

Zürich

Institut für Astronomie

ETH Zentrum, CH-8092 Zürich
Tel. +41-1-6323813, Telefax: +41-1-6321205
E-Mail: <username>@astro.phys.ethz.ch

1 Personal und Ausstattung

1.1 Personalstand

Direktoren und Professoren:

Prof. Dr. J. O. Stenflo [-23804] (Vorsteher), Prof. Dr. A. O. Benz [-24223], Prof. Dr. H. Nussbaumer [-23631].

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dr. Th. Dumm [-24217], Dr. M. Fligge [-27959], Dr. C. Frutiger [-23632], Dr. M. Güdel [-27129], Dr. A. Pauluhn [-27386], Dr. H. R. Schild [-23806], Dr. K. W. Smith [-27386], Dr. R. Walder [-24217].

Doktoranden:

Dipl.-Phys. M. Audard, Dipl.-Phys. A. Brković, Dipl.-Phys. M. Fivian, Dipl.-Phys. D. Fluri, Dipl.-Phys. A. Gandorfer, Dipl.-Phys. D. Gisler, Dipl.-Phys. J. Klement, Dipl.-Phys. R. Knaack, Dipl.-Phys. P. Messmer, Dipl.-Phys. S. Motamen, Dipl.-Phys. G. Paesold, Dipl.-Phys. P. Saint-Hilaire, Ing. méc. Dipl. K. Stucki, Dipl.-Phys. T. Wenzler.

Sekretariat und Verwaltung:

B. Codoni [-23813].

Technisches Personal:

Dr. H. P. Povel [-24222], Dipl.-El. Ing. P. Steiner (Systemprogrammierer) [-24213], F. Aebersold (Werkstatteleiter) [-23807], Dipl. Ing. C. Monstein [-24224], Ing. HTL M. Arnold [-20729], Ing. HTL U. Egger.

2 Gäste

T. Bastian (NRAO, Charlottesville), S. Berdyugina (Oulu), M. Bianda (IRSOL, Locarno), B. R. Dennis (Greenbelt), D. Folini (Zurich und Strasbourg), T. de Graauw (Groningen), J. Heyvaerts (Strasbourg), U. S. Kamath (Navrangpura), S. Krucker (Berkeley), R. J. LeVeque (Seattle), J. Linsky (Boulder), A. Magun (Bern), J. McTiernan (Berkeley), A. Ortiz (Barcelona), M. Pestalozzi (Onsala), V. Petrosian (Stanford), S. Pohjalainen (Meudon), Z. Qu (Kunming), H. M. Schmid (Heidelberg), R. Schwartz (Greenbelt), S. K. Solanki (Katlenburg-Lindau), P. Sturrock (Stanford), D. Wentzel (College Park).

3 Wissenschaftliche Arbeiten

3.1 Physik der Sonne

Atlas des zweiten Sonnenspektrums

Die Wellenlängenabhängigkeit der linearen, durch Streuung in der Sonnenatmosphäre verursachten Polarisation am extremen Sonnenrand zeigt eine hohe Strukturierung. Ähnlich wie beim Fraunhoferspektrum kann diese Vielfalt der Strukturen nur mit hochauflösenden Spektrographen erfasst werden; im Gegensatz zum normalen Intensitätsspektrum ist jedoch gleichzeitig eine hohe polarimetrische Genauigkeit nötig, da das „zweite Sonnenspektrum“ selten Signale $> 10^{-3}$ im Polarisationsgrad zeigt. Bis anhin war deswegen aus technischen Gründen eine systematische Erfassung nicht möglich. Erst mit dem am Institut für Astronomie entwickelten Polarimeter ZIMPOL II ist eine sinnvolle systematische Registrierung des „zweiten Sonnenspektrums“ möglich geworden. Der „Atlas des zweiten Sonnenspektrums“ wurde am 45-cm-Gregory-Coudé-Teleskop des IRSOL (Istituto Ricerche Solari Locarno) aufgenommen. Die in ihrer Art einmaligen Beobachtungen wurden im Mai 2000 abgeschlossen und erlauben Einblicke in bisher unerklärte Phänomene, sowohl atmosphärischer als auch sonnenphysikalischer Natur. Der Datensatz umfasst den Wellenlängenbereich 4625 Å bis 6995 Å und ist als Buch im Verlag der Fachvereine, Zürich, erschienen (A. Gandorfer).

Beobachtungen der Streupolarisation in schwach magnetischen Gebieten am Sonnenrand

Das in Zürich entwickelte Polarimetriesystem ZIMPOL II wurde im September 2000 am Dunn-Tower-Teleskop des NSO (National Solar Observatory, Sacramento Peak, NM) eingesetzt. In Kombination mit dem doppelbrechenden Universalfilter wurde die räumliche Verteilung der Streupolarisation in schwach magnetischen Gebieten am Sonnenrand untersucht. Das gemischte Hanle-Zeeman-Regime konnte so bildgebend untersucht werden.

Im März 2000 wurde ein entsprechendes Programm im Spektrographenfokus des McMath-Pierce-Teleskops am NSO/Kitt Peak durchgeführt. Wir konnten abklären, dass unterschiedliche Prozesse für die beobachtete Polarisation in den Na I D₂ und D₁ Linien verantwortlich sind, und dass deshalb diese beiden Linien sehr unterschiedliche Empfindlichkeit (durch den Hanle-Effekt) für Magnetfelder haben. Während die D₂ Linie für Felder im Bereich etwa 1–30 G reagiert, liegt der Empfindlichkeitsbereich für die D₁ Linie etwa hundertmal tiefer. Effiziente Auswertungsmethoden in IDL wurden entwickelt, besonders zur interaktiven Korrektur der Rohdaten für den Einfluss des cross-talk zwischen den Stokes-Parametern (instrumentelle Polarisation) (J.O. Stenflo, A. Gandorfer, D. Gisler, T. Wenzler, in Zusammenarbeit mit C.U. Keller, Tucson).

Dichtematrix-Theorie zur Deutung des zweiten Sonnenspektrums

Zur theoretischen Deutung der Streupolarisationseffekte des zweiten Sonnenspektrums sind verschiedene Werkzeuge entwickelt worden. Die derzeit umfassendste Beschreibung von kohärenten Streuprozessen und des Hanle-Effekts gelingt mit Hilfe des Dichtematrix-Formalismus, der auch die Beschreibung exotischer Phänomene wie optisches Pumpen und atomare Polarisation in beliebig vielen Energieniveaux erlaubt. Mit Hilfe dieser Methoden konnten bisher unerklärliche Phänomene des zweiten Sonnenspektrums, vor allem in den Na I D₁- und D₂-Linien, erfolgreich modelliert und untersucht werden. Das bestehende Modell wurde erweitert, um die Einflüsse von Stößen und Magnetfeldern beliebiger Stärke untersuchen zu können. Die Effekte, die in den Natrium Linien zu den anomalen Streuprofilen führen, konnten auch in anderen Linien beobachtet und mit Hilfe der Modellrechnungen gut simuliert werden (J. Klement und J.O. Stenflo).

Strahlungstransport des „zweiten Sonnenspektrums“

Um das ‘Zweite Sonnenspektrum’ zu interpretieren, haben wir numerische Methoden entwickelt und angewandt. Nach dem ausführlichen Studium der Kontinuumpolarisation im sichtbaren Bereich des Sonnenspektrums begannen wir, mehr und mehr Physik in die

Modelle zu stecken, um dem vollständigen Verständnis der Merkmale des „Zweiten Sonnenspektrums“ näherzukommen.

Wir haben die Depolarisation von reinen Absorptionslinien im Sonnenspektrum untersucht und die Gründe für die Depolarisation identifiziert. Es hat sich gezeigt, dass die Stärke der Depolarisation von photosphärischen Linien stark von der Entstehungshöhe abhängt, was sich unter Umständen zu diagnostischen Zwecken benützen liesse. Nebenbei haben wir geklärt, wieso tellurische Linien das Kontinuum nicht depolarisieren.

