

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 81 (2023)
Heft: 3

Artikel: Ein tragbares X-Band Radio Teleskop für Amerikas Sonnenfinsternisse
Autor: Monstein, Christian
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1049501>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



SONNENFINSTERNISBEOBACHTUNG IM RADIOBEREICH

EIN TRAGBARES X-BAND RADIO TELESKOP FÜR AMERIKAS SONNEN- FINSTERNISSE

Beitrag: Christian Monstein

Im Oktober finden über Nordamerika eine ringförmige (siehe auch Seite 43) und nächstes Jahr am 8. April eine totale Sonnenfinsternis statt. Nun soll ein mobiles Radioteleskop diese Finsternisse im Radiobereich verfolgen und sogar hörbar machen.

Dieses Jahr am 14. Oktober sowie nächstes Jahr am 8. April gibt es in den USA jeweils eine Sonnenfinsternis. NASA GSFC in Greenbelt hat mich gebeten, ein tragbares Radioteleskop zu entwickeln und zu liefern, um die Sonnenfinsternis im Radiobereich zu verfolgen und zu dokumentieren. Zusätzlich, als Öffentlichkeitsvorführung, soll die Radiostrahlung der Sonne hörbar und an geeigneten Instrumenten auch in Echtzeit sichtbar gemacht werden. Ein weiterer Grund ist zudem ein Restrisiko von schlechtem Wetter, welches eine visuelle Beobachtung stören könnte, z. B. aufgrund von Wolken oder schlimmstenfalls Regen. Damit hätte man eine Alternative, die Finsternis trotzdem zu «beobachten», einfach nicht visuell, jedoch instrumentell.

Die Sonne strahlt ja nicht nur im visuellen Bereich, sondern im gesamten physikalischen Spektrum von Kurzwelle über Infrarot, Visuell, Ultraviolet,

Röntgen- bis Gammastrahlen. Hier interessieren wir uns für das X-Band (8 GHz bis 12 GHz) aus verschiedenen Gründen. Erstens gibt es uns die Möglichkeit, bei der Wellenlänge 2.7 cm die Temperatur der Korona zu messen, welche deutlich heißer ist als die Sonnenoberfläche, und zweitens erlaubt es uns, mit einem kleinen Satellitenspiegel ein verhältnismässig einfaches, kostengünstiges Instrument aufzubauen. Zusammengefasst soll das Instrument also tragbar und kostengünstig sein und die Radiostrahlung der Sonne eindeutig, das heißt mit gutem Signal-zu-Rausch-Verhältnis, nachweisen.

DIE KOMPONENTEN DES RADIOTELESKOPS

Der Entscheid fiel dabei auf folgende Komponenten im sogenannten Frontend, also diejenigen Teile, welche sich im Freien mit ungestörter Sicht auf die Sonne befinden. Ein Satellitenspiegel mit 60 cm bis



Abbildung 1: Das «Frontend» mit der Antenne (Spiegel zusammen mit LNB) sind auf einem Antrieb montiert, bestehend aus zwei kostengünstigen Satellitenrotoren (grosses Bild) und das «Backend», das im Text näher beschrieben wird.

Bilder: Christian Monstein

maximal 70 cm Durchmesser inklusive einem modernen, rauscharmen LNB (low noise block). LNB ist das Gerät im Fokus der Antenne, welches die Radiostrahlung empfängt und auf eine tiefere Frequenz umsetzt. Dies geschieht mit Hilfe eines sogenannten Lokaloszillators von 10.41 GHz nach dem Heterodyne-Prinzip, wobei die dann entstehende, tiefe Zwischenfrequenz einfacher weiterverarbeitet werden kann. Die Antenne, also der Spiegel zusammen mit LNB, sind auf einem Antrieb montiert, bestehend aus zwei kostengünstigen Satellitenrotoren. Diese Rotoren ihrerseits sind auf

einem professionellen Stativ aufgeschraubt, welches eine einigermaßen stabile Beobachtung erlaubt, auch auf unebenem Gelände. Dieses Frontend ist mit drei Koaxialkabeln, dem sogenannten Backend, verbunden. Ein Kabel steuert den Azimut-Rotor, das zweite den Elevations- Rotor und das dritte Kabel bringt die Hochfrequenz vom LNB zum Empfangs-System, in meinem Fall auf die Terrasse oder in professioneller Umgebung in ein nahegelegenes Observatorium. Die Steuerung der beiden Rotoren geschieht wie erwähnt über zwei Koaxialkabel, über welche die sogenannten DiSEqC-Befeh-

