

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:

PD Dr. W. Schmutz, PD Dr. S.K. Solanki [-23810], Dr. O. De Marco, Dr. Th. Dumm [-24217], Dr. M. Flügge [-27959], Dr. D. Folini [-23633], Dr. G. Gräfener, Dr. M. Güdel [-27129], Dr. U. Mürset, Dr. A. Pauluhn [-27386], Dr. S. Ploner, Dr. I. Rüedi, 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. D. Fluri, Dipl.-Phys. C. Frutiger, Dipl.-Phys. A. Gandorfer, Dipl.-Phys. R. Knaack, Dipl.-Phys. P. Messmer, Dipl.-Phys. S. Motamen, Dipl.-Phys. G. Paesold, Dipl.-Phys. G. Schmid, Ing. méc. Dipl. K. Stucki.

Sekretariat und Verwaltung:

B. Codoni [-23813].

Technisches Personal:

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

2 Gäste

M.J. Aschwanden (Palo Alto), W. Benz (Bern), M. Bianda (IRSOL, Locarno), J.C. Brown (Glasgow), P. Crowther (London), B.R. Dennis (Greenbelt), C. Fröhlich (PMOD, Davos), J. Heyvaerts (Strassburg), R.C. Hewitt (Sydney), G. Koenigsberger (Mexiko), L. Koesterke (Potsdam), S. Kosovichev (Stanford), S. Krucker (Berkeley), R.P. Lin (Berkeley), V. Nakariakov (Manchester), S. Narayanan (Bangalore), H. M. Schmid (Heidelberg), U. Schühle (Katlenburg-Lindau), J. Schweickhardt (Heidelberg), M. Sigwarth (NSO, Sunspot), Y.C. Unruh (Wien), B. Wolf (Heidelberg).

3 Wissenschaftliche Arbeiten

3.1 Physik der Sonne

Beobachtungen von Streupolarisation und Hanle-Effekt

ZIMPOL II, die zweite Generation des in unserem Institut entwickelten CCD-Polarimetersystems (siehe Abschnitt 3.3, „Astronomische Instrumentierung“), wurde für verschiedene Beobachtungsprogramme am National Solar Observatory (NSO) und am Istituto Ricerche Solari Locarno (IRSOL) eingesetzt. Zielsetzung war eine Fortsetzung der mit ZIMPOL I seit einigen Jahren begonnenen systematischen Untersuchung des „zweiten Sonnenspektrums“ (das durch kohärente Streuprozesse polarisierte Sonnenspektrum). Mit ZIMPOL II erhält man vier gleichzeitige Bilder der vier Stokeschen Parameter, die den Polarisationszustand vollständig charakterisieren.

Auf NSO/Kitt Peak wurden mit ZIMPOL II Aufzeichnungen in einer Reihe ausgewählter Teile des Spektrums und in verschiedenen ruhigen und aktiven Gebieten auf der Sonnenscheibe, besonders in der Nähe des Sonnenrandes, durchgeführt. Die ausgewählten Spektralgebiete enthalten Effekte von Quanteninterferenz, Hyperfeinstruktur, und molekularer Polarisation. Die explorativen Beobachtungen zeigen, wie sich diese Effekte mit dem Hanle und Zeeman Effekt mischen und räumlich variieren. Erstes Ziel ist es, diese physikalischen Prozesse besser zu verstehen, bevor sie für diagnostische Zwecke genutzt werden können (J.O. Stenflo und A.M. Gandorfer, in Zusammenarbeit mit C.U. Keller, Tucson).

Erst mit ZIMPOL II ist eine sinnvolle systematische Registrierung des „zweiten Sonnenspektrums“ möglich geworden. Ein „Atlas des zweiten Sonnenspektrums“ wird am 45-cm-Gregory-Coudé-Teleskop des IRSOL in Locarno aufgenommen. Für den gesamten geplanten Spektralbereich von 4500–7000 Å bei einer angestrebten polarimetrischen Genauigkeit von $3\text{--}4 \times 10^{-5}$ ist eine Gesamtbeobachtungszeit von mehreren Monaten notwendig. Die in ihrer Art einmaligen Beobachtungen sind kurz vor dem Abschluss und erlauben Einblicke in bisher unerklärte Phänomene, sowohl atomphysikalischer als auch sonnenphysikalischer Natur. Mit dem kompletten Atlas ist ab Sommer 2000 zu rechnen (A. Gandorfer).

Das kontinuierliche Spektrum der Sonne wird durch Rayleigh-Streuung an atomarem Wasserstoff und Thomson-Streuung an freien Elektronen verursacht. Die Messung dieser kleinen Polarisation hat sich als sehr schwierig erwiesen, da der durch instrumentelle Effekte unsichere Nullpunkt der Polarisationskala sehr genau festgelegt werden muss, da der Einfluss von benachbarten Spektrallinien vermieden werden muss, und da im Randgebiet der Sonne, wo die Polarisation steil zunimmt, der Intensitätsgradient sehr gross ist. Es ist unschliesslich gelungen, mit ZIMPOL II am IRSOL und mit dem Spektrographenspalt senkrecht zum Sonnenrand, in ausgewählten Kontinuumsfenstern verteilt über das sichtbare Spektrum, Aufzeichnungen zu machen, aus welchen die Zentrum-Rand-Variation und Wellenlängenabhängigkeit der Kontinuumpolarisation ermittelt werden können (A. Gandorfer und J.O. Stenflo).

Am IRSOL wurden mit dem auf einem polarisierenden Strahlteiler basierenden Polarimetersystem die Untersuchungen der Sonnenmagnetfelder mit dem Hanle-Effekt fortgesetzt. Durch Vektor-Polarimetrie in der Ca I 4227 Å Linie wurden „Hanle-Histogramme“ konstruiert, welche die früheren Resultate mit dem gleichen Instrument in der Sr II 4078 Å Linie bestätigen und ergänzen (J.O. Stenflo und S.K. Solanki, in Zusammenarbeit mit M. Bianda, IRSOL, Locarno).

Theorie zur Deutung des „zweiten Sonnenspektrums“

Als erster Schritt in der Entwicklung von theoretischen Werkzeugen zur Deutung des „zweiten Sonnenspektrums“ (Polarisation durch kohärente Streuung und Hanle-Effekt) wurde die Zentrum-Rand-Variation der Kontinuumpolarisation als Funktion der Wellenlänge für neun verschiedenen Modellatmosphären berechnet. Die numerischen Lösungen des Strahlungstransports konnten mit analytischen Funktionen gut approximiert und parametrisiert werden (D.M. Fluri und J.O. Stenflo).

In einem nächsten Schritt in der Berechnung der Streupolarisation und Hanle-Effekt in Spektrallinien wird ein neuer Computeralgorithmus, PALI, implementiert, der etwa zehnmal schneller als die klassische Feautrier-Methode ist (D.M. Fluri und J.O. Stenflo, in Zusammenarbeit mit K.N. Nagendra, Bangalore).

Unser Verständnis von polarisierter Streuung in Spektrallinien basiert normal auf der Quantenmechanik. Es ist uns jetzt gelungen, eine klassische Theorie zu entwickeln, die Gültigkeit für beliebige Magnetfelder (mit Hanle- und Zeeman-Effekt) hat, und welche den Effekt der Stöße auf die Frequenzverteilung der polarisierten Strahlung beschreibt. Die Resultate der klassischen Theorie sind identisch mit derjenigen der Quantenfeldtheorie, sind aber direkter physikalisch interpretierbar, da im Gegensatz zur Quantenfeldtheorie die klassische Theorie nicht auf einer Störungsrechnung basiert (J.O. Stenflo, in Zusammenarbeit mit V. Bommier, Paris).

