

e-Callisto

Ein weltumspannendes Netzwerk aus solaren Radiospektrometern

Das Projekt »e-Callisto« entstand in enger Kooperation der Fachhochschule Nordwestschweiz und der ETH Zürich mit den Vereinten Nationen sowie der US-Weltraumbehörde NASA. Nach zwölf Jahren Aufbauarbeit ist es nun möglich, die Radiostrahlung der Sonne täglich lückenlos zu beobachten und die Daten der Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen.

Von Christian Monstein

Seit Jahrhunderten wird die Sonne intensiv erforscht – und dennoch sorgt sie bei Wissenschaftlern und Amateurastronomen nahezu täglich für Überraschungen. Plötzliche Strahlungsausbrüche (englisch: flares) und koronale Massenauswürfe (englisch: coronal mass ejections, CME) stellen die Forscher noch immer vor grundlegende Fragen. Bei einem CME dringt elektrisch geladenes Gas von der Sonne mit hoher Geschwindigkeit in den Weltraum vor (siehe Bilder S. 80 und 81 oben). Erreicht es die Erde, so kann es hier geomagnetische Stürme auslösen, die weit reichende technische Störungen hervorrufen, beispielsweise in Navigationssystemen, Kommunikations- und Stromnetzen, Radareinrichtungen sowie bei erdnahen Satelliten (siehe SuW 2/2014, S. 72, und SuW 3/2014, S. 70).

Um die physikalischen Prozesse der aktiven Sonne genauer zu verstehen und Vorhersagen zu ermöglichen, ist es wichtig, das Tagesgestirn rund um die Uhr zu überwachen. Dies geschieht einerseits durch Raumsonden, welche die Sonne ständig im Blick behalten, beispielsweise durch Soho und SDO, andererseits aber

auch durch erdgebundene Beobachtungen (siehe den Beitrag ab S. 42 in diesem Heft). Hierbei sind neben optischen Untersuchungen auch Überwachungen im Radiowellenbereich wertvoll, da sie unabhängig vom Wetter möglich sind und die in anderen Spektralbereichen gewonnenen Daten ergänzen. Einen umfassenden Einblick in die Vorgänge auf der Sonne gewähren Aufzeichnungen solarer Rauschstürme (englisch: bursts) im Radiobereich. Radiospektren solcher Ereignisse und das Studium ihrer zeitlichen Veränderungen eignen sich besonders, um den Heizmechanismus der Korona zu studieren und CME vorherzusagen.

