WIS wissenschaft in die schulen!

Solare Radioastronomie mit einfachen Mitteln

Radiowellen aus dem Kosmos zu empfangen ist heute für Amateurastronomen einfacher denn je: Der softwaregesteuerte Empfänger »FUNcube Dongle« lässt sich einerseits mit einer Satellitenantenne und andererseits dem USB-Anschluss eines PC verbinden. So entsteht ein einfaches Radioteleskop zur Beobachtung der Sonne – mit erstaunlichen Möglichkeiten.

Von Thomas Freina

Die meisten Amateurastronomen beobachten den Himmel im sichtbaren Licht, also im optischen Wellenlängenbereich. Hier ist bereits mit einfachen Teleskopen eine überwältigende Vielfalt von Objekten sichtbar – von den Planeten unseres Sonnensystems, die sich vor unserer kosmischen Haustür tummeln, bis hin zu unvorstellbar weit entfernten Galaxien. Dank inzwischen preiswert erhältlicher TV-Satellitentechnik ist dem Sternfreund heute ein weiteres Fenster zum Kosmos zugänglich: der Radiospektralbereich. Astronomische Beobachtungen sind bei diesen Wellenlängen bereits mit einer kleinen Satellitenantenne und einem so genannten SAT-Finder als einfaches Anzeigegerät möglich.

Praktische Anleitungen für den Aufbau eines solchen Radioteleskops kann jeder Interessierte im Internet recherchieren und nachlesen, beispielsweise auf der Website des Projekts »Wissenschaft in die Schulen!«. Hier wird beschrieben, wie sich mit einfachster Ausrüstung die Strahlung der stärksten Radioquelle an unserem Himmel – der Sonne – nachweisen lässt. Auch bei meinen eigenen Experimenten ging es um unser Tagesgestirn. Jedoch wollte ich nicht nur die Radiostrahlung der Sonne nachweisen, sondern auch herausfinden, wo diese Strahlung innerhalb der Sonnenatmosphäre entsteht.

Gemäß dem Strahlungsgesetz, das Max Planck vor mehr als 100 Jahren formulierte, sendet jeder Körper, der sich auf einer bestimmten Temperatur über dem absoluten Nullpunkt (–273 Grad Celsius) befindet, ein breites elektromagnetisches Strahlungsspektrum aus. Es weist ein Maximum auf, das nur von der Temperatur des Körpers abhängt. Auch ein großer Teil des von der Sonne ausgesandten Lichts folgt näherungsweise dem planckschen Strahlungsgesetz. Heute lässt sich die Sonne über einen breiten Spektralbereich hinweg beobachten – von den Radio- bis zu den Röntgenwellenlängen.

Wo entstehen die Radiowellen?

In umfangreichen wissenschaftlichen Studien enthüllten Radioastronomen die Zusammenhänge zwischen dem Entstehungsmechanismus der Strahlung, ihrem Entstehungsort sowie der dortigen Temperatur und Dichte. Die komplexe Radiostrahlung der Sonne entsteht in einem elektrisch geladenen heißen Gas – einem Plasma – in verschiedenen Bereichen der Sonnenatmosphäre, die sich oberhalb des sichtbaren Sonnenrands, der Photosphäre, befinden: Über der Photosphäre liegt die schmale Chromosphäre und darüber die ausgedehnte Korona, die bei totalen Sonnenfinsternissen als Strahlenkranz sichtbar ist (siehe SuW 2/2016, S. 26).

Bei relativ kleinen Radiowellenlängen, im Bereich einiger Zentimeter, gelangt hauptsächlich Strahlung aus der Chromosphäre und der unteren Korona zu uns. Bei größeren Wellenlängen tragen die darüber liegende mittlere und äußere Korona zur beobachteten Strahlung bei. Von der Chromosphäre bis zur Korona steigt die Temperatur des Plasmas steil an. Daher lässt sich durch eine besondere Art von Temperaturmessung – mit Hilfe eines Radioteleskops – bestimmen, welche Schicht der Sonnenatmosphäre die beobachtete Strahlung aussendet.

Allerdings trifft diese sehr einfache Annahme nur dann wirklich zu, wenn die Sonne vollkommen ruhig, also ohne störende Fleckenaktivität ist: Zwar sendet die ungestörte Sonne ein Rauschsignal aus, das von der Temperatur abhängt. Doch wenn Aktivitätsgebiete auf ihrer Oberfläche vorhanden sind, kann eine solche »thermische« Strahlung mit einer weiteren, »nichtthermischen« Strahlung vermischt sein. Sie entsteht durch elektrisch geladene Teilchen, die an magneti-

Thomas Freina

Mit der kleineren der beiden Satellitenantennen untersuchte Thomas Freina die Radiostrahlung der Sonne. Ihr Durchmesser beträgt 180 Zentimeter. Als Empfänger kam ein »FUNcube Dongle Pro« zum Einsatz (links). Er unterscheidet sich äußerlich kaum von einem USB-Speicherstick und lässt sich in gleicher Weise an ein Notebook anschließen. Über einen Koaxialanschluss erhält er das von der Antenne kommende Radiosignal.

Im Überblick: Der FUNcube Dongle

Für alle, die in die Radioastronomie einsteigen möchten, jedoch über keine tieferen Elektronikkenntnisse verfügen, bietet der FUNcube Dongle (FCD) eine interessante Option. Dieser softwarekontrollierte Radioempfänger besitzt zwei Anschlüsse: Auf der einen Seite lässt er sich wie ein USB-Speicherstick mit einem PC oder Notebook verbinden. Auf der anderen Seite wird er über ein Koaxialkabel mit dem LNB einer Satellitenantenne verbunden. Zusammen mit einer geeigneten Spannungsversorgung für den LNB entsteht so ein einfaches Radioteleskop.

