

Die Sonne im Radiolicht

von Thoma Freina

Viele von uns kennen die faszinierenden Bilder des gestirnten Nachthimmels im für das menschliche Auge sichtbaren Licht, also im sogenannten optischen Wellenlängenbereich der elektromagnetischen Strahlung. Dabei wird hier bereits mit relativ kleinen Teleskopöffnungen eine überwältigende Vielfalt von Objekten sichtbar – angefangen von den in unterschiedlichen Pastell-Farben erscheinenden Planeten unseres Sonnensystems, über die in kräftigen Farben leuchtenden Gaswolken der Milchstraße bis hin zu unvorstellbar weit entfernten bunten Galaxienhaufen. Dazu gehört aber auch die Sonnenbeobachtung in den verschiedensten Bereichen des elektromagnetischen Spektrums, nicht nur im sichtbaren Licht.

Amateur-Radioastronomie dagegen ist nicht immer so bunt und anfänglich vielleicht auch nicht so facettenreich wie die Beobachtung des Nachthimmels mit einem optischen Teleskop. Das sollte jedoch neugierige Zeitgenossen unter den Amateurastronomen nicht davon abhalten auch einmal einen anderen Spektralbereich neben dem Lichtoptischen zu besuchen. Denn mit Hilfe von preiswert verfügbaren Komponenten aus der handelsüblichen TV Satelliten Technik ist es heute gut möglich ohne großen technischen Aufwand grundlegende Experimente aus der Frühzeit der Radioastronomie, also aus den frühen 1950er Jahren, selbst erfolgreich nach zu vollziehen.

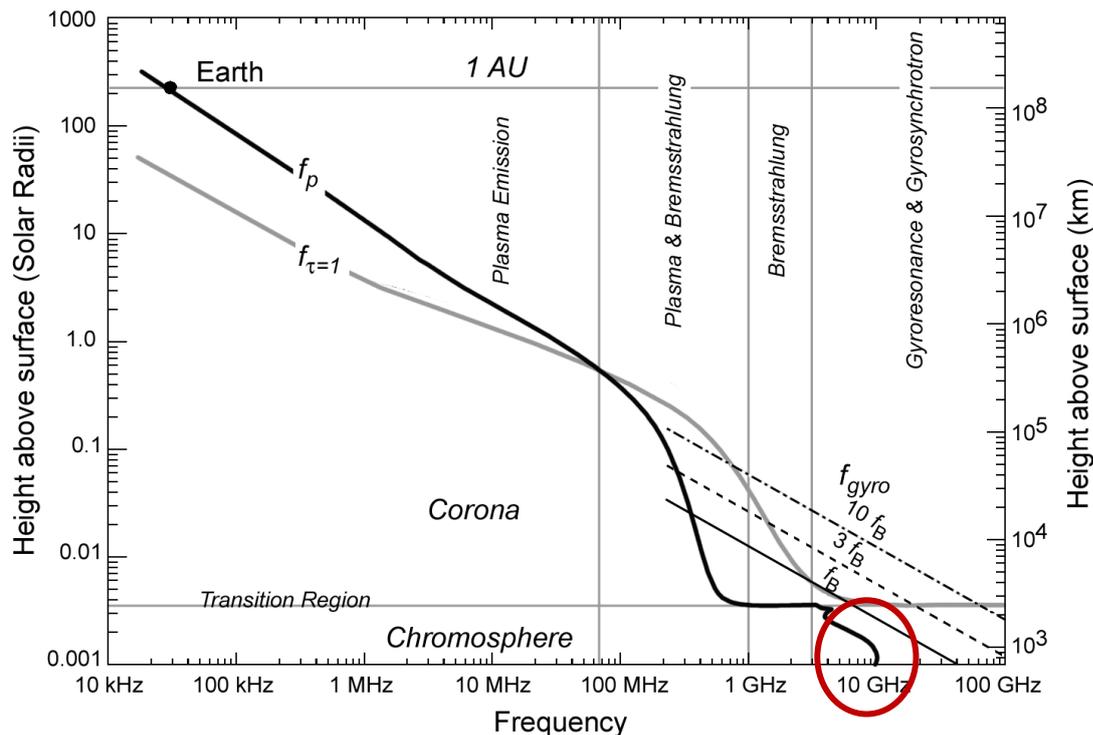
Besonders spannend ist dabei die Möglichkeit, dass man mit ein wenig mathematisch formaler Unterstützung eine Art Fiebermessung an der Sonne durchführen kann ohne dem, sagen wir Patienten, der heißer glüht als alle Öfen dieser Welt, zu sehr nahe kommen zu müssen. Diese Diagnose erfolgt dabei praktisch vom heimischen Balkon aus über die unglaubliche Entfernung von 150 Millionen Kilometer.