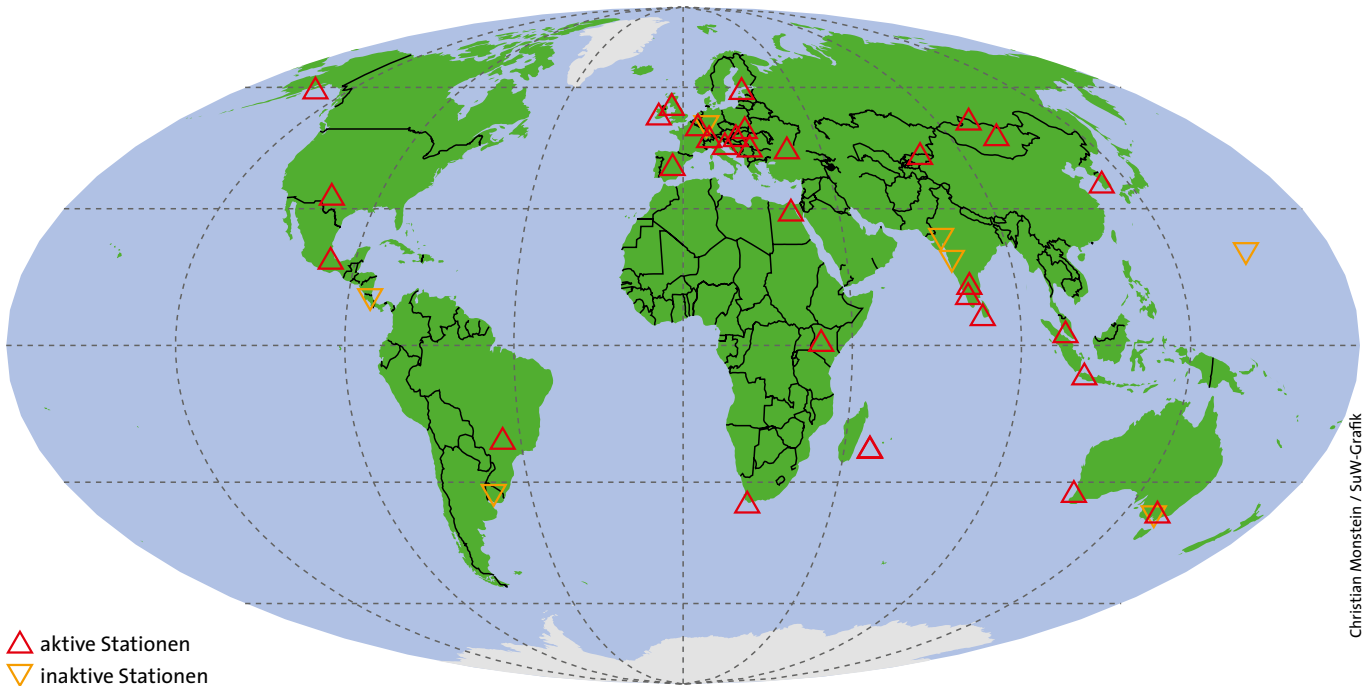
»Arme-Leute-Spektrometer«

Bereits im Jahr 2002 begannen wir am Institut für Astronomie der ETH Zürich ein Radiospektrometer zu entwickeln und zu bauen. Unser Ziel war es, mit Hilfe preisgünstiger Komponenten aus der Konsumelektronik-Branche die Überwachung dynamischer Radioereignisse der aktiven Sonne an möglichst vielen verschiedenen Orten auf der Erde zu ermöglichen. Ein Nachteil unserer im schweizerischen

Bleien vorhandenen Radioteleskope war nämlich, dass uns im Sommer maximal 14 Stunden, im Winter maximal sieben Stunden Beobachtungszeit zur Verfügung standen. Die Sonnenforscher und Plasma-physiker wollten jedoch die Sonne im Bereich der Radiowellen lückenlos überwachen können – und dies, ohne einen teureren Satelliten bauen zu müssen.

Nun entstand mit einfachsten Mitteln unser Projekt oder »Arme-Leute-Spektrometer« (englisch: poor man's spectrometer, PMS). Die Geräte wurden vornehmlich von Studierenden des Fachbereichs Physik im Zusammenhang mit ihrer Ausbildung in Elektronik und Hochfrequenztechnik gebaut und getestet. Dabei übten sie insbesondere das Löten von kleinen und kleinsten SMD-Komponenten (surface-mounted devices). Bald stellte sich heraus, dass die Geräte in Entwicklungsländern bei Instituten, die im Bereich Sonne, Ionosphäre und Geomagnetismus forschen, reißenden Absatz fanden.

Daraufhin taufte wir das Instrument auf den Namen Callisto (Compound Astronomical Low frequency Low-cost Instrument for Spectroscopy and Transportable



Christian Monstein / SuW-Grafik

Die Stationen von e-Callisto sind weltweit verteilt (oben) und liefern Daten der solaren Radiostrahlung an das Archiv der Fachhochschule Nordwestschweiz. An der Station der Universität im indischen Pune lauschen Studierende und Lehrer gespannt den Erläuterungen des Autors (links). Im Hintergrund befindet sich die von ihnen selbst entworfene und gebaute Antenne für solare Radiostrahlung im Wellenlängenbereich von 30 Zentimetern bis 3 Metern.