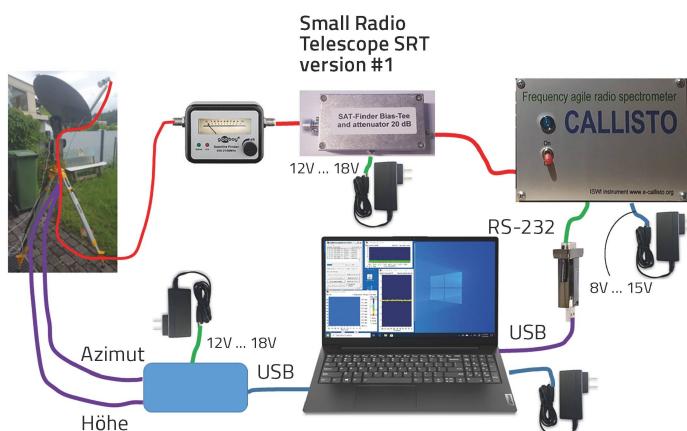


Abbildung 2: Die gesamte Konfiguration mit Front- und Backend schematisch dargestellt.

Schema: Christian Monstein

2023/05/11 Radio flux density, e-CALLISTO (SWISS-SCAN)

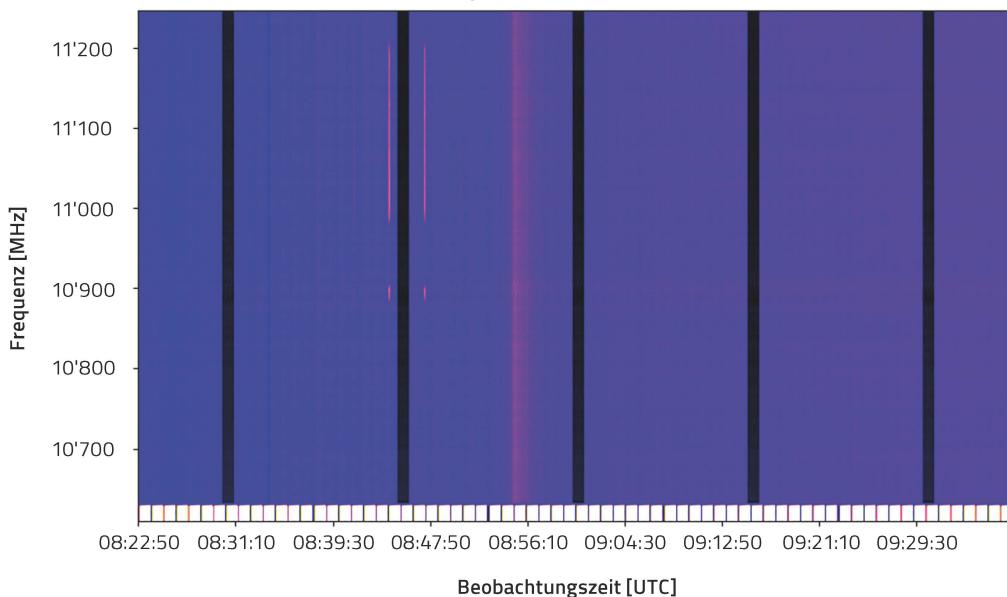


Abbildung 3: Dynamisches Radiospektrum der Sonne und weiterer Quellen. Unten die Zeitachse in UT (universal time), links die beobachtete Frequenz in MHz und die Signalstärken als Farbe codiert, wobei schwarz sehr kalt, blau warum und rot heiß bedeutet.

Bild: Christian Monstein

le geschickt werden, dies zusammen mit der 18-Volt Speisung für die Rotoren. Das DiSEqC-Protokoll wird in einem selbst entwickelten Interface über einen Prozessor *Arduino Micro* erzeugt, wobei die Befehle für Azimut und Elevation über ein USB-Kabel von einem Computer oder Notebook generiert werden. Die Berechnung der Koordinaten geschieht in Echtzeit mit Hilfe eines Python Skripts, welches jede Minute automatisch ausgeführt wird. Derzeit gibt es drei ähnliche Python Skripts, eines für die Sonne, eines für den Mond und ein Drittes für beliebige astronomische Quellen durch Angabe von Rektaszension und Deklination.

