

Zürich

Institut für Astronomie

ETH Zentrum, CH-8092 Zürich
Tel. +41-44-6323813, Telefax: +41-1-6321205
Internet: <http://www.astro.phys.ethz.ch/>

1 Personal und Ausstattung

1.1 Personalstand

Direktoren und Professoren:

Prof. Dr. A.O. Benz [-24223], Prof. Dr. C. M. Carollo [-33725], Prof. Dr. S. J. Lilly [-33828], Prof. Dr. J.O. Stenflo [-23804] (Vorsteher).

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dr. K. Arzner [-23814], Dr. S. Berdyugina [-23632], Dr. K.R. Briggs [-27987], Prof. Dr. A. Csillaghy [-25182], Dr. V. Debattista [-32824], Dr. I. Ferreras [-34268], Dr. D. Fluri [-22527], Dr. S. Folini [-23633], Dr. M. Güdel [-27129], Dr. C. Maier [-32770], Dr. P. Norberg [-32854], Prof. Dr. H. Nussbaumer [-23631], Dr. G. Paesold, Dr. A. Pasquali [-33273], Dr. C. Porciani [-32849], Dr. H.R. Schild, [-23631], Dr. H.M. Schmid [-27386], Dr. K. V. Tran [-33280], Dr. F. van den Bosch [-36394], Dr. R. Walder [-23633].

Doktoranden:

Dipl.-Phys. U. Burch, Dipl.-Phys. A. Dutton, Dipl.-Phys. A. Feller, Dipl.-Phys. M. Fivian, Dipl.-Phys. D. Gisler, Dipl.-Phys. P. Grigis, Dipl.-Phys. M. Haberreiter, Dipl.-Phys. P. Harjunpää, Dipl.-Phys. R. Holzreuter, Dipl.-Phys. F. Joos, Dipl.-Phys. J. Klement, Dipl.-Phys. R. Knaack, Dipl.-Phys. T. Lisker, Dipl.-Phys. S. Motamen, Dipl.-Phys. P. Saint-Hilaire, Dipl.-Phys. M. Schmid, Dipl.-Phys. P. Stäuber, Dipl.-Phys. A. Telleschi, Dipl.-Phys. T. Wenzler, Dipl.-Phys. M. Zemp.

Sekretariat und Verwaltung:

B. Codoni [-23813], C. Aurelio [-32553].

Technisches Personal:

Dr. H.P. Povel [-24222], Dipl.-El.Ing. P. Steiner (Systemprogrammierer) [-24213], F. Aebersold (Werkstattleiter) [-23807], Dipl. Ing. C. Monstein [-24224], Ing. HTL M. Arnold [-20729], Ing. HTL S. Hagenbuch [-24222], Ing. HTL H. Meyer [-24217].

2 Gäste

M. Arnaboldi (Turin), C. Baugh (Durham), M. Bianda (Locarno), A. Brandon (Santa Cruz), M. Brodwin (Toronto), M. Faurobert (Nice), E. van Dishoeck (Leiden),

A. Dekel (Jerusalem), A.G. Gandorfer (Katlenburg-Lindau), T. de Graauw (SRON Groningen, NL), E. Grebel (Basel), V.V. Ivanov (St.-Petersburg), N.A. Krivova (Katlenburg-Lindau), S. Krucker (UC Berkeley), R. Güsten (MPI Bonn), P. Madau (Santa Cruz), Ch. Maier (Heidelberg), S. Marsden (Toulouse), P. Papadopoulos (Leiden), J. Peacock (Edinburgh), S. Petroni (Pisa), P. Popowski (Garching), J. Poutanen (Oulu), M. Santos (Cambridge), M. Sawicki (Victoria), P. Schilke (MPI Bonn), J. Sellwood (New Jersey), A. Semenova (Katlenburg-Lindau), A. Shapiro (St.-Petersburg), J. Silk (Oxford), S. Skinner (Boulder), N. Turok (Cambridge), S.K. Solanki (Katlenburg-Lindau), R. Wechsler (Chicago), T. Zurbuchen (Univ. Michigan).

