

# Wie hell leuchten Radiosterne? – Teil 2

von Thomas Freina

Im ersten Teil [1] wurden grob die Grundlagen zur Klassifizierung von radioastronomischen Quellen aufgezeigt. Hier, im zweiten Teil, werden eigene Beobachtungen von prominenten Radioquellen der Größe nach kurz beschrieben.

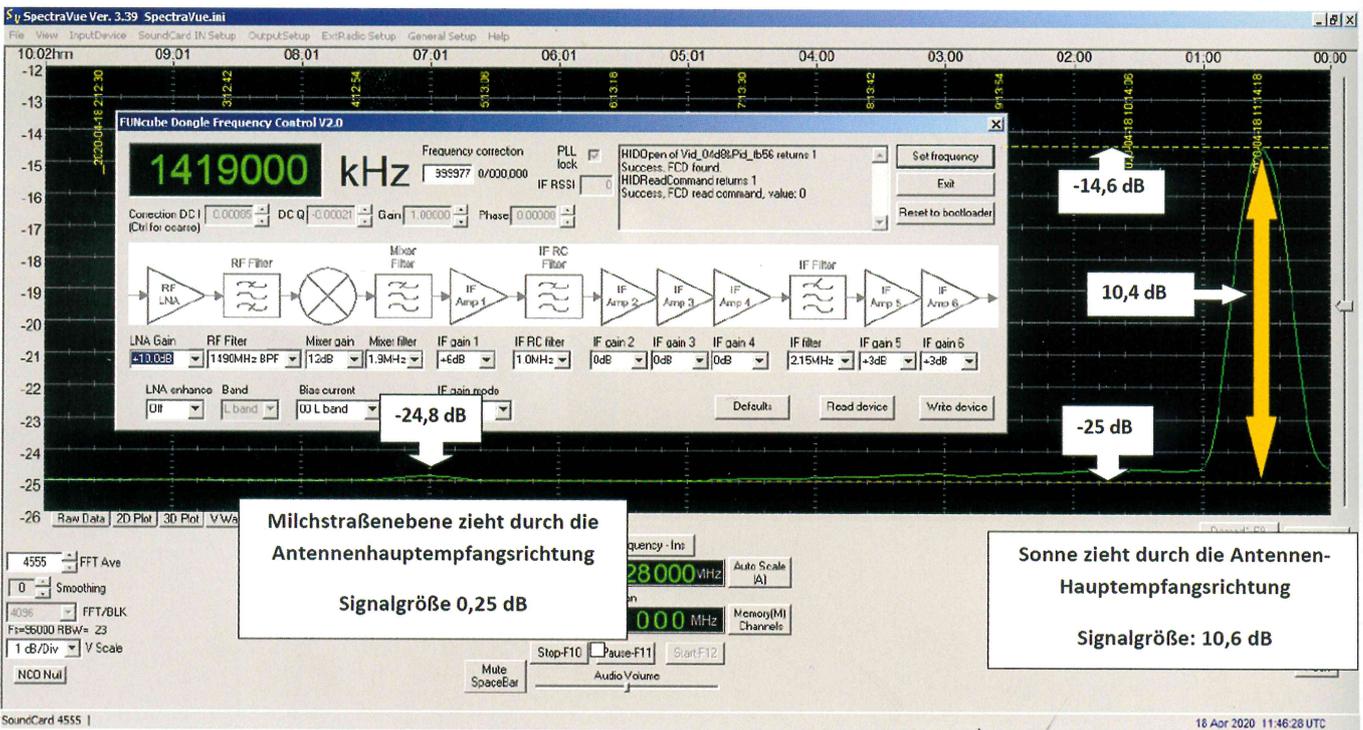
Kehren wir zunächst noch einmal zur Sonne als dem stärksten Radiostrahler in unserer unmittelbaren Nachbarschaft zurück. Die Empfangsanlage, welche bei allen hier geschilderten Beobachtungen eingesetzt wird, besteht im Wesentlichen aus einem Parabolspiegel mit 360 Zentimeter Durchmesser, einem rauscharmen Vorverstärker im Primärfokus, einen FunCube-Dongle als digitalem SDR-Empfänger und dem Softwaretool SpectraVue für die Anzeige, Auswertung und Speicherung der Beobachtungsdaten.