INTERESSANT FÜR SONNENPHYSIKER

In Abbildung 1 rechts auf Seite 53 sehen wir das Backend auf der Terrasse des Autors. Beginnend von links erkennen wir ein Standard Windows Notebook, gefolgt von einem Spektrometer CALLISTO, dem DiSEqC-Interface, dem Satellitenfinder (braunes Kistchen) sowie dem sogenannten Bias-Tee, welches es erlaubt, Gleichstrom in das Koaxialkabel zum LNB einzuspeisen. Auf dem Notebook läuft nebst der Teleskopsteuerung in Python auch ein C-Programm, welches mit dem Spektrometer CALLISTO kommuniziert, die gemessenen Daten visualisiert und auch auf der Harddisk abspeichert. Selbstverständlich kann das ganze System ferngesteuert werden über entsprechende Programme wie Remote Desktop, VNV oder AnyDesk usw. aus dem Büro heraus oder sogar von unterwegs, sofern eine Internetverbindung hergestellt werden kann.

Nebst der Beobachtung des solaren Radioflusses (dieser verschwindet bei einer Sonnenfinsternis), können wir auch sogenannte dynamische Radiospektren registrieren, also Radioburst auf Grund einer aktiven Sonne. Dies mag für Sonnenphysiker interessant sein, welche die Aufheizung der Korona studieren möchten (lesen Sie dazu ergänzend auch den Beitrag ab Seite 32 über das Astrophysikalische Observatorium Tschuggen in Arosa).

In Abbildung 3 sehen wir ein Beispiel für einen solaren Radioburst vom 11. Mai 2023. Sofern alles perfekt justiert ist und die Beobachtungsbedingungen gut sind, lässt sich mit diesem Instrument auch die mittlere Scheibentemperatur des Mondes bestimmen. In meinem Fall ergab eine einzelne Messung 205 Kelvin respektive -68°C , was einigermassen stimmt. Das Hauptproblem, respektive die grösste Fehlerquelle bei diesen Temperaturmessungen, ist die Kalibration der Messwerte, welche in diesem Fall folgendermassen funktioniert. Alle 15 Minuten fährt das Teleskop weg von der Sonne an eine Position, welche wir als «cold sky» bezeichnen, also eine Stelle am Himmel ohne starke Radioquellen. Optiker würden das wohl als «darkfield» bezeichnen. Dann, für eine weitere Minute, fährt das Teleskop automatisch nach unten und zeigt auf den Boden. Optiker würden dies wohl als «flat-field» bezeichnen. Der Boden hat eine bekannte Temperatur, welche wir mit dem Thermometer einfach nachmessen können. Mit dem Wert von «cold sky» von etwa 12 Kelvin und dem Bodenwert von etwa 300 Kelvin lassen sich die Messwerte kalibrieren, dies hält mit der Messunsicherheit der beiden Temperaturen.

Sonnenfinsternisse instrumentell beobachten

ASTRONOMIE
EINFACH ERKLÄRT!

Bei einer Sonnenfinsternis schiebt sich bekanntlich der Neumond vor die Sonnenscheibe. Damit wird nicht nur die sichtbare Strahlung der Sonne teilweise oder gar vollständig abgeschirmt, sondern auch die Kurzwellenstrahlung über Infrarot (die Abnahme der Wärmestrahlung ist während einer Sonnenfinsternis mess- und spürbar), Ultraviolet, Röntgen- bis Gammastrahlen. Interessant ist für uns das Mikrowellenband von 8 GHz bis 12 GHz. In dieser Frequenz ist es möglich, die Temperatur der Korona zu messen, die um ein Vielfaches heißer ist als die Sonnenoberfläche selbst. Noch heute haben die Wissenschaftler zwar viele Theorien, doch keine ist vollkommen plausibel. Mit relativ geringem Aufwand, auch was die Kosten anbelangt, lässt sich mit einem kleinen Satellitenspiegel ein verhältnismäßig einfaches, gut transportables Instrument aufbauen, das nun in Amerika zum Einsatz kommen soll.