Christian Monstein

Observatory) – zu Deutsch etwa: »tragbares astronomisches Gerät zur Spektroskopie bei tiefen Frequenzen und mit geringen Kosten«. Anfang 2006 wurden wir auf das Internationale Heliophysikalische Jahr 2007 (IHY 2007) aufmerksam und erkannten die Möglichkeit, Entwicklungsländer mit Instrumenten und Ausbildung zu versorgen. Damit begann ein regelrechter Siegeszug von Callisto. Das von der NASA gemeinsam mit dem Office for Outer Space Affairs der Vereinten Nationen in Wien (UNOOSA) geleitete Projekt verbreitete sich beinahe wie ein Virus. Auch zahlreichen industrialisierten Ländern, darunter

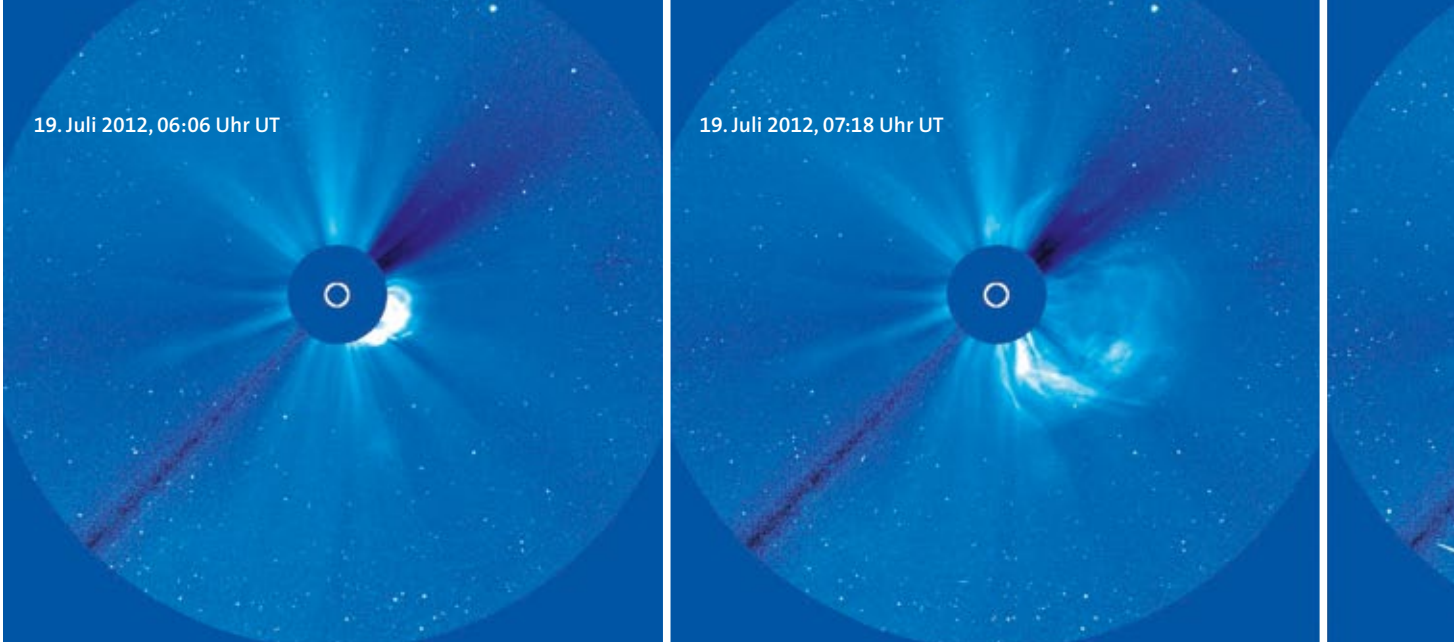
Indien, Südkorea, Mexiko, Alaska, Hawaii und Australien, stellten wir sukzessive Geräte bereit (siehe Grafik oben).

Unser Hauptziel ist es, möglichst viele Längengrade der Erde mit Beobachtungsstationen abzudecken, um die Sonne permanent beobachten zu können. In dem »e-Callisto« genannten Netzwerk sind weltweit mehr als 68 Instrumente aktiv. Davon liefert allerdings nur etwa die Hälfte kontinuierlich Daten an den zentralen Server, der sich an der Fachhochschule Nordwestschweiz in Brugg/Windisch befindet. Hierfür gibt es mehrere Gründe: Einige der Verantwortlichen verlieren

zeitweise ihr Interesse am Projekt, andere wollen aus politischen Gründen keine Daten liefern. Eine dritte Gruppe ist einfach nicht mehr in der Lage, die Instrumente zu warten oder eine Internetverbindung sicherzustellen. Nach anfänglicher Mühe haben wir gelernt, mit diesem Risiko in Entwicklungsländern umzugehen.