3 Wissenschaftliche Arbeiten

3.1 Physik der Sonne

Solare Polarimetrie mit ZIMPOL

Das am Institut entwickelte ZIMPOL 2 System für Vektorpolarimetrie wurde mit Erfolg an verschiedenen Sonnentelaskopen eingesetzt: am McMath-Pierce-Teleskop auf Kitt Peak (Arizona) im März, am schwedischen Teleskop auf La Palma im Oktober und am IRSOL (Istituto Ricerche Solari Locarno) während des restlichen Jahres.

Die Kitt Peak-Beobachtungen wurden mit einer UV-empfindlichen Version von ZIMPOL und mit dem Spektrographen am McMath-Pierce-Teleskop durchgeführt. zweidimensionale Spektren der vier Stokesparameter wurden in ausgewählten Spektralfenstern aufgenommen, vorwiegend im UV und in verschiedenen magnetischen und nicht-magnetischen Regionen auf der Sonne. Stark polarisierte Spektralsignaturen von seltenen Elementen wurden gefunden und untersucht, wie z. B. von Europium, Yttrium, Samarium und Rutenium. Die molekulare Streupolarisation und der Hanle-Effekt von C₂ und CN wurden in magnetischen Gebieten nahe dem Sonnenrand aufgezeichnet. Horizontale chromosphärische Magnetfelder in den zentralen Regionen der Sonnenscheibe wurden mittels der Hanle-Signaturen in Vorwärtsstreuung in den Ca I-4227- und Na I-D₂-5890-Å-Linien untersucht. Die besonders starken Streupolarisationssignaturen von Chrom und Titan wurden studiert.

In La Palma wurde der Strahlengang des schwedischen Teleskops mit Hilfe eines dichroischen Strahlteilers in einen UV- und in einen visuellen Kanal aufgespalten und in beiden Kanälen gleichzeitig mit je einem ZIMPOL-System beobachtet. Die Zielsetzung war monochromatische Vektorpolarimetrie mit höchstmöglicher räumlicher Auflösung unter Zuhilfenahme der adaptiven Optik des Teleskops. Im visuellen Kanal wurde das eine ZIMPOL-System zusammen mit dem 60-mÅ-SOUP-Filter für die Fe I-6302-Å-Linie verwendet. Die vier Stokesparameter wurden mit zwei synchronisierten ferroelektrischen Flüssigkristall-Modulatoren gleichzeitig moduliert. Mit diesem System wurden hochauflösende Vektormagnetogramme der photosphärischen Magnetfelder in verschiedenen magnetischen Gebieten aufgezeichnet. Im UV-Kanal wurde das zweite ZIMPOL-System zusammen mit zwei verschiedenen Schmalbandfiltern verwendet: ein 1,5-Å-Filter zentriert auf die Ca K-3933-Å-Linie und ein 10-Å-Filter zentriert bei 3875 Å neben dem CN-Bandkopf. Die Beobachtungen mit dem Ca K-Filter konzentrierten sich auf die Untersuchung der chromosphärischen räumlichen Strukturierung der Streupolarisation und des Hanle-Effekts, insbesondere des Hanle-Effekts in Vorwärtsstreuung als Signatur der horizontalen Magnetfelder. Für die Polarisationsmodulation kam ein piezoelastischer Modulator zum Einsatz.

Die IRSOL-Beobachtungen haben sich während des Jahres mit verschiedenen wissenschaftlichen Themen befasst, insbesondere mit der Suche nach „impact polarization“ in Sonneneruptionen, mit Vektorpolarimetrie von Protuberanzen in der Helium D₃-Linie und mit einer Untersuchung von turbulenten Magnetfeldern mit dem molekularen Hanle-Effekt in C₂. Das „impact polarization“-Programm für Vektorpolarimetrie in der H α -Linie hat nun ein grosses statistisches Material von vielen Flares, insbesondere von einem der grössten X-class-Flares vom Oktober 2003. In keinem einzigen Fall wurden Signaturen von „impact

polarization“ gefunden, im krassen Widerspruch zu den vielen Berichten in der Literatur. Da ZIMPOL eine viel höhere Genauigkeit aufweist als andere Polarimeter, und da durch die spezielle Art der Polarisationsmodulation bei ZIMPOL die kritischen systematischen Fehler der anderen Polarimeter vermieden werden, können wir jetzt definitiv die solare „impact polarization“ als nicht-existent abschreiben (J.O. Stenflo, A. Feller, D. Gisler, H. Povel, S. Hagenbuch, in Zusammenarbeit mit A. Gandorfer, Katlenburg-Lindau, M. Bianda und R. Ramelli, Locarno, und C.U. Keller, Tucson.)