Aber zurück zur Sonne. Die vielschichtige Radiostrahlung unseres Zentralgestirns entsteht in den unterschiedlichen Bereichen der Sonnenatmosphäre oberhalb der so genannten Photosphäre. Das ist die im sichtbaren Licht leuchtende Oberflächenschicht der Sonne, welche wir als gleißend helle Scheibe am Himmel sehen können. Wir kennen einige Teile dieser atmosphärischen Schichten unter den Bezeichnungen Chromosphäre und Sonnencorona. Die Frequenz der Radiowellen die dort in der Sonnenatmosphäre entstehen ist direkt abhängig von der Temperatur des sehr heißen und somit ionisierten Gases direkt an dessen Entstehungsort. Forscher haben festgestellt, dass je heißer das Gas (Plasma) ist, desto niedriger ist die Frequenz bzw. umso größer ist die Wellenlänge. Umfangreiche wissenschaftliche Studien haben im Laufe der Jahre dazu geführt, dass die Zusammenhänge bezüglich des Entstehungsmechanismus

zwischen Temperatur, Entstehungsort und Atmosphärenschicht bei der Sonne gut erforscht worden sind. Weil jeder heiße Körper gemäß dem plankschen Strahlungsgesetz elektromagnetische Wellen aussendet, lässt sich somit durch eine Temperaturmessung aus der Ferne der Entstehungsort der Strahlung innerhalb der Sonnenatmosphäre ziemlich genau bestimmen. Allerdings trifft diese sehr einfache Annahme nur dann auch wirklich zu, wenn die Sonne vollkommen ruhig, also ohne störende Fleckenaktivität ist. Sonnenflecken haben eine ganz eigene Strahlungsdynamik und tragen dadurch mehr oder weniger stark zur Gesamtheit der Radiostrahlung bei, die wir von der Sonne empfangen können.

Die Sonne als Radiostern

Der Spektraltyp eines Sterns hängt grob betrachtet von seiner Temperatur ab. Somit kann man das bekannte Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) auch als ein Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm auslegen. Die verschiedenen Spektraltypen würden dann stellvertretend für die unterschiedlichen Sterntemperaturen stehen. Angeführt von den heißen Sternen vom Typ O bis hin zu den relativ kühlen Sternen vom Typ M. Die Sternklassen überdecken dabei Temperaturen, angefangen von weit mehr als 50000 Kelvin bei den blauen Giganten bis herunter zu 3000 Kelvin bei roten Riesensternen wie zum Beispiel Beteigeuze im Sternbild Orion. Eine Gesetzmäßigkeit besagt nun, dass ein temperiertes Objekt in einem ganz charakteristischen Wellenlängenbereich am hellsten leuchtet, während Emissionen bei anderen Wellenlängen durchaus vorhanden sind, jedoch lange nicht so intensiv abgestrahlt werden. Die besagten Radioemissionen eines Sterns sind dabei meistens nicht mit den eigentlichen Strahlungsmaxima identisch. Aber wollen wir uns noch einmal die Eigenschaften von Radiowellen im Vergleich zu Lichtwellen ansehen.



