

## Insights into the Quadrantid-2024-Notch

Wilhelm Sicking  
wil.sicking@gmail.com

**Abstract:** Die Analyse der Quadrantiden-2024-Daten vom 4. Januar zeigt ein sehr überraschendes Ergebnis:

Spektrogramme von Meteorechos, die zeitlich nah an der Kerbe liegen, unterscheiden sich deutlich von Spektrogrammen gewöhnlicher Meteorechos. Sie sind eher klein, haben eine zerklüftete Oberfläche und ähneln den Spektrogrammen von Satelliten, die aufgrund ihrer metallenen Oberfläche eine kammartige Struktur aufweisen. Der Grund dafür könnte sein, dass aus geometrischen Gründen nur der heiße Plasmakopf mit ähnlichen Reflektionseigenschaften wie Metall die Radarstrahlen reflektiert. Reflektiert die Meteorspur die Radarstrahlen, entstehen demnach die üblichen weichen Spektrogramme.

### 1 Introduction

Die Quadrantiden-2024 Echos konnte ich am 4. Januar ohne Störungen aufzeichnen, sodass damit eine neue Untersuchung der Kerbe möglich ist. Aus der Literatur sind Kerben in Meteor-Histogrammen bekannt. Laut Felix Verbelen (Verbelen 2019) und persönlicher Kommunikation mit ihm gibt es Kerben in allen großen Strömen. Kaufmann (Kaufmann, 2020) postulierte, dass auf Grund der Dopplerverschiebung das Meteorecho außerhalb der normalen Empfängerbandbreiten liegen kann und daher nicht registriert wird. In meinen Meteorarbeiten (Sicking, 2022a, 2022b) habe ich einen Mechanismus vorgeschlagen, wonach die Kerbe durch die geometrischen Verhältnisse zwischen Transmitter, Receiver und Radiant entsteht.

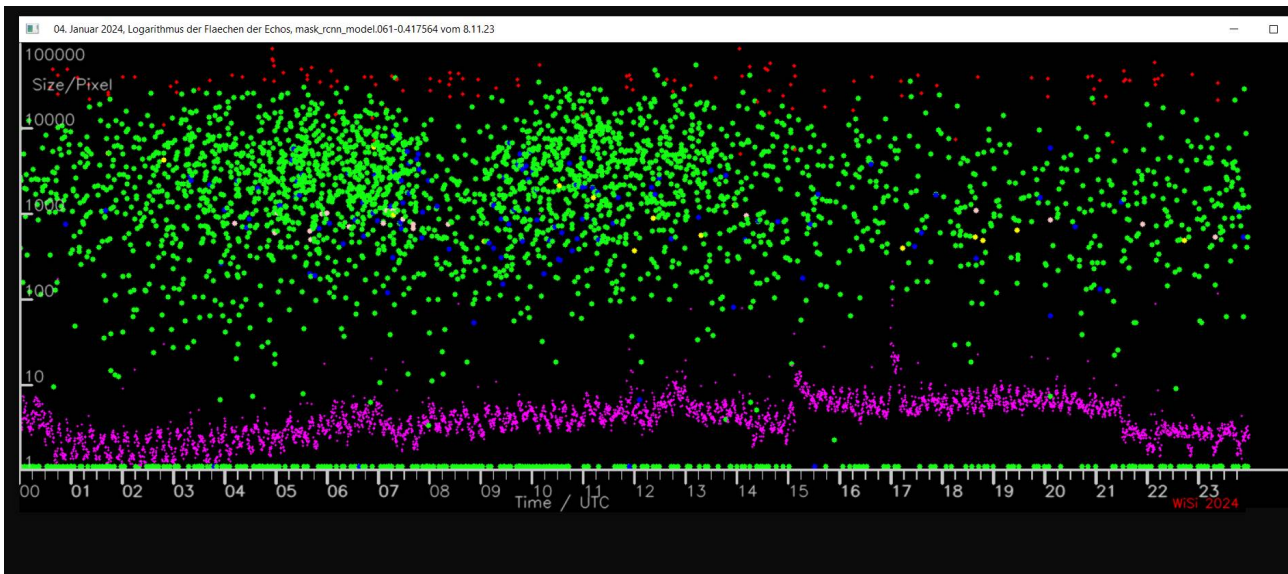
Eine umfangreiche Arbeit von Mike T. German (German, 2023) erklärt präzise die geometrischen Verhältnisse bei der Meteorbeobachtung. Die neuen Quadrantid-2024 Daten erlauben nun weitere interessante Einblicke in die Kerbe.