Laborexperiment zur anomalen Polarisation in der Natrium-D₁-Linie

Seit vielen Jahren ist die beobachtete Streupolarisation in der solaren Na I-D₁-5896-Å-Linie ein ungelöstes Rätsel geblieben. Die Standardtheorie der Quantenmechanik sagt voraus, dass diese Linie unpolarisierbar ist. Dies steht im Widerspruch zu den Messungen, welche eine sehr deutliche Polarisations Spitze, zentriert auf die D₁-Linie, zeigen. Theoretische Erklärungsversuche mit optischem Pumpen des Grundzustands des Hyperfeinstruktur-Multipletts in Natrium haben versagt, da sie Spektralsignaturen mit falscher Symmetrie und zwei Größenordnungen zu kleiner Amplitude voraussagen. Das gleiche Problem stellt sich für die Barium II-4934-Å-Linie, deren Quantenzahlen mit denjenigen von Na D₁ identisch sind, inklusive Kernspin. Gemäss Standard-Quantenmechanik sollte auch diese Linie unpolarisierbar sein, obwohl die Beobachtungen immer eine deutliche zentrierte Polarisations signatur zeigen.

Nun stellte sich die Frage: Liegt das Problem in der Sonnenphysik oder in der Quantenmechanik? Um diese Frage abschliessend zu beantworten, haben wir ein Laborexperiment aufgebaut, um die Streupolarisation der Na-D₁-Linie bei 90° Streuwinkel zu messen. Zu diesem Zweck hat A. Cacciani eine Natriumzelle für uns angefertigt. Zur Beleuchtung wurde eine Niederdruck-Natriumlampe verwendet in Kombination mit Blockingfiltern und einem 20-Å-Interferenzfilter. Um die D₁- und die D₂-Linien im gestreuten Strahl sauber und kontrolliert spektral trennen zu können, wurde ein voll abstimmbares Lyotelement eingesetzt. Zur Polarisationsanalyse wurde ein piezoelastischer Modulator verwendet in Kombination mit einem Photomultiplikator und einem Lock-in Verstärker. Die Eigenschaften der verschiedenen Komponenten wurden gründlich separat untersucht, und Streupolarisationsmessungen für verschiedenen Zelltemperaturen wurden gemacht.

Die Resultate dieses Experiments zeigen eindeutig, dass die Na-D₁-Linie deutlich polarisiert, konsistent mit den solaren Messungen aber im Widerspruch zu den Erwartungen der Standard-Quantenmechanik. Die vorher gestellte Frage hat deshalb jetzt eine klare Antwort: Das Problem der D₁-Linie liegt nicht in der Sonnenphysik, sondern in der Quantenmechanik. Eine Erklärung mit optischem Pumpen ist deswegen ausgeschlossen, da die Intensität der Lampe völlig unzureichend war, um den Grundzustand innerhalb der verfügbaren Zeitskala pumpen zu können. Da noch keine andere Erklärung vorliegt, bleibt die D₁-Polarisation rätselhaft (J.O. Stenflo und A. Feller, in Zusammenarbeit mit A. Cacciani, Rom).

Theorie zur Interpretation des zweiten Sonnenspektrums

Zur Interpretation der beobachteten Streupolarisation im sogenannten „zweiten Sonnenspektrum“ sind theoretische Modellberechnungen unerlässlich. Wir haben unsere bestehenden Strahlungstransport-Programme weiter ausgebaut und erweitert. Einerseits haben wir einen effizienten Algorithmus entwickelt und implementiert, welcher das polarisierte Strahlungstransportproblem selbstkonsistent unter Berücksichtigung von Stössen und Hanle-Effekt löst. Dieser Algorithmus ist etwa 100 bis 1000 mal schneller und benötigt 100 mal weniger Speicherplatz als herkömmliche Methoden (D.M. Fluri, N.K. Nagendra, H. Frisch). Ausserdem haben wir einen existierenden Non-LTE-Code, welcher Intensitätsspektren berechnen kann, mit unserem Streupolarisations-Code verknüpft, um vor allem starke chromosphärische Linien wie Na I D₁ und D₂ zu modellieren und atmosphärische Parameter wie Temperatur und schwache Magnetfelder in der Photosphäre und der unteren Chromosphäre zu diagnostizieren (R. Holzreuter und D.M. Fluri).

