nicht klar.

Einleitung:

Für die Untersuchung von Meteorechos eignen sich besonders gut die starken Ströme: Sie liefern reichlich Echos und man weiß, aus welcher Richtung sie kommen. Wie im letzten Jahr 2024 habe ich daher wieder die Quadrantiden aufgezeichnet und schöne störungsfreie Daten bekommen. Die Daten zeigen wie in 2024, dass zu unterschiedlichen Zeiten, also an verschiedenen Positionen des Radianten, unterschiedliche Spectrogramme entstehen. Beim $0^\circ / 180^\circ$ Durchgang des Radianten entstehen gezackte Echos und eine Kerbe in der Rate. Zeitlich weiter entfernt von dieser Radiantenposition, also wenn der Radarstrahl mehr oder weniger senkrecht zur Flugbahn eines Meteoroiden verläuft, werden Kopfechos, nur Trailechos und Kopfechos zusammen mit einem Trailecho aufgezeichnet. Diese Trailechos werden in der Literatur als spiegelnde Schweifreflexionen (specular trail) bezeichnet. Beim Radiantendurchgang von 0° oder 180° , also wenn sich ein Meteoroid quasi parallel zum Radarstrahl bewegt, entstehen die gezackten Echos. Bei diesen Echos ist in meinen Aufnahmen kein oder nur ein schwaches Kopfecho zu sehen. Diese Echos werden in der Literatur als nicht spiegelnde Schweifreflexionen (non-specular trail) bezeichnet, da sie oft nicht sichtbar sind.

Mit dem Hochleistungsradar GRAVES, starken Meteoroiden, hier QUA 2025, und mit einer guten Empfangsanlage lassen sich das Kopfecho und die nicht spiegelnden Schweifreflexion beobachten, also auch wenn sich ein Meteoroid quasi parallel zum Radarstrahl bewegt.

Kopfechos entstehen durch Reflexion am Plasma, das den Meteoroiden direkt umgibt und bewegen sich ungefähr mit der Geschwindigkeit des Meteoroiden. (Close et al., 2007)

Im zweiten Teil der Arbeit werden verschiedenste Kopfechos gezeigt. Sie wurden mit einer zweiten Anlage aufgenommen, die optimal für dies Art von Spektrogrammen eingestellt ist. Die Kopfechos zeigen in meinen 3D-Darstellungen oft eine oszillierende Struktur. Die Ursache dafür ist mir noch nicht bekannt. Möglicherweise liefert das GRAVES Radar neue Einblicke in das Plasma des Meteorkopfes,

Setup:

Meteor Echos werden auf der GRAVES Frequenz von 144.05 MHz aufgezeichnet. GRAVES ist ein Hochleistungsradar zur Beobachtung von Satelliten und Weltraumschrott. Es steht in Frankreich in der Nähe von Dijon. Mit vier planaren Phased-Array-Antennen sendet es rund um die Uhr einen leistungsstarken CW-Träger (Continuous Wave). Die vier Antennenarrays strahlen nacheinander in südliche Richtung. Die Umschaltzeit beträgt nach eigenen Messungen 1.6 s.

In der Literatur wurden für Untersuchungen an Kopfechos sogenannte high power large aperture (HPLA) Radar verwendet. Der GRAVES Sender ist im Prinzip auch ein HPLA Radar. Wegen der Bündelung der Leistung auf eine schmalere Keule als bei normalen HPLA Radaranlagen erhält man eine höhere äquivalente isotrope Strahlungsleistung (englisch equivalent isotropically radiated power, EIRP), so dass dieses Radar stärkere Echos liefert als ein HPLA Radar mit gleicher Leistung. Ein Nachteil ist aber, dass ein Echo übersehen wird, wenn die Anlage gerade in eine andere Richtung sendet. Allerdings sind auch Echos sichtbar, die durch Nebenkeulen oder durch die Rückkeule belichtet werden. Die Empfindlichkeit ist dann natürlich geringer. An langen Trailechos sind in dem Fall Einbrüche zu erkennen, siehe Bild 1 oben. An dem Echo in Bild

1 oben sind auch die GRAVES Glitches zu erkennen, die durch das Umschalten der Antennen produziert werden. Hier wurde das Kopfecho nicht erfasst.