Um Spektrallinien realistisch zu modellieren, benötigen wir effiziente numerische Methoden zur Berechnung des polarisierten Strahlungstransports. In einer Kollaboration mit K. N. Nagendra vom Indian Institute of Astrophysics in Bangalore, Indien, haben wir begonnen, einen verallgemeinerten Algorithmus zu entwickeln, der spezielle Effekte des Strahlungstransports, wie Frequenz-Umverteilungen in Streuprozessen und depolarisierende Stöße, realistischer als frühere Programme und selbstkonsistent berücksichtigt. Die Implementierung des Programms sollte im Frühjahr 2001 abgeschlossen werden (D. M. Fluri und J. O. Stenflo, in Zusammenarbeit mit K. N. Nagendra, Bangalore).

Inversionen von Stokes-Spektren

Zwei herausragende Merkmale der solaren Photosphäre sind ihre granulare Oberflächenstruktur, welche durch konvektive Strömungen erzeugt wird, und das regelmässige Auftreten von kleinskaligen magnetischen Fluss-Elementen. Mit Hilfe von beobachteten Stokes-Spektren und geeigneten Inversions-Methoden können alle grundlegenden physikalischen Grössen in diesen Strukturen als Funktion der Tiefe in der Atmosphäre untersucht werden.

Aus diesem Grund haben wir unser bestehendes Inversionsprogramm mit neuen Algorithmen für das Lösen der Strahlungstransportgleichung und neuen komplexen Modellatmosphären erweitert. Das neue Inversionsprogramm ist auf verschiedene Spektren der Sonne und zwei sonnenähnlicher Sterne (α -Centauri A und B) angewendet worden. Diese Arbeiten ergaben neue Erkenntnisse über die Eigenschaften der Granulation auf der Sonne und auf Sternen, sowie die Struktur der (kleinskaligen) Magnetfelder in der solaren Photosphäre (C. Frutiger, S. K. Solanki, M. Fligge, in Zusammenarbeit mit J. H. M. J. Bruls, Freiburg, und G. Mathys, ESO Chile).

Synthese molekularer Spektrallinien

Das Studium von molekularen Spektrallinien ist von speziellem Interesse. Diese Linien zeigen nicht nur eine starke Temperatur- und Druckabhängigkeit, sondern auch verschiedene Ausprägungen des Zeeman-Effekts.

Im Rahmen der Erweiterung unseres Inversionsprogrammes haben wir den Code für das Lösen der Strahlungstransportgleichung dahingehend erweitert, dass Zeeman-aufgespaltete Spektrallinien von Molekülen (z. B. MgH, TiO, CN und CH) und insbesondere Superpositionen von atomaren und molekularen Linien berechnet werden können (C. Frutiger und S. K. Solanki, in Zusammenarbeit mit S. V. Berdyugina, Oulu).

Harmonische Analyse des Sonnenmagnetfeldes

Die harmonische Analyse erlaubt eine Klassifizierung der geometrischen Strukturen des Magnetfeldes auf der Sonnenoberfläche. Ausgehend von einem rund 33 Jahre langen Datensatz von Magnetogrammen, aufgenommen am Mount Wilson Observatorium in Kalifornien, wurden die zeitlichen Variationen dieser Magnetfeldstrukturen untersucht. Neben dem bereits bekannten zweiundzwanzigjährigen Zyklus des solaren Dipols wurde eine Fülle von kurzfristigeren Zyklen gefunden. Anhand der numerischen Probleme ist es allerdings schwierig zu beurteilen, welche dieser Zyklen tatsächlich solaren Charakter haben und damit die Oszillationen des Sonnenmagnetfeldes verlässlich beschreiben, und welche durch die Analyse selbst erzeugte Artefakte darstellen. Um zumindest einige der Unsicherheiten auszuräumen, wurde ein neuer Datensatz mit höherer Auflösung und einer Länge von 26 Jahren herangezogen, diesmal vom Kitt Peak Observatorium in Arizona. Die Analyse dieser Daten ist noch nicht abgeschlossen. Die kombinierten Resultate aus den beiden

Datensätzen sollen dazu verwendet werden, theoretische Modelle über den solaren Dynamo empirisch zu überprüfen (R. Knaack und J. O. Stenflo).

Der Beitrag des aktiven Netzwerkes zur Helligkeitszunahme der Sonne zwischen Aktivitätsminimum und -maximum

Mit Hilfe detaillierter Modelle zur Beschreibung magnetischer Strukturen auf der Sonneneroberfläche und unter Verwendung von Magnetogrammen, wurde der Beitrag des Magnetfeldes zur beobachteten Variationen der solaren Helligkeit untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass mehr als 90% der Helligkeitsschwankungen über Zeiträume von Tagen bis Jahren durch das sich verändernde Magnetfeld auf der Oberfläche der Sonne verursacht werden. Insbesondere konnte gezeigt werden, dass auch der Anstieg der Helligkeit der Sonne zwischen Minimum und Maximum durch das Oberflächenmagnetfeld erklärt werden kann (M. Fligge und S. K. Solanki, in Zusammenarbeit mit N. Meunier, Paris, und Y. C. Unruh, Wien).

Spektrale Energieverteilung der Sonne seit 1700

Die Verwendung detaillierter Flussspektren zur Beschreibung magnetischer Strukturen ermöglichte die Rekonstruktion der Variationen des solaren Spektrums zwischen 1700 und heute. Dies lieferte insbesondere eine Abschätzung der solaren Energieverteilung während des Maunder-Minimums. Auf einer jährlichen Basis wurden so Zeitreihen konstruiert, welche die Variation der solaren Helligkeit zwischen dem Maunder-Minimum und heute, in verschiedenen Spektralbanden wiedergeben. Wie bei allen Rekonstruktionen dieser Art ist auch hier die Genauigkeit durch den nur wagen bekannten Beitrag des magnetischen Netzwerkes zu langfristigen Helligkeitsvariationen bestimmt (M. Fligge, S. K. Solanki).

Evolution des solaren Magnetfeldes seit dem Maunder Minimum

Die Schwankungen des Magnetfeldes der Sonne beeinflussen die Stärke der kosmischen Strahlung. Diese Veränderungen werden mit der Häufigkeit von Wolken in Verbindung gebracht und können so möglicherweise die Entwicklung des Erdklimas beeinflussen. Auf der Basis eines einfachen Modelles haben wir die langfristige Evolution des grossskaligen solaren Magnetfeldes rekonstruiert. Dies mit dem Ziel, die beobachteten sekulären Variationen des interplanetaren Magnetfeldes zu erklären.

Das Modell ist in der Lage die Verdoppelung des koronalen Quellenfeldes seit 1863 zu reproduzieren und stellt eine Beziehung zwischen der Länge eines Aktivitätszyklus und den beobachteten sekulären Variationen her. Somit liefert das Modell eine physikalische Erklärung für die schon seit längerem bekannte Korrelation zwischen der Variation der Länge der Aktivitätszyklen und dem Verlauf der irdischen Temperatur auf der nördlichen Hemisphäre (M. Fligge, S. K. Solanki, M. Schüssler).

Zyklische Evolution von Sonnenflecken

Mit Hilfe der Sonnenfleckendaten vom Royal Greenwich Observatory (1874–1981) wurden Variationen der Fleckenverteilung zwischen verschiedenen Aktivitätszyklen untersucht. Nördliche und südliche Hemisphäre wurden dabei für jeden Zyklus separat betrachtet. Ausgehend von den Schmetterlingsdiagrammen wurde für jeden Zyklus und jede Hemisphäre die Sonnenfleckenfläche (als Funktion der heliographischen Breite) über die Zeit integriert. Auf diese Weise erhielten wir die latitudinale Verteilung der Sonnenfleckenflächen als zeitliches Mittel für jeden Zyklus. Dann wurden die ersten fünf Momente (Fläche, mittlere Latitude, Breite, Asymmetrie und Kurtosis) bestimmt. Wie sich zeigte, sind alle Momente sehr stark miteinander korreliert.

Durch die Verwendung von Daten des Observatoire de Paris zwischen 1660–1719 liess sich zeigen, dass die gefundenen Gesetzmässigkeiten auch während des Maunder-Minimums gültig waren. Dies dürfte weitere Randbedingungen für moderne Dynamotheorien setzen (T. Wenzler, S. K. Solanki, M. Fligge).