Aufschlussreiche Daten

Im Jahr 2011 wurde das IHY 2007 dann offiziell für beendet erklärt, jedoch gleichzeitig in ein neues Projekt überführt: Bei der International Space Weather Initiative (ISWI) geht es darum, das Weltraumwetter



zwischen Sonne und Erde sowie die globalen Einflüsse der Sonnenaktivität auf die Erde zu untersuchen – und hierfür erwies sich Callisto als besonders geeignet. Das Instrument erlaubt es, das Spektrum eines Bursts und seine zeitliche Entwicklung zu messen. Die Auswertung der Daten liefert Zeit-Frequenz-Diagramme, die im Fall der so genannten Typ-II-Bursts besonders aufschlussreich sind (siehe Bild unten). Aus der ermittelten Driftkurve lässt sich nämlich die radiale Geschwindigkeit der entsprechenden Teilchenwolke und damit die zu erwartende Ankunftszeit der Partikel auf der Erde bestimmen – und dies, ohne Satelliten zu benutzen und bei schlechtem Wetter. Denn die Strahlung der solaren Radiobursts durchdringt auch Wolken und erreicht unsere Spektrometer mit Lichtgeschwindigkeit.

Die Hauptaufgabe von Callisto besteht also in der Analyse solarer elektromagnetischer Strahlung. Die von einer Breitbandantenne empfangene elektrische Leistung

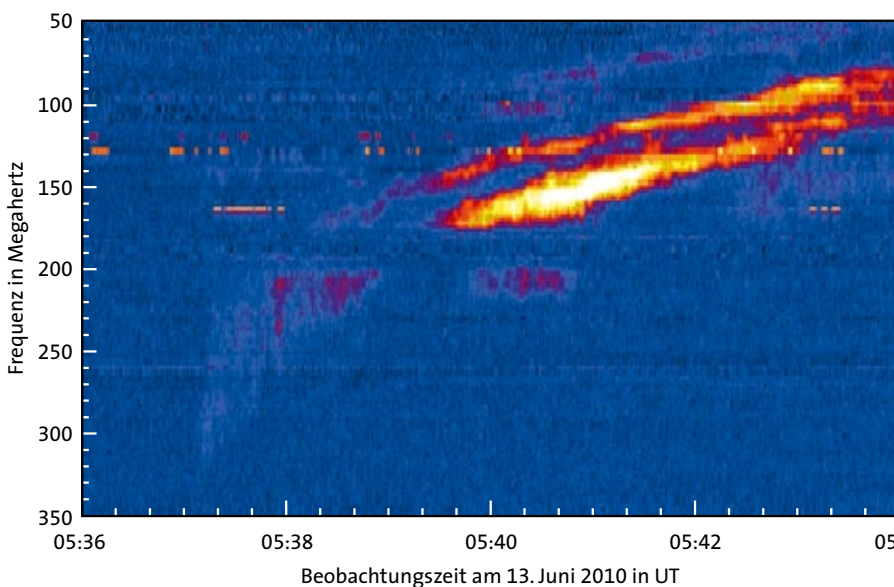
ist extrem klein, sie beträgt weniger als 10^{-17} Watt. Callisto ist so gebaut, dass er diese geringen Leistungen im Frequenzbereich 45 bis 870 Megahertz verarbeiten kann. Dies entspricht Wellenlängen von rund 34 Zentimetern bis sieben Metern. Die entsprechenden Daten werden auf einem Standard-PC gespeichert. In einigen Fällen wurden für den Empfang kommerziell erhältliche Antennen verwendet. In den beteiligten Entwicklungsländern wurden die Antennen vorwiegend in den mechanischen Werkstätten der jeweiligen Institutionen aus Aluminiumprofilen zusammengesetzt (siehe Bild rechts).