Für eine Beobachtungskampagne wird der Parabolspiegel fest auf 180° Azimut und beispielsweise 52° Elevation eingestellt. Aufgrund der Erddrehung erfasst das System so innerhalb von 24 Stunden einen etwa 4° breiten Streifen am Firmament. In der sekundengenauen Aufzeichnung dieses Vorgangs unterscheidet sich der so genannte kalte Himmel von den Radioquellen im abgetasteten Bereich nur durch die Stärke des Empfangssignals. Auf dem Bildschirm am Backend entsteht somit nach und nach eine zeitgenaue Kartierung der Helligkeit, richtigerweise des Strahlungsflusses, einmal rund um das Firmament.

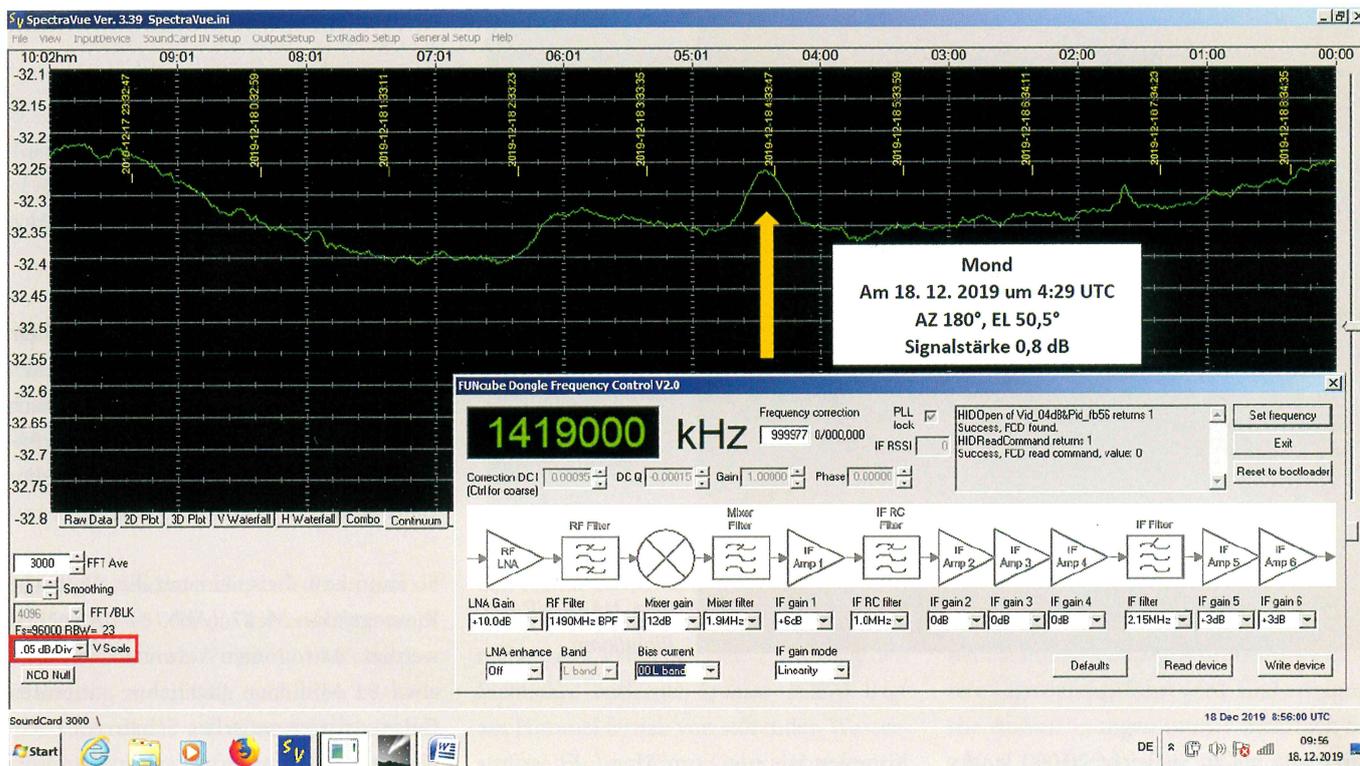
Eine Beobachtungskampagne wird jeweils über mehrere Tage ausgeführt. Dabei tauchen Beobachtungsobjekte täglich einmal in der Sichtlinie des Parabolspiegels auf. Durch die fortschreitende Bewegung der

Erde auf ihrer Bahn um die Sonne erscheinen kosmische Objekte somit täglich vier Minuten früher am selben Ort am Himmel. So können von Menschen verursachte Störungen, welche in der Regel von feststehenden Quellen ausgehen, sehr einfach in der Aufzeichnung identifiziert werden. Betrachten wir nun eine derartige Aufzeichnung etwas genauer.