Inversionen solarer und stellarer Stokes-Spektren

Ein Hauptziel der solaren und stellaren Spektroskopie ist die exakte Bestimmung der Atmosphäre der Sonne und Sterne anhand der beobachteten Intensität und Polarisation (Stokes Spektren). Diese Aufgabe wird erschwert durch die Tatsache, dass sehr viele und unterschiedliche physikalische Größen einen Einfluss auf das Licht haben, das wir von der Sonne oder einem Stern erhalten. Bei Sternen kommt erschwerend hinzu, dass wir die Oberfläche nicht auflösen können, d. h. kein Bild, sondern nur eine gewisse Menge Licht (in Abhängigkeit der Frequenz) bekommen. Inversionen sind eine interessante Möglichkeit, dieses Problem dennoch zu bewältigen. Zu diesem Zweck wird der beobachtete Teil der Sonnenoberfläche oder die gesamte Oberfläche eines Sterns durch ein parameterisiertes Modell beschrieben. Durch gleichzeitiges geeignetes Variieren aller (wichtigen) freien Parameter wird dann die „optimale“ Wahl der Parameter bestimmt, welche die beobachteten Daten am besten reproduziert.

Im vergangenen Jahr haben wir unser Inversionsprogramm erweitert, um verschiedene neue Aspekte (genauere und schnellere Rechenmethoden, Komplexität der Modelle, physikalische sinnvolle Randbedingungen) zu berücksichtigen. Dabei haben wir unser Augenmerk vor allem auf eine einfache konsistente Modellierung von Strömungen gerichtet. Die Erweiterungen eröffneten einerseits neue Perspektiven bei der Analyse von kleinskaligen magnetischen Strukturen in der Photosphäre der Sonne und ermöglichten andererseits neuartige Untersuchungen von globalen Strömungsmustern (Granulation) auf der Sonne und sonnenähnlichen Sternen (Ch. Frutiger, M. Fligge, S.K. Solanki, S.R.O. Ploner).

Sonnenflecken

Durch Zeitreihenanalyse von Magnetogrammen, die mit dem MDI-Instrument auf SOHO aufgenommen worden sind, wurde nach Oszillationen in Sonnenflecken gesucht. Sehr lokalisierte und zeitlich begrenzte Oszillationen im 3- und 5-Minutenbereich wurden gefunden. Zur Deutung wurden die MDI-Oszillationen mit einem Modell einer realistischen, oszillierenden Sonnenatmosphäre und mit Strahlungstransportrechnungen simuliert. Die Amplitude der beobachteten Oszillationen als auch die Phasenbeziehungen zwischen den Oszillationen der Geschwindigkeit und des Magnetfeldes können vom Modell gut reproduziert werden. Unsere Analyse zeigt, dass ein Grossteil des gemessenen Oszillationseffekts in den Magnetogrammen eigentlich durch Cross-talk die Oszillationen in Temperatur und Dichte widerspiegelt, die mit der magnetoakustischen Welle des Modells verbunden sind (I. Rüedi, S.K. Solanki, in Zusammenarbeit mit T. Bogdan, Boulder, und P. Cally, Clayton, Australien).

Infrarotmessungen wurden verwendet, um die Struktur von Sonnenflecken zu untersuchen. Sie zeigen, dass die Penumbra aus mindestens zwei Typen von Flussröhren besteht: (1) kalte, fast horizontale Flussröhren mit einer niedrigen magnetischen Feldstärke und einer Signatur des Evershed-Effekts und (2) heissere, mehr vertikale Flussröhren. Im Gegensatz zu früheren Beobachtungen sind diese in Übereinstimmung mit dem theoretischen Modell des Siphon-Flusses (I. Rüedi, S.K. Solanki, in Zusammenarbeit mit C.U. Keller, Tucson).

Rekonstruktion des Helligkeitsanstiegs der Sonne zwischen Minimum und Maximum des Aktivitätszyklus

Von zentraler Bedeutung für das Verständnis solarer Helligkeitsschwankungen ist die Frage nach den Ursachen für die Zunahme der mittleren Helligkeit der Sonne zwischen Aktivitätsminimum und -maximum. Ist das Magnetfeld auf der Oberfläche der Sonne, welches so dominant die Helligkeitsschwankungen innerhalb von Tagen und Wochen bestimmt, auch für den längerfristigen Anstieg innerhalb eines Sonnenzyklus verantwortlich?

Um diese Frage zu klären, haben wir unser Modell zur Rekonstruktion der totalen und spektralen Helligkeitsschwankungen der Sonne anhand der Verteilung des Magnetfeldes auf der Sonnenoberfläche auch auf diese Zeiträume angewandt. Um das Netzwerk miteinander zu können, haben wir die MDI Magnetogramme über 20 Minuten gemittelt. In einem ersten Versuch haben wir so die Helligkeit an etwa 10 verschiedenen Tagen zwischen 1996 (Aktivitätsminimum) und 1999 (nahe dem Maximum) rekonstruiert. Vorläufige Resultate zeigen eine erstaunliche Übereinstimmung mit Messungen von VIRGO und legen den Schluss nahe, dass auch in diesen Zeiträumen das Magnetfeld auf der Sonnenoberfläche die Helligkeitsschwankungen dominiert (M. Fligge, S.K. Solanki, in Zusammenarbeit mit Y.C. Unruh, Wien).

Einfluss einer geneigten Rotationsachse auf die Helligkeitsschwankungen sonnenähnlicher Sterne

Die Helligkeitsschwankungen der Sonne während eines Aktivitätszyklus sind eher bescheiden, vergleicht man sie mit dem Verhalten einiger sonnenähnlicher Sterne, welche 2–3 mal grössere Schwankungen zeigen. Als mögliche Erklärung für dieses aussergewöhnliche Verhalten wurde die zufällige Verteilung der Rotationsachsen dieser Sterne relativ zum Sehstrahl Sonne-Stern aufgeführt.

Wir untersuchten den Einfluss des Inklinationswinkels der solaren Rotationsachse relativ zu einem Beobachter auf die totalen und spektralen Helligkeitsschwankungen der Sonne über einen Aktivitätszyklus. Mit Hilfe eines 3-Komponenten-Modelles, welches zwischen Sonnenflecken, -fackeln und ruhiger Sonne unterscheidet, wurden relative Helligkeitsschwankungen berechnet und zwar für eine gegebene Verteilung der aktiven Gebiete auf der Sonnenoberfläche und als Funktion des Inklinationswinkels der Rotationsachse. Wie sich zeigte, ändern sich die Helligkeitsschwankungen um höchstens 40%, im statisch wahrscheinlichsten Fall gar nur um 5%. Damit erhalten wir einen deutlich kleineren Wert als frühere Studien (M. Fligge, R. Knaack, S.K. Solanki, in Zusammenarbeit mit Y.C. Unruh, Wien).

Das Verhältnis zwischen dem magnetischen Fluss in aktiven Gebieten und im Netzwerk

Frühere Analysen synoptischer Karten des solaren Magnetfeldes aus Kitt Peak Magnetogrammen ergaben, dass der totale magnetische Fluss in aktiven Gebieten etwa 2–3 mal grösser ist als im Netzwerk. Der gemessene totale Fluss hängt aber stark von der verwendeten Auflösung ab. Dies gilt besonders ausserhalb von aktiven Gebieten, wo das Magnetfeld nicht uniform ist und Gebiete mit umgekehrter Polarität nahe beieinander liegen.

Um zu untersuchen, wie stark die Auflösung der Magnetogramme den gemessenen totalen magnetischen Fluss beeinflusst, haben wir künstlich die Auflösung von „high-resolution“ und „full-disk“ Magnetogrammen von MDI verringert, d. h. der Auflösung der synoptischen Karten angepasst und den totalen magnetischen Fluss in aktiven Gebieten und dem Netzwerk erneut bestimmt. Es stellt sich heraus, dass die synoptischen Karten den Fluss im Netzwerk um bis zu einem Faktor 3 unterschätzen verglichen mit MDI Magnetogrammen (M. Fligge und S.K. Solanki).