Das Diagramm (Quelle: New Jersey Institut of Technologie) stellt die solare Strahlungsemission bezogen auf die Strahlungsfrequenz in MHz auf der X-Achse sowie die Entfernung von der Photosphäre auf der Y-Achse dar. Der rote Kreis markiert den Strahlungsbereich in der Chromosphäre, der von einem SAT-System empfangen werden kann. f_p markiert die gesamte Strahlungsemission in Abhängigkeit von Radiofrequenz und Abstand zur Sonnenoberfläche.

Eigenschaften von Radiowellen im Vergleich zu Lichtwellen

In beiden Fällen handelt es sich um elektromagnetische Wellen, welche insgesamt ein sehr breites Spektrum überstreichen, beginnend bei sehr langen Funkwellen über Radiowellen und Mikrowellen sowie das sichtbare Licht bis hin zu den sehr energiereichen kosmischen Strahlen. Die Wellen der elektromagnetischen Strahlung, welche für Satellitenfernsehen verwendet wird sind mit knapp 3 cm Länge zigtausend Mal so lang wie diejenigen elektromagnetischen Wellen, die wir als sichtbares Licht mit unseren Augen sehen können. Allein schon deshalb unterscheidet sich ein »Radioauge«, das Himmelsobjekte beobachten soll, erheblich von einem lichtoptischen Spiegelteleskop. Die sehr viel längeren Radiowellen müssen nämlich mit einem entsprechend sehr viel größeren Reflektorspiegel aufgefangen werden.

Bei einem lichtoptischen Amateurteleskop, wie zum Beispiel einem Newton-Teleskop mit einer Öffnung von fünf Zoll (12,7 Zentimeter) ist der Reflektorspiegel rund 200000 Mal so groß wie die empfangene Lichtwellenlänge von beispielsweise 650 Nanometern. Kosmische Radiosignale, die sich mit Amateurinstrumenten bei vertretbarem technischem Aufwand verarbeiten

lassen, weisen eine typische Wellenlänge von rund drei Zentimetern auf, sofern man Empfangstechnik für TV-Satelliten benutzt.

Eine Parabolantenne mit einem Meter Durchmesser mag dabei groß erscheinen, sie ist jedoch nur 33 Mal so groß wie die empfangene Wellenlänge von 3 cm. Dadurch ist ihre Winkelauflösung mit ca. 2 Grad sehr viel geringer als beispielsweise die Winkelauflösung eines Newton-Teleskops mit einem 12 cm Spiegel. Die Erfahrung lehrt uns, dass selbst einfache optische Teleskope Strukturen auf Planetenscheiben zeigen und enge Doppelsterne in ihre Komponenten auftrennen können. Radioteleskope erreichen dieses Auflösungsvermögen meist erst durch eine sehr aufwendige Kombination von mehreren großen Antennen. Dennoch lassen sich schon mit kleinen TV-Satellitenspiegeln interessante radioastronomische Beobachtungen durchführen.