Im April 2020 durchquerte die Sonne während einer Beobachtungskampagne die Sichtlinie der Antenne genau in der Mitte. Dabei konnte die nachstehende Aufzeichnung gewonnen werden. Die Abbildung 1 zeigt den Screenshot der Drift-Beobachtung über 10 Stunden. Dabei driftete nach etwa 3 Stunden Aufzeichnungszeit die Milchstraßenebene durch die Sichtlinie der Antenne und hinterließ eine winzige Beule in der Grundlinie. Später, nach weiteren 7 ½



1 Gesamtdarstellung des digitalen Backends der Empfangsanlage bestehend aus SpectraVue zur Aufzeichnung sowie das Controlpanel des FunCubeDongle (Bild: Freina)



## 2 Die Aufzeichnung einer Transitbeobachtung des Mondes am 18. Dezember 2019 (Bild: Freina)

Stunden, kam die Sonne ins Visier und hinterließ eine markante Kurve als sehr deutliche Signatur. Die Signalstärke der Sonne konnte mit 10,4 dB festgestellt werden, wohingegen die Milchstraßenebene hier mit nur ca. 0,25 dB in Erscheinung tritt. Da die Aufzeichnung bei einer Frequenz von 1419 MHz erfolgt, haben Wasserstoffemissionen aus Richtung der Milchstraße keinen Einfluss auf die Beobachtung. Um das starke Sonnensignal vollständig darstellen zu können, wurde die Unterteilung der vertikalen Achse links mit jeweils einem Dezibel pro Teiler gewählt.

Die Einheit Dezibel steht für eine logarithmische Betrachtungsweise von Zahlenwerten. Dabei entsprechen zum Beispiel 3 dB Signalzunahme einer Verdoppelung der Signalstärke, 10 dB entsprechen dem Zehnfachen eines Wertes, 20 dB entsprechen dem 100-fachen und 30 dB dem 1.000-fachen eines Wertes. So besitzt zum Beispiel der in dieser Empfangsanlage eingesetzte rauscharme Vorverstärker einen Verstärkungsfaktor von 33 dB, was einer 2.000-fachen Verstärkung des eingehenden Signals an der Antenne gleichkommt. Die Empfangsanlage selbst weist in der hier benutzten

Konfiguration eine Gesamtverstärkung von 88 dB auf.

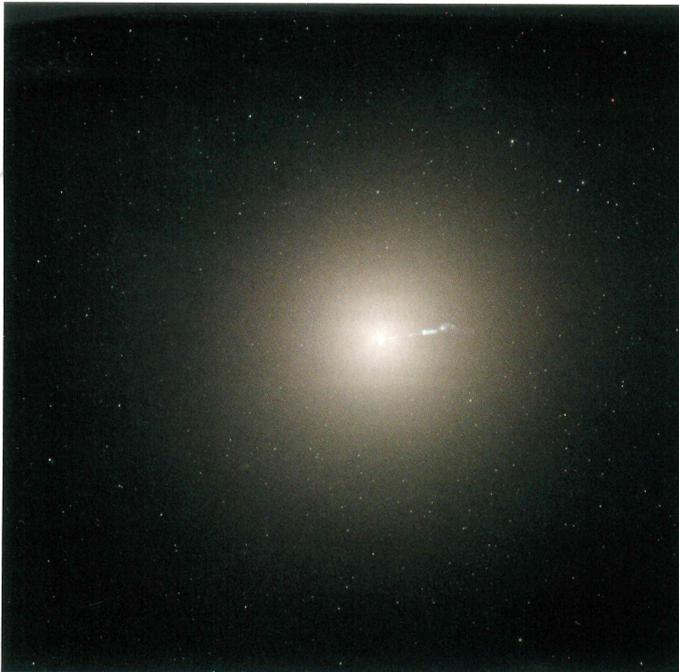
Bei den Profi-Radioastronomen wird der Strahlungsfluss in der Regel nicht in Dezibel angegeben. Dort wird mit linearen Skalen gearbeitet, um auch noch ganz feine Unterschiede im Strahlungsfluss sauber darstellen zu können.