Erweiterung der Simulation solarer Konvektion auf meso- und supergranulare Dimensionen

Die horizontale Grösse des Gebietes, in dem die hydrodynamischen Gleichungen eines Gases unter Bedingungen der solaren Photosphäre numerisch gelöst werden, wird vorwiegend durch die horizontale Ausdehnung der Konvektionszellen, der sogenannten Granulen, von durchschnittlich 1000 km bestimmt. Um die Dynamik dieser Zellen statistisch zu untersu-

chen muss die Wechselwirkung möglichst vieler solcher Zellen untersucht und die horizontalen Dimensionen entsprechend vergrössert werden. Überraschenderweise wurden durch eine solche Gebietserweiterung auch grossskalige Muster erkannt, die, wie gezeigt werden konnte, mit der beobachteten Mesogranulation übereinstimmen.

Dieses Resultat veranlasste uns, eine neue Gebietserweiterung vorzunehmen, einerseits um die Dynamik der Mesogranulen zu studieren, deren Ursprung zu erforschen und andererseits um vielleicht die noch grösseren Strukturen der Supergranulation zu erkennen. Da Supergranulen eine durchschnittliche horizontale Ausdehnung von 20–30 Mm besitzen, müsste mindestens die doppelte oder besser die dreifache dieser Distanz abgedeckt werden. Dies gelingt aber wegen der endlichen Computerressourcen nur mit Vereinfachungen. Um die nötige Auflösung von 35 km beibehalten zu können, vernachlässigen wir eine horizontale Raumkoordinate. Dies erlaubt ferner, die ebenfalls grossen Zeitskalen, gegeben durch die Lebensdauer der Supergranulen von der Grössenordnung von einem Tag, abzudecken. Um die Rechenzeiten weiter zu reduzieren, parallelisierten wir das Programm. Erste Testrechnungen zeigen, dass die erwünschte Verkürzung der Rechenzeit tatsächlich erreicht wird. Andererseits musste erkannt werden, dass die Resultate der Simulation sehr empfindlich von den oberen und unteren Randbedingungen abhängen (S.R.O. Ploner, Th. Wüst und S.K. Solanki).

Koronalöcher

Der schnelle Sonnenwind entsteht in den Koronalöchern, aber es ist noch unklar, wie und in welcher Höhe er beschleunigt wird. Wir benützen drei verschiedene Datensätze, die in polaren Koronalöchern mit dem hochauflösenden Spektrographen SUMER auf SOHO aufgenommen wurden. Damit können wir die spektralen Profile im UV-Bereich innerhalb und ausserhalb dieser Löcher miteinander vergleichen. Eine grosse Auswahl dieser Linien über einen grossen Entstehungstemperaturbereich erlaubt uns, Aussagen über den physikalischen Zustand der Sonnenatmosphäre in verschiedenen Höhen zu machen. In den Koronalöchern stellt man fest, dass Linien, die bei Temperaturen über 10^5 K entstehen, mehr blauverschoben sind, also ein Entweichen von Plasma relativ zur ruhigen Sonne zeigen. Diese Plasmabewegung deutet darauf, dass der Sonnenwind in den polaren Koronalöchern schon sehr tief in der Sonnenatmosphäre beschleunigt wird. Im Weiteren zeigen die Intensitätsverteilungen für chromosphärischen Linien ein stärkeres Netzwerk in Koronalöchern verglichen mit der ruhigen Sonne, was für heissere Linien nicht der Fall ist. Dafür zeigen aber Linien, die bei Temperaturen über 30 000 K entstehen, in Koronalöchern Blauverschiebungen im Netzwerk. Dieses stimmt mit den neuen Erkenntnis überein, nach welchen der Sonnenwind im Netzwerk entstehen sollte (K. Stucki, S.K. Solanki, I. Rüedi, J.O. Stenflo, in Zusammenarbeit mit U. Schühle, K. Wilhelm, MP Ae, Lindau, und M.C.E. Huber, ESTEC, Noordwijk).

Koronaheizung

Beobachtungen im EUV und in weichen Röntgenstrahlung haben gezeigt, dass die Korona nicht kontinuierlich geheizt wird. Die Variabilität hat Zeitskalen von 5–40 Minuten. Die Variationen werden von uns als Heizungsereignisse interpretiert. 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 kleiner ist die potentielle Energie, um die Materie in die Korona zu heben. Die Energieverteilung der Heizungsereignisse hat die Form eines Potenzgesetzes. Davon ist aber nur der hochenergetische Teil bekannt mit einer Potenz von 2.3. Es stellt sich nun die Frage, ob die Koronaheizung mit einer Modellverteilung zu erklären ist, welche den beobachteten Teil zu kleineren Energien extrapoliert.

Wir haben dieses Modell auf die Verträglichkeit mit anderen Beobachtungen geprüft: Totaler Strahlungsfluss der Korona in EUV und weichen Röntgenstrahlen, zeitliche Variabilität einzelner Pixel und Fourierspektrum der Variationen. Das Resultat ist positiv, falls das Potenzspektrum zu Ereignissen mit Energien von 10^{23} erg hinunter extrapoliert werden kann (A.O. Benz und U. Mitra, in Zusammenarbeit mit S. Krucker, Berkeley).

Heizungsereignisse der ruhigen Korona und ihre Rückkopplung mit der Übergangsschicht

Die impulsive Verstärkung der koronalen Emissionen in Heizungsereignissen ist mit Variationen in der Übergangsschicht verbunden. Beobachtungen mit dem EIT und CDS Instrumenten auf SOHO und dem Very Large Array in Radiowellen zeigen, dass grössere koronale Ereignisse immer mit verstärkter Strahlung der Übergangsschicht räumlich und zeitlich korreliert. Umgekehrt hingegen ist dies nicht der Fall, nicht alle Ereignisse der Übergangsschicht haben einen spürbaren Heizungseffekt. Unsere Messungen zeigen, dass die Strahlungen der Übergangsschicht der koronalen Emission vorangehen. Dies gilt sowohl für grössere Einzelereignisse, wie auch für die Kreuzkorrelation der verschiedenen Bilder in der Zeit. Ähnlich verhalten sich die betreffenden Strahlungen auch in Flares der aktiven Sonne. Eine Erklärung der Ereignisse gibt die chromosphärische Evaporation. Mit Modellen der chromosphärischen Heizungsfunktion konnten wir abschätzen, welche Energie benötigt wird, um das koronale Emissionsmass entsprechend der Beobachtungen zu erhöhen. Wir zeigen, dass eine Erhöhung der Wärmeleitung nicht genügt, um das Emissionsmass unter den beobachteten Temperaturbedingungen entsprechend zu erhöhen. Als Erklärungsmöglichkeit schlagen wir Energietransport mit energetischen Teilchen vor (J.C. Brown und A.O. Benz, in Zusammenarbeit mit M. Güdel, PSI, und S. Krucker, Berkeley).

Kleinste Bandbreite von Spikes in der Radioemission von Flares

Kurze Spikes erscheinen gelegentlich in regulären Flares und sind meistens mit Emissionen von harten Röntgenstrahlen assoziiert. Sie stehen im Verdacht, einen direkten Zusammenhang mit der Beschleunigung von Elektronen zu haben. Die äusserst kleine Bandbreite der Emission wird als Kombination von natürlicher Strahlungsbreite des Emissionsmechanismus und Variationen der Plasmamaparameter in der Strahlungsquelle verstanden. Da sowohl der Strahlungsmechanismus wie die Quelle unbekannt sind, ist es von grosser Wichtigkeit, die kleinste Bandbreite von Spikes zu bestimmen. Wir haben dies an mehreren Messungen mit dem Phoenix Spektrometers mit verschiedenen Methoden bestimmt. Mit Wavelet-Koeffizienten wurde die kleinste Skalengrösse gemessen, die sich vom Rauschverhalten unterscheidet. In einem zweiten Verfahren wurde im Fourierspektrum der Übergang zum Rauschen bestimmt. Infolge der limitierten Frequenzauflösung ergab eine dritte Methode noch bessere Resultate: Die Spektren wurden mittels Waveletmethode gefiltert, die Spikes automatisch erkannt und ausgemessen. Die schmalsten Bandbreiten (volle Breite bei halbem Maximum) sind 0.17% der Zentralfrequenz. Dies ist mit Abstand die kleinste bekannte kohärente Radioemission und schliesst verschiedene Strahlungsmechanismen aus (P. Messmer und A.O. Benz).