Die theoretischen Werkzeuge haben wir auf verschiedene offene Probleme angewandt. Einerseits haben wir die bei den meisten Linien im „zweiten Sonnenspektrum“ beobachtete Depolarisation des Kontinuums genauer untersucht. Wir haben gezeigt, dass die Depolarisation stark von den Details der Linienentstehung und insbesondere von der Entstehungshöhe der Linien abhängt (D.M. Fluri, J.O. Stenflo). Andererseits haben wir die Na I-D₁- und D₂-Linien modelliert, welche zu den auffälligsten Strukturen im „zweiten Sonnenspektrum“ gehören. Wir konnten die gesamte Struktur der D₂-Linie erklären. Insbesondere konnten wir zeigen, dass der Dreifach-Peak in der D₂-Linie hauptsächlich auf Strahlungstransport-Effekte zurückgeführt werden kann und der bisherige Erklärungsversuch von E. Landi Degl’Innocenti mit Hilfe von Hyperfeinstruktur und „lower-level“-Polarisation nur kleine Modifikationen bewirkt. Der zentrale Polarisations-Peak in der D₁-Linie (siehe auch den Abschnitt über das Laborexperiment zur anomalen Polarisation in der Natrium-D₁-Linie) kann jedoch weiterhin nicht durch die aktuelle Theorie erklärt werden (D.M. Fluri, R. Holzreuter, J. Klement und J.O. Stenflo).

Aktive heliographische Längen bei Sonnenflecken

Eine neue Analyse der Daten über Sonnenfleckengruppen der letzten 120 Jahre hat ergeben, dass Sonnenflecken in der nördlichen bzw. südlichen Hemisphäre vorzugsweise bei zwei festen heliographischen Längen auftreten, welche um 180 Grad getrennt sind. Diese aktiven heliographischen Längen verschieben sich relativ zum Carrington-Meridian kontinuierlich aber mit variabler Rate, behalten jedoch eine quasi-feste Struktur bei. Die Verschiebung der aktiven heliographischen Längen wird bestimmt durch die Änderung der mittleren heliographischen Breite, in welcher Sonnenflecken auftreten und durch die differentielle Rotation der Sonne. Folglich kann aus der Beobachtung der aktiven heliographischen Längen die differentielle Rotation berechnet werden, welche in Übereinstimmung mit Beobachtungen von SOHO/MDI steht. Jeweils eine der beiden aktiven heliographischen Längen in der Nord- bzw. Südhalbkugel ist die dominante, aktivere Region, wobei sie sich periodisch in dieser Funktion abwechseln. Dieses Verhalten ist ähnlich wie das „flip-flop“-Phänomen bei Sternflecken. Die Periode dieser Oszillationen betragen 3,8 und 3,65 Jahre in der Nord- bzw. Südhalbkugel. Die Differenz zwischen den beiden Perioden ist signifikant und könnte mit der bekannten Asymmetrie der solaren Aktivität zusammenhängen. Unsere Resultate liefern neue beobachtete Randbedingungen, welche durch aktuelle Dynamo-Modelle erfüllt werden müssen und erhärten die Vorstellung, dass die magnetische Aktivität von Sternen in ähnlicher Weise wie auf der Sonne zustandekommt (S.V. Berdyugina, in Zusammenarbeit mit I.G. Usoskin, Finland).