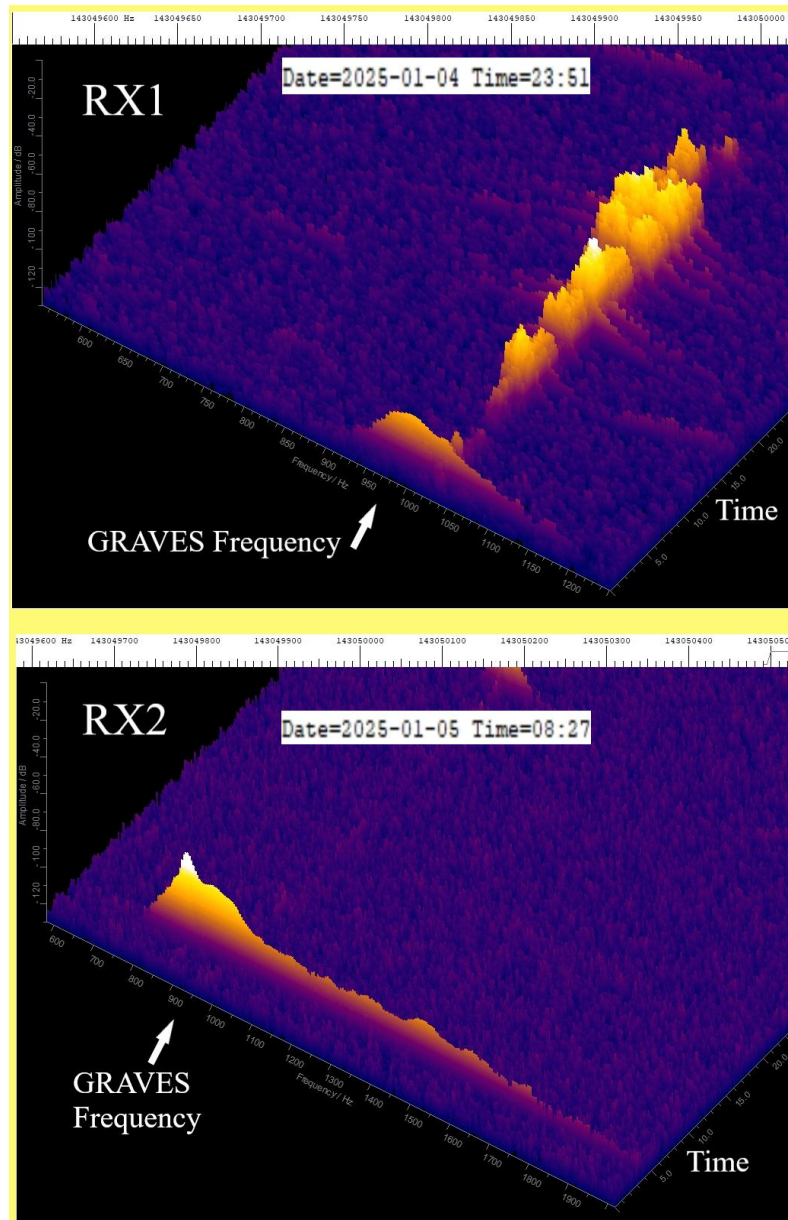


Figure 1 – Die Abbildung zeigt je einen Spectrum-Lab (SL) Output der beiden Anlagen. Im oberen Teil ist SL so eingestellt, dass große Echos möglichst vollständig erfasst werden. Unten ist die Einstellung optimal für lange Kopfechos. Die original Spectrum-Lab Plots wurden an der rechte Seite abgeschnitten, damit die Plots gut in das zweispaltige Format von eMetN passen. Die "Schwingungen" auf dem Kopfecho werden weiter unten im zweiten Teil diskutiert.