Simulation von einzelnen Teilchen im Beschleunigungsprozess

Die Bahnen von einzelnen Teilchen und ihre Wechselwirkung mit anderen Teilchen können mit Gitter-Codes gerechnet werden. Ein bestehender drei-dimensionaler Code, Tristan, wurde parallelisiert mittels eines message-passing interface (MPI). Das Programm wurde optimiert und ausgetestet. Die Implementation ist bis zehnmal schneller auf den 8 Prozessoren einer Cray T3E-900 als der ursprüngliche Code. Erste Resultate einer einfachen Testsituation wurden visualisiert. Der Code wird zur Untersuchung der Beschleunigung von Teilchen in der Sonnenkorona eingesetzt werden (P. Messmer und A.O. Benz).

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 ausgeschlossen, wenn die parallele Geschwindigkeit nicht in senkrechte umgewandelt werden kann. Wir haben ein Programm 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 (G. Paesold und A.O. Benz).

Loop-Top Quellen von Flares

In harten Röntgenstrahlen von Flares wurden Emissionen nicht nur von den Fusspunkten von Loops gefunden. Auch oberhalb des Maximums von Loops in thermischen (weichen) Röntgenstrahlen gibt es manchmal eine schwache Quelle. Sie ist möglicherweise mit der Beschleunigungsregion verbunden oder mit ihr identisch. Es fragt sich nun, wie die Elektronen, welche diese Strahlung verursachen, auf ein kleines Gebiet konzentriert werden. Eine der Möglichkeiten ist magnetischer Einschluss. Er würde aber einen Verlustkegel in der Geschwindigkeit verursachen, der gegen wachsende Whistlerwellen instabil ist. Es fragt sich nun, wie wichtig diese Whistlerwellen sind in anbeacht der Stösse dieser Teilchen, welche in den Loop-Top Quellen beobachtet werden und deren Emission in harter Röntgenstrahlung durch Bremsstrahlung verursacht wird. Magnetischer Einschluss ist praktisch die einzige Alternative zur direkten Strahlung des Beschleunigungsprozesses (G. Schmid und A.O. Benz).

3.2 Physik der Sterne

Symbiotische Sterne

Symbiotische Systeme sind wechselwirkende Doppelsternsysteme in einem späten Entwicklungsstadium, bestehend aus einem Roten Riesen, einem Weissen Zwerg und zwischenstelliger Materie. In allen Systemen dürfte der Rote Riese starken Masseverlust erleiden. In einigen Systemen ist auch beträchtlicher Masseverlust des Weissen Zwergs nachgewiesen. Unser Forschungsschwerpunkt hat sich zum Roten Riesen und den Kollisionsgebieten der beiden Sternwinde verschoben. Die längerfristig entwickelten Hydrodynamik- und Strahlungstransportprogramme finden hier ihren idealen Einsatz; allerdings werden sie auch für die Erforschung von Wolf-Rayet-Sternen eingesetzt. Daneben bearbeiten wir auch die ISO-Beobachtungen einiger Symbiotischer Novae. Einzelne Projekte werden im folgenden kurz beschrieben (T. Dumm, D. Folini, O. De Marco, U. Mürset, H. Nussbaumer, H. Schild, W. Schmutz, R. Walder).

Die Akkretionsscheibe in RW Hydrae

RW Hya ist ein getrenntes, bedeckendes symbiotisches Doppelsternsystem. In IUE- und HST-Daten haben wir ausserhalb der normalen Bedeckung für kurze Zeit eine Veränderung des Kontinuums vom heissen Stern beobachtet, die auf Rayleigh Streuung hinweist. Das kann durch eine Windakkretionsregion um den heissen Stern erklärt werden. Bei genügender Dichte kann sich in der Akkretionsregion eine von der Strahlung des heissen Sterns abgeschirmte neutrale Wasserstoffzone bilden. Durchquert die Strahlung des heissen Sterns diese Region, so wird sie durch Rayleighstreuung geschwächt. Wir haben für RW Hya die 3D-Eulergleichungen für Masseverlust des Roten Riesen und Akkretion auf den Weissen Zwerg numerisch gelöst. Damit besitzen wir ein numerisches Modell für die zirkumstellare Dichte- und Geschwindigkeitsverteilung. Die damit berechneten Emissionslinien vergleichen wir mit den Emissionslinienprofilen, welche wir in den letzten zwei Jahren mit den Teleskopen der ESO aufgenommen haben. Mit RW Hya haben wir die einmalige Gelegenheit, detaillierte numerischen Simulationen einer Windakkretionszone mit Beobachtungen zu vergleichen. Dem Projekt wurde HST-Beobachtungszeit im Zyklus 9 zugesprochen (T. Dumm, D. Folini, H. Nussbaumer, H. Schild, W. Schmutz, R. Walder).

Zirkumstellare Materie in SY Mus

Für das bedeckende symbiotische Binärsystem SY Muscae wurde aus neuen Radialgeschwindigkeitsbeobachtungen ein genauer Zeitpunkt der Bedeckung des heissen Sterns durch den kühlen Riesen bestimmt. Die Bedeckungslichtkurve des heissen Sterns ist nicht symmetrisch bezüglich der Zentralbedeckung. Wir erklären das durch eine nicht sphärisch symmetrische Dichteverteilung um den M-Riesen. Dies könnte die Folge eines Windes vom heissen Stern sein. Die Kollision mit dem Wind des M-Riesen könnte die beobachtete Asymmetrie verursachen. Die Massenverlustrate des Roten Riesen sowie ein mögliches Windgesetz für den M-Riesen wurde abgeleitet. In SY Muscae kann die im kurzwelligen Bereich

beobachtete Kontinuumschwäche nicht allein durch Rayleigh-Streuung erklärt werden. Das gilt auch für andere bedeckende symbiotische Dopplersternsystemen. Hochaufgelöste HST UV-Spektren des bedeckenden symbiotischen Dopplersternsystems RW Hydrae zeigen, dass die Flussreduktion durch eine Kombination von Rayleigh-Streuung und Linienabsorption zustande kommt. Derselbe Prozess dürfte auch in SY Muscae und anderen symbiotischen Dopplersternen wirken (T. Dumm, W. Schmutz, H. Schild, H. Nussbaumer).

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} , so dass es sich mit grosser Wahrscheinlichkeit um Weiße Zwerge handelt. Die Massen der Roten Riesen zeigen grössere Schwankungen und variieren im Bereich von 1 bis 4 M_{\odot} (T. Dumm, U. Mürset, H. Nussbaumer, H. Schild, W. Schmutz, in Zusammenarbeit mit H.M. Schmid, Heidelberg).

Raman Streuung in Symbiotischen Systemen

Mit polarimetrischen Beobachtungen der Raman-gestreuten Emissionslinien O VI $\lambda\lambda 1032, 1038$ bei $\lambda\lambda 6825, 7082$ gelang es, die aktuelle Orientierung der binären Bahnachse in der langsamen Nova HM Sge zu bestimmen. Sie verläuft parallel zu bipolaren, ausgedehnten Nebelmissionsgebieten, wie sie mit dem HST beobachtet wurden. Damit haben wir erste Hinweise dafür, dass bei dieser Symbiotischen Nova (slow nova) das Material vor allem in der Richtung senkrecht zur Bahnebene ausgeschleudert wurde (H. Schild, in Zusammenarbeit mit H.M. Schmid, Heidelberg).