## 2 Setup

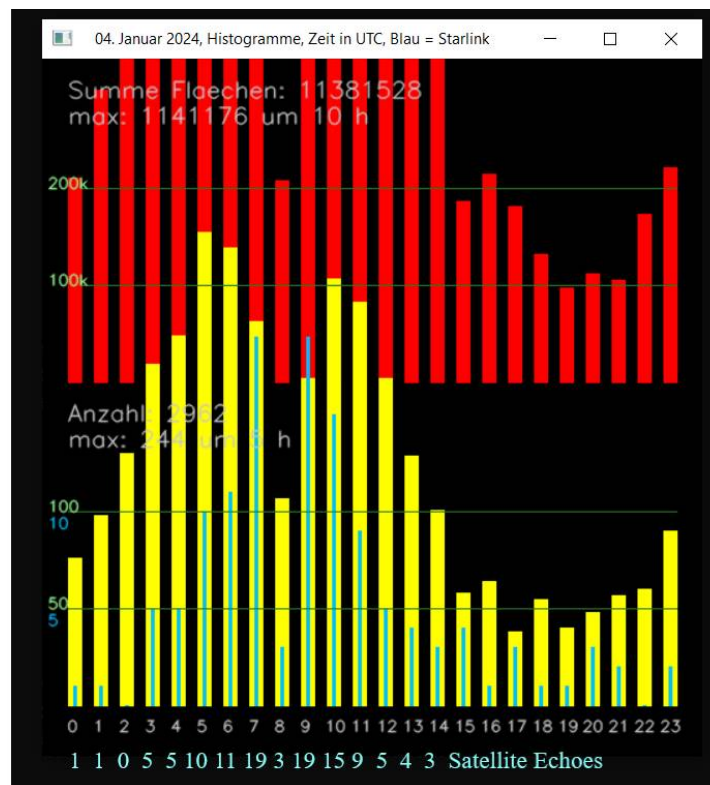
Zum Empfang der Meteorechos wird eine zirkular polarisierte 4-Element-Kreuz-Yagi-Antenne verwendet. Meine Antennen sind auf dem Dachboden montiert, sodass die Konfiguration leicht geändert werden kann. Direkt an die Antenne angeschlossen ist ein rauscharmer Vorverstärker mit einem Frequenzbereich von 140-150 MHz und einer Rauschzahl von 0,25 dB. Der Empfänger ist ein Icom IC-R8600. Als Aufnahmesoftware kommt Spectrum-Lab (SL) von Wolfgang Buescher (DL4YHF) zum Einsatz. SL generiert Diagramme in 20-Sekunden-Intervallen mit entsprechendem Datum und Uhrzeit im Dateinamen, die später mithilfe der von mir (Sicking, 2024) entwickelten Software basierend auf Maschinelles Lernen analysiert werden. Zur Detektion wurde das Drei-Klassen Modell `mask_rcnn_model.061-0.417564.h5` verwendet.

## Result and Discussion

Die beiden ersten Abbildungen Figure 1 und 2 dienen zur Dokumentation des jeweiligen Tages und erlauben einen ersten Eindruck. Auch die Satellitenechos, die Störungen und der Noise floor sind dokumentiert. Figure 1 zeigt die Rohdaten vom 4. Januar 2024. Die grünen Punkte repräsentieren die Meteorechos. Die Größen der Echos sind logarithmisch aufgetragen. Deutlich ist ein Einbruch um 8h AM herum, die Kerbe, zu erkennen. Figure 2 ist ein Stundenhistogramm. Das gelbe Histogramm zeigt die Rate und das rote Histogramm zeigt die Rate gewichtet mit den Größen der Meteore. Allerdings ist das rote Histogramm am Maximum der Quadrantiden stark übersteuert. Das blaue Histogramm zeigt normalerweise Satelliten-Echos. In der Nähe der Kerbe nimmt die Anzahl der Satelliten zum Zentrum der Kerbe hin stark zu. Hier liegt offenbar ein Artefakt vor, das im Folgenden untersucht wird.