Damit lässt sich der solare Radiofluss beobachten. Was ist damit genau gemeint? Der solare Radioflussindex (englisch: Solar Radio Flux) ist die spektrale Flussdichte der solaren Radiostrahlung bei einer Frequenz von 2'800 MHz, entsprechend einer Wellenlänge von 10.7 cm. Daher liest man gelegentlich auch vom F10.7 index. Dieser Radioflussindex korreliert mit der Zahl der Sonnenflecken, ist aber einfacher zu messen als die Sonnenfleckenrelativzahl selbst, die sich aus einer subjektiven, manuellen Zählung ergibt. Entdeckt wurde der Zusammenhang von Arthur Covington, der seine Vermutung während einer Sonnenfinsternis 1946 bestätigen konnte. Der Radioflussindex wird in Watt pro Quadratmeter und pro Hertz Bandbreite gemessen.

Warum ist die radioastronomische Beobachtung einer Sonnenfinsternis interessant? Die extreme Koronatemperatur von gegen 1 Mio. °C lässt auch während einer totalen Verfinsternis Radioteleskope noch etwas «sehen». Dr. Anshu Kumari von der NASA macht derzeit Simulationen, was man erwarten kann. «Es gibt auf jeden Fall eine 'Delle',» schreibt Christian Monstein auf Anfrage. Am Observatorium Bleien (AG) wurden 2015 während der partiellen Sonnenfinsternis entsprechende Aufzeichnungen gemacht, nachzulesen in ORION 3/15 auf Seite 17.

«Die Temperaturmessung der Korona wird so durchgeführt, dass man das Teleskop mit kaltem Himmel ~12...35 Kelvin und Erde ~290...305 Kelvin, je nach Wetterlage und Standort, kalibriert», so Monstein. «Aus der sogenannten Antennentemperatur berechnet man dann die gemittelte Temperatur der Korona (unterster Teil, nahe der Photosphäre). Dazu benötigt man die Winkelauflösung des Teleskops, hier ~3.3° und den Durchmesser der Sonne ~0.5°. Man nennt diesen Effekt Beam-dilution.» Jede Frequenz entspricht einer bestimmten Höhe über der Sonne. Mikrowellen messen wir sonnennah, Kurzwelle im Bereich der Korona und Kilohertz im interplanetaren Raum. Dieses Verhalten hängt direkt mit der Elektronendichte im Plasma zusammen.

Komponent, Subsystem	Spezifikation, Quelle	Richtpreis CHF
Satellitenspiegel aus lokalem Handel oder Amazon	60 cm ... 70 cm	80
Breitband Low Noise Block LNB (Wide band LNB)	LO = 10.41 GHz	40
Zwei SAT-Rotoren inklusive Computer-Interface, USB-Kabel und Stromadapter 18 Volt	DiSEqC Monstein	750
Stabiles Dreibein verstellbar mit Libelle	DeWalt DE0735	350
3 Koaxkabel mit F-Stecker beidseitig männlich	10 m	60
1 Kurzes Koaxkabel zwischen SAT-Finder und Bias-Tee	0.2 m, F-Stecker	10
Bias-Tee mit Attenuator 20 dB und diverse Steckeradapter	Monstein BT	70
Satellite Finder mit Analoganzeige und Beeper	Diverse Quellen	40
Stromadapter 18 Volt für LNB	CONRAD & Co.	30
Frequency Agile Radiospectrometer CALLISTO	Monstein	500
Tracking Software als Python Skript	Monstein	gratist
Spektrometer Software C++	Monstein	gratist

Tabelle 1: Kostenschätzung für ein Radioteleskop wie gezeigt in Abbildung 1.

Quelle: Christian Monstein

Der Wert für den «cold sky» entnehmen wir aus Publikationen, zu finden im Internet. Sogar ChatGPT gibt darüber Auskunft; diese ist allerdings mit Vorsicht zu geniessen.