Drei-dimensionale Struktur eines normalen Sonnenflecks

Wir haben die magnetische und thermische Struktur sowie die Geschwindigkeitsverteilung eines normalen Sonnenflecks, welcher nahe der Mitte der Sonnenscheibe beobachtet wurde, aus spektropolarimetrischen Daten hergeleitet, die wir mit dem Teneriffa-Infrarot-Polarimeter (TIP) erhalten haben. Sämtliche atmosphärischen Daten an jedem einzelnen Punkt innerhalb des Sonnenflecks haben wir durch Inversion zweier Fe I-Linien bei 15 648,5 Å und 15 652,8 Å sowie zweier naher OH-Linien berechnet. Dadurch haben wir Karten des Temperaturverlaufs, des Geschwindigkeitsfeldes (Komponente in Sehstrahlrichtung) sowie der Inklination und Deklination des Magnetfeldes als Funktion des Ortes innerhalb des Sonnenflecks und der Höhe in der Atmosphäre erhalten. Die Stärke des Magnetfeldes nimmt mit zunehmender Höhe im ganzen Sonnenfleck ab, wobei der vertikale Gradient in der Umbra besonders gross ist. Wir konnten ebenfalls die sogenannten „Spines“ in der Penumbra beobachten. Diese bestehen aus radialen Strukturen mit stärkeren und mehr vertikalen Magnetfeldern als in der unmittelbaren Umgebung. Aus den Geschwindigkeitsfeldern ist klar ersichtlich, dass der Evershed-Fluss die „Spines“ vermeidet und sich hauptsächlich in den stärker geneigten Feldregionen dazwischen konzentriert (S.V. Berdyugina und C. Frutiger, in Zusammenarbeit mit S.K. Mathew, A. Lagg, S.K. Solanki, M. Collados, J.M. Borrero, N. Krupp, J. Woch, Katlenburg-Lindau).

Molekularer Zeeman-Effekt und Diagnose von solaren und stellaren Magnetfeldern

Wir haben die Möglichkeiten untersucht, inwiefern Moleküllinien zu diagnostischen Zwecken verwendet werden können, um die magnetische und thermische Struktur von Sonnenflecken und Sternflecken auf kühlen Sternen zu erhalten. Dazu haben wir den Strahlungstransport der Stokesparameter in durch Zeeman-Effekt aufgespaltenen Moleküllinien beschrieben und die Stokes-Spektren von TiO-, OH-, CH- und FeH-Linien berechnet. Die synthetischen Linienprofile wurden anschliessend mit Beobachtungen verglichen. Es hat sich gezeigt, dass die Spektren von TiO, OH und FeH geeignet sind, um Magnetfelder in Sonnenflecken zu diagnostizieren. Dasselbe gilt auch für Flecken auf kühlen Sternen, wobei jedoch die Stokes-V-Profile von OH ein sehr grosses Signal-Rausch-Verhältnis voraussetzen. Ausserdem haben wir das Potential verschiedener Molekülbanden untersucht, um Bilder der Sonnenoberfläche mit hohem Kontrast aufzunehmen. Die violetten CN- und CH-Banden ergaben sich als besonders geeignet für Bilder der Photosphäre, während sich die TiO-Banden hervorragend für Beobachtungen der Umbra von Sonnenflecken eignen. Die UV-Banden von OH-Molekülen können sowohl für die Photosphäre als auch für Sonnenflecken verwendet werden (S.V. Berdyugina und C. Frutiger, in Zusammenarbeit mit S.K. Solanki, Katlenburg-Lindau).

Warum solare Magnetfeldkonzentrationen in Molekülbanden besonders hell sind

Mit Hilfe von realistischen magnetohydrodynamischen Simulationen haben wir gezeigt, dass die hellen Strukturen in Beobachtungen im „G-Band“ (ein durch Linien von CH-Molekülen dominiertes Spektralband), exakt mit kleinskaligen Konzentrationen von starken Magnetfeldern auf der sichtbaren Sonnenoberfläche zusammenfallen. Die Helligkeit wird durch die deutlich tiefere Konzentration von CH-Molekülen innerhalb kleiner und dünner Magnetfeldstrukturen verursacht. Dadurch wird das Modell der Strahlungsheizung von Magnetfeldkonzentrationen bestätigt. Unsere Resultate liefern eine gute Basis für Studien über die Evolution und die Dynamik kleinskaliger solarer Magnetfeldverteilungen mit Hilfe von „G-Band“-Beobachtungen (S.V. Berdyugina, in Zusammenarbeit mit M. Schüssler, S. Shelyag, A. Vögler, S.K. Solanki, Katlenburg-Lindau).