*Figure 1* – Gemessene Meteorgrößen als Funktion der Zeit, aufgezeichnet am 4. Januar 2024. Jeder grüne Punkt stellt ein Echo dar. Es wurden 2960 Echos aufgezeichnet. Ein drastischer Rückgang der Rate ist bei 8h AM zu erkennen. Die blauen Punkte stellen Satellitenechos dar. In der Nähe der Kerbe werden ungewöhnlich viele Satellitenechos registriert. Eine Erklärung dazu finden Sie im Text. Die violette Kurve zeigt das Grundrauschen und die Störungen. Es gab keine nennenswerten Störungen, die das Ergebnis hätten verfälschen können.



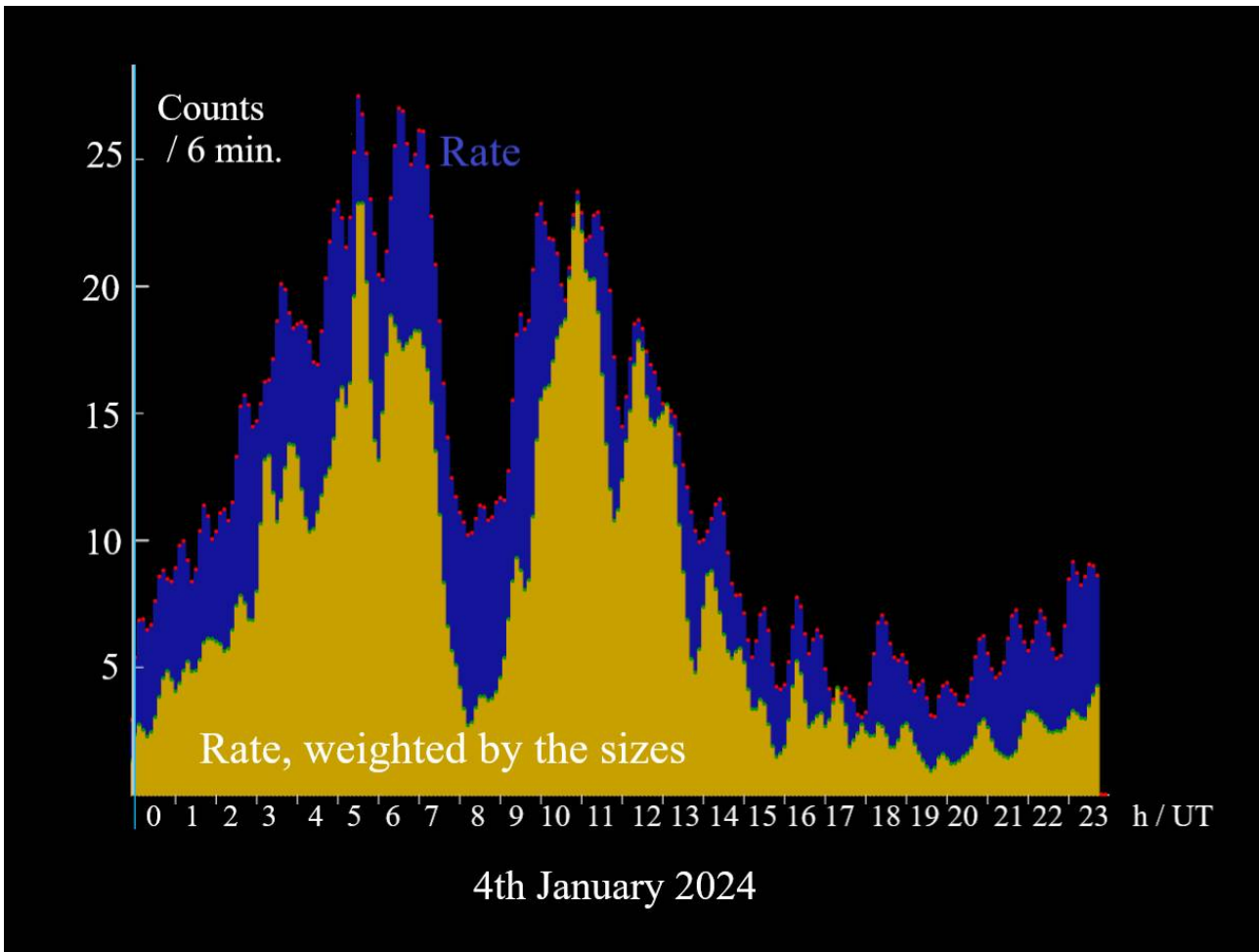
*Figure 2* – Das gelbe Histogramm zeigt die Rate und das rote Histogramm zeigt die

Rate gewichtet mit den Größen der Meteore. Allerdings ist das rote Histogramm am Maximum der Quadrantiden stark übersteuert. Die Kerbe um 8h AM ist deutlich ausgeprägt. Das blaue Histogramm zeigt normalerweise Satelliten-Echos. In der Nähe der Kerbe nimmt die Anzahl der Satelliten zum Zentrum der Kerbe hin zu, was auf ein Artefakt hinweist, siehe Text.