Analyse von „Blinkern“

Mit Hilfe von CDS-Daten konnte gezeigt werden, dass Blinker sowohl im Netzwerk als auch im Intranetzwerk auftreten. Ein durchschnittlicher Blinker in He I 584 Å dauert etwa 23.2 Minuten und besitzt eine mittlere Grösse von 1.2×10^7 km². In O V 629 Å sind es 16.8 Minuten bei einer mittleren Grösse von 2.2×10^7 km², beziehungsweise 12.2 Minuten und 2.9×10^6 km² in Mg IX 368 Å. In He I treten demnach, verteilt über die ganze Sonnenscheibe, etwa 18'000 Blinker pro Sekunde auf. In O V und Mg IX entsprechend 8'500, bzw. 41'000 Blinker pro Sekunde. Während viele Parameter unserer Blinkeranalyse kaum voneinander abhängen, sind Intensitätsquotient, Energie und Grösse miteinander korreliert. Ihre Verteilung folgt einem Potenzgesetz, d. h. $N = AE^\alpha$, mit α zwischen -3 und -1 für Energie und Grösse, während für die Intensitätsquotienten α zwischen -28.5 und -5.6 liegt. Weiter folgt die Dauer der Blinker einer log-normal-Verteilung und die räumliche Verteilung der Blinker (wie sie aus der Analyse zweier Linien abgeleitet werden kann) zeigt starke zeitliche Schwankungen. Zudem sind die Blinker nicht immer gleichzeitig in allen drei Linien sichtbar (A. Brković, S. K. Solanki, I. Rüedi).

Variabilität der ruhigen Sonnenatmosphäre

Mit Hilfe der Daten von SUMER konnten die Resultate der früheren CDS-Auswertungen bestätigt und zu tieferen Temperaturen erweitert werden. Der Vergleich der Resultate von CDS- und SUMER-Daten zeigt weitgehende Übereinstimmung. Allerdings weisen die SUMER-Daten für He I 584 Å - und O V 629 Å -Linien die dreifache Variabilität auf. Dies scheint durch die grössere räumliche Auflösung der SUMER-Daten verursacht zu sein. Die lineare Beziehung zwischen den Dopplerverschiebungen und den relativen Variationen weist darauf hin, dass sowohl die Variabilität, als auch die netto Linienverschiebungen durch den gleichen zugrunde liegenden Mechanismus verursacht werden (A. Brković, S. K. Solanki, I. Rüedi).

Untersuchung solarer „loop“-Modelle

Beobachtungen magnetischer Strukturen auf der Sonnenoberfläche mit Hilfe von SOHO und Yohkoh sind verwendet worden, um theoretische Modelle über koronale „loops“ zu testen. Im ersten Schritt mussten die verschiedenen Daten ausgerichtet und zur Deckung gebracht werden. Danach wurde ein aktives Gebiet, welches eine einfache Schleifenstruktur aufwies, ausgesucht und im Detail studiert. Emissionsmass, Temperatur und Dichte entlang des „loops“ wurden bestimmt. Dabei konnte gezeigt werden, dass ein klassisches Modell der „loops“ nicht ausreicht, um die Beobachtungen zu erklären (A. Brković, I. Rüedi, S. K. Solanki, in Zusammenarbeit mit E. Landi und M. Landini, Firenze).

Spektroradiometrische in-orbit Interkalibration der UV Instrumente auf SOHO (PRODEX Projekt in Kooperation mit INTEC, HTA Bern, Morgartenstrasse 2c, CH-3000 Bern)

Das SOHO Interkalibrations-Programm dient zur kontinuierlichen Beobachtung der Stabilität der extrem-ultraviolett-Spektrometer an Bord von SOHO und zum Vergleich ihrer radiometrischen Kalibration. Etwa monatlich werden seit Beginn der Routinebeobachtungen im Frühjahr 1996 simultane Beobachtungen der ruhigen Sonne von mehreren EUV-Instrumenten gemacht, und ihre Auswertung, bzw. der Vergleich, wird im Rahmen dieses PRODEX-Projektes durchgeführt. Diese Messungen bieten ausserdem eine gute Basis für Langzeitstudien der ruhigen Sonne (A. Pauluhn).

Koronalöcher

Der schnelle Sonnenwind entsteht in den Koronalöchern, es ist aber noch unklar, wie und in welcher Höhe er beschleunigt wird. Die Untersuchung von UV-Linien in hochaufgelösten Spektren von SUMER, welche bei Temperaturen von über 10^5 K entstehen, zeigen entweichendes Plasma in den Koronalöchern. Im Weiteren zeigen chromosphärische Linien ein stärkeres Netzwerk in den Koronalöchern (verglichen mit der ruhigen Sonne), was für heissere Linien nicht der Fall ist. Dagegen zeigen Linien, die bei Temperaturen von über $30'000$ K entstehen, in den Koronalöchern eine Blauverschiebung im Netzwerk. Dies stimmt mit den neuen Erkenntnissen überein, nach denen der Sonnenwind im Netzwerk entsteht.

Zur Bestätigung untersuchten wir auch CDS-Daten, welche simultan aufgenommen wurden und dazu dienen, die Untersuchung durch Linien mit noch höheren Entstehungstemperaturen zu ergänzen. Der grössere räumliche Bereich der CDS-Daten ermöglicht zudem eine bessere Identifizierung der Koronalöcher. Die schlechtere spektrale Auflösung dagegen erfordert die Bestimmung von Korrekturfunktionen, um Linienverschiebungen und Trends in den Linienbreiten festzustellen (K. Stucki, S. K. Solanki, J. O. Stenflo, in Zusammenarbeit mit U. Schühle, K. Wilhelm, D. Pike, M. C. E. Huber).

Koronaheizung

Die Intensität der Koronastrahlung in weichen Röntgenstrahlen und in EUV-Linien variiert örtlich und zeitlich. Die Schwankungen werden in einzelnen Pixeln in der ruhigen Korona mit dem EIT-Instrument auf SOHO beobachtet. Weil die Strahlungen optisch dünn sind, deuten Schwankungen darauf hin, dass sich die Materiemenge der Korona ändert. Dies kann nur dadurch erklärt werden, dass Materie aus der Chromosphäre und der Übergangsschicht auf eine Temperatur von über einer Million Grad geheizt wird und wieder abkühlt. Die Variabilität hat Zeitskalen von 5–40 Minuten. Wir interpretieren die Variabilität der Beobachtungen weicher Röntgen- und EUV-Strahlung als Nanoflares und damit die Koronaheizung als nicht kontinuierlich. Die Energie, welche damit in die Korona eingeführt wird, hat verschiedene Formen. Am bedeutendsten ist die thermische Energie, die gebraucht wird, um das Plasma aufzuheizen. Noch grösser ist aber die Energie der Expansion der Materie von einem kleinen chromosphärischen Volumen über den koronalen Loop. Etwas weniger ist die potentielle Energie, um die Materie in die Korona zu heben. Die Beobachtungen mit EIT zeigen, dass die Energieverteilung der Heizungsereignisse die Form eines Potenzgesetzes hat mit einem Exponenten von etwa 2,3.

Es werden verschiedene Energieverteilungen und Exponenten publiziert, z. T. auch mit Beobachtungen von TRACE. Wir untersuchten die Gründe der Abweichungen. Sie liegen nicht in verschiedenen räumlichen Auflösungen, sondern in den anderen Annahmen zur Berechnung der Energie. Insbesondere das Modell der Flarehöhe hat einen bedeutenden Einfluss auf die berechnete Energie. Weitere Unterschiede resultieren aus unterschiedlichen Empfindlichkeiten der Instrumente und der Selektion von Ereignissen.

Wir haben die Koronaheizung mit einem Modell simuliert, das den totalen Strahlungsfluss der Korona in EUV und weichen Röntgenstrahlen, die beobachtete zeitliche Variabilität einzelner Pixel und das Fourierspektrum der Variationen simulieren kann. Neue Rechnungen zeigen nun, dass die Übereinstimmung mit den Beobachtungen nur möglich ist, wenn die Heizungsereignisse eine asymmetrische Form haben und zu kleineren Energien als beobachtet extrapoliert werden (A. O. Benz und U. Mitra, in Zusammenarbeit mit S. Krucker, Berkeley).