Die Flussstärke der Sonne betrug zur Beobachtungszeit 67 SFU (Solar Flux Unit), also 670.000 Jansky. Die Milchstraße dagegen tritt mit nur gut 2.000 Jansky kaum in Erscheinung. Dieser erhebliche Unterschied in der Signalstärke verdeutlicht schon etwas die Größenordnungen, mit denen Radioastronomen arbeiten müssen. Allerdings stellt ein Radiofluss von 2.000 Jansky bei 1420 MHz für die Profi-Radioastronomen mit ihren großen Instrumenten noch immer eine blendend helle Radioquelle dar. Die allermeisten von den Profis beobachteten Quellen erreichen diesen Wert längst nicht. Der Mond zum Beispiel erreicht bei 1420 MHz gerade mal knapp die Hälfte, er bleibt somit unter 1.000 Jansky. Mit Taurus-A und Cassiopeia-A verhält es sich ähnlich.

Diese Objekte werden in der Regel im so genannten Kontinuum beobachtet. Viele der kosmischen Radioquellen emittieren ihre Strahlung über einen sehr großen Frequenzbereich. Der von diesen Quellen ausgehende Strahlungsfluss ist, wie bereits erwähnt, vielfach in der Fachliteratur für ausgewählte Frequenzen beschrieben.

Um die genannten Objekte tatsächlich gut beobachten zu können, sollte nicht genau auf der Frequenz der Linienstrahlung des atomaren Wasserstoffs gearbeitet werden, weil diese Quellen örtlich nahe an der Milchstraßenebene liegen. Auf 1420 MHz besteht die Gefahr, dass die Beobachtung durch Wasserstoffwolken, welche dann in der Sichtlinie des Teleskops liegen, verfälscht wird.

Kalter, atomarer Wasserstoff macht sich durch Radiostrahlung in einem schmalen Frequenzbereich, sogenannter Linienstrahlung, um 1420,405 MHz bemerkbar. Viele Wasserstoffansammlungen im kalten, interstellaren Raum weisen Temperaturen von bis zu 100 Kelvin und darüber auf. Damit „leuchten“ sie gegenüber wasserstofffreien Bereichen mit einer Fluss-



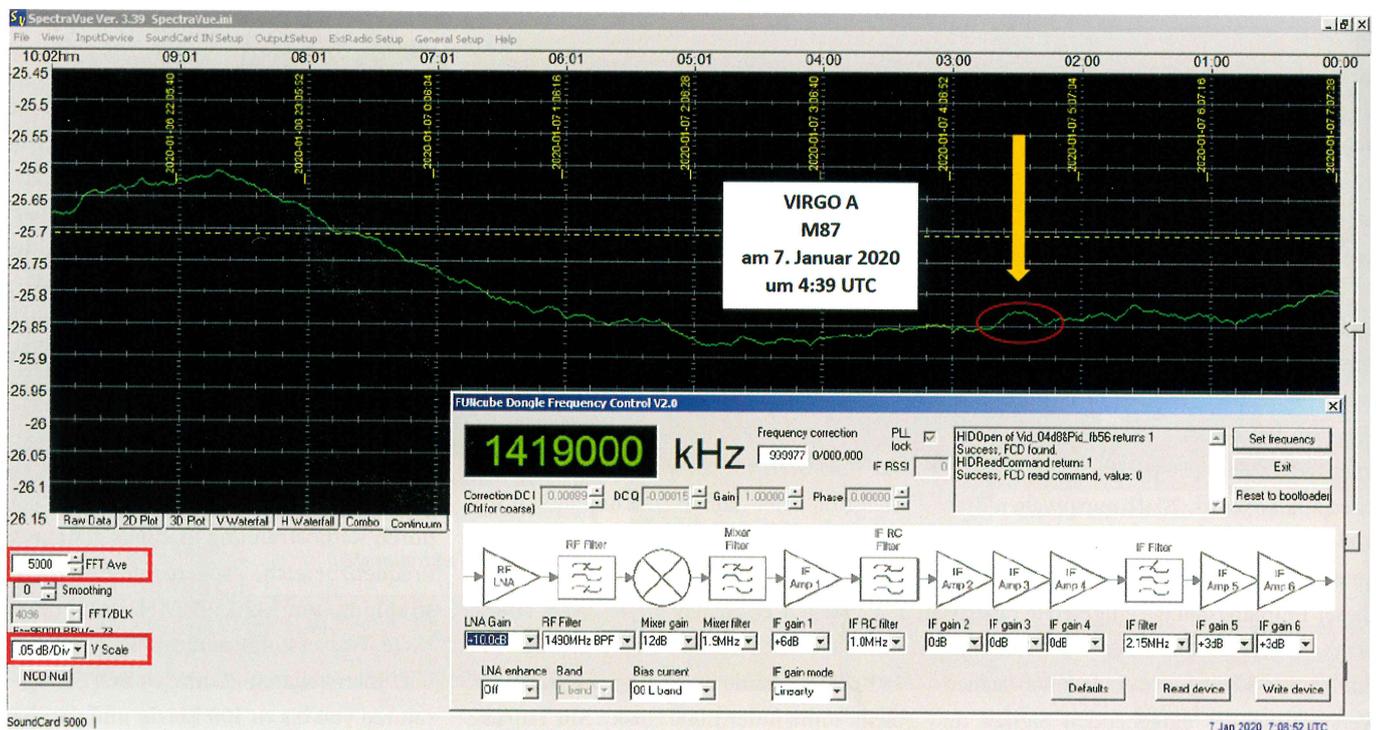
3 M 87, Credits: NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA); Acknowledgment: P. Cote (Herzberg Institute of Astrophysics) and E. Baltz (Stanford University), Bild gemeinfrei gem. NASA/NRAO-Richtlinien