SPANNENDE AKTIVE SONNE

Die schwarzen senkrechten Bänder erscheinen immer dann, wenn das Teleskop (automatisch) auf den kalten Himmel zeigt. Dies wird für die Kalibration benötigt und beinhaltet etwa 12 Kelvin. Die beiden schmalen rosa Streifen um 08:47 UT stammen von Starlink Satelliten (*Elon Musk*) und stören unsere Beobachtungen. Dann um etwa 08:56 UT sehen wir einen diffusen rosa Streifen; dies ist ein solarer Radioburst, welche in diesem Frequenzbereich sehr selten sind und nur bei aktiver Sonne zu beobachten sind.

Weitere, detaillierte Beschreibungen (in Englisch) sowie diverse Python Skripts (Testversionen) finden sich im Abschnitt 5. «*Transportable small radio telescope to observe solar eclipse, solar flux or average Moon disc temperature*» hier: <https://e-callisto.org/Hardware/Callisto-Hardware.html>

ERSCHWINGLICHE KOSTEN

Der geneigte Leser mag wohl interessiert sein an einer Größenordnung der Kosten für ein kleines, tragbares Radioteleskop für Hobby und Öffentlichkeitsarbeit. Beinahe alle Teile sind kommerziell erhältlich, einige sind beim Autor verfügbar.

Alles zusammen sollte weniger als CHF 2'000.– kosten, zuzüglich eventuelle Versandkosten, je nachdem, wo bestellt wird. In Tabelle 1 nicht aufgeführt



sind ein Windows Computer oder Notebook, welches mindestens zwei USB-Schnittstellen und einen Netzwerkanschluss oder WiFi benötigt. Sonst sind keine besonderen Leistungen erforderlich, auch ein alter, gebrauchter PC kann durchaus den Anforderungen genügen. Sparen lässt sich am ehesten beim Dreibein, das der interessierte Leser möglicherweise im Estrich

liegen hat oder sogar selbst bauen kann. Als Werkzeug werden nur ein Gabelschlüssel 13er, ein Inbusschlüssel 6er und ein Schraubenzieher 3er benötigt, was wohl jeder Bastler irgendwo verfügbar hat. <

Parameter	Spezifikation
Azimut Bereich	+/- 77° maximal
Elevation Bereich	+/- 77° maximal
Nachführgeschwindigkeit hängt ab von Speisung und Temperatur	~2° / sec
Winkelauflösung Azimut und Elevation	1/16 °
Empfangsfrequenzbereich	10.6 GHz ... 11.25 GHz
Zeitauflösung im dynamischen Spektrum / Integrationszeit	0.5 s / 1 ms
Zeitauflösung in separaten Lichtkurven	20 s / 40 ms
Radiometrische Bandbreite	300 KHz
Rauschzahl, Rauschtemperatur je nach LNB-Qualität	< 0.5 dB / < 35 Kelvin
Öffnungswinkel FWHM bei 64 cm Spiegel	~3.3°
Gesamtgewicht inklusive Stativ, Computer, Antenne usw.	~36 kg
Grobjustierung der Anlage	Mittels Stativs
Feinjustierung (Alignment)	Per Software in Python

Tabelle 2: Spezifikation der Anlage. Zeitauflösung ist in weitem Rahmen programmierbar, ebenso lässt sich der Frequenzbereich in einem gewissen Grad verändern. Details hier: <https://e-callisto.org/Software/CALLISTOSoftwareSetup.pdf>

Quelle: Christian Monstein

DER AUTOR Christian Monstein, pensionierter leitender Funkingenieur bei IRSOL/ETHZ