In der aktuellen Version ist der FCD unter der Bezeichnung »FUNcube SDR USB Dongle Pro plus« erhältlich. Im Unterschied zu dem im vorliegenden Beitrag besprochenen »FUNcube Dongle Pro« verfügt die neue Version über einen erweiterten Frequenzbereich und bessere Filter.

- **Systemvoraussetzungen:**
  Betriebssysteme: Windows 2000 SP4, Windows XP, Windows Vista und Windows 7 (32 und 64 Bit)
  Hardware: Standard-Kommunikationsanschluss: USB 2.0
- **Eigenschaften:**
  Empfangsbereich: 150 Kilohertz bis 1900 Megahertz
  Bandbreite: 80 Kilohertz
  Abtastrate: 96 Kilohertz
  Empfindlichkeit: 0,15 Mikrovolt bei Wellenlängen von 2 Metern und 70 Zentimetern
  Eingebauter Vorverstärker: maximal +20 Dezibel
  Abmessungen: 86 × 23 × 14 mm (ohne USB-Anschluss)
  Anschlüsse: Empfangsseitig: 3,5-Millimeter-SMA-Buchse, rechnerseitig: USB 2.0
- **Weitere Informationen:**
  Der »FUNcube SDR USB Dongle Pro plus« eignet sich für erfahrene PC-Nutzer, die über Englischkenntnisse verfügen. Detaillierte Anleitungen für den Betrieb, insbesondere in Verbindung mit der Auswertungssoftware SpectraVue (www.moetronix.com), finden sich unter www.funcubedongle.com. Hier steht auch die zur Steuerung benötigte Firmware bereit. Der Empfänger ist im deutschen Elektronikfachhandel zum Preis von rund 200 Euro erhältlich.

schen Feldlinien abgelenkt werden. Daher weisen Sonnenflecken mit ihren starken Magnetfeldern eine ganz eigene Strahlungsdynamik auf und tragen dadurch zur Gesamtheit der solaren Radiostrahlung bei. Dies musste ich bei meinen Radiobeobachtungen berücksichtigen.

Einstieg mit dem FUNcube Dongle

Wie erhalte ich nun verlässliche Messwerte, die es mir ermöglichen, die Temperatur derjenigen Schicht zu ermitteln, in der die beobachtete Radiostrahlung ensteht? Ein alter TV-Satellitenempfänger taugt hierfür sicher nicht, denn er ist für die Ausgabe von Fernsehbildern optimiert. Solare Radiostrahlung besteht aber nur aus starkem Rauschen, das im Lautsprecher genauso klingt wie das Rauschen zwischen den Rundfunksendern am alten UKW-Radio.

Für meine Messungen nutze ich ein einfaches, selbst gebautes Radioteleskop, das sich auch ohne tiefere Kenntnisse der Elektronik oder Radioempfangstechnik realisieren lässt. Es besteht aus einer TV-Satellitenantenne und einem kleinen Empfänger, der unter der Bezeichnung »FUNcube Dongle« (FCD) am Elektronikmarkt erhältlich ist. Dieser extrem kompakte Digitalempfänger sieht aus wie ein USB-Speicherstick und lässt sich in gleicher Weise auch an einen Computer anschließen (siehe Bild S. 70 unten). Er wurde in Großbritannien von der AMSAT-Cooperation als Empfangsteil für die Minisatelliten des Projekts CubeSat konstruiert. Der FCD ist ein »software-definierter« Empfänger (englisch: Software Defined Receiver, SDR).

Die Stärke des FCD liegt in seiner einfachen Handhabung: Er lässt sich direkt an die USB-Buchse eines PCs oder eines Notebooks anschließen und mit einer Steuersoftware betreiben. Der einzige weitere Anschluss am FCD wird mit einem Koaxialkabel verbunden, welches ihm das von der Antenne empfangene Radiosignal zuführt. Mittels eines Softwaretools, das die britische AMSAT-Cooperation kostenlos im Internet bereitstellt, wird der FCD gesteuert. Auf dem Bildschirm eines PCs lässt sich dann die Intensität der von der Sonne empfangenen Radiowellen mittels eines Auswertungsprogramms als Kurve darstellen.

Mit dem FCD und einer Satellitenantenne sollte es also möglich sein, die Radiostrahlung der Sonne, deren sichtbare Scheibe am Himmel immerhin gut ein halbes Grad Durchmesser hat, auszumessen. Hierfür nutze ich die beschriebene ausgediente TV-Satellitenschüssel mit einem Durchmesser von 180 Zentimetern und dem dazugehörigem Sat-Empfangsteil, dem »Low Noise Block« (LNB) im Primärfokus. Er empfängt Radiostrahlung mit Wellenlängen von rund drei Zentimetern, was einer Frequenz von rund elf Gigahertz (GHz) entspricht. Das Empfangsfrequenzband wird von LNB auf ein Zwischenfrequenzband von 950 bis 2150 Megahertz (MHz) umgesetzt. Zum Glück überdeckt der Empfangsbereich des FCD zu einem großen Teil auch denjenigen Frequenzbereich, den der LNB meiner alten TV-Satellitenanlage ausgibt: 64 bis 1700 Megahertz. Es genügt daher, den FCD einfach mit einer im Elektronikmarkt erhältlichen Auskoppelweiche an das Satellitenkabel, das zum LNB führt, anzuschließen.

