Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 32 (1974)

Heft: 141

Rubrik: Aus der Forschung : Ergebnisse von zwei Jahren Korona-Forschung mit dem Radio-Heliographen von Culgoora

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: 26.07.2025

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

Fritz Zwicky †

Wie der ORION-Redaktion soeben bestätigt wurde, ist Herr Professor Dr. FRITZ ZWICKY unerwartet rasch in Pasadena verstorben. Der ORION, der zuletzt einen Vortrag von F. ZWICKY in Basel referierte und auch einen Bericht über die FRITZ-ZWICKY-Stiftung in Glarus brachte, wird in seiner nächsten Nummer eine ausführliche Würdigung des grossen Schweizer Astronomen aus der Feder seines Landsmanns und ehemaligen Mitarbeiters PAUL WILD veröffentlichen.

Aus der Forschung

Ergebnisse von zwei Jahren Korona-Forschung mit dem Radio-Heliographen von Culgoora

Redaktionell überarbeitete Fassung eines Auszugs von H. URBARZ aus der Publikation von J. P. WILD: Some Investigations of the Solar Corona: The first two years of observations with the Culgoora Radioheliograph. Proc. Astronom. Soc. Austral. Vol. 1, No. 8, p. 365 (1970).

Einleitung:

Die Sonnenbeobachtungen mit dem Radioheliographen von Culgoora begannen am 2. 9. 1967; sie konnten ab Februar 1968 systematisch mit über 6 Stunden täglich aufgenommen werden. Daneben wurden Untersuchungen über Radioquellen begonnen und technische Perfektionen des Instruments durchgeführt, sowie Computer-Programme zur Datenauswertung entwickelt. Die bisher mit diesem einmaligen Instrument erzielten Ergebnisse sind der Zusammenarbeit von Radioastronomen, Sonnenphysikern und Ingenieuren in der «Division of Radiophysics» der CSIRO in Sydney zu verdanken.

Instrumentelles:

Der Radioheliograph stellt im Prinzip eine Radio-Kamera für die Frequenz von 80 MHz dar, die pro Sekunde ein Bildpaar der Radiostrahlung der äusseren Sonnenatmosphäre in links- bzw. rechtszirkularer Polarisation liefert. Die Halbwertsbreite der abtastenden Richtkeule beträgt in Zenitrichtung 3.8′ bei einem Gesichtsfeld von etwa 2°. Jedes Bild besteht aus (maximal) $60 \times 80 = 4800$ Bildpunkten, die die gesamte Information enthalten. Momentanbilder können optisch sichtbar gemacht und photographisch sowie auf Magnetband registriert werden, so dass mit Hilfe von entsprechenden Computer-Programmen Kontur-Diagramme der Temperaturverteilung der solaren Strahlung und weitere Daten ausgedruckt werden können, vergl. Abb. 1. Bei der Untersuchung der 80 MHz-Strahlung der Sonne beobachtet man ein Höhenniveau, das einer Plasmafrequenz von 80 MHz entspricht. Für eine Interpretation ist im allgemeinen die Annahme einer zweifachen NEWKIRKschen Dichteabhängigkeit über einer aktiven Region ausreichend. In den Sonnenflecken, die man in der Photosphäre beobachtet, treten magnetische Feldbündel in die Korona, die ebenso wie die Bereiche dichterer Sonnenatmosphäre über den Sonnenflecken Teil einer aktiven Region sind. Diese dichteren Bereiche stellen magnetische Feldröhren dar, die das dichtere Gas zusammenhalten und *koronale Streamer* genannt werden. Das Gesetz, nach welchem die Dichte des vollständig ionisierten Plasmas in einem NEWKIRKschen Streamer nach aussen hin abnimmt, lautet:

$$N_e = 1.66 \cdot 10^5 \cdot 10^{4.32/(1+H/R_\odot)},$$

worin H die Höhe über der Photosphäre bedeutet. Da Plasmafrequenz und Elektronendichte durch die einfache Beziehung $fp = c/\sqrt{N_e}$ verbunden sind, ist das 80 MHz-Plasmaniveau in einer Höhe von $H = 0.6\ R_\odot$ festgelegt. Bei Strahlungstemperaturmessungen der ungestörten Sonnenatmosphäre bei 80 MHz, in der das Plasma dünner als über aktiven Regionen ist, sieht man deshalb in etwas tiefere Schichten hinein.

Die ruhige Sonne und die Korona-Struktur

Abb. 1 zeigt ein typisches Radiokonturheliogramm der Sonne das durch Integration über eine Minute entstanden ist (die jedem Bildpunkt entsprechende Intensität ist über eine Minute gemittelt). Abb. 1 stellt die erste zweidimensionale Radiokarte

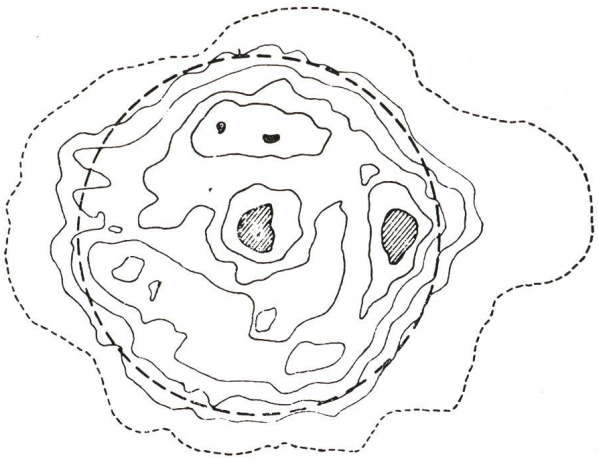

Abb. 1: 80 MHz- Konturlinien der ruhigen Sonne am 3. September 1969. Die äusserste Kontur ist $3{,}75.10^5$ °K, der Intervall beträgt $1{,}5.10^5$ °K. Flächen mit höherer Temperatur als $9{,}75.10^5$ °K sind gestrichen. Der Radius des eingezeichneten Kreises ist 1,45 R_0. Die äusserste Kontur ist die bei 1,5 R_0 im Optischen gemessene Intensität der K-Korona.