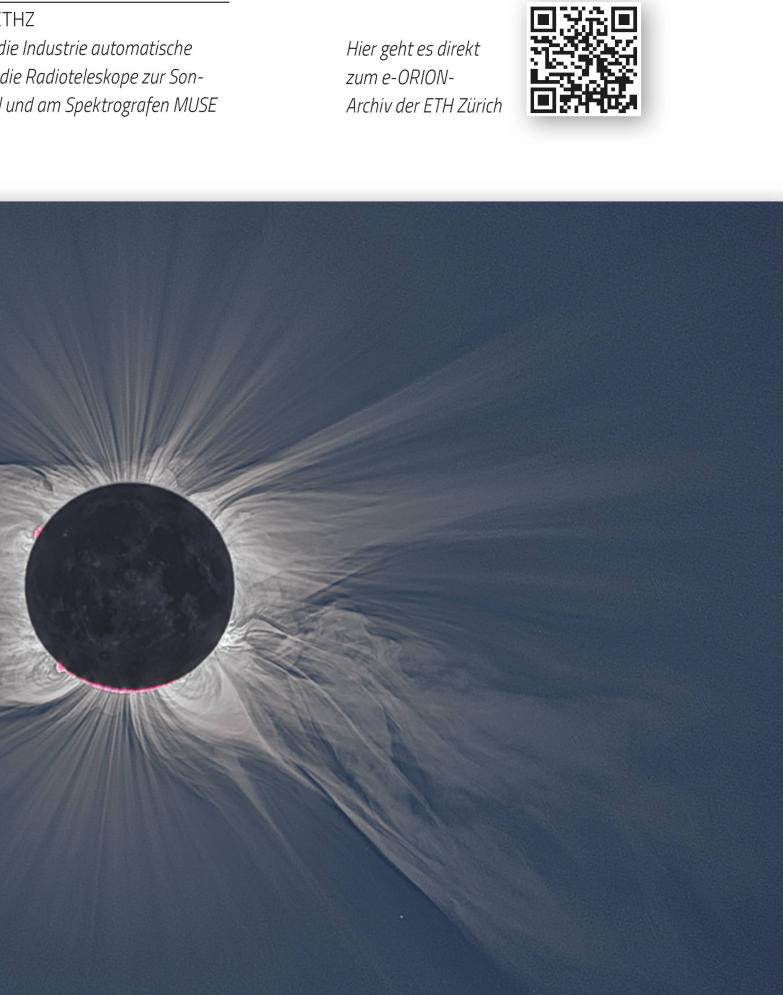
Christian Monstein studierte an der FH Konstanz Nachrichtentechnik und entwickelte für die Industrie automatische Testsysteme. Seit 1997 arbeitete er am Institut für Astronomie der ETH Zürich und ist für die Radioteleskope zur Sonnenbeobachtung zuständig. Er beteiligte sich massgeblich am Weltraumteleskop Herschel und am Spektrografen MUSE des VLT in Chile. Derzeit entwickelt er hochauflösende Radiospektrometer.

Hier geht es direkt zum e-ORION-Archiv der ETH Zürich



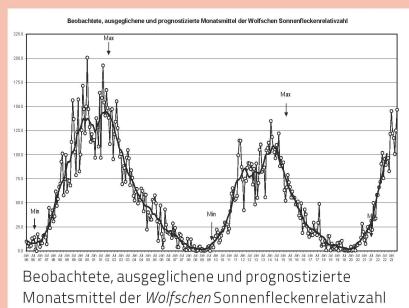
Abbildung 4: Dieses einzigartige Finsternisbild, das am 4. Dezember 2021 in der Antarktis entstand, zeigt einen riesigen koronalen Massenauswurf (rechts), der sich durch die Sonnenkorona ausbreitet. Damals war noch eine charakteristische Minimumskorona mit weit ausladenden ekliptikalnen «Strahlen» und den typischen polaren Fransen zu sehen. Die Aufnahme ist so ausgerichtet, dass der solare Norden oben liegt.

Bild: Andreas Möller & Miroslav Drückmüller



Swiss Wolf Numbers 2023

Marcel Bissegger, Gasse 52, CH-2553 Säfnern



April 2023

Mittel: 87.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
71	41	42	57	62	39	51	57	59	93
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
116	144	118	161	248	187	174	136	111	83
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
95	106	80	63	81	92	125	119	94	110

Mai 2023

Mittel: 126.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
115	93	107	143	120	124	111	140	124	80
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
168	121	143	104	121	116	116	99	121	147
21	22	23	24	25	26	27	28	29	31
125	129	138	160	83	126	120	140	130	147
125	129	138	160	83	126	120	140	130	147

Juni 2023

Mittel: 147.0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
155	133	146	139	115	164	187	163	164	146
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
138	118	93	112	115	118	116	150	166	168
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
156	252	159	201	202	130	131	140	109	112