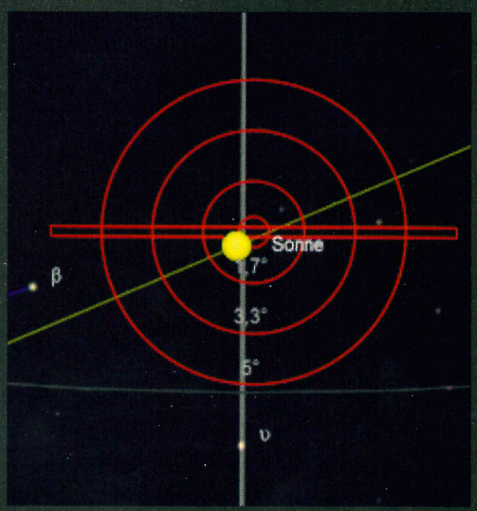
Nun ist am FCD eine Empfangsfrequenz einzustellen, die nicht durch einen Fernsehkanal belegt ist. Bei mir waren das beispielsweise die Frequenzen um 1010, 1320 und 1420 Megahertz.

Das vom LNB empfangene und aufbereitete Signal gelangt über ein passendes TV-Satellitenkabel zu einem ausgemusterten Analog-Satellitenempfänger. Dieser ist jedoch in meiner Anlage keineswegs für die Signalverarbeitung vorgesehen – er soll lediglich den LNB mit der erforderlichen Betriebsspannung versorgen. Diese Spannung gelangt nun über einen Signalteiler (englisch: Splitter) zur Antenne (siehe Bild S. 70 unten). Alternativ dazu lässt sich auch ein stabilisiertes 14-Volt-Gleichspannungsnetzteil zusammen mit einem TV-Kabelsplitter einsetzen, der an einem Anschluss die Gleichspannung aussperrt und nur das interessierende Nutzsignal an den FCD weitergibt.

Die Parabolantenne befindet sich auf einem 120 Zentimeter langen Metallrohr. Es besitzt einen Durchmesser von 80 Millimetern und ist in einem Fundament aus Steinen verankert. Die Halterung für das gesamte Antennensystem ist so aufgebaut, dass sich der Reflektor sowohl horizontal als auch vertikal über einen Bereich von jeweils rund 90 Grad ausrichten lässt – per Handbetrieb, versteht sich. Natürlich kann die Antenne jede so eingestellte Position auch dauerhaft im Blick behalten. Das zu beobachtende Objekt durchläuft dann das Blickfeld der Antenne, und das dabei empfangene Radiosignal wird aufgezeichnet (siehe Bild unten).

Letzte Vorbereitungen

An meinem Standort habe ich in nahezu jeder Position oberhalb von 30 Grad über dem Horizont eine freie Sicht zum Himmel. Dies ist erwähnenswert, da alle in der Sichtlinie befindlichen Gebäudeteile,



SuW-Grafik / Thomas Freina / Cartes du Ciel

Während einer Messung wandert die Sonne durch das Blickfeld (Antennenkeule) der Antenne. Die mit »Cartes du Ciel« erzeugte Grafik rechts stellt den Querschnitt der Antennenkeule durch Kreise dar. Der horizontale Balken markiert den geplanten Weg, den die Sonne durch die Keule nehmen sollte. Der hier sichtbare Fehler in der Ausrichtung der Antenne ist klein im Vergleich zur Keulenbreite und daher vernachlässigbar.

Bäume oder Sträucher den Empfang der schwachen kosmischen Radiostrahlung empfindlich stören. Die Bahn der Sonne am Himmel und ihr Lauf durch das Blickfeld der Antenne lassen sich mit einem Planetariumsprogramm, beispielsweise mit der kostenfreien Software »Cartes du Ciel«, gut veranschaulichen (siehe Bild S. 68 unten). Zur Darstellung der Signalintensität am Bildschirm wird eine Software benötigt. Ich entschied mich für »SpectraVue«, weil Funkamateure dieses Programm für solche Messungen empfehlen.

Damit war mein Radioteleskop komplett: Ich hatte die alte Satellitenschüssel samt LNB via Koaxialkabel mit dem ausgedienten analogen Satellitenempfänger verbunden, der hier nur als Spannungsversorger dient. Aus dem Speisekabel wird das Empfangssignal mit einem Splitter, der den Gleichspannungsanteil unterdrückt, ausgekoppelt und auf den Antenneneingang des FCD gegeben, der seinerseits an einem Notebook angeschlossen ist. Hier befinden sich die Programme zur Steuerung des FCD und zum Anzeigen der Stärke des Empfangssignals. Nun ließ sich das Sonnenrauschen sehr gut empfangen und aufzeichnen.

»First light« von der Radiosonne

Mein Ziel ist es, der gemessenen Radiostrahlung eine Temperatur zuzuordnen und daraus auf ihr Entstehungsgebiet zu schließen. Hierfür muss ich einen Vergleich zwischen dem »kalten Himmel«, der sehr wenig Radiostrahlung aussendet, und der »heißen« Sonne mit ihrer intensiven Radiostrahlung durchführen.