stärke von bis zu vielleicht 20.000 Jansky und überstrahlen dadurch die schwächeren Signale der gesuchten Quellen vollständig. Deshalb werden Beobachtungen von so genannten Kontinuumsquellen besser nicht auf der Frequenz der Wasserstofflinie vorgenommen. Je nach Systemaufbau beobachtet man beispielsweise einige MHz neben 1420 MHz oder auf einer völlig anderen, ungestörten Frequenz.

Kommen wir nun zum Mond. Er ist immer eine Beobachtung wert, wandert er doch durch die Tierkreiszeichen. Dabei kann man einerseits nur den Mond selbst bei verschiedenen Beleuchtungsphasen beobachten oder andererseits Bedeckungen verschiedener radioastronomischer Objekte, wie zum Beispiel Taurus-A, aufzeichnen. Der Mond alleine ist mit etwa 950 Jy Flusstärke noch relativ gut zu erfassen. In

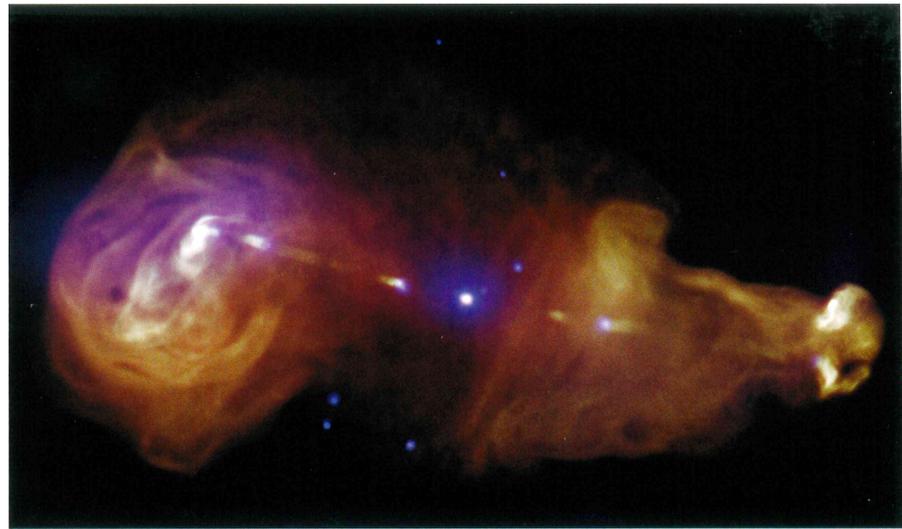
der Abbildung 2 ist ein Beispiel zu sehen. Weitere, sehr interessante Radioquellen versammeln sich bei Flusstärken deutlich unterhalb von 1.000 Jy. Hier kann man Supernova-Überreste, Emissionsnebel, Radiogalaxien und auch Quasare finden.