Zum Empfang der Meteorechos verwende ich nun eine sogenannte Eggbeater Antenne. Sie besteht aus zwei 90° zueinander verdrehten Loops und einem Reflektor bestehend aus Radials. Die Antenne hat einen vertikalen Öffnungswinkel von 120° und ist rechtsdrehend zirkular polarisiert. Nahe am Horizont ist diese Antenne horizontal polarisiert. Für den Meteorempfang von GRAVES Echos hat sie sich bewährt, da so nur wenig Signalintensität vom Horizont empfangen wird. Besonders der Direkt Empfang des GRAVES Träger wird so unterbunden. Die Antenne steht am Vereinsheim des Ortsverbandes N62 Wüllen des Deutschen Amateur-Radio-Clubs am südlichen Ende der Anlage, siehe Bild 2. An dem Ort gibt es sehr wenige Störungen, wie weiter unten in der Auswertung zu sehen ist.



Figure 2 – Foto des Clubhauses von OV-N62. Es handelt sich um einen ehemaligen NATO-Funkturm. (Das Foto wurde vom Autor aufgenommen.)

Der Einsatz (Inset) zeigt die Loops der Eggbeater-Antenne (und den Mond). Der rote Punkt zeigt den Standort der Antenne. Das Gebäude neben dem roten Punkt ist ein Bunker aus Zeiten des Kalten Kriegs.

Ein rauscharmer Vorverstärker mit einem Frequenzbereich von 140-150 MHz und einem Rauschmaß von 0,25 dB ist direkt an die Antenne angeschlossen. Über ein 60 m langes Koaxkabel ist der Vorverstärker mit den Empfängern verbunden. Zur Zeit verwende ich zwei identische Empfangsanlagen. Die Empfänger sind Icom IC-R8600. Das Antennensignal wird durch einen Antennensplitter aufgeteilt. Als Aufzeichnungssoftware wird Spectrum-Lab (SL) von Wolfgang Buescher (DL4YHF) verwendet. SL generiert Plots im 20-Sekunden-Takt mit entsprechendem Datum und Uhrzeit im Dateinamen, die später mit einer von mir entwickelten, auf maschinellem Lernen basierenden Software (Sicking, 2024a; Sicking, 2024b) analysiert werden.

Die beiden Anlagen unterscheiden sich nur durch die Einstellungen von Spectrum Lab. Eine Anlage liefert die Daten wie gewohnt für die spätere Auswertung per AI / ML. Der Schwerpunkt liegt hier auf der möglichst vollständigen Erfassung der Trail-Echos und auch von großen Echos, siehe Bild 1 oben. Das verwendete neuronale Netzwerk habe ich im Sommer 2024 trainiert.

Bei der zweiten Anlage ist Spectrum Lab so eingestellt, dass möglichst viel vom Kopfecho aufgenommen wird, siehe Bild 1 unten.

Result and Discussion

Die Abbildung 3 dokumentiert den 3. Januar 2025 und gibt einen ersten Eindruck. Die Satellitenechos, die Interferenzen und das Grundrauschen sind ebenfalls dokumentiert. Die grünen und roten Punkte stellen Meteorechos dar. Die Größen der Echos sind logarithmisch aufgetragen. Ein Einbruch um 9 Uhr morgens, die Kerbe, ist sichtbar. Die roten Punkte, die vermehrt um 9 h herum auftreten, repräsentieren die gezackten Echos. Das sind Echos, die kein Kopfecho haben, da der Radarstrahl und die Flugbahn quasi parallel verlaufen. Hier hatte der Radiant der Quadrantiden einen Azimut von 0° (oder 180°).

Die grünen Punkte repräsentieren die normalen Echos mit Kopfecho. Die entstehen, wenn die Flugbahn mehr oder weniger senkrecht zur Radar-Richtung verläuft. Die Satelliten und der Weltraumschrott werden auch noch geloggt. Es sind die hellblauen Punkte. Gelbe Punkte sind

Interferenzen oder der Mond.

Die Auswertung der Rohdaten aus Abbildung 3 ist in den Histogrammen von Abbildung 4 gezeigt. Das gelbe Histogramm zeigt die Rate und das rote Histogramm zeigt die Rate gewichtet mit den Größen der Meteore. Die Größe der Meteore wird per ML aus den Spektrogrammen entnommen. Das blaue Histogramm zeigt die prozentuale Rate der gezackten Echos.