An einem sonnigen Tag mache ich mich auf, meine experimentelle Anlage zu testen. Nach dem Einschalten und der Frequenzeinstellung am FCD rauscht es leise aus den Lautsprechern des Notebooks. Das ist in Ordnung so, weil nicht nur die Sonne, sondern auch das gesamte Empfangssystem selbst ein Rauschen erzeugt. Die Kunst in der Radioastronomie ist es, dieses Eigenrauschen so gering wie möglich zu halten, um auch noch sehr schwache Signale aus großer Entfernung aufnehmen zu können. Die empfangenen Rauschsignale berichten uns viel über die Eigenschaften der Quelle, von der sie ausgehen. Genau dies möchte ich mir später zu Nutze machen. Doch bis dahin sind noch einige Vorbereitungen zu treffen.

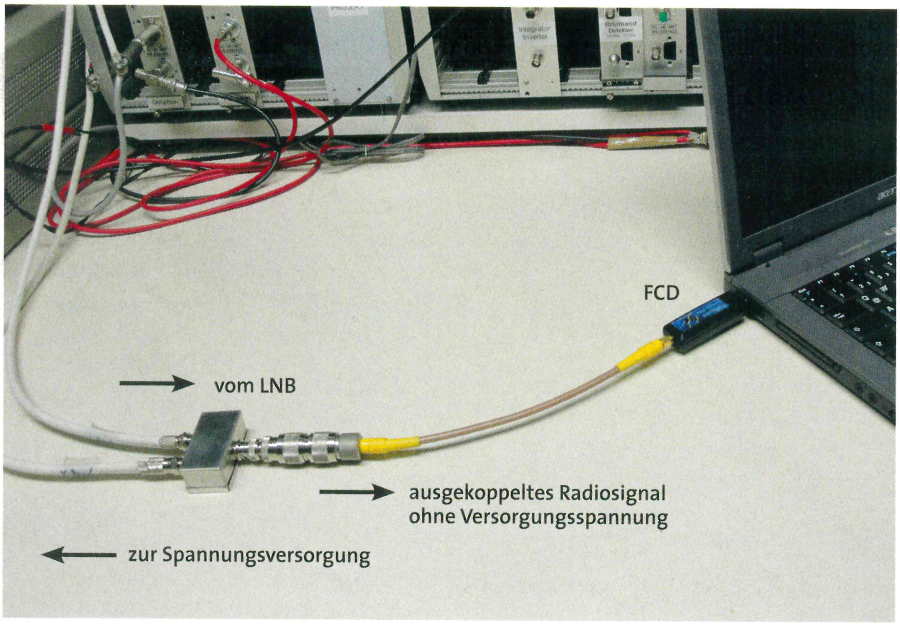
Neben der Hardware muss auch die Software für den FCD und SpectraVue für die Auswertung auf dem Notebook für das Experiment bereit sein. Die für den Start nötigen Schritte lassen sich den Benutzeroberflächen der Programme entnehmen und sind in den jeweiligen Anleitungen der Softwarepakete genau beschrieben. Ist das gesamte Experiment betriebsbereit, ertönt aus dem Lautsprecher das erwartete Rauschen. Sogleich beginnt SpectraVue damit, die Signalintensität über einer Zeitachse darzustellen: Auf dem Bildschirm meines Notebooks entsteht eine zittrige Kurve.

Nun richte ich die Satellitenantenne direkt auf die Sonne aus. Der Schlagschatten, den die LNB-Halterung im Primärfokus auf die Schüssel wirft, liegt dabei genau in der Mitte des Parabolreflektors. Das Rauschen nimmt zu und lässt sich nun deutlicher aus den Lautsprechern vernehmen als zuvor. Dementsprechend steigt die auf dem Bildschirm dargestellte Linie deutlich an (siehe Kasten rechts, oberes Bild). Diese Beobachtung war sehr einfach, und das Ergebnis war vorhersehbar – denn die Sonne ist der stärkste Radiostrahler an unserem Himmel. Sie erzeugt auch in einem einfachen Empfangssystem ein gut erkennbares Signal.

Einfache quantitative Messungen

Als nächstes soll das Radioteleskop einen halben Sonnendurchgang durch die Antennenkeule aufzeichnen (siehe Kasten rechts, Mitte). Hierfür richte ich die Antenne so aus, dass sich die Sonne mittig im Blickfeld der Antenne befindet. Wiederum fällt der Schatten des LNB anfangs in die Mitte des Parabolreflektors. Die Erddrehung sorgt nun für eine fortschreitende Bewegung der Sonne durch das Blickfeld der Antenne, ausgehend vom Maximum der Sonnenstrahlung bis hin zu einem Punkt, an dem die Sonne das Blickfeld der Antenne vollständig passiert hat.

Während ich den Bildschirm beobachte, zeichnet SpectraVue allmählich den Kurvenverlauf auf. Er stellt die abnehmende Strahlungsintensität in Abhängigkeit von der Zeit dar. Ihren Höhepunkt erreichte die Kurve, als die Sonne senkrecht in die Schüssel hineinschien. Die dabei gemessene maximale Strahlungsintensität liegt etwa neuneinhalb Teilstriche über der Grundlinie. Das aus alter TV-Satellitentechnik aufgebaute Radioteleskop ist somit in der Lage, solare Radiostrahlung nicht nur qualitativ nachzuweisen, sondern auch quantitativ messbar darzustellen – ein gutes Ergebnis.