So kann zum Beispiel auch die elliptische Riesengalaxie M 87 (Abb. 3) beobachtet werden. Astronomen vermuten in dieser etwa 54 Millionen Lichtjahre entfernten Galaxie ein gigantisches Schwarzes Loch, welches die enorm starken Emissionsercheinungen erzeugt. Im sichtbaren Licht kann ein langgestrecktes Filament beobachtet werden, welches aus der Galaxie herausragt. Dieses Filament ist ebenfalls eine Quelle für starke Radiostrahlung. Mit einem Strahlungsfluss um 200 Jansky hinterlässt das Objekt bei der Beobachtung auf 1419 MHz mit einem 3-Meter-Spiegel eine Signatur mit gerade mal 0,025 dB Sig-



4 Die Radiosignatur von Virgo A (M 87), bei einer Transitaufzeichnung gewonnen, ist im Bild markiert (Bild: Freina)

5 3C353. Image Credit: X-ray: NASA/CXC/Tokyo Institute of Technology/J.Kataoka et al, Radio: NRAO/VLA, Bild gemeinfrei gem. NASA / NRAO-Richtlinien

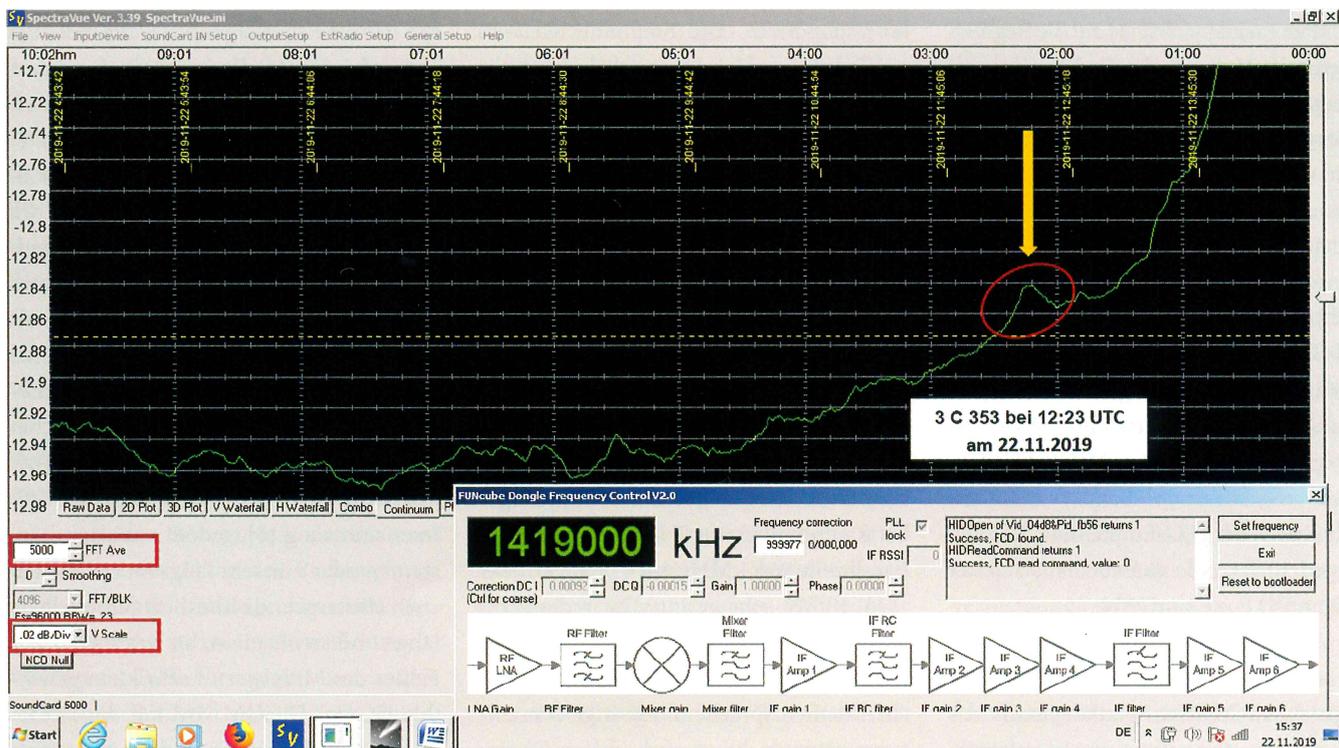


nalstärke. Das ist sehr nahe am Systemrauschen. Aus diesem Grund sind mehrere Beobachtungen nötig, um das Objekt sicher identifizieren zu können. Die Abbildung 4 zeigt eine erfolgreiche Beobachtung am 7. Januar 2020.