Struktur und Dynamik einer Sonnenflecken-Lichtbrücke

Hochauflösende Bilder einer Sonnenflecken-Lichtbrücke in mehreren Wellenlängen konnten am 25. September 2002 mit dem schwedischen 1-m-Sonnenteleskop auf La Palma aufgenommen werden. Die Aufnahmen zeigen körnige Strukturen von Punkten mit Durchmessern von 100 km (was der Auflösungsgrenze entspricht), welche auf beiden Seiten einer dunklen, 380 km breiten Linie in der Mitte längs der Lichtbrücke angeordnet sind. Aus Filmen dieser mit einem TiO-Filter erhaltenen Daten wird ersichtlich, dass sich die einzelnen Punkte kontinuierlich und alle in die gleiche Richtung entlang der Lichtbrücke mit einer Geschwindigkeit von 900 m/s verschieben. Bewegungen in den grösseren „Körnern“ lassen einen konvektiven Ursprung der Strukturen vermuten. Ein C2.0-Flare mit einem Band entlang der Lichtbrücke deutet auf das Vorhandensein von grossen magnetischen Spannungen hin (S.V. Berdyugina, in Zusammenarbeit mit T.E. Berger, USA).

Die Nord-Süd Asymmetrie des solaren Magnetfeldes

Das Magnetfeld der Sonne und die damit verbundene magnetische Aktivität zeigt periodische Schwankungen, die sich über viele Jahre oder auch nur über mehrere Tage erstrecken können. Die Kenntnis solcher Variationen trägt dazu bei, die Entstehung der Magnetfelder und verwandte Prozesse besser zu verstehen und bestehende Theorien, insbesondere über den solaren Dynamo, zu modifizieren. Interessanterweise zeigen die vorhandenen Datensätze des solaren Magnetfeldes eine teilweise recht ausgeprägte Asymmetrie zwischen der Nord- und der Südhalbkugel der Sonne in dem Sinne, dass über längere Zeiträume jeweils die eine Hemisphäre deutlich aktiver zu sein scheint als die andere. Dieses interessante Phänomen wurde bisher nur ansatzweise erforscht. Wir haben deshalb die monatlichen Sonnenfleckenzahlen (verfügbar von 1874 bis 2003) und Magnetfeldkarten der Sonnenoberfläche (von 1975 bis 2003) auf ihre Asymmetrie untersucht und mehrere interessante

Eigenschaften gefunden, so zum Beispiel eine ausgeprägte Variation mit einer Periode von 1,7 Jahren in den letzten Jahrzehnten. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte im Umstand liegen, dass magnetische Gebiete auf der Nord- und der Südhalbkugel unterschiedlich schnell zu rotieren scheinen, was bisher noch nicht theoretisch erklärt werden kann (R. Knaack, J.O. Stenflo, S.V. Berdyugina).

Modellierung solarer Helligkeitsschwankungen

Von zentraler Bedeutung für das Verständnis solarer Helligkeitsschwankungen ist die Frage, ob das Magnetfeld der Oberfläche der Sonne dafür verantwortlich ist. Um diese Frage zu klären, haben M. Fligge, S.K. Solanki, N.A. Krivova und Y.C. Unruh ein Modell zur Rekonstruktion der totalen und spektralen Helligkeitsschwankungen der Sonne, das die Verteilung des Magnetfeldes auf der Sonnenoberfläche berücksichtigt, für den Zeitraum zwischen Minimum und Maximum des Aktivitätszyklus (1996 und 2002) angewandt. In diesem 4-Komponenten-Modell, welches zwischen Sonnenflecken (Umbra und Penumbra), Sonnenfackeln und ruhiger Sonne unterscheidet, werden die Position und Grösse dieser vier verschiedenen magnetischen Komponenten der Sonnenoberfläche mit Hilfe von MDI/SOHO-Magnetogrammen und den entsprechenden Kontinuumsintensitätsbildern extrahiert. Die Resultate zeigen eine erstaunliche Übereinstimmung mit Messungen von VIRGO und legen den Schluss nahe, dass das Magnetfeld auf der Sonnenoberfläche die Helligkeitsschwankungen dominiert.