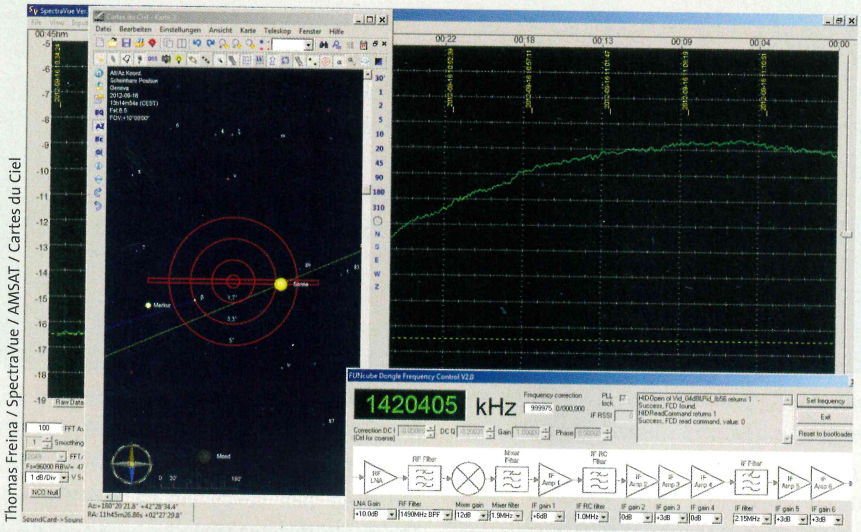


Thomas Freina

Am Beobachtungsplatz befinden sich ein Notebook, der FUNcube Dongle (FCD) und ein TV-Signalsplitter mit seinen drei Anschlüssen. Der Splitter koppelt das vom LNB der Satellitenantenne kommende Radiosignal aus dem TV-Koaxialkabel aus und führt es gleichspannungsfrei dem FUNcube Dongle zu. Dieser ist über einen USB-Port mit dem Notebook verbunden, auf dem die Software SpectraVue die grafische Darstellung und Auswertung des Signals ermöglicht.

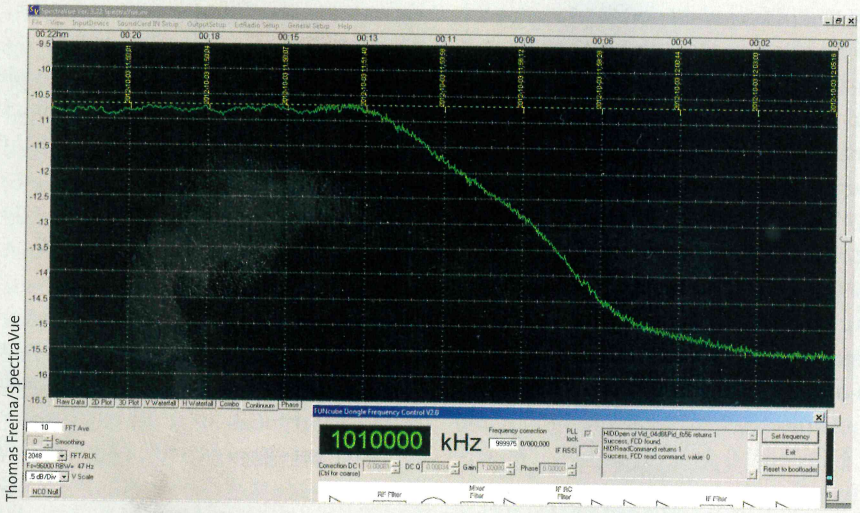
Erste Experimente mit dem Radioteleskop

Durch einfache Versuche überprüfte Thomas Freina die richtige Funktionsweise seines Radioteleskops. Bei allen drei Messungen blieb die Satellitenantenne während der Aufzeichnung fest ausgerichtet: Die Sonne wanderte infolge der Erddrehung durch das Blickfeld der Antenne. Dabei zeichnete die Software SpectraVue den zeitlichen Verlauf des vom FUNCube Dongle registrierten Radiosignals auf und stellte ihn als Kurve dar. Im ersten Versuch (Bild oben) driftet die Sonne durch den zentralen Teil des Blickfelds der Antenne, im zweiten Versuch driftet sie vom Zentrum zum Rand (Bild Mitte). Der dritte Versuch besteht darin, die Sonne mehrfach das gesamte Blickfeld der Antenne durchqueren zu lassen. Hierbei entstehen charakteristische Glockenkurven (Bild unten). In allen drei Versuchen verhalten sich die Signalverläufe wie erwartet.



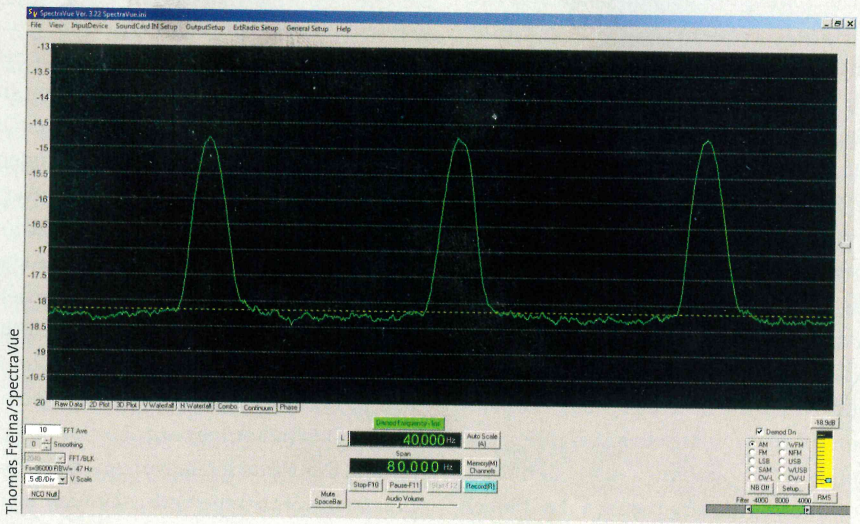
Thomas Freina / SpectraVue / AMSAT / Cartes du Ciel

Der Screenshot zeigt links den mit der Planetariumssoftware Cartes du Ciel veranschaulichten Durchgang der Sonne durch das Blickfeld des Radioteleskops (rote Kreise). Das hierbei registrierte Signal verrät sich in SpectraVue durch eine ansteigende grüne Kurve (rechts). Rechts unten befindet sich das Fenster, mit dem sich der FunCube Dongle steuern lässt. Angezeigt ist eine »Zwischenfrequenz« von rund 1420 Megahertz, auf welcher der LNB das bei elf Gigahertz empfangene Signal an den FunCube Dongle weitergibt.