ISO-Beobachtungen Symbiotischer Systeme

Wir analysieren unsere ISO Spektren der staubtragenden „slow novae“ HM Sge, RR Tel und V1016 Cyg. Die ISO Spektren sind so stark von Silikatstaubemission dominiert, dass die Strahlung des Roten Riesen bis hinunter zu 2 μm marginalisiert wird. Es zeichnet sich ab, dass mehr als eine Staubkomponente nötig ist, um diese Spektren zu verstehen. Die eine Komponente ist eine optisch dünne Staubhülle, so wie sie auch einzelne Mirae erzeugen. Die zweite Komponente könnte Staub sein, wie er in einer verdichteten Windkollisionszone reichlich entstehen kann (H. Schild, in Zusammenarbeit mit A. Evans, Keele, S. Eyres, Liverpool, und A. Salama, VILSPA).

Zentralsterne Planetarischer Nebel, Wolf-Rayet Sterne, Wolf-Rayet Galaxien

Das O+WR Binärsystem γ Vel.

Die erste Phase zur Bestimmung der Stellarparameter von γ Vel ist beendet und die Arbeit zum Druck eingesandt. An diesem System wurden auch die Modellcodes von Hillier und de Koter miteinander verglichen (W. Schmutz und O. De Marco, in Zusammenarbeit mit A. de Koter, J. Schweickhardt, P. Crowther, L. Dessart, J.D. Hillier).

Die Modellierung des WN-Sterns WR124

In dieser Arbeit benutzen wir den stellaren Strahlungsfluss aus dem Modell und berechnen damit die Ionisationsstruktur des assoziierten Nebels. Das line-blanketing-Modell gab einen Strahlungsfluss, der die Ionisation des Nebels erlaubte. Die Codes von de Koter und Hillier gaben genügend nahe Resultate, um die Analyse mit beiden fortzusetzen (W. Schmutz und O. De Marco, in Zusammenarbeit mit P. Crowther, A. Pasquali, J.D. Hillier).

Planetarische Nebel in SMC

Mit dem 2.1-m-Teleskop der ESO wurde die SMC nach Planetarischen Nebeln abgesucht. Die Anzahl der gefundenen wurde bis jetzt verdoppelt. Im Frühjahr 2000 werden die Objekte mittels Spektroskopie untersucht. Bilder der Objekte werden mit HST aufgenommen (Cycle 9) (O. De Marco in Zusammenarbeit mit George Jacoby).

H-defizitäre Planetarische Nebel

Die Untersuchung H-defizitärer Zentralsterne Planetarischer Nebel wurde weitergeführt; eine Studie zu M4-18 wurde beendet. Sie zeigt die Heterogenität der Auswahl, welche zur Vermutung führte, der Entwicklungsweg dieser Klasse könnte verschieden sein. Weitere H-defizitäre Zentralsterne wurden beobachtet (O. De Marco, in Zusammenarbeit mit P.A. Crowther, M.J. Barlow, G. Jacoby).

Wolf-Rayet Galaxien

Die Spektren einiger Wolf-Rayet Galaxien enthalten eine breite Emissionslinie bei $\lambda 4640$. Diese Emission wird üblicherweise als N III und/oder C III/C IV Linien von Wolf-Rayet Sternen identifiziert. Wir haben Wolf-Rayet Galaxien mit besonders starker $\lambda 4640$ Emission untersucht und konnten zeigen, dass das Verhältnis dieser Emission zu der He II Emission bei $\lambda 4686$ durch keine bekannten Wolf-Rayet Typen erklärt werden kann. Die $\lambda 4640$ Emission muss daher entweder von einem neuen, noch unbekanntem Wolf-Rayet Typ stammen oder sie ist durch unaufgelöste Nebellinien kontaminiert. Wir werden die zweite Möglichkeit mittels Spektroskopie mit hoher spektraler Auflösung am Keck I und am ESO-NTT Anfang 2000 überprüfen (W. Schmutz, in Zusammenarbeit mit B. Vacca, IFA, Honolulu).

Winde Heisser Sterne

Aufbauend auf dem „Potsdam Code“ für expandierende Sternatmosphären berechneten wir Atmosphärenmodelle für den Of-Stern ζ Puppis und den WC-Stern WR 111. Die Spektren im UV und im optischen Spektralbereich wurden unter Berücksichtigung komplexer Modellatome für H, He, C, N, O und die Elemente der Eisengruppe untersucht. Der bestehende Programmcode wurde darüber hinaus in Bezug auf das „Line-Blanketing“ durch die Eisengruppenelemente und die Dynamik der expandierenden Atmosphären ausgebaut. Bei den aufwendigen Modellrechnungen werden alle Opazitäten vollständig im non-LTE Strahlungstransport berücksichtigt. Dadurch ist neben der Modellierung der komplexen Linienspektren im UV (dem sog. „Eisen-Wald“) eine Untersuchung der Antriebsmechanismen der Sternwinde möglich, ohne dass auf bislang notwendige Näherungsmethoden zurückgegriffen werden muss (G. Gräfener und W. Schmutz, in Zusammenarbeit mit W.R. Hamann und L. Koesterke, Universität Potsdam).

Multidimensionaler Strahlungstransport in Doppelsternsystemen

Zur Behandlung des Strahlungstransports in 3D wurden Programme zur Lösung des Non-LTE Strahlungstransports unter optisch dicken Bedingungen und unter Nebelbedingungen entwickelt. Beobachtbare Vorhersagen aufgrund von 3D hydrodynamischen Simulationen werden so möglich. Resultate für verschiedene hydrodynamische Simulationen von kollidierenden Winden in symbiotischen Doppelsternsystemen deuten an, dass, basierend auf der Variation von dopplerverbreiterten Linienprofilen, eine Unterscheidung zwischen verschiedenen hydrodynamischen Modellen möglich ist. Für das WR+O Doppelsternsystemen γ Velorum ergibt sich im Model eine ähnlich asymmetrische Lichtkurve im Röntgenbereich wie durch Beobachtungen belegt. Für die Windkollisionszone dieses Systems wird eine reduzierte Ionisation prognostiziert (D. Folini und R. Walder).

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 Supernova-Überresten 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 und D. Folini).

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

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

Dynamik von wärmeleitenden Strömungen

Abschätzungen ergeben, dass Wärmeleitung durch thermische Elektronen ein wichtiger, bis jetzt nicht berücksichtigter, physikalischer Prozess in zusammenstossenden hypersonischen Strömungen ist. Als erster Schritt zum quantitativen Verständnis dieses Prozesses wird ein Programm entwickelt, das die nichtlineare Wärmetransportgleichung zusammen mit den Strömungsgleichungen löst. Eine erste Anwendung in Wolf-Rayet-Binärsystemen zeigt, dass die Berücksichtigung der Wärmeleitung zu weicheren Röntgenspektren solcher Systeme führt, als mit idealer Gasdynamik vorausgesagt werden (D. Folini, R. Walder, in Zusammenarbeit mit S. Motameni, Seminar für Angewandte Mathematik, ETH Zürich).

Submillimeter Studien eines protostellaren Mehrfachsystems

In Submillimeter-Wellenlängen ist die thermische Staubemission von Molekülwolken oft optisch dünn, im Gegensatz zu optischer und naher Infrarotstrahlung. Submillimeter-Beobachtungen können daher die Morphologie eingebetteter Objekte in der frühesten Phase der Sternentstehung vermitteln. Wir haben Messungen des protostellaren Mehrfachsystems NGC 1333/IRAS4 bei 450 μm und 850 μm gemacht. Dank des hohen Signal-zu-Rausch-Verhältnisses unserer Beobachtung mit SCUBA war es möglich, das Bild bezüglich der instrumentellen Auflösung zu dekonvolvieren. Eine der beiden bekannten Komponenten entpuppte sich als binäre Quelle. Einfache Überlegungen zur binären Dynamik zeigen, dass das Dreifachsystem instabil ist und wahrscheinlich nicht in der gegenwärtigen Form überleben wird. IRAS4 zeigt folglich, dass sich protostellare Systeme von höherer zu tieferer Multiplizität entwickeln können in der Zeit, in der sie sich zur Hauptreihe hinbewegen. Ein weiteres Resultat ist die Entdeckung, dass im assoziierten Jet Staub aus der Umgebung mitgerissen wird (K. Smith).