### **Untersuchung der Echos an der Kerbe**

Zunächst habe ich mit Stellarium Web den Azimut des Radianten der Quadrantiden untersucht. Als Radiant wurde der Stern 44 Boötis gewählt, da er laut dem CMOR Radar in etwa die Position des Radianten der Quadrantiden einnahm. Um 7h51m AM beträgt der Azimut Dijon / 44 Boötis  $0^\circ$  und die Elevation des Sterns beträgt  $89^\circ$ . Zu dieser Zeit steht der Radiant also vor dem GRAVES-Radar, so dass die Meteorspuren in Richtung Transmitter verlaufen. Meteorspuren und Radarstrahlen treffen dann (mehr oder weniger) frontal auf einer Linie zusammen.

Die Kerbe des hochaufgelösten Histogramms in Figure 3 zeigt zwei Minima und den In-Line-Peak (Sicking 2022a). Das erste Minimum erscheint bei 8h12m AM, das zweite Minimum liegt bei 8h42m AM. Die Ursache für die Differenz in der Zeit zwischen  $0^\circ$  Azimut (7h51m AM) und dem ersten Minimum der Kerbe (8h12m AM) ist noch unklar. Theoretisch müssten die Zeiten identisch sein.



*Figure 3* – Die Abbildung zeigt ein Histogramm mit einer Zeitauflösung von 6 Minuten. Dadurch können Details wie der In-Line-Peak angezeigt werden.

In den Abbildungen 4 bis 7 sind Spektrogramme aus verschiedenen Zeiten vor der Kerbe abgebildet. Damit soll die Veränderung der Meteorechos und die Zunahme der Satellitenechos zur Kerbe hin zu untersucht werden. Die Plots habe ich so ausgewählt, dass möglichst viele Echos in einem Bild zusammengefasst sind, um die Anzahl der Abbildungen möglichst gering zu halten. Wegen der Wichtigkeit der Aussage sind es vier Abbildungen geworden.