Thomas Freina/SpectraVue

Diese Aufzeichnung mit der Software SpectraVue spiegelt links zuerst die Suche nach dem Maximum des Sonnensignals wider. Ab der vierten Spalte zeichnete das System selbstständig den Sonnendurchgang auf – ausgehend von einer festen Position der Antenne, ohne Nachführung. Während die Sonne langsam aus dem Blickfeld der Antenne herauswanderte, nahm die Signalstärke ab. Die gesamte Aufzeichnung erstreckte sich über 22 Minuten.



Thomas Freina/SpectraVue

Mehrmals driftete die Sonne durch das gesamte Blickfeld des Radioteleskops. Zwischen den einzelnen Durchgängen wurde das Teleskop jeweils um einige Grad zurückgedreht, so dass die Sonne die Antennenkeule erneut durchquerte. Ein einzelner Durchgang dauerte rund 20 Minuten.

Mit der Aufzeichnung der Strahlungsintensität über eine Zeitachse lässt sich die folgende einfache Überlegung durchführen: Wenn das Auflösungsvermögen der Parabolantenne fünf Grad beträgt, wie lange ist dann die Sonne während eines Durchgangs in der Grafik sichtbar? Infolge der Erddrehung bewegt sich die Sonne am Himmel innerhalb von vier Minuten um ein Grad weiter. Um ein Feld von fünf Grad zu durchlaufen, benötigt sie daher 4 Minuten/Grad × 5 Grad = 20 Minuten. Dabei ensteht eine charakteristische Glockenkurve. Der zeitliche Abstand von ihrem Maximum bis zu dem Punkt, an dem die Kurve wieder auf das ursprüngliche Niveau gesunken ist, sollte demnach etwa zehn Minuten betragen. Stimmt das, so wurde ordentlich gearbeitet, gut beobachtet und sauber gemessen. Tatsächlich lässt sich der erwartete Wert anhand einer dreimaligen Aufzeichnung bestätigen (siehe Kasten S. 71, unteres Bild).

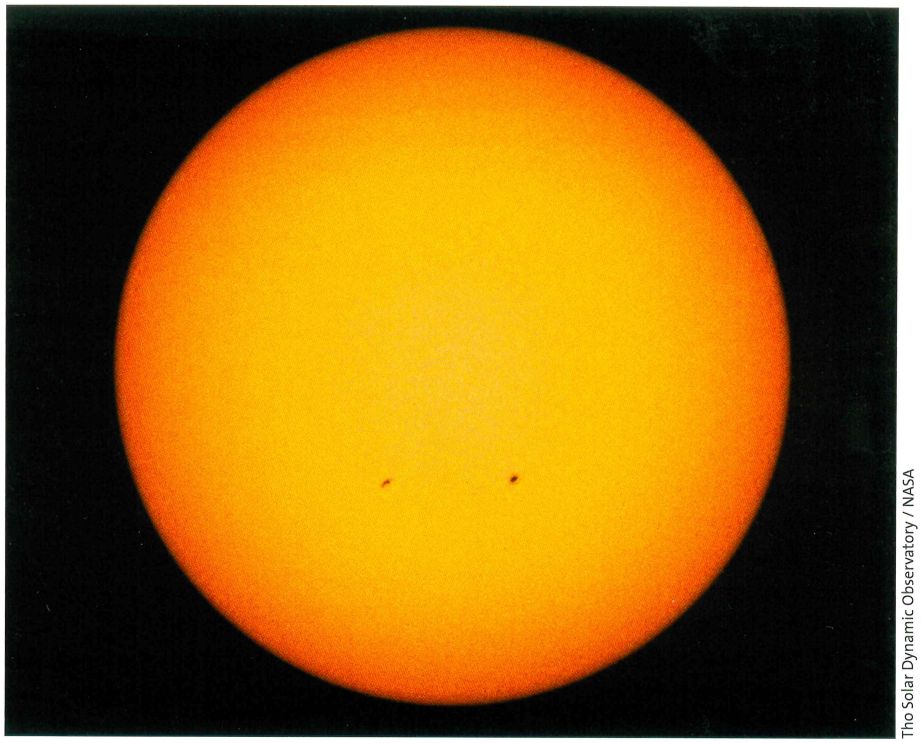
Der nächste Schritt – das Ermitteln der Quellentemperatur – ist schon komplizierter und erfordert einige mathematische Betrachtungen. Deshalb schildere ich hier nur das Prinzip und stelle die Formeln zu den Berechnungen als Kalkulationstabelle auf meiner Website www.dg2neu.de zur Verfügung. Jeder Interessierte kann darauf zurückgreifen und eigene Erfahrungen sammeln.