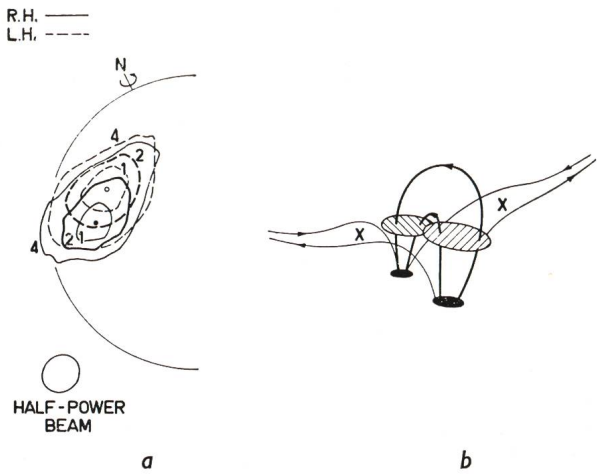

Abb. 2: a) Konturen eines typischen Rauschsturmzentrums in den beiden Polarisationsarten. Die Konturen 1, 2 und 4 entsprechen den Intensitäten 0,71, 0,5 und 0,25 des Höchstwertes. Der optische Sonnenrand ist ebenfalls angegeben.

b) Modell eines bipolaren Rauschsturmzentrums. Die Typ I-Strahlung entsteht an den gestrichenen Bereichen, wo starke Magnetfelder das Plasmaniveau schneiden. Typ III-Burste s entstehen dagegen in neutralen Regionen oder in solchen mit schwachem Magnetfeld.

der Korona dar und bildet damit eine wesentliche Erweiterung der Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen mit dem 169 MHz-O/W-Interferometer von Nancay. In dieser Phase der solaren Aktivität erscheint die Radio-Korona als etwa runde Scheibe mit einer Randverdunkelung. Der Radius der Sonne bei 80 MHz beträgt 1.45 $R_\odot$ bei der Kontur von $3.75 \cdot 10^5$ °K. Man erkennt lokale Bereiche erhöhter Strahlungstemperatur mit einigen 10^6 °K, die man auch bei 169 MHz in tieferem Niveau findet, mit dem Nancay-Instrument aber nur in einem schmalen Streifen parallel zum Sonnenmeridian lokalisieren konnte. Ihre Lebensdauer kann einige Tage bis Wochen betragen. Am Sonnenrand werden sie als Kontur-Beulen beobachtet, die räumlich gut mit optischen Messungen der K-Korona korelliert sind. Die Zentraltemperatur wird zu etwas weniger als 10^6 °K gefunden.

Typ I-Bursts und Rauschsturmzentren über Sonnenflecken

Typ I-Bursts und Rauschstürme zeigen im Intensitätsspektrum eine Folge kurzer Impulse, die in einem schmalen Frequenzband über Stunden bis Tagen auftreten. Sie können von einem intensitätsschwachen Kontinuum überlagert sein. Das Intensitätsspektrum erhält man mittels eines Radiospektrographen, der anstelle einer Winkelauflösung die Flussdichte eines Bursts über Frequenz und Zeit registriert. Die Radioquellen solcher Rauschstürme sind prinzipiell Zentren mit Winkeldurchmesser von 3–4 Bogenminuten und bis zu 100% zirkularer Polarisation. Die Bildfolge der Messungen mit der Radiokamera zeigte aber auch, dass zwei gegeneinander versetzte Zentren mit entegengesetzter zirkularer Polarisation existieren können, dass also bipolare Strukturen auftreten (Abb. 2 a). Wenn im gleichen aktiven Zentrum auch Typ III-Bursts auftreten, so fallen die Positionen ihrer Radioquellen niemals mit jenen der Typ I-Bursts zusammen. Abb. 2 b zeigt qualitativ ein Modell eines bipolaren Rauschsturmzentrums. Elektronen von etwa 1 keV Energie bewegen sich in einer magnetischen Falle, die von einem vom Niveau der bipolaren Flecken in die Korona hinaufreichenden magnetischen Feldbündel gebildet wird. Die Emissionsquelle der Typ I-Bursts liegt am Ort relativ starker Magnetfelder von etwa 5 G im 80 MHz-Plasmaniveau, jene der Typ III-Bursts in flächenartigen Bereichen schwächerer magnetischer Felder von weniger als 0.1 G, die auch neutrale Zonen genannt werden. Die Typ I-Quellen liegen etwa $4 \cdot 10^5$ km über der Photosphäre und haben Durchmesser von etwa $2 \cdot 10^5$ km. Manchmal ist die Struktur der bipolaren Rauschsturmzentren gross genug, um sie auflösen zu können, in anderen Fällen treten 3 oder mehr über weite Bereiche der Sonnenatmosphäre verteilte Quellen auf. Aus dem Fluktuieren ihrer Intensität kann dann auf ihre Verbindung durch grossräumige Magnetfelder geschlossen werden. Dies ist nur eine Art von zusammenhängender Aktivität weit voneinander entfernter Regionen der Korona, wie sie die Beobachtungen mit dem Radioheliographen enthüllt haben.