Die Kerbe bei den roten Balken ist ausgeprägter als bei den gelben Balken, da durch die Perspektive, der Radarstrahl verläuft ja parallel zur Flugbahn, die Echos in der Nähe der Kerbe kleiner erscheinen als wenn sie weiter außen beobachtet würden. An den Minima dieser beiden Histogramme hat das hellblaue Histogramm der gezackten Echos ein Maximum.

Diese Auswertung zeigt also, dass das Modell für die Entstehung der Kerbe konsistent ist.

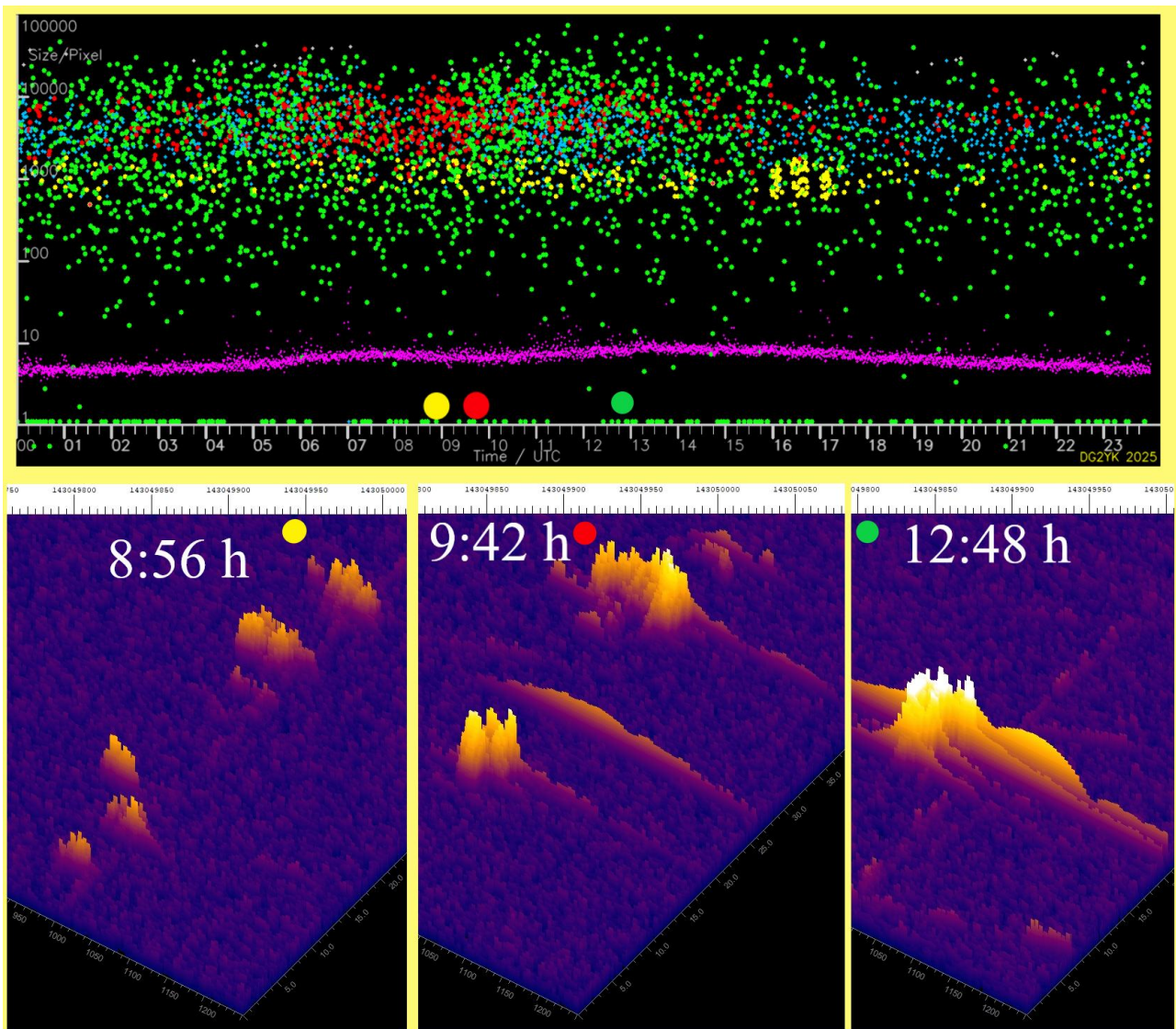


Figure 3 – Gemessene Meteorgrößen in Abhängigkeit von der Zeit, aufgezeichnet am 3. Januar 2025. Jeder Punkt stellt ein Echo dar. Es wurden 3141 Echos aufgezeichnet. Die grünen Punkte stellen die normalen Echos dar. Die roten Punkte markieren die gezackten Echos. Ein Rückgang der Rate (grüne Punkte) und eine starke Zunahme der roten Punkte ist um 9 Uhr morgens zu erkennen. Die blauen Punkte zeigen die Satellitenechos. Die gelben Punkte zeigen erkannte Mondechos und andere Interferenzen. Der Noisefloor ist als lila Spur eingetragen. Im unteren Teil sind typische Spektrogramme von den angegebenen Zeiten abgebildet. Es