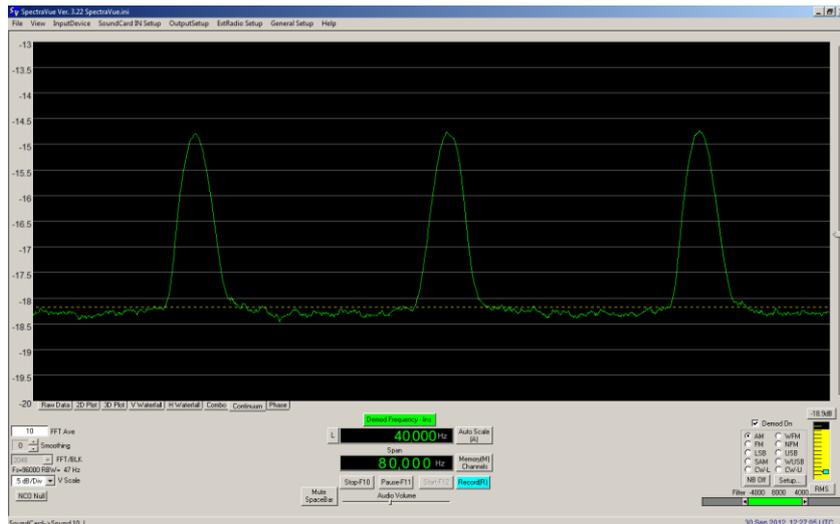
Ein weiterer, deutlicher Unterschied zwischen den beiden Beobachtungsbereichen liegt in den Bandbreiten der genutzten Spektralbereiche: Das Lichtspektrum umfasst in etwa einen Wellenlängenbereich von 450 bis 700 Nanometer was einer Bandbreite von ca. 250 Terahertz gleichkommt. Dabei entspricht zum Beispiel eine Wellenlänge von 600 Nanometern einer Frequenz von 500 Terahertz. Die SAT-TV-Frequenz bei 11 Gigahertz ist um gut vier Größenordnungen kleiner. Entsprechend ist auch die nutzbare Bandbreite mit nicht einmal 10 Megahertz sehr viel geringer. Eine größere Bandbreite, welche sehr viel mehr Informationen enthält mit einem einfachen TV-Radio-Empfänger zu realisieren, übersteigt in der Regel die Möglichkeiten eines Hobbyisten. Deshalb sollten sich Einsteiger zunächst mit der relativ geringen Bandbreite begnügen, welche sich mit preiswerten TV-SAT Komponenten realisieren lässt.

Daneben mutet auch die Darstellung der empfangenen Signale als Zahlen oder Intensitätskurven im Radiobereich völlig anders an als die prächtigen Bilder bei lichtoptischen Instrumenten. Für die meisten Menschen wird ein simpler Zeigerausschlag an einem Spannungsanzeigeeinstrument bedeutend weniger aussagekräftig sein als beispielsweise eine gelungene Farbaufnahme eines bunten Emissionsnebels. In der Tat können einzelne Radioteleskope zunächst keine flächenhaften Bilder von der beobachteten Region erzeugen, wie dies schon eine einfache Digitalkamera vermag, weil Radioempfänger im Prinzip immer nur eine Ein-Pixel-Kamera darstellen. Somit dürfen wir hier nicht auf beeindruckende Abbildungen von astronomischen Objekten im Radiolicht hoffen. Dies ließe sich nur mit einem großen technischen Aufwand erreichen,

gepaart mit einem nicht zu unterschätzenden rechnerischen Aufwand für die Bilderstellung. Nur sehr wenige Amateurradioastronomen haben sich bis heute dieser Herausforderung gestellt. Schrauben wir also unsere Ansprüche zurück auf eine vertretbare Ebene und richten die Aufmerksamkeit wieder auf die Sonne.

Die Sonne ist für uns hier auf der Erde der stärkste Radiostrahler am Himmel. Die Strahlungsintensität ist, über längere Zeiträume beobachtet, nicht immer gleich stark. Sie schwankt in unterschiedlichen Zyklen mehr oder weniger stark. Die bekannteste dieser regelmäßigen Erscheinungen ist der elfjährige Sonnenfleckenzyklus. Dabei nimmt die Aktivität von Flecken, Fackeln und Ausbrüchen auf der Sonne gut fünf Jahre lang zu. Nach einem Maximum fällt die Aktivität dann gut fünf Jahre lang ab, bis ein Minimum erreicht ist. Danach beginnt der Zyklus von neuem. Deshalb spricht man zum Beispiel im Minimum eines Zyklus von einer ruhigen Sonne. Deren spektraler Strahlungsfluss nimmt dabei stetig zu kürzeren Wellenlängen im Zentimeterbereich zu. Im Maximum eines Zyklus wird im Gegensatz dazu von einer aktiven Sonne gesprochen, deren spektrales Strahlungsmaximum bei den Meterwellen zu finden ist. Aktuell befinden wir uns wieder einmal im Bereich stetig zunehmender Sonnenaktivität, nach dem letzten Aktivitäts-Minimum welches in den letzten Jahren durchlaufen wurde.