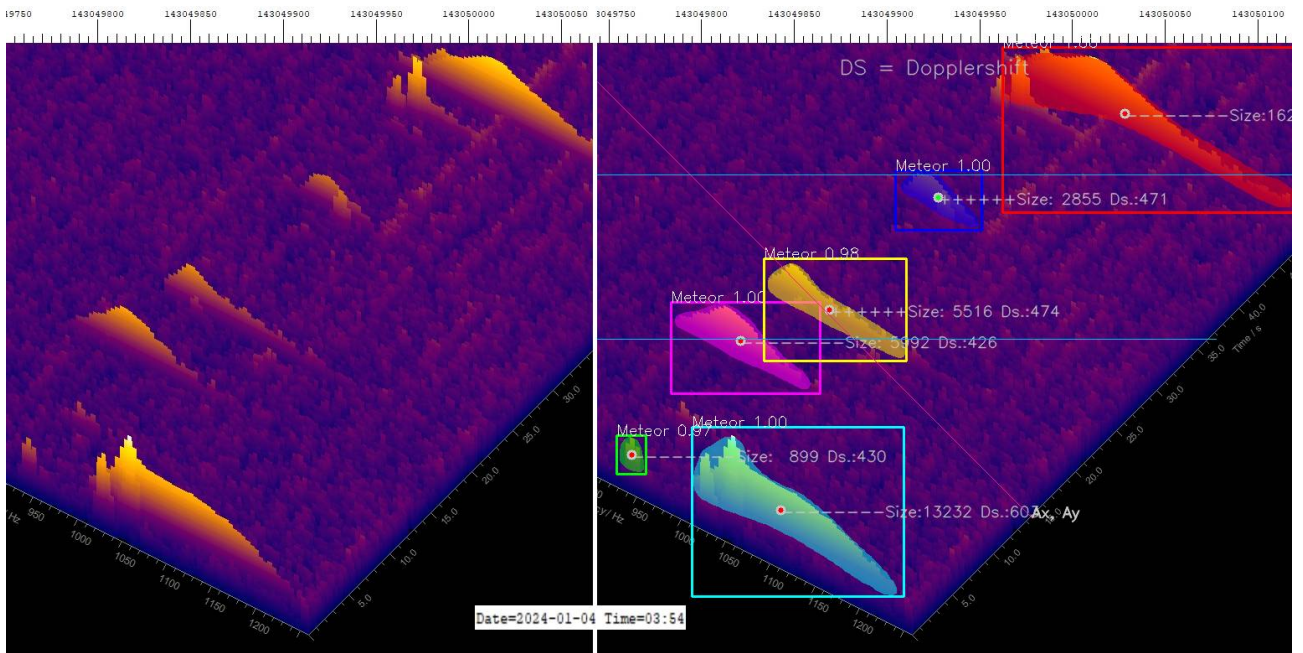


Figure 4 – 3h54m AM. Beispiele für „normale“ Echos.

Figure 4 von 3h54m AM zeigt Meteorechos, wie sie sehr häufig auftreten. Sie haben die typische geschwungene oft gaußförmige Form und eine glatte Oberfläche. Es gibt natürlich weitere Formen von Echos, die hier aber keine Rolle spielen.

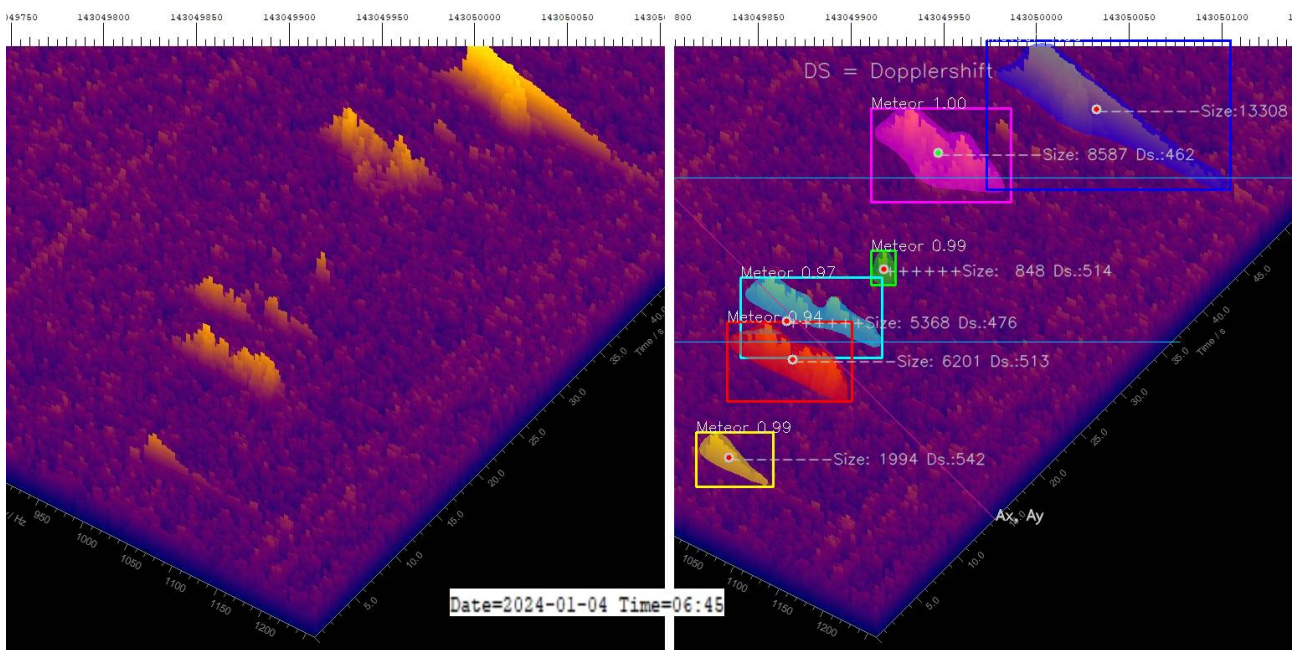


Figure 5 – 6h45m AM. Die Echos zeigen eine deutlich zerklüftete Oberfläche, werden aber von der ML-Software noch richtig erkannt.