Typ III-, Typ V- und U-Bursts. Ströme schneller Elektronen

Typ III-Bursts sind im dynamischen Spektrum durch ihre steile Frequenzdrift kenntlich. Ihre Strahlung im lokalen Plasma wird durch Elektronen-Plasmawellen erzeugt, die durch Wolken schneller,

etwa mit halber Lichtgeschwindigkeit nach aussen wandernder Elektronen angeregt werden. Beobachtet man bei einer festen Frequenz, so sieht man die Emission im zugehörenden Plasmaniveau. Beobachtungen vom Typ III-Bursts mit dem Radio-Heliographen haben keine grundsätzlich neuen Erkenntnisse gebracht, dafür aber die meisten aus den bisherigen Interferometer-Beobachtungen gezogenen Schlüsse bestätigt. Typ III-Bursts erscheinen als intensive, konzentrierte Quellen mit einem charakteristischen Winkeldurchmesser von etwa 4 Bogenminuten, wobei Randereignisse quer zur radialen Richtung etwas auseinandergezogen erscheinen. Gruppen von Typ III-Bursts, die oft mit der Flash-Phase von Flares verknüpft sind, zeigen eine weite Streuung ihrer Positionen. Im Fall einer im dynamischen Spektrum geschlossen auftretenden Typ III-Bursts-Gruppe streuten die Quellenpositionen über Strecken von einem Sonnenradius längs Geraden in verschiedenen Richtungen. In einem anderen Fall streuten die Quellenpositionen längs eines weiten Bogens, der offenbar mit einem optisch in Hα-Licht beobachteten dunklen Filament in Beziehung stand. Die Eigenschaften der Typ III-Bursts, wie das Vermeiden der Bereiche von Rauschstürmen, ihr geringer Polarisationsgrad etc. stützen die Vorstellung, dass sie besonders in den bereits erwähnten neutralen Zonen oberhalb dunkler Filamente auftreten, die Bereiche verschiedener magnetischer Polarität trennen. Wird ein Typ III-Burst von einem Typ V-Burst gefolgt, so findet man gewöhnlich eine Verschiebung der beiden Quellenpositionen und eine Vergrösserung ihres Winkeldurchmessers, vergl. Abb. 3. Die Beobachtungsergebnisse mit dem Radioheliographen stützen die Annahme, dass diese Bursts durch die Plasmastrahlung von Elektronen angeregt werden, die zeitweilig in magnetischen Loops eingefangen sind in, denen die Plasmatemperatur höher ist. Diese Loops schliessen sich an die neutralen Zonen an, in denen die Typ III-Bursts auftreten. Die meisten der bisher beobachteten U-förmigen Typ III-Bursts zeigen deutliche Positionsunterschiede ihrer Quellen, die dem auf- bzw. absteigenden Zweig ihres dynamischen Spektrums entsprechen. Ihr Verhalten kann man als die Wirkung einer aufsteigenden Elektronenwolke deuten, die, in einer gewissen Höhe von einem Magnetfeld geführt, sich wieder abwärts bewegt und so ein Plasmaniveau an zwei verschiedenen Stellen passiert, vergl. Abb. 4. Zahlreiche Bursts werden in einem zeitlichen Abstand von etwa 10 Sekunden und in einer Distanz von etwa 1 $R_\odot$ beobachtet. Diese Form der räumlich korrelierten Burst-Aktivität wird, ähnlich wie im Falle der U-Bursts, scheinbar durch räumlich sehr ausgedehnte magnetische Bündel bedingt, die voneinander entfernte Aktivitätszentren energetisch verbinden, in denen sich Teilchenströme und Plasmawellen bewegen. Derartige magnetische Strukturen sind schon von optischen Beobachtern nachgewiesen worden.

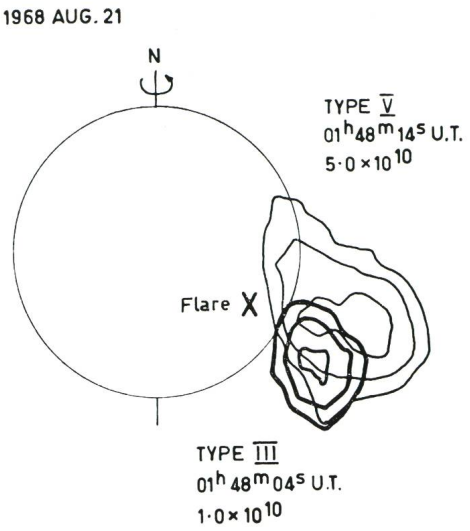

Abb. 3: Ein Typ V-Burst (dünne Linien) der gleich nach einem Typ III-Burst (dicke Linien) auftrat. Der Konturabstand ist 3 dB, die angegebenen Maximaltemperaturen sind °K.