Es ist auch durchaus im Sinne von IHY2007 und ISWI, dass die Menschen vor Ort selbst wissenschaftliche Ergebnisse erzielen können. Insbesondere in Indien konnten die dortigen Studenten an Universitäten Antennen entwerfen und preisgünstig bauen – mit hervorragenden elektrischen Eigenschaften wie einem hohen Leistungsgewinn und einer guten Anpas-

sung an die Antennenzuleitung (siehe Bild S. 79 Mitte).

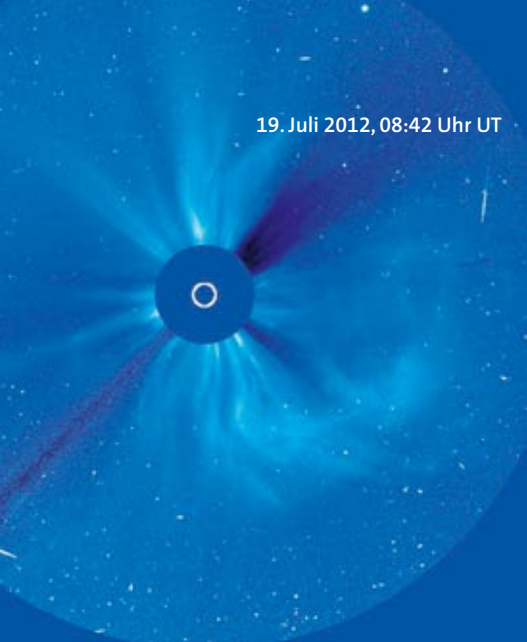
Bis Anfang 2013 erfasste das Netzwerke-Callisto noch nicht den amerikanisch-pazifischen Raum. Es war sehr schwierig, Institute zu finden, die sich bereit erklärten, eine Station aufzubauen und die rund 2000 Euro für eine Antenne, einen PC, die Speisegeräte und für das Spektrometer zu investieren. Erst im März 2013 gelang uns der Durchbruch, als wir einen freiwilligen Beobachter – Stan Nelson in Roswell im US-Bundesstaat New Mexico – dafür gewinnen konnten, eine Station aufzubauen. Nun haben wir endlich eine lückenlose Überdeckung über das ganze Jahr hinweg. Sollte allerdings eine einzige Station zeitweilig nicht funktionieren, dann ist die Überdeckung bereits kleiner als 100 Prozent.

Daher möchten wir hinsichtlich der geografischen Lage und der Beobachtungsfrequenz »redundante« Stationen errichten, um so einen ununterbroche-



Christian Monstein / SuW-Grafik

Dieser Radioburst vom Typ II ist auf Grund magnetischer Effekte in der Korona aufgespalten. Aus der Steigung im Frequenz-Zeit-Diagramm lässt sich die Geschwindigkeit der Plasmawolke bestimmen, die von der Sonne in den Weltraum rast. Sie beträgt einige hundert bis 2000 Kilometer pro Sekunde. Künstliche Störungen durch Funkdienste erzeugten die horizontalen Punkte bei 125 und 165 Megahertz.



19. Juli 2012, 08:42 Uhr UT

Bei einem koronalen Massenauswurf breitet sich eine mit Magnetfeldern durchsetzte Wolke elektrisch geladener Partikel sehr schnell in den Weltraum aus. In dieser mit dem Koronografen LASCO an Bord der Sonde Soho aufgenommenen Bildserie ist die Sonne durch einen weißen Kreis gekennzeichnet.

AME2014



13. September 2014

9. Internationale Astronomie-Messe



Wann?

Samstag, 13. September 2014,
10.00 bis 17.00 Uhr.

Wo?