Radioemission von extrem jungen stellaren Objekten

Eine neue Entwicklung in der Astronomie extrem junger stellarer Objekte (YSO) ist die Entdeckung von starker (weicher) Röntgenstrahlung. Zwei extrem röntgen-leuchtkräftige YSOs wurden kürzlich entdeckt mit anscheinend mittlerer Masse, von denen keine Röntgenstrahlung erwartet wurde, da sie keine Korona besitzen sollten. Wir haben die Radiostrahlung dieser beiden Objekte mit Radiodaten aus dem VLA-Archiv untersucht. Eines der YSO wurde in Radioemission entdeckt mit einem fallenden Spektrum, was auf Synchrotronemission hinweist. Im anderen wurde die Radiostrahlung nicht entdeckt und eine tiefe obere Grenze gesetzt. Der entdeckte Radiofluss hat ein Verhältnis zur Röntgenstrahlung, wie es in stellaren Koronen üblich ist. Er kann daher am einfachsten mit einer Korona erklärt werden. Die Röntgenstrahlung des anderen YSO, von welchem wir keine Radiostrahlung gefunden haben, ist nicht mit koronaler Emission verträglich (K. Smith und A.O. Benz, in Zusammenarbeit mit M. Güdel, PSI).

3.3 Astronomische Instrumentierung

Instrumententwicklung für optische Polarimetrie

Die zweite Generation des Zurich Imaging Polarimeter, ZIMPOL II, hat eine Entwicklungsstufe erreicht, die den vollen Einsatz in verschiedenen Beobachtungsprogrammen erlaubt, wie 1999 am NSO/Kitt Peak und in Locarno (IRSOL). Durch schnelle (im kHz-Bereich) Ladungsverschiebungen, synchron mit der elektrooptischen Modulation des Polarisationszustandes, können im demodulierenden CCD-Sensor des ZIMPOL II vier gleichzeitige Bildebenen aufgenommen werden, die einen identischen „gain table“ haben. Aus Kombinationen der vier Bilder erhält man die Bilder der vier Stokes-Parameter, die den vollen Polarisationszustand beschreiben. Obwohl hervorragende wissenschaftliche Resultate mit ZIMPOL II schon erhalten worden sind, wird noch mit verschiedenen Versionen experimentiert, basierend auf Modulation mit ferroelektrischen Flüssigkristallen oder piezoelektrischen Modulatoren. Zwei komplette Systeme werden gebaut. Eines davon soll für unsere Programme dauerhaft am NSO/Kitt Peak bleiben, aber auch für andere Benutzer zugänglich sein (wie bisher mit unserem ZIMPOL I System dort). Das zweite System soll am IRSOL und auf La Palma eingesetzt werden. Ein drittes, nicht komplettes System soll für Test- und Entwicklungszwecke in Zürich bleiben, zur Entwicklung der nachfolgenden Generation: eine UV-empfindliche Version von ZIMPOL II (H. Povel, A.M. Gandorfer, P. Steiner, J.O. Stenflo, U. Egger und F. Aebersold, in Zusammenarbeit mit C.U. Keller, NSO, Tucson, und M. Bianda, IRSOL, Locarno).

Eichung des Radiospektrometers Phoenix-2

Das neue Radiospektrometer Phoenix-2 in Bleien war 1999 praktisch dauernd im Messbetrieb. Die Eichung wurde verbessert, mit verschiedenen bekannten Quellen überprüft und mit anderen Teleskopen verglichen. Sie stimmt nun auf wenige Prozent.

Die Nachführung der Antennen wurde vollständig erneuert und verbessert. Ebenfalls verbessert wurde der Zugriff aus dem Web (<http://helene.ethz.ch/rapp/>), wodurch nun der gegenwärtige Sonnenfluss bei zwei Frequenzen, ein Überblick über die Messungen des Vortags, der instrumentelle Set-up und Zustand sowie die Wetterparameter abgerufen werden können (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 Satellit kann mittels Rotationsmodulation räumlich erstmals in der Astronomie bei hohen Energien auflösen und liefert dank gekühlter Germaniumdetektoren erstmals spektral aufgelöste Gammalinien. 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. Ebenfalls vorgesehen ist, den Vergleich mit Bildern und Daten von anderen Satelliten und Observatorien zu unterstützen. Das Datenzentrum soll im Jahre 2000 in Betrieb genommen und je nach Bedarf ausgebaut werden (A.O. Benz und G. Schmid, in Zusammenarbeit mit dem Departement für Informatik der ETH Zürich).

Hauptoptik und Mixer assemblies für HIFI auf dem FIRST Satelliten

Der FIRST Satellit, der vierte ESA Cornerstone, wird 2007 in den von der Sonne abgewendeten Lagrangepunkt der Erde gebracht, um Submillimeter und fernes Infrarot mit höchstmöglicher Auflösung zu messen. Das HIFI-Instrument auf FIRST wird nach dem Heterodyne-Verfahren betrieben. Es arbeitet wie ein Radioempfänger, der die einkommende Strahlung auf eine konstante Zwischenfrequenz heruntermischt. 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 werden in der Industrie

fabriziert (A.O. Benz, Ch. Monstein, M. Arnold, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Feldtheorie und Höchstfrequenz, ETH Zürich, und SRON, Groningen).

4 Veröffentlichungen

Erschienen:

- Alef, W., Benz, A.O., Conway, J., Pestalozzi, M., Beasley, T.: Phase-reference Mapping of Nearby Stars: Status Report. Proc. 13th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Viechtach (1999), 241–248
- Benz, A.O., Krucker, S.: Quantitative Results on Heating Events in the Quiet Corona. In: Habbal, S.R., Esser, R., Hollweg, J.V., Isenberg, P.A. (eds.): Solar Wind Nine. Proc. Ninth Intern. Solar Wind Conference. AIP Conf. Proc. **471** (1999), 67–69
- Benz, A.O., Krucker, S.: Heating Events in the Quiet Solar Corona: Multiwavelength Correlations. *Astron. Astrophys.* **341** (1999), 286–295
- Bianda, M., Stenflo, J.O., Solanki, S.K.: Observations of the Hanle Effect in the Ca I 4227 and Sr II 4078 Å Lines. In: Nagendra, K.N., Stenflo, J.O. (eds.): Solar Polarization. Proc. 2nd SPW, Kluwer, Dordrecht. *Astrophys. Space Sci. Libr.* **243** (1999), 31–42
- Bianda, M., Stenflo, J.O., Solanki, S.K.: Hanle effect observations with the Ca I 4227 Å line. *Astron. Astrophys.* **350** (1999), 1060–1070
- Bommier, V., Stenflo, J.O.: Partial frequency redistribution with Hanle and Zeeman effects. *Astron. Astrophys.* **350** (1999), 327–333
- Brković, A., Rüedi, I., Solanki, S.K.: Characteristics of blinkers observed with CDS. In: Plasma Dynamics and Diagnostics in the Solar Transition Region and Corona. Proc. 8th SOHO Workshop, Paris. ESA SP-446 (1999), 191–195
- Brković, A., Rüedi, I., Solanki, S.K., Huber, M.C.E., Stenflo, J.O., Stucki, K., Harrison, R., Fludra, A.: Brightness Variations in the Solar Atmosphere as Seen by SOHO. In: Hanslmeier, A., Messerotti, M. (eds.): Motions in the Solar Atmosphere. *Astrophys. Space Sci. Libr.* **239** (1999), 231–234
- Bruls, J.H.M.J., Schüssler, M., Solanki, S.K.: Can Chromospheric Activity Mimic a Polar Spot? In: Butler, C.J., Doyle, J.G. (eds.): Solar and Stellar Activity: Similarities and Differences. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **158** (1999), 182–185
- Crowther, P.A., Pasquali, A., De Marco, O., Schmutz, W., Hillier, D.J., de Koter, A.: Wolf-Rayet nebulae as tracers of stellar ionizing fluxes. I. M1-67. *Astron. Astrophys.* **350** (1999), 1007
- Csillaghy, A., Benz, A.O.: Interactive Image Retrieval in Large Astronomical Archives: The ASPECT System. *Solar Phys.* **188** (1999), 203–216
- De Marco, O., Crowther, P.A.: M4-18: the planetary nebula and its WC10 central star. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **306** (1999), 931
- De Marco, O., Schmutz, W.: The γ Vel binary system: I. O star parameters and light ratio. *Astron. Astrophys.* **345** (1999), 163–171
- De Marco, O., Schmutz, W., de Koter, A.: γ Vel, photon loss and the velocity field. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 229–230
- De Marco, O., Schmutz, W., Koesterke, L., Hamann, W.-R.: γ Vel revisited. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 227–228