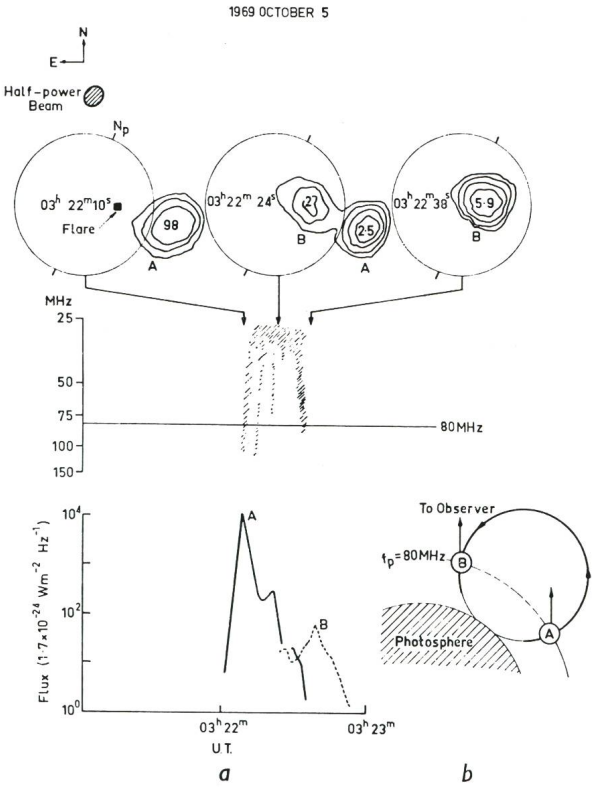

Abb. 4: Die Doppelstruktur des Radioheliogramms eines invertierten U-Bursts (oben), das dynamische Spektrum gemessen mit dem Radiospektrographen (Mitte), der Burst einer Gesamtflussmessung bei 80 MHz (unten). Die örtliche Verschiebung zwischen den Quellen A und B, die den auf- bzw. absteigenden Zweigen des U-Burst entsprechen, wird erklärt durch die Bewegung einer Elektronenwolke längs einer magnetischen Schleife (rechts).

Typ II-Bursts und von Flares erzeugte Stosswellen

Die Annahme gilt als gesichert, dass Typ II-Bursts, die im dynamischen Spektrum durch geringe Steilheit charakterisiert sind, meist in der explosiven Phase grosser oder mittlerer Flares entstehen. Gaswolken und Druckwellen bewegen sich in Bereichen nach aussen, in denen die ALFVENgeschwindigkeit v_A geringer als die Geschwindigkeit der Störung wird, so dass bei einigen 100 bis 1000 km/Sekunde Stosswellen der Elektronen im Plasma entstehen. Die Grösse v_A ist durch die Formel $v_A = 2 \cdot 10^4\ H/f_p$ (km/sec) gegeben, in welcher das Magnetfeld H in Gauss und die Elektronenplasmafrequenz f_p in MHz anzugeben ist. Ein Typ II-Burst entsteht in der Stossfront dieser Welle bei ihrer Wanderung durch die Korona im jeweiligen Plasma-Niveau. Die Radioheliographen-Beobachtungen zeigen, dass die Quellen der Typ II-Bursts im allgemeinen grosse Durchmesser (bis zu einem halben Sonnenradius) besitzen und dass die Verteilung der Strahlungstemperatur über die Quelle hinweg rasch, sogar innerhalb einer Sekunde, schwanken kann. Das Zentrum der Quelle wandert zudem gelegentlich über mehrere Minuten. Ein einzelner Flare kann einige diskrete, nicht unbedingt gleichzeitige Typ II-Quellen erzeugen, die über weite Teile einer Hemisphäre verteilt sind. Dabei kann eine Typ II-Quelle im gleichen Gebiet auftreten, wie eine vorhergegangene Typ III-Quelle. Die Bursts zeigen zu Beginn keine Polarisation, sie können jedoch in der Endphase eine komplexe Polarisationsverteilung aufweisen. Mit theoretischen Vorstellungen steht im Einklang, dass bereits von Flares geringer Importanz herrührende schwache Störungen Typ II-Bursts erzeugen können, die dann allerdings auf den mittleren Bereich von koronalen Streamern beschränkt sind, wenn nur das Verhältnis von Magnetfeld zu Plasmafrequenz und damit die ALFVENgeschwindigkeit gering ist. Grössere Störungen erzeugen dagegen Typ II-Bursts, die über weite Bereiche ausgedehnt sind, vergl. Abb. 5. In diesem Fall haben Störung und Flare ihren Ausgangsort hinter dem Sonnenrand. Das Momentanbild der Typ II-Quelle zeigt hier eine Ausdehnung über eine ganze Hemisphäre. Man kann dies als eine Stosswelle deuten, die bei ihrer Ausbreitung in der Sonnenatmosphäre eine Brechung erfährt. In einem anderen Fall war eine Ausbreitung in einer Vorzugsrichtung zu beobachten, wobei die Bereiche eines starken Magnetfeldes von der Stosswelle bzw. den Typ II-Bursts gemieden wurden, vergl. Abb. 6. Die Reichweite von Stosswellen, die von Flares hoher Importanzklasse erzeugt werden, ist sehr gross; sie können sich bis in den interplanetaren Raum ausbreiten und in der Erdumgebung geomagnetische Störungen hervorrufen. In schräger Richtung und quer zur Ausbreitungsrichtung können Protuberanzen angeregt und sekundäre Radiobursts erzeugt werden. Ein solches Phänomen wurde beobachtet, als ein Radioburst oberhalb einer eruptiven Protuberanz 10^6 km vom