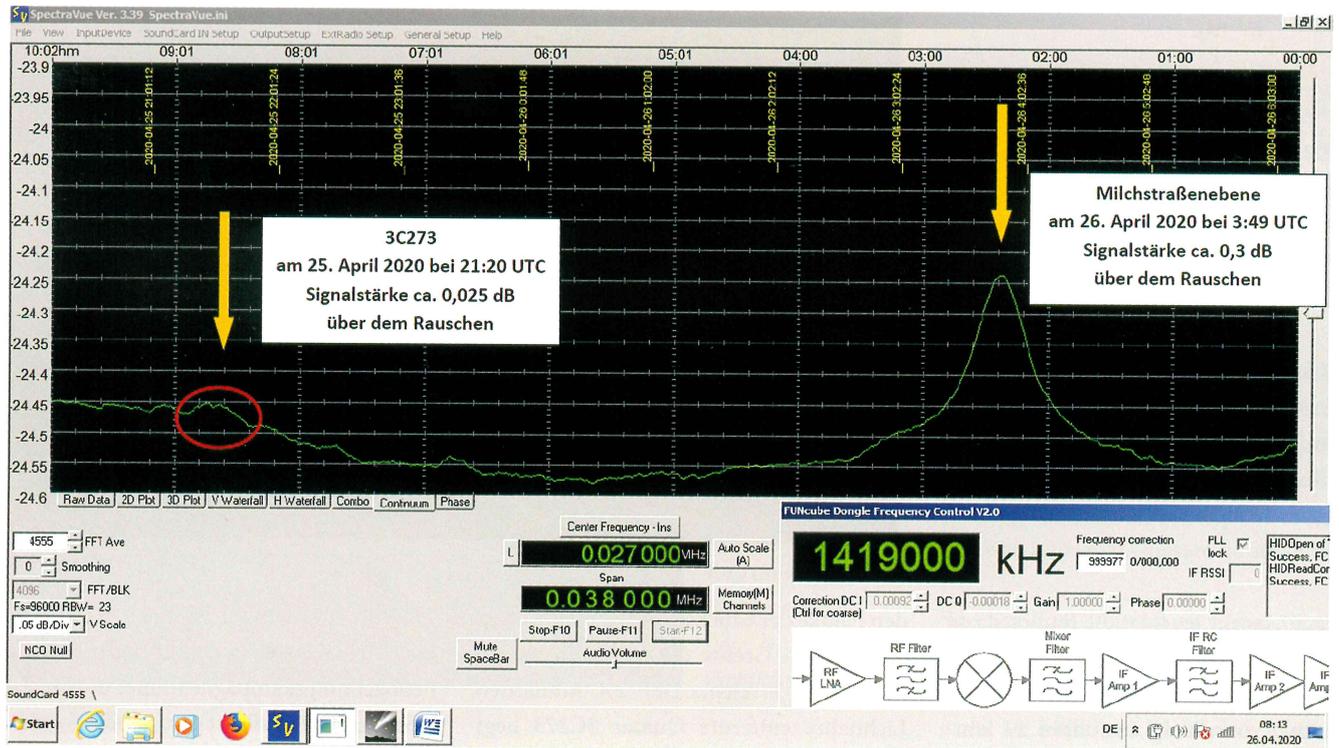
Mit ca. 57 Jansky leuchtet die Radiogalaxie 3C353 (Abb. 5) für ein kleines Instrument viel schwächer als Virgo A. Um eine Beobachtung zuverlässig ausführen zu können, sollte das Empfangssystem sehr stabil arbeiten. Zudem befindet sich die Quelle unmittelbar vor der Milchstraßenebene am Firmament. Viele von Amateuren betriebene Instrumente haben ein relativ großes Sichtfeld. Selbst ein 3-Meter-Spiegel mit ca. 4° Öffnungswinkel wird demnach die beiden Objekte nicht wirklich gut voneinander trennen können. Tatsächlich befindet sich die Signatur von 3C353 bei meiner Beobachtung (Abb. 6) schon auf der ansteigen-

den Flanke der Milchstraßensignatur. Aber damit ist die Grenze des Machbaren noch nicht ganz erreicht. Der 2,4 Milliarden Lichtjahre entfernte Quasar 3C273 liegt am Himmel fernab von störenden Wasserstoffwolken im Virgo-Galaxienhaufen im Sternbild Jungfrau. Das erfordert für eine Beobachtung (Abb. 7) mit einem kleinen Instrument einen kalten, ungestörten Radio-Hintergrund, was die zu erwartende Signatur besser aus dem Umgebungsrauschen hervortreten lässt. Die in der Literatur genannte Flussstärke von 47 Jy stellt so etwa die untere Grenze dessen dar, was mein Empfangssystem aktuell leisten kann.