- De Marco, O., Schmutz, W., Koesterke, L., Hamann, W.-R., de Koter, A.: Why should we compare Wolf-Rayet codes? In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 231
- Dumm, T.: Properties of symbiotic binaries: A study of selected systems. ETH Diss. No. 13147 (1999)
- Dumm, T., Schmutz, W., Schild, H., Nussbaumer, H.: Circumstellar matter around M-giants in symbiotic binaries: SY Muscae and RW Hydrae. *Astron. Astrophys.* **349** (1999), 169
- Fligge, M.: Buchrezension: Die launische Sonne widerlegt Klimatheorien (von Nigel Calder). *Spektrum der Wissenschaft* **1** (1999), 116
- Fligge, M., Solanki, S.K., Beer, J.: Determination of Solar Cycle Length Variations Using the Continuous Wavelet Transform. *Astron. Astrophys.* **346** (1999), 313–321
- Fligge, M., Solanki, S.K., Unruh, Y.: Modelling Irradiance Variations from the Surface Distribution of the Solar Magnetic Field. *Astron. Astrophys.* **353** (2000), 380–388
- Fluri, D.M., Stenflo, J.O.: Continuum polarization in the solar spectrum. *Astron. Astrophys.* **341** (1999), 902–911
- Fluri, D.M., Stenflo, J.O.: Continuum Polarization and Blend Lines in the Solar Spectrum. In: Nagendra, K.N., Stenflo, J.O. (eds.): *Solar Polarization*. Proc. 2nd SPW, Kluwer, Dordrecht. *Astrophys. Space Sci. Libr.* **243** (1999), 171–178
- Folini, D., Walder, R.: 3D radiative transfer under conditions of non-local thermodynamic equilibrium: a contribution to the numerical solution. In: Fey, R., Jeltsch, R. (eds.): *Hyperbolic problems: Theory, Numerics, Applications*. Seventh Int. Conf. Zurich. Intern. Ser. Numer. Math. No. 129 (1999), 305–314
- Folini, D., Walder, R.: 3D NLTE radiative transfer: A new code and its application to γ -Vel. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 352–353
- Frutiger, C., Solanki, S.K., Fligge, M., Bruls, J.H.M.J.: Inversions of Stokes Profiles. In: Nagendra, K.N., Stenflo, J.O. (eds.): *Solar Polarization*. Proc. 2nd SPW, Kluwer, Dordrecht. *Astrophys. Space Sci. Libr.* **243** (1999), 281–290
- Gadun, A., Solanki, S.K., Johannesson, A.: Granulation Near the Solar Limb: Observations and 2-D Modeling. In: Hanslmeier, A., Messerotti, M. (eds.): *Motions in the Solar Atmosphere*. *Astrophys. Space Sci. Libr.* **239** (1999), 201–204
- Gadun, A.S., Solanki, S.K., Johannesson, A.: Two Dimensional Simulations of Solar Granulation: Description of Technique and Comparison with Observations. *Astron. Astrophys.* **350** (1999), 1018–1034
- Gandorfer, A.M.: Ferroelectric retarders as an alternative to piezoelectric modulators for use in solar Stokes vector polarimetry. *Optical Eng.* **38**(8) (1999), 1402–1408
- Gandorfer, A.M.: First results from ZIMPOL II. In: Nagendra, K.N., Stenflo, J.O. (eds.): *Solar Polarization*. Proc. 2nd SPW, Kluwer, Dordrecht. *Astrophys. Space Sci. Libr.* **243** (1999), 297–304
- Gräfener, G., Hamann, W.-R., Koesterke, L.: Spectral analyses of WC stars in the LMC. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 240–241
- Hamann, W.-R., Koesterke, L., Gräfener, G.: Modelling and quantitative analyses of Wolf-Rayet spectra: Recent progress and results. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 138–145

- Jones, A., Lawson, W., De Marco, O., Kilkenny, D., van Wyk, F., Roberts, G.: Long-term light curves for [WC] stars. *Observatory* **119** (1999), 76
- Koesterke, L., Hamann, W.-R., Gräfener, G.: Inhomogeneities in Wolf-Rayet atmospheres. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 248–249
- Landini, M., Brković, A., Landi, E., Ruedi, I., Solanki, S.K.: Loop Models from SOHO Observations. *Space Sci. Rev.* **87** (1999), 245–248
- Melendez, J.L., Sawant, H.S., Fernandes, F.C.R., Benz, A.O.: Statistical Analysis of High-frequency Decimetric Type III Bursts. *Solar Phys.* **187** (1999), 77–88
- Messmer, P., Benz, A.O., Monstein, C.: PHOENIX-2: A New Broadband Spectrometer for Decimetric and Microwave Radio Bursts: First Results. *Solar Phys.* **187** (1999), 335–345
- Messmer, P., Benz, A.O., Monstein, C.: PHOENIX-2: A New Broadband Spectrometer for Decimetric and Microwave Radio Bursts: Acoustic Spectrum Representation. *Solar Phys.* **187** (1999), CD-Rom
- Motamen, S., Walder, R., Folini, D.: Heat conduction and colliding winds in WR binaries. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 378–379
- Mürset, U., Schmid, H.M.: Spectral classification of the cool giants in symbiotic systems. *Astron. Astrophys., Suppl. Ser.* **137** (1999), 473
- Nagendra, K.N., Stenflo, J.O. (eds.): *Solar Polarization*. Proc. 2nd SPW, Kluwer. *Astrophys. Space Sci. Lib.* **243** (1999), 536 p.
- Paesold, G., Benz, A.O.: Electron Firehose Instability and Acceleration of Electrons in Solar Flares. *Astron. Astrophys.* **351** (1999), 741–746
- Pasquali, A., Crowther, P.A., Schmutz, W., Hillier, D.J.: Ejected nebulae as probe of Wolf-Rayet Lyman continua. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 380–381
- Pick, M., Maia, D., Vourlidas, A., Benz, A.O., Howard, R.A., Thompson, B.J.: Large-Scale Structure and Coronal Dynamics from Joint Radio, SOHO/EIT, and Coronagraph Observations. In: Habbal, S.R., Esser, R., Hollweg, J.V., Isenberg, P.A. (eds.): *Solar Wind Nine*. Proc. Ninth Intern. Solar Wind Conference. AIP Conf. Proc. **471** (1999), 694–699
- Ploner, S.R.O., Solanki, S.K.: Influence of Torsional Waves in Solar Magnetic Flux Tubes on Spectral Lines. *Astron. Astrophys.* **345** (1999), 986–998
- Ploner, S.R.O., Solanki, S.K., Gadun, A.S.: The Evolution of Solar Granules Deduced from 2-D Simulations. *Astron. Astrophys.* **352** (1999), 679–696
- Puschmann, K., Hanslmeier, A., Solanki, S.K.: Solar Line Bisectors in the Infrared. In: Hanslmeier, A., Messerotti, M. (eds.): *Motions in the Solar Atmosphere*. *Astrophys. Space Sci. Lib.* **239** (1999), 227–230
- Rauw, G., van der Hucht, K.A., Mewe, R., Güdel, M., Vreuz, J.-M., Gosset, E., Schmutz, W., Stevens, I.R.: On the perspective of using XMM to study fundamental parameters of early-type stars. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 90–91
- Ruedi, I., Solanki, S.K.: Oscillations of Sunspot Magnetic Fields: MDI Observations of a Symmetrical Sunspot. In: Schmieder, B., Hofmann, A., Staude, J. (eds.): *Solar Magnetic Fields and Oscillations*. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **184** (1999), 131–135