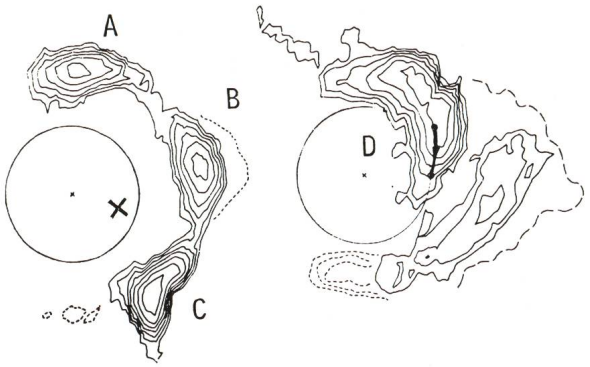

Abb. 5: Der grosse Radioburst am 30. März 1969. Der zugehörige Flare begann an der Stelle X um 02^h45^m UT hinter dem Sonnenrand, dabei wurden auch Wolken hochenergetischer Protonen in den interplanetaren Raum emittiert. Die Radioheliogramme wurden zur Zeit a) 02^h50^m und b) 03^h06^m registriert. Typ II-Bursts waren die Quellen A, C und D; B war dagegen die Quelle eines Kontinuumsburst (letzter Abschnitt).

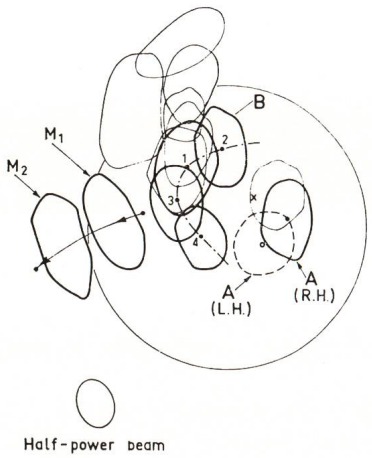

Abb. 6: Die Konturen einer Burstquelle vom 4. September 1968. Der Flare an der Stelle x erzeugte eine direktive Stosswelle, welche 4 Typ II-Quellen längs des Bogens B, 1 bis 4 und eine wandernde Typ IV-Quelle M_1 bzw. M_2 erzeugte. Die bipolaren Rauschsturmzentren A entwickelten sich später. Die zur Flash-Phase des Flares auftretenden Typ III-Bursts zeigen eine weiträumige Verteilung ihrer Quellen.

Ursprungsflare entfernt erzeugt wurde. Da bei Typ II-Bursts die erste und zweite Harmonische auftreten können, erhebt sich die Frage nach der relativen Position ihrer Burstquellen, wie sie bereits mit dem Interferometer von DAPTO der CSIRO untersucht wurde. Die frühere Vorstellung war, dass die Quelle der Harmonischen näher zur Photosphäre als die Grundwelle liegt, weil die Harmonische vorzugsweise nach unten abgestrahlt wird, um an den dichten Schichten der tieferen Korona reflektiert bzw. zurückgestreut zu werden, wo sie der Beobachter sieht. In Abb. 7 sind die Ergebnisse der Beobachtung von 4 derartigen Ereignissen mit dem Radioheliographen dargestellt. Es zeigt die relative Position der Grundwelle und einer Harmonischen zur Sonnenscheibe, wobei

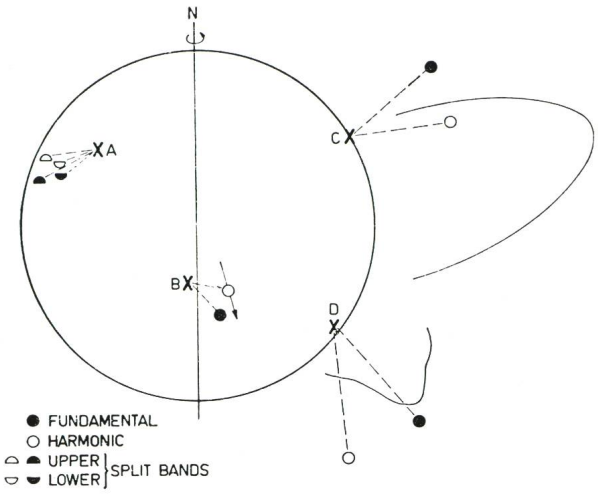

Abb. 7: Die relativen Positionen der Quellen der Emission im fundamentalen und harmonischen Band von 4 Typ II-Bursts zum Flare (X). Bei den Randereignissen C und D sind die koronalen Streamer eingezeichnet, die im optischen aus der Intensität der K-Korona bei 1,5 R_0 ermittelt wurden. Bei der Harmonischen der Quelle B bewegte sich diese über die Länge des Pfeils. Westen ist rechts, ausser für den Fall A.

der Positionsunterschied eher ein seitlicher als ein radialer ist. In allen Fällen wurde die Wellenausbreitung von der Quelle der Typ II-Emission mit der Annahme eines Modell-Korona-Streamers detailliert untersucht, um die Wirkung des von der Strahlung durchlaufenen Mediums zu berücksichtigen. Sie besteht z. B. in der Doppelbrechung des vom Magnetfeld durchsetzten Plasmas für Wellen verschiedener Polarisation. Nur in einem Fall war die Beobachtung so zu deuten, dass Grundwelle und Harmonische in Vorwärtsrichtung, also in die obere Korona abgestrahlt wurden; in den drei anderen Fällen war eine in tieferen Schichten reflektierte Strahlung der Harmonischen anzunehmen. Das dynamische Spektrum der Typ II-Bursts zeigt mitunter eine Aufspaltung der Emissionsbänder in zwei oder mehr Komponenten am Burstende. Dann scheinen diese Emissionen, wie Abb. 7 zeigt, aus etwas gegeneinander verschobenen Quellen zu kommen. Zur Erklärung dieser Befunde kann man annehmen, dass eine Bandaufspaltung dann eintritt, wenn eine sich ausbreitende Stosswelle eine beulenartige Magnetfeldstruktur in einem Korona-Streamer oder einer Kondensation passiert.