Instabilität von beschleunigten Elektronen

Die meisten in der Literatur vorgeschlagenen Beschleunigungsprozesse produzieren letztlich Elektronen mit Geschwindigkeiten parallel zum Magnetfeld. Im heute am weitesten verbreiteten Modell, der stochastischen Beschleunigung, wird damit auch gleich die weitere Beschleunigung unmöglich gemacht, wenn die parallele Geschwindigkeit nicht in senkrechte umgewandelt werden kann. Wir haben ein Testteilchen-Simulationsprogramm zur Berechnung von Wellenmoden im anisotropen Plasma weiterentwickelt und damit die Instabilität einer anisotropen Elektronenverteilung untersucht. Wir finden die Schwellwerte zur Elektronen-Firehose-Instabilität bei Werten, wie sie durchaus in Sonneneruptionen zu erwarten sind. Zur bereits bekannten parallelen Firehose-Instabilität entdeckten wir eine neue Wellenmode, welche sich schief zum Magnetfeld ausbreitet und schneller wächst. Mit diesen Resultaten wird klar, wie Teilchen, die parallel zum Magnetfeld beschleunigt werden, infolge der Wechselwirkung mit Wellen auf eine transversale Bahn diffundieren. Sie verlieren dabei wenig Energie und können weiter beschleunigt werden (G. Paesold und A. O. Benz).

Spikes und beschleunigte Elektronen

Schmalbandige, kurze Emissionen von Radiostrahlung bei ca. 300 MHz, sogenannte metrische Spikes, erscheinen oft bei der Startfrequenz von Elektronenstrahlen. Die räumliche Zuordnung von Spikes und der Radiostrahlung von Elektronenstrahlen (sog. Typ III-Bursts) wurde untersucht. Das Ziel der Analyse ist die Frage der möglichen Beziehung der Spikestrahlung mit dem Beschleunigungsvorgang. Die Spikes wurden mit den Beobachtungen des Phoenix-2 Radiospektrometers der ETH Zürich im Frequenzbereich von 220–530 MHz identifiziert. Gleichzeitig beobachtete der französische Radioheliograph in Nançay (NRH) bei einigen Frequenzen in diesem Bereich. Fünf Ereignisse wurden auf diese Weise gefunden, für welche Ortsinformationen erhältlich sind.

Die dreidimensionalen Bahnen der Elektronenstrahlen konnten aus diesen Beobachtungen und einem Dichtemodell der Korona bestimmt werden. Wir fanden die Quellen der Spikes ungefähr auf den Bahnen, wenn wir sie zu kleinerer Höhe extrapolierten. In einem Fall konnten wir zwei verschieden propagierende Typ III-Bursts feststellen, die aus der gleichen Spike-Quelle stammten. Die Resultate unterstützen die Hypothese, dass metrische Spikes mit dem Beschleunigungsvorgang zu tun haben (G. Paesold und A. O. Benz).

Numerische Simulation von Plasma Instabilitäten

In Gegenwart eines Magnetfeldes können Teilchen effizienter parallel als senkrecht zu diesem Feld beschleunigt werden. Unter diesen Umständen, wie sie z. B. in der Sonnenkorona anzutreffen sind, kann die Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen in der Beschleunigungsregion stark anisotrop werden. Die darin gespeicherte freie Teilchen-Energie kann zum Wachstum von Wellen führen, z. B. über die Elektron-Firehose-Instabilität.

Da die nichtlinearen Prozesse, welche zum Wachstum von Wellen und deren Sättigung führen, nicht analytisch behandelt werden können, müssen Simulationen eingesetzt werden. Dazu wird die Bewegung einer grossen Menge einzelner Teilchen unter dem Einfluss externer und selbst-generierter elektromagnetischer Felder verfolgt.

Um Probleme mit vielen Frequenz- und Zeitskalen in vernünftiger Zeit simulieren zu können, müssen Parallel-Rechner eingesetzt werden. Deswegen haben wir einen bestehenden dreidimensionalen relativistischen Gitter-Code parallelisiert und ihn auf verschiedenen Plattformen (Cray T3E, SUN HPC, Beowulf-Cluster) eingesetzt. Auf Grund seiner hohen Verfügbarkeit erwies sich der Beowulf-Cluster der ETH Zürich als besonders geeignet. Mit diesem Werkzeug untersuchen wir nun die Elektron-Firehose-Instabilität und verwandte Temperatur-Anisotropie-Instabilitäten (P. Messmer und A. O. Benz).

Korrelation von harter Röntgen- und dezimetrischer Radiostrahlung

Während der impulsiven Phase von Flares emittiert die Sonne harte Röntgenstrahlung. Im Bereich der dezimetrischen Radiostrahlung erscheinen in dieser Flarephase neben Typ III-Bursts auch breitbandige, pulsierende Kontinua, deren Ursache nicht bekannt ist. Wir haben aus den spektralen Messungen mit dem Phoenix-2-Radiospektrometer Kontinuumsereignisse ausgesucht, die von starker Röntgenstrahlung begleitet waren, und sie mit Daten von Nançay, Yohkoh und Trace ergänzt. In einigen Beispielen können wir zeigen, dass es sich dabei um eruptive Flares handelt, die sich zu koronalen Massenauswürfen (CME) entwickeln. Die Kontinuumsmission ist schwach während der Hauptphase der harten Röntgenmission und verstärkt sich nach dem CME (P. Saint-Hilaire und A. O. Benz).

3.2 Physik der Sterne

Symbiotische Sterne

Die symbiotischen Doppelsternsysteme bestehen aus einem Roten Riesen, einem weissen Zwerg und zwischenstelloser Materie. Der Rote Riese hat eine hohe Masseverlustrate. Für einige Systeme ist auch beträchtlicher Masseverlust des weissen Zwergs nachgewiesen. Unser Forschungsschwerpunkt liegt zurzeit beim Roten Riesen und den Kollisionsgebieten der beiden Sternwinde. Unsere Hydrodynamik- und Strahlungstransportprogramme finden hier

einen idealen Einsatz. Die Existenz von Staub in symbiotischen Sternen wird schon seit langem vermutet. Zurzeit untersuchen wir die Staubhülle der symbiotischen Nova HM Sge mit Hilfe von ISO-Daten. Die einzelnen Projekte werden in den folgenden Abschnitten kurz beschrieben (T. Dumm, H. Nussbaumer, H. Schild, R. Walder).

Akkretion in RW Hydrae

In IUE- und HST-Daten des bedeckenden symbiotischen Doppelsternsystems RW Hya haben wir ausserhalb der normalen Bedeckung für kurze Zeit eine Veränderung des Kontinuums vom heissen Stern beobachtet, die auf Rayleigh-Streuung hinweist. Wir erklären das durch eine Windakkretionsregion um den heissen Stern. In der Akkretionsregion bildet sich eine von der Strahlung des heissen Sterns abgeschirmte neutrale Wasserstoffzone. Beim Durchqueren dieser Region wird die Strahlung des heissen Sterns durch Rayleigh-Streuung geschwächt. Wir haben die 3D-Eulergleichungen für Masseverlust des Roten Riesen und Akkretion auf den Weissen Zwerg numerisch gelöst und dadurch ein numerisches Modell für die zirkumstellare Dichte- und Geschwindigkeitsverteilung erhalten. Die resultierenden Emissionslinien vergleichen wir mit den bei der ESO beobachteten Emissionslinienprofilen. Wir haben hier die einmalige Gelegenheit, detaillierte numerischen Simulationen einer Windakkretionszone mit Beobachtungen zu vergleichen. RW Hya wird im April/Mai 2001 mit HST beobachtet. Zudem wurde mit der Auswertung eines während mehrerer Jahre am ESO-Coudé-Echelle-Spektrografen gesammelten Datensatzes begonnen. Er enthält Emissionslinienprofile, welche nun mit den Hydrodynamik-Modellrechnungen verglichen werden (T. Dumm, D. Folini, H. Nussbaumer, H. Schild, W. Schmutz, R. Walder).