Die Temperatur der Sonne messen

Zunächst ist es wichtig, alle physikalischen Parameter der Empfangsanlage möglichst genau zu kennen – in Zahlenwerten versteht sich, damit wir rechnen können. Daher wandte ich mich an den Hersteller meiner Satellitenanlage, um die technischen Daten für das alte Speisesystem zu erhalten. Weiterhin werden einige Formeln benötigt, die den Anstieg der Signalintensität beim Sonnendurchgang in eine fiktive Temperatur überführen, die so genannte Antennentemperatur. Über eine einfache Beziehung zwischen dem Raumwinkel, der dem Auflösungsvermögen der Parabolantenne entspricht, und dem scheinbaren Durchmesser der Sonnenscheibe lässt sich aus der Antennentemperatur die tatsächliche Temperatur einer thermischen Strahlungsquelle ermitteln. Der gemessenen Signalintensität entspricht eine Antennentemperatur von rund 870 Kelvin. Hieraus berechnete ich eine Quellentemperatur von 11 430 Kelvin. Um sicher zu sein, hierbei keine allzu großen Fehler gemacht zu haben, berechnete ich die Quellentemperatur zusätzlich auf eine andere Weise.

Vielen Sonnenbeobachtern ist der »solare Radioflussindex« (englisch: Solar Radio Flux) vertraut – ein regelmäßig von der US-amerikanischen National Oceanic und Atmospheric Administartion (NOAA) veröffentlichter Messwert. Er wird mehrmals täglich bei einer Wellenlänge von 10,7 Zentimetern gemessen und im Internet veröffentlicht. Der Radiofluss wird in der Einheit SFU (Solar Flux Unit) angegeben. Es gilt: 1 SFU = 10^{-22} Watt pro Quadratmeter pro Hertz. Er hängt eng mit der im optischen Spektralbereich ermittelten Sonnenfleckenrelativzahl zusammen und ist daher ein Maß für die aktuelle Sonnenaktivität.

Die Standardwellenlänge von 10,7 Zentimetern ist rund drei Mal so lang wie diejenige, bei der ich beobachte. Somit lassen sich Messungen nicht unmittelbar vergleichen, denn der Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Strahlungsfluss der Sonne ist nichtlinear. Zum Glück gibt es aber weltweit einige Funkamateure, die sich auch der Radioastronomie verschrieben haben. Ein Kollege in Australien unterzog sich der Mühe, aus den solaren Radioflüssen, die das NOAA regulär für neun verschiedene Frequenzen ermittelt, über ein mathematisches Verfahren, eine »Spline-Interpolation«, die SFU-Werte für Amateurfunkfrequenzen zu berechnen. Mit diesem Verfahren erhielt er den gesuchten Wert für die interessierende Wellenlänge von drei Zentimetern durch Interpolation zwischen den von der NOAA veröffentlichten Werten für 8 und 15 Gigahertz, was Wellenlängen von 3,75 beziehungsweise 2 Zentimetern entspricht.



Tho Solar Dynamic Observatory / NASA

Zum Zeitpunkt der Radiobeobachtung, am 16. September 2012 um 13 Uhr MESZ, zeigten sich auf der Sonne nur wenige kleine Fleckengruppen.

Ein Blick in die Chromosphäre

Nach der hier geschilderten Methode wird übrigens auch der offizielle tagesaktuelle Wert für 10,4 Gigahertz ermittelt. Das australische Bureau of Meteorology stellt die Daten auf seiner Website unter www.sws.bom.gov.au/Solar/3/4/2 bereit. Für den Tag meiner Beobachtung, den 16. September 2012, betrug der veröffentlichte Wert 310. Diesen für das Elf-Gigahertz-Band in guter Näherung gültigen Wert benutze ich nun, um mittels weniger Berechnungen noch einmal, aber auf einem anderen Weg, die Quellentemperatur der solaren Radiostrahlung zu berechnen – und siehe da: Die Messung und die Berechnung ergeben Temperaturen um die 11 500 Kelvin. Dieser Wert passt nun auch zur entsprechenden Literaturangabe von 13 160 Kelvin für die Quellentemperatur der Sonne bei 11 GHz. Der Unterschied von gut 1650 Kelvin ist auf elektrische Verluste in meinem alten Empfangssystem zurückzuführen.

Entsprechend der ermittelten Temperatur befindet sich die Quellschicht in der Chromosphäre der Sonne.

Störungen durch Sonnenflecken konnte ich nicht berücksichtigen (siehe Bild links). Um genauere Messwerte zu erhalten und die Systemparameter exakt bestimmen zu können, wäre es möglich, nicht die aktive »unruhige« Sonne, sondern zunächst eine andere kosmische Radioquelle mit genau bekannter Flussdichte zur Kalibrierung des Empfangssystems heranzuziehen. Dies führt unweigerlich zu einem erhöhten Aufwand, beispielsweise bei der exakten Ausrichtung des LNB zum Reflektor. Zudem wäre ein verbessertes Empfangssystem mit weniger Verlusten erforderlich – aber diese Herausforderungen lassen sich meistern.

Auch kleine Antennen eignen sich

Vielleicht möchten auch Sie einmal versuchen, die Radiostrahlung der Sonne mit einer selbstgebauten Empfangsanlage zu untersuchen. Gerne unterstütze ich Sie bei der Ermittlung der Parameter des Empfangssystems. Für meine Beobachtungen stand mir eine Parabolantenne mit immerhin 180 Zentimeter Durchmesser zur Verfügung – aber auch mit deutlich kleineren Spiegeln von 60 und 80 Zentimeter Durchmesser lassen sich spannende Versuche durchführen. Zwar ist die Richtwirkung dieser Antennen bei gleicher Empfangswellenlänge geringer; sie empfangen aber noch immer eine ausreichend hohe Leistung, um sinnvolle Messungen an der Sonne zu ermöglichen.