Wandernde Typ IV-Burstquellen und eruptive Protuberanzen

Die Beobachtungen wandernder Typ IV-Bursts mit dem Radioheliographen ergab dank der Möglichkeit, solche Phänomene mit hoher Auflösung zweidimensional zu verfolgen, erstmals Aufschlüsse über deren physikalische Hintergründe und entsprechende Beziehungen zu den optisch zu beobachtenden Erscheinungen. In den Abbildungen 8, 9 und 10 sind

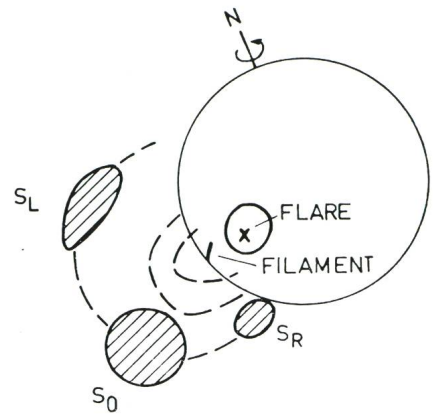

Abb. 8: Wandernder Typ IV-Burst vom 22. November 1968 verknüpft mit einem Flare und aktivierten Filament. Die 80 MHz Emission trat zuerst längs des inneren Bogens auf der sich dann ausdehnte bis zum mittleren Bogen. Später beschränkte sich die Emission auf die 3 Quellen S_0 (unpolarisiert) und S_L sowie S_R. Eine spätere Rauschsturmphase wurde dann in Umgebung des Flares X lokalisiert.

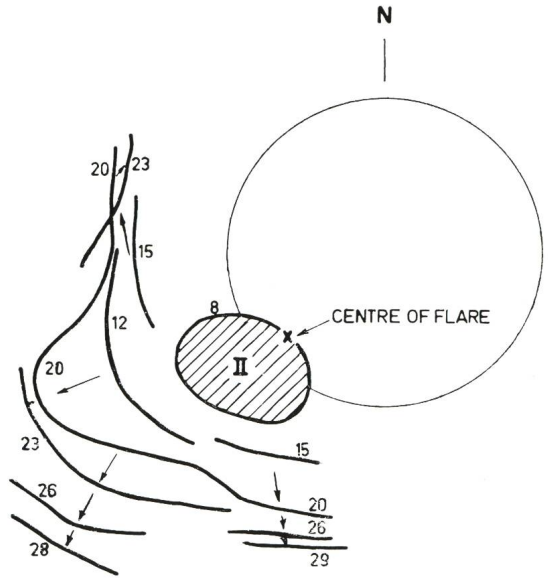

Abb. 9: Wandernder Typ IV-Burst vom 23./24. Oktober 1968. Der Flare produzierte 2 Stosswellen im angegebenen Bereich, die spätere formte die Quelle von Typ IV Emission um den grossen expandierenden Bogen. Die dicken Linien zeigen die Expansion dieser 80 MHz Strahlung zu den in Minuten angegebenen Zeiten nach Flarebeginn.

drei Varianten der wandernden Typ IV-Bursts dargestellt. Abb. 8 zeigt den Fall, dass die Radiostrahlung längs einer bogenartigen Struktur oberhalb einer Protuberanz verteilt ist, die durch einen Flare in etwa $3 \cdot 10^5$ km Entfernung aktiviert worden war. Die bogenförmige Struktur war zeitweise zirkular polarisiert, flächenmässig etwa zur Hälfte in den beiden entgegengesetzten Polarisationen. Mit der Ausdehnung des Bogens konzentrierte sich die Radioemis-