Bahn-Elemente von FG Ser und AR Pav

Wir haben unser Projekt zur genauen Bahn- und Massenbestimmung von symbiotischen Doppelsternen weitergeführt und die über mehrere Jahre gesammelten ESO-Beobachtungen von FG Ser und AR Pav ausgewertet. Damit steigt die Anzahl symbiotischer Systeme mit bekannten Sternmassen auf acht, sechs wurden von uns analysiert. Die Massen der heissen Begleitsterne liegen alle im Bereich von 0.40 bis 0.65 M_{\odot} , es handelt sich also mit grosser Wahrscheinlichkeit um weisse Zwerge. Die Massen der Roten Riesen zeigen bedeutende Schwankungen und variieren im Bereich von 1 bis 4 M_{\odot} . Keiner der Roten Riesen in den Systemen mit gut bekannten Stern- und Orbitparametern füllt seine Rocheffläche. Das symbiotische System, welches diesem Grenzfall bisher am nächsten kommt, ist AR Pav. Mit diesem Objekt ist man nun in der Lage, ein Windakkretionssystem auf das Vorhandensein einer Akkretionsscheibe zu untersuchen (T. Dumm, U. Mürset, H. Nussbaumer, H. Schild, W. Schmutz, in Zusammenarbeit mit H. M. Schmid, Heidelberg).

Die Staubhülle der symbiotischen Nova HM Sge

HM Sge ist eine symbiotische Nova, welche aus einem Mira-Veränderlichen und einem weissen Zwerg besteht. Die Auswertung unserer ISO-Spektren hat unerwartete Ergebnisse gezeigt. Es erwies sich als unmöglich, die beobachtete Emission des Staubes mithilfe einer kugelförmigen Staubhülle um einen Mira-Variablen zu interpretieren. Es ist vielmehr nötig, eine komplexere Staubverteilung zu postulieren, die nicht mehr kugel- sondern achsensymmetrisch ist. Durch die energiereiche Strahlung des weissen Zwerges wird ein Teil der Staubhülle des Mira-Veränderlichen zerstört, doch bildet sich in der wahrscheinlich turbulenten Interaktionszone eine dünne, optisch dicke Staubschicht. Ein solches Modell ist sowohl mit den ISO-Beobachtungen als auch mit den anderen IR-Beobachtungen von HM Sge kompatibel. Es zeigt sich auch, dass der Staub vornehmlich durch Strahlung aufgeheizt wird und nicht durch Stösse (H. Schild, in Zusammenarbeit mit A. Evans, P. S. Eyres, Keele University, UK, und A. Salama, ISO Data Centre, Spanien).

Raman Streuung in symbiotischen Systemen

Die polarimetrischen Arbeiten an der symbiotischen Nova HM Sge mit den Raman-gestreuten Emissionslinien O VI $\lambda\lambda 1032, 1038$ bei $\lambda\lambda 6825, 7082$ wurden zu Ende geführt und publiziert (H. Schild, in Zusammenarbeit mit R. Corradi, La Palma, und J. Krautter und H. M. Schmid, Heidelberg).

Binärsysteme massereicher, heisser Sterne

XMM-Newton-, EPIC- und RGS-Beobachtungen massereicher Binärsysteme: γ^2 Velorum

Das Binärsystem γ^2 Velorum (WC8+O8III) ist eines der mit dem Röntgensatelliten XMM-Newton beobachteten Objekte. Die EPIC/PN-Daten zu zwei verschiedenen Binärphasen zeigen im Bereich 0.7–10 keV ein starkes Kontinuum sowie Emissionslinien. Aus Modellrechnungen für kollidierende Winde wird erwartet, dass das beobachtete X-Ray-Spektrum aus der Kollisionzone der beiden Sternwinde kommt. Die zwei XMM-Beobachtungen wurden so angelegt, dass die erste Beobachtung im X-Ray-Maximum lag, wenn die Kollisionzone durch den optisch dünnen O8III Sternwind gesehen wird. Die zweite Beobachtung wurde in der Nähe des X-Ray-Minimums durchgeführt, wenn die Kollisionzone durch den optisch dicken WC8-Sternwind gesehen wird. Ein Vergleich der beiden Beobachtungen erlaubt es, Windparameter des WC8-Sterns zu bestimmen. Dies ermöglicht es, Modellatmosphären für Wolf-Rayet-Sterne weiteren Tests zu unterziehen. Dabei steht die Frage der He/C/O/Ne/Mg/Si-Elementhäufigkeiten im Zentrum der derzeitigen Auswertungen (T. Dumm, H. Schild, M. Güdel, in Zusammenarbeit mit W. Schmutz, Davos, und S. Kahn, Columbia University).

Theoretische Untersuchungen kollidierender geklumpfter Winde

Es wurde ein erster Versuch unternommen, die astrophysikalischen Implikationen zu untersuchen, die aus kollidierenden, geklumpften Sternwinden resultieren. In den letzten Jahren wurde klar, dass liniengetriebene Winde heisser Sterne geklumpt sind. Wir konnten zeigen, dass vor allem in relativ weit separierten WR-Systemen wie WR 140 grosse Unterschiede gegenüber kollidierenden homogenen Winden auftreten. Knoten von extrem hoher Dichte können sich in den geschockten Gebieten formen. Die Dichteklumpen im Wind destabilisieren die Wind-Wind-Interaktionszone. Die entstehene Turbulenz führt zur Einmischung von Wasserstoff in die hochverdichteten Knoten von WR-Material. Damit sind solche Knoten gute Kandidaten für die Bildung von Staub, wie sie in solchen Systemen oft beobachtet wird (R. Walder, in Zusammenarbeit mit D. Folini, Strasbourg).

Multidimensionaler Strahlungstransport in Doppelsternsystemen

Die 3D Programme zur Lösung des Non-LTE Strahlungstransports unter optisch dicken und unter Nebelbedingungen wurden entwickelt (D. Folini und R. Walder).

Dynamik von wärmeleitenden Strömungen

Wärmeleitung durch thermische Elektronen ist ein wichtiger, bis jetzt nicht berücksichtigter physikalischer Prozess in zusammenstossenden hypersonischen Strömungen. Es wird ein Programm entwickelt, das die nichtlineare Wärmetransportgleichung zusammen mit den Strömungsgleichungen löst. Zurzeit gilt die Anwendung den Wolf-Rayet-Binärsystemen (R. Walder und S. Motamen).

Supersonische Turbulenz und Alfvén-Wellen in Molekülwolken

Das gemeinsame Projekt mit dem Observatoire de Strasbourg untersucht, weshalb kleine Molekülwolken länger leben als theoretisch vorausgesagt. Wir verfolgen vor allem die Idee, dass die durch Alfvén-Wellen angeregte supersonische Turbulenz den gravitativen Kollaps der Wolke verhindert. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die Alfvén-Wellen durch parametrische Instabilitäten kompressible Wellen anregen und die Wolke in einen quasi-stationären Zustand gelangt, der durch supersonische Turbulenz charakterisiert ist. Dabei treten auch Strömungsgeschwindigkeiten höher als die Alfvén-Geschwindigkeit auf, und der grösste Teil der Masse ist in kleinen Gebieten konzentriert. Gegenwärtig werden Methoden entwickelt, um die Struktur statistisch besser zu beschreiben (R. Walder, in Zusammenarbeit mit D. Folini und J. Heyvaerts, Strasbourg).

Strukturentstehung in zusammenstossenden hypersonischen Strömungen

Die Untersuchung zur Stabilität von strahlenden Stosswellen wurde fortgeführt. Es zeigt sich, dass Stosswellen in kollidierenden hypersonischen Strömungen meist instabil sind. Die Kopplung der klassischen hydrodynamischen Instabilitäten, wie etwa Rayleigh-Taylor, Richtmyer-Meskov- und Kelvin-Helmholtz-Instabilitäten, mit sogenannten „thin-shell“-Instabilitäten und mit der thermischen Kühlungsinstabilität führt zu supersonischer Turbulenz. Diese ist gekennzeichnet durch eine grosse Dichte- und Geschwindigkeitsdispersion. Knoten und Filamente, die oft in zusammenstossenden Strömungen, etwa in Supernovaüberresten oder in Planetarischen Nebeln beobachtet werden, können mit solchen turbulenten Schichten zusammenstossender Strömungen erklärt werden. Zudem lassen neuere Resultate vermuten, dass solche Prozesse in Sternentstehungsregionen eine entscheidende Rolle spielen (R. Walder, in Zusammenarbeit mit D. Folini, Strasbourg).