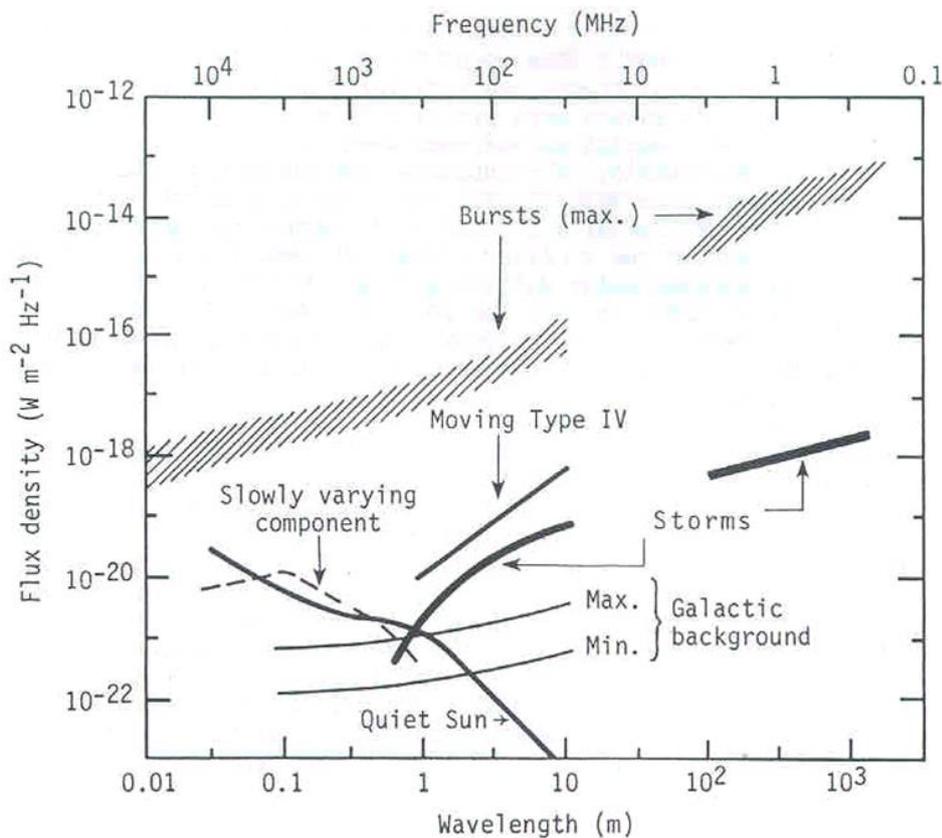
Für die Beobachtung der Sonne im Radiobereich können nun verschiedene Empfangssysteme verwendet werden. Am einfachsten funktioniert das mit einem handelsüblichen TV-Satelliten-Empfangssystem aus dem Elektronikmarkt. Damit lässt sich die ruhige Sonne als starke Strahlungsquelle schnell und einfach sehr gut darstellen. Auf meiner Website habe ich diesbezüglich einige Beispiele beschrieben. Die Abbildung unten zeigt einen Sonnentransit, der mit einem einfachen TV-SAT-System aufgezeichnet wurde.



Drei Sonnendurchgänge mit nachgeführtem 60cm SAT-Spiegel und handelsüblichen SAT-LNB.