sion in zwei hochpolarisierten diskreten Quellen nahe an den Fusspunkten des Bogens; eine weitere, unpolarisierte Quelle fand sich ungefähr an der Bogenkappe. Die Expansionsgeschwindigkeit lag anfangs bei etwa 300 km/Sekunde und nahm im Laufe von 45 Minuten, als die Quelle S_O eine projizierte Höhe von 1 $R_\odot$ erreicht hatte, auf etwa 100 km/Sekunde ab. Dann verschwanden die drei Quellen. Das Polarisationsverhalten lässt einen magnetischen expandierenden Bogen über einer eruptiven Protuberanz, entsprechend der in Abb. 11 a dargestellten magnetischen Struktur vermuten. Die Quelle S_O, weit über dem Plasmaniveau von 80 MHz, emittiert eine Synchronstrahlung, die durch im oberen Teil des Bogens eingefangene schnelle Elektronen entsteht, während S_L und S_R eine von Elektronen herrührende Strahlung aussenden. Eine Sonnenrotation früher wurde in der gleichen aktiven Region die in Abb. 9 dargestellte Variante beobachtet. Die Burst-Aktivität war mit einem ausgedehnten Flare hoher Importanz und einer Aktivierung von dunklen Filamenten sowie mit zwei Paaren von Typ II anregenden Stosswellen verknüpft, die Geschwindigkeiten von 3000 bzw. 1400 km/Sekunde aufwiesen. Abb. 9 zeigt die Positionen von ausgedehnten Strahlungsfronten zu verschiedenen Zeitpunkten, die zusammenhängend bis in die Höhe von 2 $R_\odot$ über die Photosphäre in die Korona reichen. Die Burstquellen waren unpolarisiert. Das Bogensystem war als räumliche und zeitliche Fortsetzung der Typ II-Burst-Stosswellen von 1400 km/Sek. Geschwindigkeit zu deuten, die sich dann zur wandernden Typ IV-Quelle umbildete. Man hat hier das Bild einer Stosswelle, die beim Durchgang durch das Plasma-Niveau einen Typ II-Burst erzeugt und dann in grösserer koronaler Höhe eine Synchrotronstrahlungsquelle nach aussen schiebt, die als wandernder Typ IV-Burst in Erscheinung tritt. Die energetischen Elektronen werden in der Stossfront durch Beschleunigung erzeugt. Die dritten Variante der wandernden Typ IV-Bursts ist die isolierte Quelle, die grosse Höhen erreichen kann. Bei dem in Abb. 10 dargestellten Fall spaltet sich die anfangs unpolarisierte wandernde Quelle in zwei räumlich getrennte und entgegengesetzt zirkular polarisierte Quellen auf, die mit der konstanten Geschwindigkeit von 270 km/Sekunde nach aussen streben. Sie erreichen im Verlauf von 2 Stunden eine Höhe von 4 $R_\odot$. Die Burstquellen liegen dabei über einer aufsteigenden Protuberanz (optisch beobachtet vom Haleakala-Observatorium der Universität Hawaii). Das optische und das Radio-Phänomen wurden mit einen Zeitunterschied von einer Stunde beobachtet, die Quellengeschwindigkeit entsprach der lokalen ALFVENgeschwindigkeit. Man kann dieses Ereignis mit der Bildung eines toroiden magnetischen Ringes deuten, der gleich einem Rauchring durch den Flare erzeugt worden war. Eine andere mögliche Deutung zeigt Abb. 11 b. Bei der maximalen Energiefreisetzung eines Flares wird angenommen, dass Feldlinien, die das neutrale Niveau passieren, oberhalb einer Protuberanz wieder vereinigt werden. Die so gebildete Schleife bewegt sich mit ALFVENgeschwindigkeit aufwärts, wobei magnetische Energie zur Beschleunigung geladener Teilchen frei wird. In den beiden Gebieten maximaler Feldstärke (vergl. Abb. 11 b) kann sich aus teilweise eingefangenen Elektronen ein Paar von Synchrotronquellen mit gleich- oder gegensinniger zirkularer Polarisation entwickeln. Der hohe Polarisationsgrad deutet an, dass diese Elektronen eine Energie von weniger als 1 MeV aufweisen und das Magnetfeld einen hohen Grad von Richtungsordnung besitzt. Da sich die Quellen in der Endphase der Erscheinung rasch auflösen, ist unter Ausdehnung der Quelle eine Abnahme des Magnetfeldes anzunehmen, wobei die Elektronen durch eine Art Betatron-Mechanismus gebremst werden. Die bisherigen Beobachtungen zeigen, dass wandernde Typ IV-Bursts ein Teilphä-

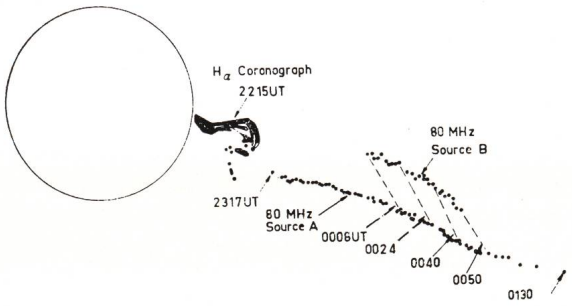

Abb. 10: Wandernde Typ IV-Bursts vom 1./2. März 1969. Eine Doppelquelle bewegte sich bis in 4,25 R Abstand von der Photosphäre. Das Radioereignis folgte einer grossen aufsteigenden Protuberanz die vom Haleakala Observatorium beobachtet wurde. In einer späteren Phase waren die Quellen A und B polarisiert im entgegengesetzten Sinn.

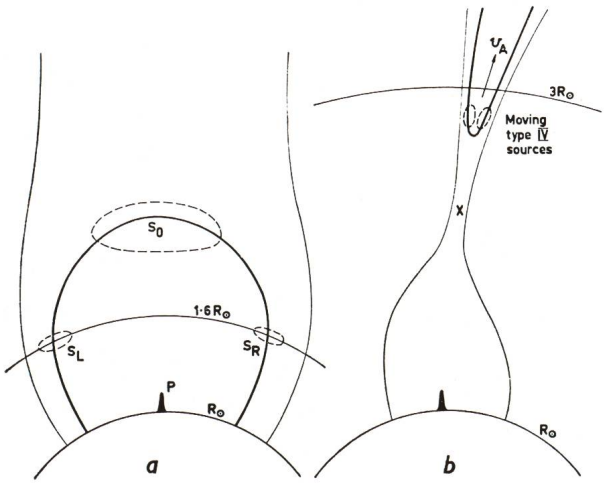

Abb. 11: Vermutete magnetische Konfigurationen oberhalb eruptiven Protuberanzen um zwei verschiedene Arten von wandernden Typ IV-Bursts zu erklären, a) bezieht sich auf das Ereignis in Bild 8, b) auf das in Bild 10.

nomen eines komplexen Vorgangs sind, bei dem Flares, Protuberanzen, Typ II-Bursts und wandernde Typ IV-Bursts beteiligt sind.