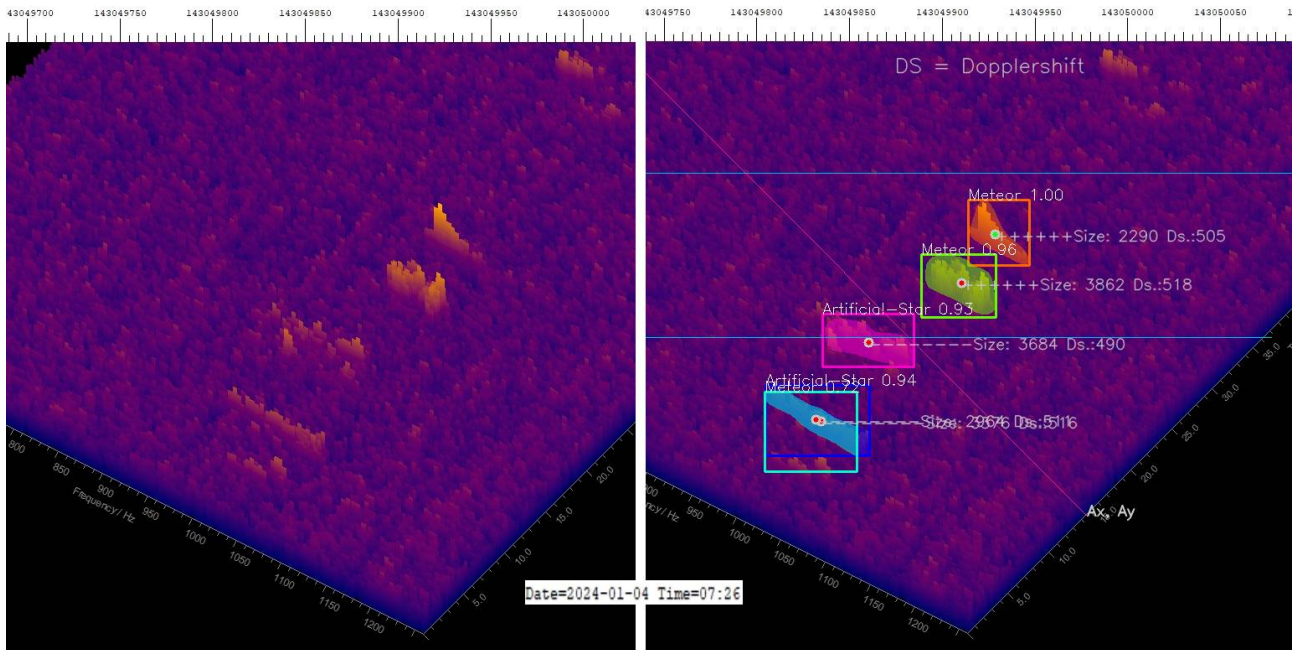


Figure 6 – 7h26m AM. Die Echos sind sehr klein und sind fast nicht mehr beobachtbar. Zwei schwache Echos werden als Satelliten erkannt.