sind: gezackte Echos ohne Kopfecho, zwei gezackte Echos mit wenig Kopfecho und ein normales Meteorecho bestehend aus Trailecho, Kopfecho und den GRAVES Glitches, s. Text.

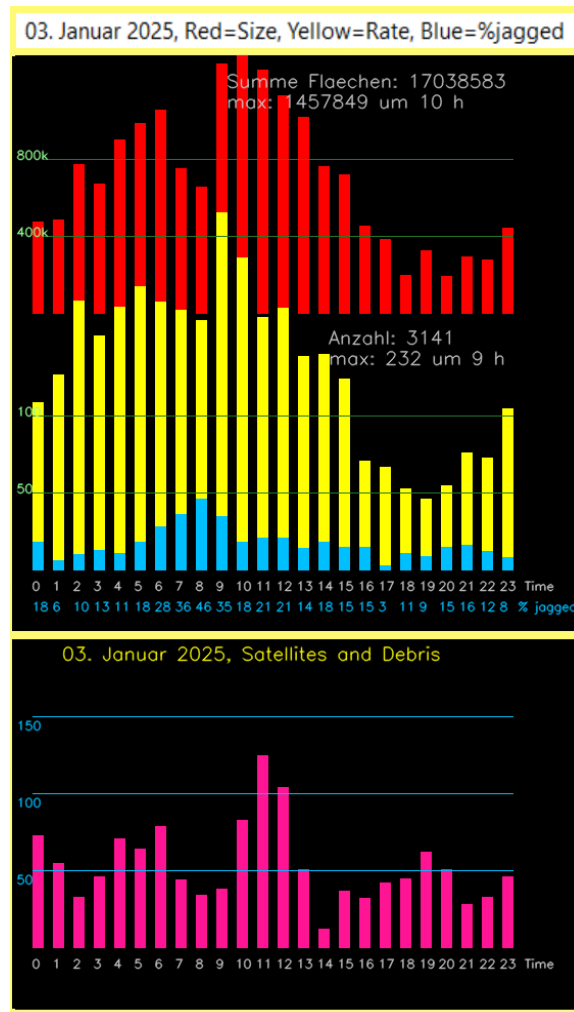


Figure 4 – Das gelbe Histogramm zeigt die Rate und das rote Histogramm zeigt die Rate gewichtet nach der Größe der Meteore. Die Kerbe um 9 Uhr morgens ist deutlich ausgeprägt. Das hellblaue Histogramm zeigt den prozentualen Anteil der gezackten Echos, s. Text.

Der zweite Teil folgt noch, wenn Unklarheiten beseitigt sind.

Literatur

Sicking W. (2024a). “Meteor detection using Artificial Intelligence and Machine Learning”. *eMetN*, **9**, 29–36.

Close S., Brown P., Campbell-Brown M., Oppenheim M., Colestocka P. (2007). "Meteor head echo radar data: Mass–velocity selection effects". *Icarus*, **186**, 547–556.

Sicking W. (2024b). “About spectrograms of meteor echoes at different stages of the radiant position – an AI/ML-investigation”. *eMetN*, **9**, 103–112.

Pellinen-Wannberg P. (2005). "Meteor head echoes - observations and models". *Annales Geophysicae*, **23 (1)**, 201–205.