A-MAZE: Ein Programmpaket zur Berechnung von 3D MHD-, 3D NLTE-Strahlungstransport und synthetischen Spektren

Das Programmpaket A-MAZE wird weiter entwickelt. Es steht interessierten Forschern frei zur Verfügung. A-MAZE kann magnetische Strömungen, NLTE-Strahlungstransport sowie synthetische Spektren berechnen. AMRCART ist ein 3D MHD-Code, der einen Volumen-Integrator mit einer adaptiven Gitterverfeinerung verbindet. D3NEBEL berechnet in einer 3D-Strömung optisch dünnen Strahlungstransport, die Ionisationsstruktur sowie die resultierenden Spektren. TR3D berechnet optisch dicken 3D NLTE Strahlungstransport in bewegten Medien mit einer modifizierten Sobolev-Theorie. Unix shell scripts erlauben die automatische Kontrolle der numerischen Simulation und die Verwaltung der Daten. Zur Visualisierung werden Module für kommerzielle Grafikpakete zur Verfügung gestellt. Dies umfasst schnelle, interaktive Visualisierung von hierarchischen, adaptiven Multiblock-Daten sowie die automatische Anfertigung von Videos der Simulationen (R. Walder, in Zusammenarbeit mit D. Folini, Strasbourg).

Der Einfluss einer geneigten Rotationsachse auf den Ca II H&K-Fluss sonnenähnlicher Sterne

Ein wichtiges Mass für die magnetische Aktivität eines Sternes ist der in der Chromosphäre gebildete Fluss der Ca II H&K-Linien. Am Beispiel der Sonne haben wir gezeigt, dass die zyklische Variation dieses Flusses zwischen Aktivitätsmaximum und -minimum stark von der Neigung der Rotationsachse relativ zu einem Beobachter abhängt und deshalb die magnetische Variabilität von sonnenähnlichen Sternen systematisch unterschätzt wird. Der über einen ganzen Aktivitätszyklus gemittelte Fluss ist davon allerdings ungleich weniger betroffen. Dieses Resultat ist von Interesse in Bezug auf die um einen Faktor 2–3 unterdrückten Helligkeitsschwankungen der Sonne im Verhältnis zu sonnenähnlichen Sternen gleicher magnetischer Aktivität (R. Knaack, M. Fligge, S. K. Solanki, in Zusammenarbeit mit Y. C. Unruh, Wien).

Submillimeter Studien eines protostellaren Mehrfachsystems

Das protostellare Mehrfachsystem NGC 1333/IRAS4 wurde in Submillimeter-Wellenlängen beobachtet. Sie zeigen, dass es sich um ein extrem junges, noch eingebettetes Objekt handelt, das sich in der Endphase des Kollapses befindet. Wir studieren die Bedingungen, die zur Fragmentation und der Entstehung von Doppelsternsystemen führen.

Unsere Submillimeter-Beobachtungen haben noch weitere Multiplizitäten enthüllt und bringen die Zahl der bekannten Objekte auf fünf. Berechnungen zeigen, dass das System dynamisch instabil ist. IRAS4 scheint daher ein Beispiel für Sternentstehung in einem Mehrfachsystem hoher Ordnung zu sein, das in Zukunft in mehrere Systeme kleiner Ordnung zerfallen wird (K. Smith, in Zusammenarbeit mit I. Bonnell, St. Andrews, J. P. Emerson, QMW, und T. Jenness, JAC).

Freie, extrasolare Planeten

Die Entdeckung vieler extrasolarer Planetensysteme in der näheren Umgebung der Sonne zeigt, dass Planetenentstehung ein häufiger Vorgang ist. In einer Region von Sternentstehung, die zu einem Sternhaufen führt, muss nun erwartet werden, dass Planetensysteme durch Begegnungen mit anderen Sternen gestört werden. Dies könnte zu einer Population sich frei bewegender substellarer Objekte führen. Kürzlich wurden einige substellare Objekte im Sternhaufen σ Orionis gefunden, die einer solchen Population losgelöster Planeten entsprechen könnte. Wir haben die Begegnung eines Planetensystems mit einem Stern simuliert in drei verschiedenen Umgebungsverhältnissen von Sternhaufen: Kugelsternhaufen, offene Sternhaufen und dichte Regionen von gewöhnlichen Sternentstehungsgebieten. Eine bedeutende Zahl von Planeten löst sich in allen Fällen von ihrem Ursprungssystem. In offenen Sternhaufen und gewöhnlichen Sternentstehungsgebieten sind die Geschwindigkeiten der herausgelösten Objekte zu gross, um im Haufen zurückgehalten zu werden. Die Mehrheit dieser Objekte würde daher entweichen und dem Gebiet verloren gehen. Die Folgerung ist daher, dass die substellaren Objekte im offenen Sternhaufen σ Orionis nicht freie Planeten sind, sondern Objekte, die sich unabhängig von einem Stern durch eigenen Kollaps gebildet haben (K. Smith, in Zusammenarbeit mit I. Bonnell, St. Andrews).

3.3 Extragalaktische Astrophysik

Polarimetrie von Seyfert 1-Galaxien

Polarimetrische Beobachtungen sind ein probates Mittel, um die Struktur von aktiven Galaxienkernen zu untersuchen. Nur die an Staub gestreuten Photonen sind polarisiert und erlauben so, wie mit einem Spiegel, ein Bild des Galaxienkernes aus einem anderen Blickwinkel zu erhalten. Wir haben mit einem der neuen 8.2-m-Teleskope der ESO (VLT UT1) die Seyfert 1-Galaxie Fairall 51 spektropolarimetrisch beobachtet. Es zeigt sich, dass die breiten Linien sowie das Kontinuum stark polarisiert sind, während die schmalen Linien nur schwach oder gar nicht polarisiert sind. Das direkte, d. h. ungestreute und damit unpolarisierte Spektrum aus der BLR unterscheidet sich kaum vom polarisierten Spektrum, woraus wir schliessen, dass erstens die streuende Region ausserhalb der BLR liegen muss und dass zweitens die Emission der BLR isotrop oder zumindest gleich in den beiden Sehrichtungen sein muss. Das unterschiedliche Polarimetrieverhalten der breiten und schmalen Linien zeigt auch, dass die Gebiete, aus denen diese Strahlung stammt, verschieden sein müssen (H. Schild, in Zusammenarbeit mit H. M. Schmid, I. Appenzeller, M. Camenzind, J. Heidt und S. Wagner, Heidelberg).

Extragalaktische Wolf-Rayet Sterne

Wir haben eine erste Serie von Beobachtungen von extragalaktischen Wolf-Rayet-Sternen an einem der neuen 8.2-m-Teleskope der ESO (VLT UT2) durchgeführt. Die Spektren, mit deren Hilfe die stellaren Parameter sowie die Massenverlustraten bestimmt werden, sind gegenwärtig in Auswertung. In NGC 300, einer Spiralgalaxie der Sculptor-Gruppe, haben wir ein halbes Dutzend neuer Wolf-Rayet-Sterne entdeckt (H. Schild, in Zusammenarbeit mit W. Schmutz, Davos, und P. Crowther, London).