Das Flare-Kontinuum

Da die Vielfältigkeit der Erscheinungen bereits zu Verwirrungen in der Literatur geführt hat, sei bemerkt, dass im Bereich der m-Wellen (im Gegensatz zum Bereich der cm-Wellen) viele Bursts, die von Flares getriggert werden oder mit ihnen assoziiert sind, letzten Endes durch Elektronenwolken, Plasmawellen oder magnetisch zusammengehaltenen Plasmawolken, die energetische Elektronen eingefangen haben, wie bei Typ II-, Typ III- oder wandernden Typ IV-Bursts, verursacht werden. In diesen Fällen werden die Burstquellen in grösserer Entfernung vom Flare-Gebiet beobachtet. Nur bei hochenergetischen Ereignissen wird eine intensive, stationäre Kontinuumsquelle oberhalb der Flare-Region gefunden. Eine solche Quelle erscheint dann bereits zum Flare-Beginn als Aufhellung, erreicht ein Maximum in etwa 10 Minuten und verschwindet nach etwa einer Stunde. Solche Kontinuumsquellen sind jedoch nicht mit Rauschsturm-Kontinua zu verwechseln, die etwa eine Stunde nach den Flares entstehen. Ein charakteristisches Beispiel einer Flare-Kontinuums-Quelle ist die Quelle B in Abb. 5. Sie liegt in grösserem Abstand vom Sonnenrand radial über der Flare-Region nahe dem Plasma-Niveau und weitet sich später zu einer grösseren Quelle aus. Abb. 12 zeigt zwei Flare-Kontinuums-Quellen über der Sonnenscheibe, eine (A) direkt über dem Flare, die andere (B) über einem anderen aktiven Gebiet im Abstand von 0.5 $R_\odot$. Beide Quellen veränderten ihre Intensitäten in gleicher Weise und schliesslich entstand ein Rauschsturmzentrum am Ort von A. Beide Quellen zeigten eine bipolare Polarisationsstruktur. Eine halbe Stunde vor Flare-Beginn traten bis auf eine Sekunde genau bei A und B Aufhellungen auf, woraus zu folgern war, dass diese Gebiete durch magnetische Schleifen verbunden waren. Das Flare-Kontinuum wird, wie man heute mit grosser Sicherheit weiss, durch energiereiche Elektronen erzeugt, die in geschlossenen magnetischen Strukturen über dem Flare-Gebiet oder zwischen diesem und anderen aktiven Regionen eingefangen sind und zur Synchrotronstrahlung angeregt werden, die den typischen spektralen Verlauf zeigt.

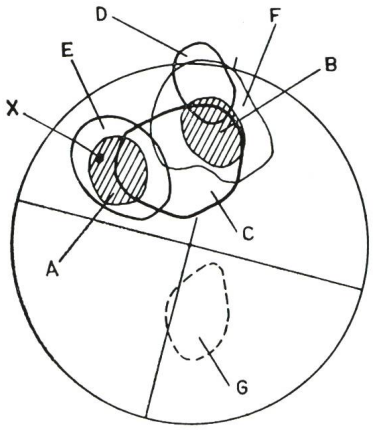

Abb. 12: Die Quellenpositionen in einem komplexem Burst nach dem Flare bei X am 9. Juni 1968 00^h25^m UT. A und B sind die Doppelquellen des Flarenkontinuums. Später wurde A zum Rauschsturm Kontinuum, C, D und E waren Type III-Quellen und F ist eine Typ II-Quelle.

Noch ungelöste Fragen des solaren Plasma-Wetters sollen in Zukunft mit Hilfe koordinierter Beobachtungen mit Radioheliographen und Radiospektrographen bearbeitet werden. Dazu wird das auf 40 MHz und 160 MHz erweiterte Culgoora-Instrument beitragen. Europäische Radioastronomen haben hierzu die *Commission of European Solar Radio Astronomers* (CESRA) gegründet, deren Ziel es auch ist, in ihrem Wirkungsbereich auch Radioheliographen zur Erforschung der Burst-Aktivitäten der Sonne zu erstellen. Die Planung eines Instrumentes im Bereich der cm- und mm-Wellen hat bereits Einzelheiten erbracht.

Adresse des Referenten: Dr. H. Urbarz, Astronomisches Institut der Universität Tübingen, Aussenstelle Weissenau, D-7980 Rasthalde/Ravensburg.

Galaxie

Von dieser neuen Zeitschrift unserer welschen Sternfreunde ist soeben No. 5 (Februar 1974) erschienen. Sie bringt auf nicht weniger als 30 Seiten Berichte über die partielle Mondfinsternis vom 10. Dezember 1973, den Merkurdurchgang vom 10. November 1973, über 10 Jahre Jupiter-Beobachtungen, über einen Besuch des Observatoriums in Strassburg und dazu viele Kurzberichte. Man kann den Herausgebern M. Dutoit, F. Meyer und J. Thurnherr für ihre bewundernswerten Aktivitäten nur dankbar sein, und sich darüber freuen, dass mit der *Galaxie* ein Publikationsorgan geschaffen wurde, das vor allem den jüngeren Sternfreunden welscher Zunge ein verlässlicher Begleiter ist.