4/2023	Name	Instrument	Beob.
Bissegger M.	Refr 100	4	
Erzinger T.	Refr 90	1	
Erzinger T.	Refr 90	10	
Friedli T.	Refr 40	5	
Friedli T.	Refr 80	5	
Früh M.	Refl 300	12	
Käser J.	Refr 100	11	
Meister S.	Refr 125	6	
Niklaus K.	Refr 126	1	
Niklaus K.	SDO 2048	11	
SIDC S.	SIDC 1	6	
Weiss P.	Refr 82	13	
Zutter U.	Refr 90	14	

5/2023	Name	Instrument	Beob.
Bissegger M.	Refr 100	5	
Ekatodramis S.	Refr 120	1	
Erzinger T.	Refr 90	2	
Erzinger T.	Refr 90	8	
Friedli T.	Refr 40	5	
Friedli T.	Refr 80	5	
Früh M.	Refl 300	5	
Käser J.	Refr 100	10	
Kortschak H.	Refr 125	1	
Meister S.	Refr 125	6	
Niklaus K.	SDO 2048	1	
SIDC S.	SIDC 1	9	
Trefzger C.	Refl 125	3	
Weiss P.	Refr 82	14	
Zutter U.	Refr 90	13	

6/2023	Name	Instrument	Beob.
Bissegger M.	Refr 100	4	
Erzinger T.	Refr 90	2	
Erzinger T.	Refr 90	6	
Friedli T.	Refr 40	5	
Friedli T.	Refr 80	5	
Früh M.	Refl 300	7	
Käser J.	Refr 100	26	
Kortschak H.	Refr 125	3	
Meister S.	Refr 82	12	

Swiss Occultation Numbers 2023 (Fachgruppe Sternbedeckungen SOTAS (www.occultations.ch))

April, Mai & Juni 2023

Datum	Asteroid / Mond	Bedeckter Stern	Stationen												Stationsinformationen					
			BUE	CUG	FAI	GNO	HIM	LOC	MCE	MEN	MUZ	SCH	SMA	WET	Beobachter	BUE	CUG	FAI	GNO	HIM
01.04.	(259) Aletheia	UCAC4 581-017721									0+				0+	BUE	Sternwarte Bülach			
09.04.	(439) Ohio	UCAC4 408-057811														(S. Meister S. / A. Schweizer)				
26.05.	(86098) 1999 RL105	UCAC4 383-068318									0+				0+	CUG	Stat. Cugnasco (A. Manna)			
10.06.	(914) Palisana	UCAC4 485-127292	0+													FAI	Stat. Faido (St. Sposetti)			
10.06.	(104) Klymene	UCAC4 326-089169	0+													GNO	Obs. Gnosca (St. Sposetti)			
08.07.	(1061) Thessalia	UCAC4 379-068328													0+	HIM	Obs. Himmelried (J. Schenker)			
09.07.	(153) Hilda	UCAC4 373-112282	0+													LOC	Specola Solare Locarno (St. Sposetti)			

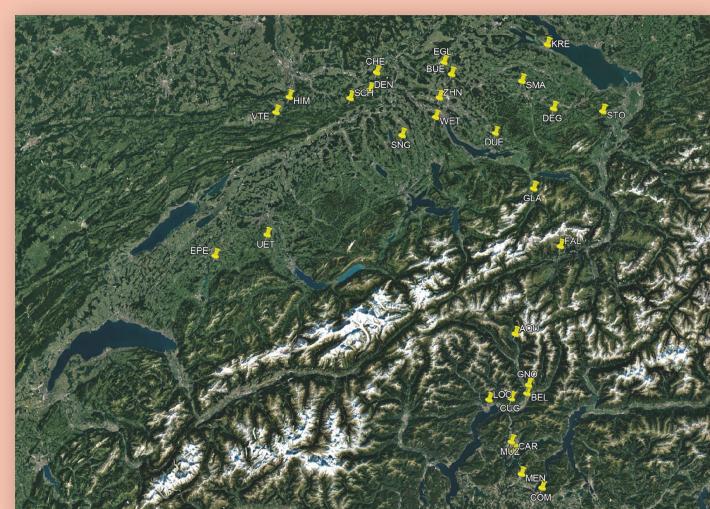


Abbildung 1: Hier sehen wir, wo in der Schweiz Beobachtungsstationen die Sternbedeckungen überwachen. Besonders gut verteilt sind die Stationen in der Deutschschweiz und im Tessin.

Bild: <http://www.occultations.ch/stations.html>