3.4 Astronomische Instrumentierung

Instrumentenentwicklung für optische Polarimetrie

Mit ZIMPOL II, der zweiten Generation des Zurich Imaging Polarimeter, können durch schnelle (im kHz-Bereich) Ladungsverschiebungen im demodulierenden CCD-Sensor, synchron mit der elektrooptischen Modulation des Polarisationszustandes, gleichzeitig vier Bildebenen aufgenommen werden, die einen identischen „gain table“ haben. Daraus erhält man die vier Bilder der Stokes-Parameter I , Q/I , U/I und V/I . Die Polarisationsbilder sind frei von Seeing- und gain-table-Effekten. Da das Rauschen nur von der Photonenstatistik begrenzt ist, erhalten wir regelmässig spektropolarimetrische Genauigkeiten von 10^{-5} . Für die Polarisationsmodulation verwenden wir sowohl ferroelektrische Flüssigkristalle als auch

piezoelastische Modulatoren. ZIMPOL II ist mehrmals mit grossem Erfolg für Messkampagnen am National Solar Observatory (Kitt Peak und Sacramento Peak) sowie am IRSOL (Istituto Ricerche Solari Locarno) eingesetzt worden. Die Zielsetzung ist die Entwicklung neuer diagnostischer Methoden zur Bestimmung solarer Magnetfelder durch hochpräzise Aufzeichnung der spektralen Signaturen sowohl vom Zeemaneffekt als auch von der Streupolarisation einschliesslich dem Hanleeffekt.

Da ZIMPOL II nur oberhalb von 4500 Å empfindlich ist, entwickeln wir gegenwärtig eine UV-empfindliche Version von ZIMPOL II, die bis 3000 Å brauchbar ist, jenseits vom atmosphärischen cut-off. Diese Version wird von grosser Bedeutung für die Erforschung des „zweiten Sonnenspektrums“ (das durch Streuprozesse linearpolarisiertes Spektrum), da die solare Polarisationsamplitude stark gegen kleinere Wellenlängen zunimmt (H. Povel, A. M. Gandorfer, P. Steiner, J. O. Stenflo, D. Gisler, U. Egger und F. Aebersold, in Zusammenarbeit mit C. U. Keller, NSO, Tucson, und M. Bianda, IRSOL, Locarno).

Verbesserungen am Radiospektrometer Phoenix-2

Das Radiospektrometer Phoenix-2 wurde zum Einsatz während des gegenwärtigen Maximums der Sonnenaktivität und im Hinblick auf die Zusammenarbeit mit dem HESSI-Satelliten verbessert. Der wichtigste Schritt war die Installation einer neuen Einheit von Elektronik im Primärfokus und neue Hochfrequenzkabel. Sie hat nun eine Temperaturregelung mittels eines Peltierelements. Das Systemrauschen des Spektrometers hat sich um mehr als einen Faktor zwei vermindert. Ein neuer logarithmischer Detektor sowie ein neues Backend mit Analogverstärkern, Offsetkompensatoren und Integratoren haben die Stabilität und Dynamik weiter verbessert. Ebenfalls von grosser Bedeutung war die erfolgreiche Reduktion der Störung durch einen benachbarten Sender bei tiefen Frequenzen mittels eines Equalizers. Diverse Verbesserungen am HF-Synthesizer haben den Lokoszillator wieder auf volle Leistungstärke gebracht. Verbessert wurden auch verschiedene Schwachstellen in der Software, insbesondere wurde ein Feldbus für die Kommunikation mit den beiden Antennen installiert, eine Windows-Oberfläche für die Steuerung der Antennen entwickelt und ein Remote-Zugriff auf alle Systemcomputer mittels VNC geschaffen. Insgesamt präsentiert sich Phoenix-2 nach diesen Verbesserungen als zuverlässiges, versatiles Instrument nahe der physikalischen Grenze der Empfindlichkeit (Ch. Monstein, M. Arnold, F. Aebersold).

Errichtung eines Datenzentrums für Daten des Satelliten High Energy Solar Spectroscopic Imager (HESSI)

Ein Datenzentrum für Satellitendaten von HESSI (Start im Juli 2000) wird zusammen mit zwei Instituten für Informatik an der ETH Zürich aufgebaut. Der HESSI-Satellit kann mittels Rotationsmodulation bei Energien über 100 keV erstmals in der Astronomie räumlich auflösen und dank gekühlter Germaniumdetektoren erstmals spektral aufgelöste Gammalinien beobachten. Die Flut der Daten wird enorm sein. Erschwerend ist, dass sie nicht als Bilder eintreffen, sondern mit inverser Fouriertransformation erst rekonstruiert werden müssen. Das Datenzentrum soll den Zugriff auch aus dem Web erleichtern. Der Satellit wird voraussichtlich im März 2001 gestartet. Ein Prototyp des Datenzentrums ist in der Testphase. Die beteiligten Astronomen üben zur Zeit mit künstlichen Daten und machen Verbesserungsvorschläge. Die Betriebshardware (Server und Plattenspeicher) wird am Institut für Astronomie aufgebaut (A. O. Benz, M. Arnold und P. Saint-Hilaire, in Zusammenarbeit mit dem Departement für Informatik der ETH Zürich).

Hauptoptik und Mixerassemblies für HIFI auf dem Herschel-Satelliten

Der FIRST-Satellit, der vierte ESA-Cornerstone, wird 2007 in den sonnabgewendeten Lagrangepunkt der Erde gebracht, um Submillimeter und fernes Infrarot mit höchstmöglicher spektraler Auflösung zu messen. Das HIFI-Instrument auf Herschel (früher FIRST) wird nach dem Heterodyne-Verfahren betrieben. Es arbeitet wie ein Radioempfänger, der die einkommende Strahlung auf eine konstante Zwischenfrequenz heruntermischet. Diese kann dann mit sehr hoher spektraler Auflösung analysiert werden. Die ETH Zürich wird für

die Hauptoptik und Mixer assemblies verantwortlich sein. Das Institut für Feldtheorie und Höchstfrequenz wird spezielle Verstärker liefern. Die Optik und Mixer assemblies sollen in der Industrie fabriziert werden. Das ITT ist in wenigen Tagen zu erwarten (A. O. Benz, Ch. Monstein, M. Arnold, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Feldtheorie und Höchstfrequenz und SRON, Groningen).

4 Veröffentlichungen

Erschienen:

- Benz, A.O.: Solar Flare Observations. In: Priest, E. (ed.): *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*. Institute of Physics/Macmillan Publ. Co. (2000)
- Benz, A.O.: Les curieux comportements du plasma dans l'univers. *Plasmas: des Étoiles au quoditien fusion*. ISSN0458-5895, LPR **666** (2000), 7–12
- Benz, A.O., Krucker, S.: Heating Events Observed in the Quiet Corona. In: *Magnetic Fields and Solar Processes*. 9th European Meeting on Solar Physics, Florence. ESA SP-**448** (2000), 547–552
- Brković, A., Rüedi, I., Solanki, S.K., Fludra, A., Harrison, R.A., Huber, M.C.E., Stenflo, J.O., and Stucki, K.: EUV brightness variations in the quiet Sun. *Astron. Astrophys.* **353** (2000), 1083–1093
- Brown, J.C., Krucker, S., Güdel, M., Benz, A.O.: Mechanisms for dynamic coronal mass supply via evaporative solar “micro-events”. *Astron. Astrophys.* **359** (2000), 1185–1195
- Csillaghy, A., Benz, A.O.: Content-based Image Retrieval in Astronomy. **3** (2000), 229–241
- Dumm T., Folini D., Nussbaumer H., Schild H., Schmutz W., Walder R.: A wind accretion wake in RW Hydrae? *Astron. Astrophys.* **354** (2000), 1014
- Fligge M., Solanki S.K.: The solar spectral irradiance since 1700. *Geophys. Res. Lett.* **27** 14 (2000), 2157
- Fligge M., Solanki S.K., Unruh Y.C.: Modelling irradiance variations from the surface distribution of the solar magnetic field. *Astron. Astrophys.* **353** (2000), 380–388
- Fligge M., Solanki S.K., Unruh Y.C.: Modelling Short-term Spectral Irradiance Variations. *Space Sci. Rev.* **94** (2000), 139–144
- Folini, D., Walder R.: 3D hydrodynamical simulations of colliding wind binaries: theory confronts observations. *Astrophys. Space Sci.* **274** (2000), 189–194
- Folini, D., Walder R.: Theory of thermal and ionization effects in colliding winds of WR+O binaries. In: Lamers, H.J.G.L.M., Sagar, A. (eds.): *Thermal and Ionization Aspects of Flows from Hot Stars: Observations and Theory*. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **204** (2000), 267–278
- Frutiger, C.: Inversions of Zeeman Split Stokes Profiles: Application to solar and stellar surface structures. Ph.D. thesis, ETH No. 13896 (2000)
- Frutiger, C., Solanki, S. K., Fligge, M., Bruls, J. H. M. J.: Properties of the solar granulation obtained from the inversion of low spatial resolution spectra. *Astron. Astrophys.* **358** (2000), 1109
- Kliem, B., Karlický, M., Benz, A.O.: Solar flare radio pulsations as a signature of dynamic magnetic reconnection. *Astron. Astrophys.* **360** (2000), 715–728
- Krucker, S., Benz, A.O.: Are Heating Events in the Quiet Solar Corona Small Flares? – Multiwavelength Observations of Individual Events. *Solar Phys.* **191** (2000), 341–385
- Krucker, S., Benz, A. O.: Heating Events in the Quiet Solar Corona – Multiwavelength Observations. In: *Solar Physics with Radio Observations*. *Proc. Nobeyama Symp.*, NRO Rep. **479** (2000), 25–30