Anregung für Einsteiger

Selbst mit kleinen Spiegeldurchmessern zwischen 60 und 80 cm lassen sich auf einfache Weise spannende Versuche durchführen. Die Richtwirkung der Antenne nimmt zwar bei gleicher Empfangsfrequenz (SAT-TV ~11 GHz) mit dem Durchmesser des Reflektors ab. Für Messungen an der Sonne, den stärksten Radiostrahler am Himmel, wird aber auch von kleinen Reflektoren noch immer genügend Strahlungsleistung eingesammelt um damit gut arbeiten zu können. Sollen rein quantitative Aussagen über das gerade empfangene Signal getroffen werden, reicht es vollkommen aus ein kostenloses Softwareprogramm wie zum Beispiel Spectravue in der Betriebsart Kontinuum zu benutzen. Dabei kann sehr schön ein Sonnendurchgang durch den Sichtbereich der Antenne aufgezeichnet werden. Mit Langzeitaufzeichnungen könnte man versuchen anderen Radioquellen am Himmel wie zum Beispiel dem Erdmond auf die Spur zu kommen. Möglichkeiten dazu gibt es sehr viele und die Arbeit mit dem Radioempfänger wird mit der Zeit immer spannender.



Die maximale Auslenkung der grünen Kurve bezogen auf die Grundlinie kann zur Ermittlung der Temperatur auf der Sonne in der Quellregion der beobachteten Strahlung benutzt werden. Die Ableitung der Quelltemperatur ist relativ kompliziert und erfordert einige mathematische Betrachtungen. Deshalb beschreibe ich hier nur das Prinzip und verweise Interessierte diesbezüglich auf meine Website www.dg2neu.de. Zunächst ist es von allergrößter Wichtigkeit, alle physikalischen Parameter der Empfangsanlage möglichst genau zu kennen – in Zahlenwerten versteht sich, damit wir rechnen können. Ich habe mich an den Hersteller der Satellitenanlage gewendet, um die technischen Daten für das Speisesystem zu erhalten. Weiterhin werden nacheinander einige Formeln benötigt, welche den Anstieg der Signalintensität beim Sonnendurchgang in eine fiktive Temperatur überführen, der so genannten Antennentemperatur. Über eine Beziehung zwischen dem Raumwinkel, der dem Auflösungsvermögen der Parabolschüssel entspricht, und dem scheinbaren Durchmesser der Sonnenscheibe lässt sich aus dieser fiktiven Temperatur die wirkliche Temperatur der Strahlungsquelle ermitteln. Das ist sehr spannend. Der mit dem handelsüblichen TV-SAT-System gemessenen Signalintensität entspricht eine Antennentemperatur von rund 870 Kelvin. Hieraus erhalte ich schließlich auf dem physikalisch-mathematischen Rechenweg eine Quelltemperatur von 11430 Kelvin. In der Fachliteratur findet man für eine Frequenz von 10 GHz also

3cm Wellenlänge Werte zwischen 13000 und 17000 Kelvin. Für das sehr einfach aufgebaute Empfangssystem immerhin eine gute Näherung im Ergebnis.

CONTRIBUTIONS TO BRIGHTNESS TEMPERATURES AT VARIOUS WAVELENGTHS

Wavelength	Observed Brightness Temperature (° K)	τ_{cor}	$\tau_{\text{cor}} T_{\text{cor}}$ (° K)	T_{or} (° K)
4 3 mm . .	7000	0 00005	50	7000
8 6 mm . .	8500	.00022	220	8300
3 cm . . .	13-17000	.0027	2700	14000
10 3 cm .	21800	.030	30000
21 cm .	100000	0 134	134000	. . .

Quelle: H. Zirin and R.D. Dietz, Structure of the solar Chromosphere 2. April 1963

Die solare Radiostrahlung bei 3 cm Wellenlänge enthält sowohl die Strahlungs-beiträge der ruhigen Sonne sowie die langsam variablen Anteile. Bei stärkerer Sonnenaktivität enthält die Radiostrahlung zusätzlich die Anteile der schnell veränderlichen Radio Bursts. Für das vorliegende Experiment erscheint eine Beobachtung zu Zeiten geringer Sonnen-Aktivität deshalb sehr ratsam.