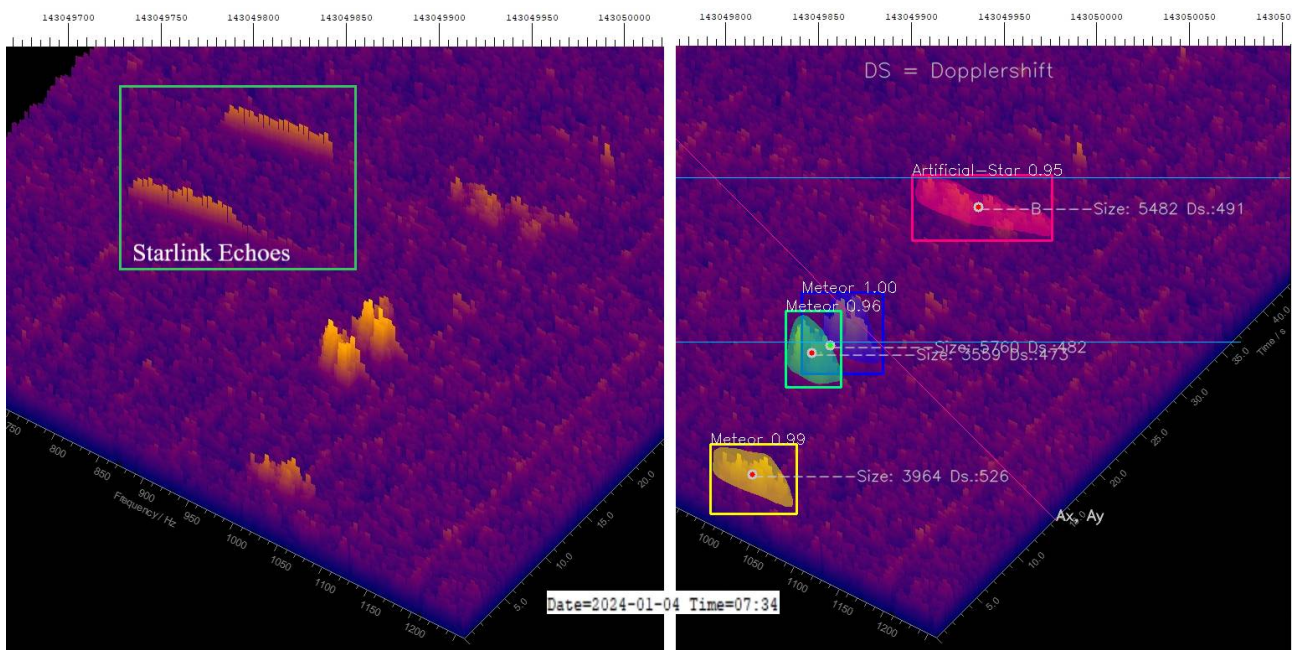


Figure 7 – 7h34m AM. Ein Echo (magenta) wird fälschlicher Weise als Satellit erkannt. Das Inset links oben zeigt zum Vergleich reale Starlink-Echos.

Die Kerbe entsteht also dadurch, dass die Echos kleiner werden und irgendwann gar nicht mehr beobachtbar sind. Dieser Zusammenhang wird

im nächsten Kapitel noch genauer untersucht. Zur Kerbe hin ändert sich aber auch die Form der Echos drastisch: Sie haben eine stark zerklüftete Oberfläche, siehe Abbildungen 5, 6 und 7. Jetzt wird deutlich, warum in der Nähe der Kerbe die Anzahl der Satelliten-Echos zunimmt: Die Echos ähneln eher den Satellitenechos als normale Echos, wie sie im Training des ML-Modells verwendet wurden.

In den Abbildungen 5, 6 und 7 sind folglich Spektrogramme von Meteorechos abgebildet, bei denen im Wesentlichen nur der Kopf von den Radarstrahlen belichtet wurde. Der heiße Plasmakopf hat offenbar ähnliche Reflexionseigenschaften wie die Oberfläche der Satelliten, die auf Grund ihrer metallenen Oberfläche Echos mit kammartiger Struktur produzieren (Sicking, 2024). Reflektiert auch die Spur, entsteht ein weicherer Echo, so die Hypothese.

Mir fiel schon bei früheren Strömen auf, dass Echos in der Nähe der Kerbe zerklüftet sind. Die Zunahme der Satellitenechos an der Kerbe ist aber erstmals bei den Quadrantiden 2024 aufgetreten. Immerhin zeigt die Zunahme dieser Echos zur Kerbe hin, dass es hier einen systematischen Zusammenhang gibt.

In den Trainingsdaten des verwendeten ML-Modells ist diese Art von Spektrogrammen nicht oder nur vereinzelt enthalten. Es ist nun aber nicht so, dass die Kerbe nur auf Grund von nicht oder falsch erkannten Echos entstanden ist. Der Fehler beträgt um 7 Uhr  $< 10\%$  und die Kerbe wird ja auch von anderen Beobachtern registriert.

### **Untersuchung der Raten und der Raten gewichtet mit den Größen der Echos**

In Figure 8 sind die in vier Größenklassen eingeteilten Echos geplottet. Das wichtigste Ergebnis zeigt die gelbe Spur, die die kleinen Echos repräsentiert: Die kleinen Echos haben am Minimum der Kerbe ein (Neben)Maximum, siehe der gelbe Punkt. Die größeren Meteore nehmen ab. Das bedeutet nicht, dass die Anzahl der kleinen Echos hier zugenommen hat, sondern es bedeutet, dass große Echos auf Grund der Perspektive nun kleiner erscheinen und in der Klasse der kleinen Echos erscheinen. Das Maximum der gelben Spur im Minimum der Kerbe ist

also eine Bestätigung für die Theorie, dass geometrische Verhältnisse wie oben beschrieben die Kerbe verursachen.