- Messmer, P.: A Parallel Relativistic Fully 3D Electromagnetic Particle-in-Cell Code. In: Sorevik, T., Manne, F., Moe, R., Gebremedhin, A. (eds.): Proc. PARA2000 Workshop on Applied Parallel Computing, Bergen. Lect. Not. Computer Sci. **1947**, Springer (2000)
- Messmer, P., Benz, A.O.: The minimum bandwidth of narrowband spikes in solar flare decimetric radio waves. *Astron. Astrophys.* **354** (2000), 287–295
- Mürset U., Dumm T., Isenegger S., Nussbaumer H., Schild H., Schmid H.M., Schmutz W.: High resolution spectroscopy of symbiotic stars. V. Orbital and stellar parameters for FG Ser (AS 296). *Astron. Astrophys.* **353** (2000), 952
- Nussbaumer, H.: Observation, Spectral Modeling, and Diagnostics of Symbiotic Stars. In: Lamers, H.J.G.L.M., Sagar, A. (eds.): Thermal and Ionization Aspects of Flows from Hot Stars: Observations and Theory. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **204** (2000), 317–328
- Nussbaumer, H.: Workshop summary: Symbiosis. In: Lamers, H.J.G.L.M., Sagar, A. (eds.): Thermal and Ionization Aspects of Flows from Hot Stars: Observations and Theory. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **204** (2000), 443–444
- Pauluhn, A., Solanki, S.K., Rüedi, I., Landi, E., Schühle, U.: Statistics of quiet Sun extreme ultraviolet intensities. *Astron. Astrophys.* **362** (2000), 737–745
- Pestalozzi, M.R., Benz A.O., Conway, J.E., Güdel, M.: VLBI Observations of Two Single dMe Stars: Spatial Resolution and Astrometry. *Astron. Astrophys.* **353** (2000), 569–574
- Robinson, P.A., Benz, A.O.: Bidirectional Type III Solar Radio Bursts. *Solar Phys.* **194** (2000), 345–369
- Schmid, H.M., Appenzeller, I., Camenzind, M., Dietrich, M., Heidt, J., Schild, H., Wagner, S.J.: VLT-spectropolarimetry of bright Seyfert 1 galaxies. In: Discoveries and Research Prospects from 8- to 10-Meter-Class Telescopes. *Proc. SPIE* **4005** (2000), 264–273
- Schmid, H.M., Corradi R., Krautter J., Schild H.: Spectropolarimetry of the symbiotic nova HM Sge. *Astron. Astrophys.* **355** (2000), 261
- Schühle, U., Pauluhn, A., Hollandt, J., Lemaire, P., Wilhelm, K.: Radiance Variations of Vacuum-Ultraviolet Emission Lines of the Quiet Sun Observed with SUMER on SOHO. *Phys. Chem. Earth (C)* **25** 5–6 (2000), 429–432
- Schühle, U., Wilhelm, K., Hollandt, J., Lemaire, P., Pauluhn, A.: Radiance variations of the quiet Sun at far-ultraviolet wavelengths. *Astron. Astrophys.* **354** (2000), L71–L74
- Smith, K.W., Bonnell, I.A., Emerson, J.P., Jenness T.: NGC 1333/IRAS 4: a multiple star formation laboratory. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **319** (2000), 991
- Smith, K.W., Lewis, G.F., Bonnell, I.A., Bunclark, P.S., Emerson, J.P.: Accretion structures of DR Tau Stellar Clusters and Associations: Convection, Rotation, and Dynamics. In: Pallavicini, R., Micela, G., Sciortino, S. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **198** (2000), 483
- Solanki, S.K., Fligge, M.: Reconstruction of Past Solar Irradiance. *Space Sci. Rev.* **94** (2000), 127–138
- Solanki, S.K., Schüssler, M., Fligge, M.: Evolution of the Sun's large-scale magnetic field since the Maunder minimum. *Nature* **408** (2000), 445
- Stenflo, J.O.: What Can We Learn About the Corona from Polarization Measurements? In: Livingston, W.C., Özgüc, A. (eds.): The Last Total Solar Eclipse of the Millennium in Turkey. *Proc. Symp. Istanbul. Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **205** (2000), 41–50
- Stenflo, J.O.: Solar Magnetic Field: Zeeman and Hanle Effects. In: Priest, E. (ed.): *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*. Institute of Physics/Macmillan Publ. Co. (2000)

- Stenflo, J.O.: Photosphere: Intranetwork and Turbulent Magnetic Fields. In: Priest, E. (ed.): *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*. Institute of Physics/Macmillan Publ. Co. (2000)
- Stenflo, J.O., Gandorfer, A., Keller, C.U.: Center-to-limb variation of the enigmatic Na I D₁ and D₂ polarization profiles. *Astron. Astrophys.* **355** (2000), 781–788
- Stenflo, J.O., Keller, C.U., Gandorfer, A.: Anomalous Polarization Effects Due to Coherent Scattering in the Solar Spectrum. *Astron. Astrophys.* **355** (2000), 789–803
- Stucki, K., Solanki, S.K., Schühle, U., Rüedi, I.: On the relationship between shift and intensity of ultraviolet lines in coronal holes and the quiet Sun. *Astron. Astrophys.* **362** (2000), L49–L52
- Stucki, K., Solanki, S.K., Schühle, U., Rüedi, I., Wilhelm, K., Stenflo, J.O., Brkovi'c, A., Huber, M.C.E.: Comparison of far-ultraviolet emission lines formed in coronal holes and the quiet Sun. *Astron. Astrophys.* **363** (2000), 1145–1154
- Unruh, Y.C., Knaack, R., Fligge, M., Solanki, S.K.: Are the Sun's brightness variations really tamer than those of other comparable solar-type stars? In: R.J. Garcia Lopez, R. Rebolo, M.R. Zapatero Osorio (eds.): *Proc. 11th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* (2000)
- Unruh, Y.C., Solanki, S.K., Fligge, M.: Modelling Solar Irradiance Variations: Comparison with Observations, including Line-Ratio Variations. *Space Sci. Rev.* **94** (2000), 145–152
- Walder, R., Folini, D.: On the stability of colliding flows: radiative shocks, thin shells, and supersonic turbulence. *Astrophys. Space Sci.* **274** (2000), 343–352
- Walder R., Folini, D.: A-MAZE: A code package to compute 3D magnetic flows, 3D NLTE radiative transfer, and synthetic spectra. In: Lamers, H.J.G.L.M., Sapar, A. (eds.): *Thermal and Ionization Aspects of Flows from Hot Stars: Observations and Theory*. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **204** (2000), 281–284
- Walder R., Folini, D.: Complex wind dynamics and ionization structure in symbiotic binaries. In: Lamers, H.J.G.L.M., Sapar, A. (eds.): *Thermal and Ionization Aspects of Flows from Hot Stars: Observations and Theory*. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **204** (2000), 331–342
- Wenzler T.: Vektorpolarimetrie mit ZIMPOL II (*Zürich Imaging Stokes Polarimeter II*). Diplomarbeit (2000)

Jan Olof Stenflo