Alle vorher genannten Beobachtungen stellen keine Einzelbeobachtungen dar. Da eine Beobachtungskampagne immer über mehrere Tage durchgeführt wird, sind erfolgreiche Aufzeichnungen immer mehrfach bestätigt. Beobachtungen, welche durch Störungen der Sonne beeinflusst wurden, sind zu einer anderen Jahreszeit in der Nacht wiederholt worden, um die Ergebnisse zuverlässig zu validieren. So gesehen ist nach meiner Meinung die Arbeit am Radioteleskop auch auf lange Sicht sehr spannend und abwechslungsreich.



6 Die Radiogalaxie 3C353 konnte mit einer Auflösung von 0,02 dB an der ansteigenden Flanke der Kontinuumsstrahlung aus der Milchstraßenebene abgebildet werden (Bild: Freina)



Literaturhinweis:

[1] Th. Freina, 2021: „Wie hell leuchten Radiosterne? - Teil 1“, VdS-Journal für Astronomie 77 (2/2021), S. 102-103

7 Transitaufzeichnung mit der Signatur des Quasars 3C273 und der Milchstraßenebene (Bild: Freina)

# Radioastronomie und die Nutzung der Radiowellen – Teil 2

von Axel Jessner

Nachdem im ersten Teil [1] auf die Regulierungen zur Nutzung des Radiospektrums eingegangen wurde, werden in diesem zweiten Teil die technische Schutzkriterien, Grenzwerte und die Zusammenarbeit von Radioastronomen und Regulierungsbehörden behandelt.

## Technische Schutzkriterien und Grenzwerte

Wie für die anderen Funkdienste auch, wurden alsbald Schutzkriterien und Störstrahlungsgrenzwerte für die der Radioastronomie zugewiesenen Bänder definiert. Diese sind in der ITU-Empfehlung RA. 769 [2] niedergelegt, die nun ebenfalls Teil der gültigen VO Funk sind (Abb. 1).

Hierbei gibt es einige Besonderheiten im Vergleich zu anderen Funkdiensten. Als Erstes fallen die extrem niedrigen Störgrenzwerte auf, die aber mit der extremen Empfindlichkeit der Empfangsanlagen

korrespondieren. Die Empfindlichkeit eines Empfängers wird wesentlich durch die Summe der Eigenrauschleistung und der Rauschleistung, die von der Antenne aus der Umgebung empfangen wird, bestimmt. Das Eigenrauschen ist dabei thermischer Natur und sehr breitbandig, wobei die Rauschleistung  $P$  durch

$$P = k \cdot T \cdot \Delta\nu$$

mit der Boltzmannkonstanten  $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$  J/K, der Temperatur der Rauschquelle  $T$  in Kelvin und der Bandbreite des Empfängers  $\Delta\nu$  gegeben ist. Diese Leistung ist bereits bei einem gedachten Empfänger bei Raumtemperatur  $T = 290$  K und einer Bandbreite von 1 MHz mit  $4 \cdot 10^{-15}$  W oder -144 dB(W) sehr gering. Die radioastronomischen Empfänger werden aber in der Regel auf ca. 10 – 20 K gekühlt und erreichen dementsprechend niedrige Rauschtemperaturen, die so auch in den Grenzwerten Eingang finden [2]. Dazu addiert sich allerdings noch die Rauschleistung

des Himmelshintergrundes, die von der Ionosphäre, den Emissionen des interstellaren Mediums und der 2,7-K-Hintergrundstrahlung verursacht wird [3, 4]. Der Nachthimmel der Radioastronomie ist also nicht schwarz, sondern als durchaus hell im Vergleich mit der Empfängerempfindlichkeit anzusehen - er überstrahlt auch die meisten Radioquellen, die spektrale Leistungsflussdichten von einigen Jy oder weniger haben. Trotzdem kann die Radioastronomie selbst Objekte, die schwächer als 1 mJy sind, noch deutlich messen. Dies geschieht durch eine radiometrische Differenzmessung [5], indem man den konstanten oder nur sehr langsam veränderlichen Hintergrund ohne die Radioquelle so lange und so oft misst, bis der statistische Fehler des Mittelwertes sehr klein geworden ist. Das Gleiche wird mit der Radioquelle gemacht und die beiden Messwerte werden danach subtrahiert, womit auch Änderungen, die nur kleinste Bruchteile