Wie beschrieben, lässt sich unter Zuhilfenahme eines einfachen TV-Signalsplitters aus dem Elektronikfachhandel, der in der Antennenleitung zwischen LNB und Empfänger angebracht wird, ein Teil des von der Antenne empfangenen Signals auskoppeln und dem FCD zur weiteren Verarbeitung zuführen. Eine Anforderung an den Splitter ist jedoch unverzichtbar: Der Leitungszweig, der zum FCD führt, muss die Betriebsspannung des LNBs wirksam blockieren. Geschieht dies nicht, so wird der FCD durch die Gleichspannung am Antenneneingang sofort zerstört. Zu beachten ist bei dieser einfachen Konfiguration, dass quantitative Messungen nicht ohne Weiteres möglich sind: Erstens teilt der Splitter die empfangene Strahlungsleistung auf die beiden Signalzweige auf, was nur nachrangig zu behandeln ist. Zweitens gibt es eine grobe Fehlanpassung zwischen dem Antennensystem (75 Ohm Wellenwiderstand) und dem FUNcube Dongle (50 Ohm Wellenwiderstand), was bei detaillierten Berechnungen zu berücksichtigen wäre.

Um erste qualitative Aussagen über das empfangene Signal zu treffen, genügt es jedoch, mit SpectraVue in der Betriebsart »Kontinuum« zu arbeiten. Damit lassen sich sehr schön Durchgänge der Sonne verfolgen. Mit Langzeitaufzeichnungen können Sie nun auch versuchen, anderen Radioquellen am Himmel, beispielsweise dem Milchstraßensystem, auf die Spur zu kommen. Hierfür gibt es viele Möglichkeiten, und die Arbeit mit dem FUNcube Dongle ist sehr spannend.

THOMAS FREINA ist Funkamateur und betreibt in Marktredwitz im Fichtelgebirge eine radioastronomische Empfangsanlage. Unter www.dg2neu.de schildert er seine Erfahrungen und aktuellen Ergebnisse.

Literaturhinweise

Benz, A.: Radio Emission of the Quiet Sun. In: Trümper, J. E. (Hg.): Solar System. Landolt-Börnstein New Series VI/4B, S. 103 – 115, Springer, Heidelberg 2009

Freina, Th.: Radioastronomie mit dem FUNcube-Dongle. In: Funkamateur 6/2013, S. 610 – 613

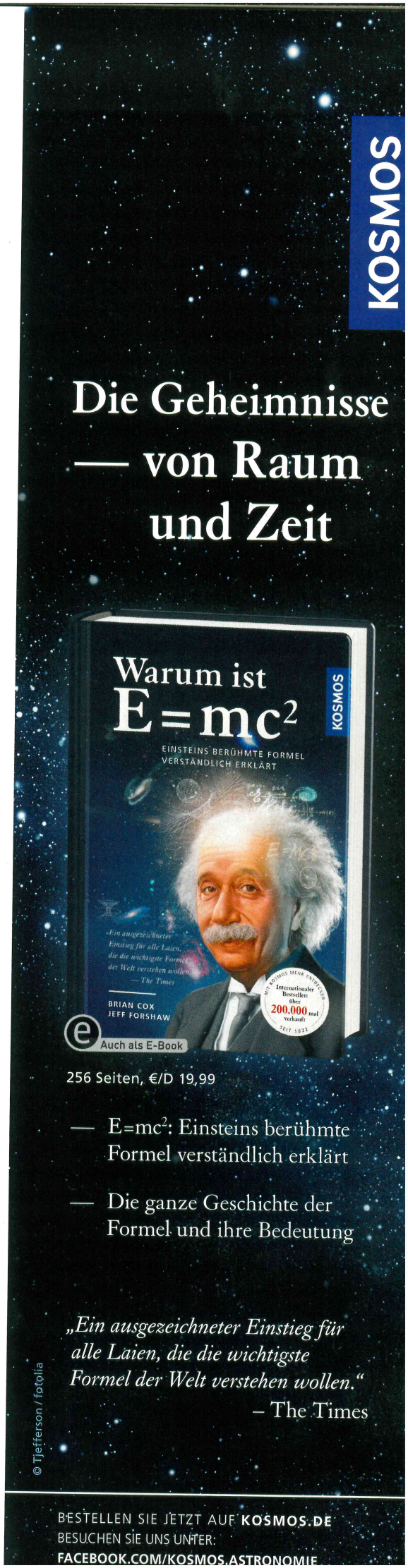
Fritzsche, B. et al.: Ein kompaktes Radioteleskop für Schulen. In: Sterne und Weltraum 12/2006, S. 74 – 77

Köppen, J.: Mit ESA-Dresden im Radiouniversum. In: Sterne und Weltraum 3/2009, S. 78 – 87

Neumann, M., Wright, P.: Signale aus dem Kosmos. Radioastronomie für Einsteiger. In: SuW-Basics 1 »Astronomie für Alle«, Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 2002

Stein, T., Förster, C .: Kosmologie mit Kaninchendraht und Wasser. In: Sterne und Weltraum 7/2008, S. 84 – 90

Reichert, U.: Die Sonne – der uns nächste Stern. In: Sterne und Weltraum 2/2016, S. 26 – 33

Dieser Artikel und Weblinks im Internet: www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1400514

Didaktische Materialien: www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051494