- Rüedi, I., Solanki, S.K., Bogdan, T., Cally, P.: Sunspot Magnetic Oscillations: Comparison Between Observations and Models. In: Nagendra, K.N., Stenflo, J.O. (eds.): *Solar Polarization*. Proc. 2nd SPW, Kluwer, Dordrecht. *Astrophys. Space Sci. Libr.* **243** (1999), 337–347
- Rüedi, I., Solanki, S.K., Keller, C.U.: Infrared lines as probes of solar magnetic features. XV. Evershed flow in cool, weak penumbral fields. *Astron. Astrophys.* **348** (1999), L37–L40
- Schild, H., Dumm, T., Folini, D., Nussbaumer, H., Schmutz, W.: ISO Observations of CH Cyg. In: Cox, P., Kessler, M. (eds.): *The Universe seen by ISO*. ESA SP-427 (1999),
- Schmid, H.M., Krauter, J., Appenzeller, I., Barnstedt, J., Dumm, T., Fromm, A., Gözl, M., Grewing, M., Gringel, W., Haas, C., Hopfensitz, W., Kappelman, N., Krämer, G., Lindenberger, A., Mandel, H., Mürset, U., Schild, H., Schmutz, W., Widmann, H.: ORFEUS spectroscopy of the O VI lines in symbiotic stars and the Raman scattering process. *Astron. Astrophys.* **348** (1999), 950–971
- Schmutz, W., De Marco, O.: Revised stellar parameters of WR stars. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 147–156
- Schmutz, W., Drissen, L.: Spectroscopic Analyses of the Wolf Rayet Stars in NGC 3603. *Rev. Mex. Astron. Astrophys. Conf. Ser.* **8** (1999), 41–48
- Schmutz, W., Vacca, W.: On the $\lambda 4640$ Feature in WR Galaxies. *New Astron.* **4**(3) (1999), 197–206
- Schmutz, W., De Marco, O., Schild, H., Crowther, P., Howarth, I.: Analyses of Wolf-Rayet Stars in Local Group Galaxies. In: Whitelock, P., Cannon, R. (eds.): *Stellar Content of the Local Group Galaxies*. IAU Symp. **192** (1999), 277
- Schühle, U., Curdt, W., Wilhelm, K., Solanki, S.K., Stucki, K.: Signatures of Coronal Hole Spectra between 660 Å and 1460 Å Measured with SUMER on SOHO. *Space Sci. Rev.* **87** (1999), 299–302
- Schweickhardt, J., Schmutz, W.: The stellar parameters of the SMC WR binary HD 5980. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 101–102
- Schweickhardt, J., Schmutz, W., Kaufer, A., Stahl, O., Wolf B.: Long-term spectroscopy of Wolf-Rayet binaries. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 98–100
- Schweickhardt, J., Schmutz, W., Stahl, O., Szeifert, Th., Wolf, B.: Revised mass determination of the super massive Wolf-Rayet star WR 22. *Astron. Astrophys.* **347** (1999), 127–136
- Sheminova, V.A., Solanki, S.K.: Is the FIP effect present inside solar photospheric magnetic flux tubes? *Astron. Astrophys.* **351** (1999), 701–706
- Smith, K.W., Güdel, M., Benz A.O.: Radio Counterparts to Extreme X-ray YSO's. *Astron. Astrophys.* **349** (1999), 475–484
- Smith, K.W., Lewis, G.F., Bonnell, I.A., Bunclark, P.S., Emerson, J.P.: Rapid Variations of T Tauri Spectral Features: Clues to the Morphology of the Inner Regions. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **304** (1999), 367–388
- Solanki, S.K.: Manifestations of Solar Magnetic Fields. In: Andersen, J. (ed.): *Highlights of Astronomy* **11B** (1999), 857–860

- Solanki, S.K.: Spots and Plages: The Solar Perspective. In: Butler, C.J., Doyle, J.G. (eds.): *Solar and Stellar Activity: Similarities and Differences*. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **158** (1999), 109–120
- Solanki, S.K., Finsterle, W., Rüedi, I., Livingston, W.: Expansion of Solar Magnetic Flux Tubes Large and Small. *Astron. Astrophys.* **347** (1999), L27–L30
- Solanki, S.K., Fligge, M.: A Reconstruction of Total Solar Irradiance since 1700. *Geophys. Res. Lett.* **26** (1999), 2465–2468
- Solanki, S.K., Haugan, M.P., Mann, R.B.: Limits on Gravity-Induced Depolarization of Light from the White Dwarf Grw +70 deg 8247. *Phys. Rev. D* **59** (1999), 47101
- Solanki, S.K., Rüedi, I., Finsterle, W., Livingston, W.: On the Expansion of Large and Small Flux Tubes with Height. In: Nagendra, K.N., Stenflo, J.O. (eds.): *Solar Polarization*. Proc. 2nd SPW, Kluwer, Dordrecht. *Astrophys. Space Sci. Libr.* **243** (1999), 397–408
- Stenflo, J.O.: Solar Magnetism and the Second Solar Spectrum. In: Nagendra, K.N., Stenflo, J.O. (eds.): *Solar Polarization*. Proc. 2nd SPW, Kluwer, Dordrecht. *Astrophys. Space Sci. Libr.* **243** (1999), 1–16
- Stenflo, J.O.: Coherent Scattering and Quantum Interference in the Sun's Spectrum. *Phys. Scr.* **T82** (1999), 138–141
- Stucki, K., Solanki, S.K., Rüedi, I., Schühle, U.: Relationship between line shift and intensity inside coronal holes. In: *Plasma Dynamics and Diagnostics in the Solar Transition Region and Corona*. Proc. 8th SOHO Workshop, Paris. ESA SP-446 (1999), 633–637
- Stucki, K., Solanki, S.K., Rüedi, I., Stenflo, J.O., Brković, A., Schühle, U., Wilhelm, K., Huber, M.C.E.: Coronal Hole Properties Observed with SUMER. *Space Sci. Rev.* **87** (1999), 315–318
- Stucki, K., Solanki, S.K., Rüedi, I., Stenflo, J.O., Brković, A., Schühle, U., Wilhelm, K., Huber, M.C.E.: Coronal holes versus normal quiet Sun observed with SUMER. In: VII. International Plasma Astrophysics and Space Physics Conference. *Astrophys. Space Sci.* **264** (1998/99), 43–52
- Unruh, Y.C., Solanki, S.K., Fligge, M.: The spectral dependence of facular contrast and solar irradiance variations. *Astron. Astrophys.* **345** (1999), 635–642
- Walder, R.: Colliding winds in binary star systems: theory, models. *Astrophys. Space Sci.* **260** (1998), 243–252
- Walder, R., Folini, D.: The formation of knots and filaments in shocks. *Astrophys. Space Sci.* **260** (1998), 215–224
- Walder, R., Folini, D.: Radiative Shocks, Supersonic Turbulence and Structure Formation in Space. In: Fey, R., Jeltsch, R. (eds.): *Hyperbolic problems: Theory, Numerics, Applications*. Seventh Int. Conf. Zurich. Intern. Ser. Numeri. Math. No. 129 (1999), 973–982
- Walder, R., Folini, D., Motamen, S.: Colliding winds in WR binaries: further developments within a complicated story. In: van der Hucht, K.A., Königsberger, G., Eenens, P.R.J. (eds.): *Wolf-Rayet Phenomena in Massive Stars and Starburst Galaxies*. Proc. IAU Symp. **193**, Publ. Astron. Soc. Pac. (1999), 298–305

Jan Olof Stenflo