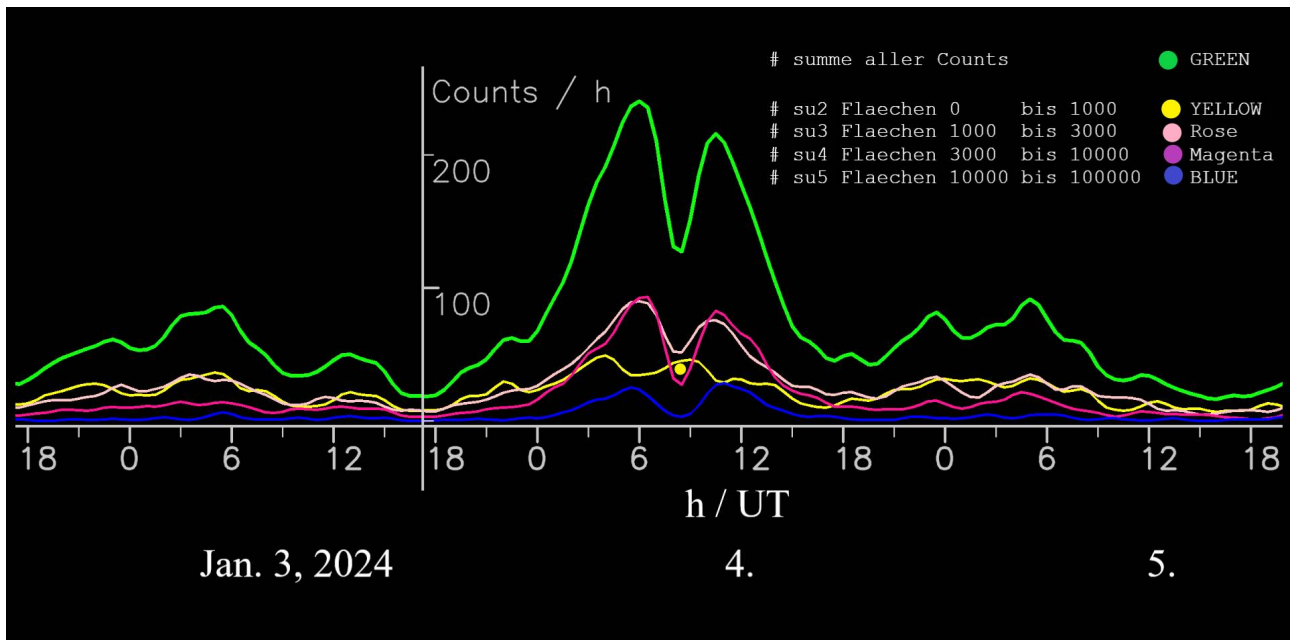


Figure 8 – Meteorraten für verschiedene Echogrößen der Quadrantiden 2024 über 3 Tage.

Die blauen Linie stellt die Rate großer Echos (10.000 bis 100.000 Pixel) dar, die violette / magenta Linie zeigt die mittelgroßen Echos (3000 bis 10.000 Pixel), die rosa / pink Linie zeigt die Echos (1000 bis 3.000 Pixel) und die gelbe Linie zeigt die kleine Echos (unter 1000 Pixel). Die grüne Kurve schließlich zeigt die Rate aller Größen aufsummiert.

Die gelbe Spur (Echos unter 1000 Pixel) zeigt ein Maximum (siehe gelber Punkt), wo die Kerbe und alle anderen Meteorgrößen ein Minimum haben.

## Conclusion

Es wurde gezeigt, dass sich an Hand von Spektrogrammen Meteore identifizieren lassen, bei denen die Radarstrahlen frontal auf den Meteor treffen, so dass nur der Plasmakopf belichtet wird. Für diese Meteore muss noch eine eigene Klasse trainiert werden.

Des Weiteren wurde ein experimenteller Nachweis für die Theorie erbracht, dass geometrische Verhältnisse die Kerbe verursachen.

## **Acknowledgment**

Vielen Dank an Kerstin fürs Korrekturlesen.

## **References**

German M. T. (2023). “Utilizing Video Meteor Trails to Understand Radio Meteor Detection”. WGN, Journal of the IMO, **51:4**, 72–92.

Kaufmann, W. (2020). “Limitations of the observability of radio meteor head echoes in a forward scatter setup“. WGN, Journal of the International Meteor Organization, **48:1**, 12-16

Sicking, W. (2022a). “A Notch in the Arietids Radio Data and a new so called In-Line-Effect”. EMetN, **7:5**, 331-335.

Sicking, W. (2022b). “Radio observations on the Perseids and some other showers in August and September 2022”. EMetN, **7:6**, 407-410.

Sicking, W. (2024). “Meteor detection using Artificial Intelligence and Machine Learning”. EMetN, **9:1**, 29-36.