78054 VS-Schwenningen, Messegelände.
Mit 6000 Parkplätzen direkt vor den
Messehallen.

Ansprechpartner:
Astro-Messe GbR
Walburga und Siegfried Bergthal
Friedhofstr. 13
78628 Rottweil
Tel.: 0741 2706210
Email: info@astro-messe.de



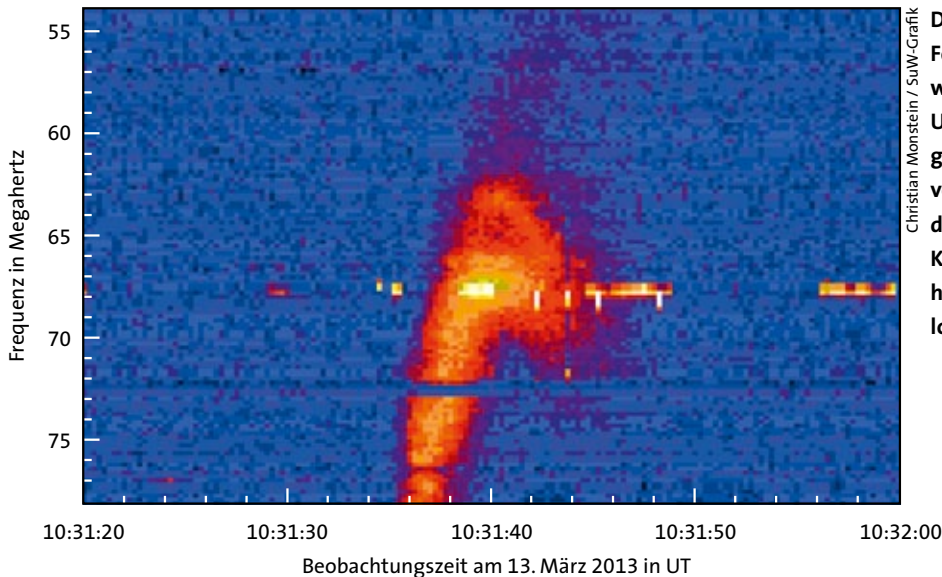
www.astro-messe.de



Christian Monstein

Eine mit bescheidenen Mitteln erbaute logarithmisch-periodische Antenne befindet sich am Radioobservatorium der Universität von Mauritius in Poste de Flacq. Da hier die Sonne ganzjährig zenitnah steht und das Blickfeld der Antenne sehr groß ist, darf sie einfach nach oben zeigen. Der Befestigungsmast besteht aus einem verdorrten Eukalyptusbaum, die seitlichen Stützen stammen aus dem Sanitärbereich.

www.sterne-und-weltraum.de



Dieses wegen seiner charakteristischen Form als U-Burst bezeichnete Ereignis wurde am Sonnenobservatorium der Universität im schottischen Glasgow aufgenommen. Es verrät, dass Materie von der Sonnenoberfläche weggeschleudert wurde und auf Grund gravitativer Kräfte wieder zurückgefallen ist. Die hellen horizontalen Striche sind Störungen eines lokalen Funkdienstes.

nen Datenfluss sicherzustellen: Vielfach wird ein und dasselbe solare Ereignis von mehreren Stationen gleichzeitig beobachtet. Dies ist ideal, weil die Forscher dann diejenigen Daten mit dem größten Signal-Rausch-Verhältnis (englisch: signal-to-noise ratio, SNR) und den geringsten Störungen auswählen können. Diese Situation lässt sich durchaus mit der optischen Astronomie vergleichen, wo die Forscher mit dem Problem der Lichtverschmutzung kämpfen (siehe SuW 6/2014, S. 76 und S. 80).

Entwicklungsländer im Fokus

Gerade Länder mit schwacher Infrastruktur zeichnen sich dadurch aus, dass es dort relativ wenige künstlich verursachte elektromagnetische Störungen gibt, welche die Radiobeobachtungen beeinträchtigen. Allerdings ist es nur eine Frage der Zeit, bis die modernen Kommunikationsnetze auch den hintersten Weiler erreicht haben, wo dann jeder Einwohner über Mobilfunk und 1000 Fernsehkanäle verfügt. Dies wird die Qualität der Daten stark vermindern. Ein weiterer Vorteil von Beobachtungen an weltweit verteilten Orten

liegt darin, dass die gesammelten Daten elektronisch zusammengefügt werden können, wodurch sich das SNR deutlich verbessern lässt. Dies ist möglich, weil die von verschiedenen Stationen empfangenen solaren Signale – im Gegensatz zum Rauschen und lokalen Störungen – korreliert sind.

Bisher wurden die Geräte, Reisen und Unterkunft von verschiedenen Institutionen wie dem Schweizerischen Nationalfonds, dem Nord-Süd-Zentrum der ETH und dem Institut für Astronomie finanziert. Inzwischen sind leider alle potenziellen Quellen versiegt, und es wird extrem schwierig, weitere Observatorien zu unterstützen. Derzeit gibt es noch zahlreiche Anfragen: aus der Türkei, Portugal, Taiwan, Kuba, Peru, Ecuador, Äthiopien, La Réunion und weiteren Staaten. Wir hoffen, dass doch noch Geldgeber auftauchen, die es ermöglichen, insbesondere Entwicklungsländern die »westliche« Wissenschaft etwas näher zu bringen. Inzwischen gibt es sogar Amateurastronomen, die mit privaten Mitteln eine Station aufgebaut haben und wertvolle Daten in das Netzwerk e-Callisto einspeisen.



CHRISTIAN MONSTEIN studierte an der FH Konstanz Nachrichtentechnik und entwickelte für die Industrie automatische Testsysteme. Seit 1997 arbeitet er am

Institut für Astronomie der ETH Zürich und ist dort für die Radioteleskope zur Sonnenbeobachtung zuständig. Er beteiligte sich maßgeblich am Weltraumteleskop Herschel und am Spektrografen MUSE des VLT in Chile. Derzeit entwickelt er hochauflösende Radiospektrometer.

Technische Daten des solaren Radiospektrometers Callisto

Parameter	Wert
Frequenz- beziehungsweise Wellenlängenbereich	45 MHz–870 MHz, $\lambda = 34 \text{ cm} - 6,7 \text{ m}$
Frequenzschrittweite	62,5 kHz
Radiometrische Bandbreite	300 kHz
Integrationszeit	1 Millisekunde
Detektor	Logarithmisch AD8307
Messgeschwindigkeit	Maximal 800 spektrale Pixel pro Sekunde
Eigenrauschen (ohne Vorverstärker)	8 Dezibel (~2000 Kelvin)
Datenausgabe	FITS-Dateien mit 8 Bit Tiefe

Literaturhinweise

- Benz, A.O. et al.:** Callisto – a New Concept for Solar Radio Spectrometers. In: Solar Physics 226, S. 143–151, 2005
- Hunnekuhl, M.:** Wie der Sonnenwind weht, Teil 1: Der solare Ursprung geomagnetischer Stürme. In: Sterne und Weltraum 2/2014, S. 72–82
- Hunnekuhl, M.:** Wie der Sonnenwind weht, Teil 2: Geomagnetische Stürme und Polarlichter. In: Sterne und Weltraum 3/2014, S. 70–79
- Zucca, P. et al.:** Observations of Low-Frequency Solar Radio Bursts from the Rosse Solar-Terrestrial Observatory. In: Solar Physics 280, S. 591–602, 2012

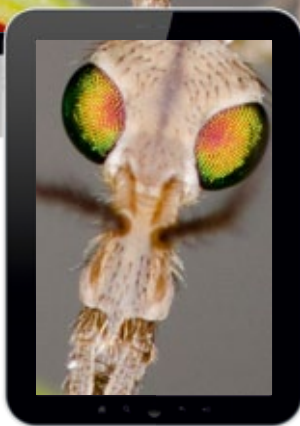
Weblinks zum Thema finden Sie unter:
www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1288261

Deutschlands einziges wöchentliches Wissenschaftsmagazin



Jeden Donnerstag neu!

- mehr als 40 Seiten News, Hintergründe, Kommentare und Bilder aus der Forschung
- im Abo nur € 0,77 pro Ausgabe
- jederzeit kündbar
- mit exklusivem Artikel aus **nature** in deutscher Übersetzung
- als PDF einfach über E-Mail oder per Link zu beziehen



Lernen Sie **Spektrum – Die Woche** kostenlos kennen:
www.spektrum.de/testwoche