Die obig beschriebenen Rekonstruktionen basieren auf MDI/SOHO-Daten. Diese Beobachtungsdaten sind nur für den Zeitraum zwischen 1996 und heute erhältlich. Es ist jedoch wichtig, die Rekonstruktionen für eine Zeit vor der SOHO-Satellitenzeit zu erstellen. Dies ist bis zurück ins Jahr 1974 mit den Beobachtungen vom National Solar Observatory – Kitt Peak Vakuum Telescope (NSO/KPVT) möglich. Dabei sind folgende zwei Datensätze erhältlich. Einer davon ist der Datensatz, aufgenommen mit dem älteren 512-channel-Diode-Array-Magnetographen für die Zeitperiode von August 1974 bis April 1992. Der andere, neuere Datensatz wurde mit dem NASA/NSO-Spektromagnetographen (SPM) vom NSO/KPVT für die Zeitperiode von April 1992 bis Dezember 2001 gemessen.

Als ersten Schritt haben wir die Rekonstruktionen der totalen solaren Helligkeit für den Zeitraum von 1996 bis 2001, basierend auf den neueren NASA/NSO-SPM-Daten, erstellt. Dies gab uns die Möglichkeit, diese Resultate mit den Rekonstruktionen aus MDI/SOHO-Daten direkt zu vergleichen. Die SPM- und MDI-Rekonstruktionen stimmen sehr gut überein. Als zweiten Schritt haben wir die SPM-Rekonstruktionen der totalen solaren Helligkeit für die ganze Zeitperiode von April 1992 bis Dezember 2001 erweitert. Die Resultate konnten dann für diese Zeit mit den Composite-Messungen der totalen solaren Helligkeit (Version 25, erhältlich unter: www.pmodwrc.ch) verglichen werden. Auch diese Resultate zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Messungen.

Im Moment sind wir daran, die Rekonstruktionen bis zurück zum Jahre 1974 zu erstellen. Dabei verwenden wir den älteren NSO/KPVT-512-channel-Diode-Array-Magnetograph-Datensatz (T. Wenzler, D.M. Fluri, in Zusammenarbeit mit S.K. Solanki und N.A. Krivova, Katlenburg-Lindau).

Energie von Sonneneruptionen

Der Satellit namens Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI), zu dem das Institut einen bedeutenden Software-Beitrag leistet, beobachtet die Sonne kontinuierlich im Bereich von 3 keV bis 17 MeV. Die Energieauflösung von RHESSI ist mehr als eine Zehnerpotenz besser als in früheren Satelliten. Zum ersten Mal lässt sich der Übergang von thermischer Emission bei niedrigen Energien (kleiner als etwa 10 keV) und nichtthermischer Röntgenemission (grösser als etwa 25 keV) untersuchen. Dieser Energiebereich ist wichtig, weil er Information über jene Elektronen enthält, die den grössten Anteil zur nichtthermischen Energie von Flares beitragen. In verschiedenen Flares haben wir die untere Grenze der Potenzverteilung in Photonenergie bestimmen können und somit die gesamte Energie der nichtthermischen Elektronen. Aus dem genauen Verlauf des Spektrums lassen

sich ferner Korrekturen für unvollständige Ionisation des Targets und der solare Albedoeffekt abschätzen. Dank dieser Mittel kann heute die nichtthermische Energie um eine Zehnerpotenz besser bestimmt werden. Auch die thermische Energie wird aus RHESSI-Beobachtungen des Emissionsmasses und der räumlichen Ausdehnung relativ genau abgeschätzt. Gemäss dieser bisher genauesten Bestimmungen beider Energien übertrifft die nichtthermische Energie die thermische meistens nur um einige zehn Prozente. Dies widerspricht dem Standardmodell von Flares, bei dem die nichtthermische Energie für alle sekundären Phänomene verantwortlich ist und daher um mindestens eine Zehnerpotenz grösser sein sollte (P. Saint-Hilaire, A.O. Benz).

Spektralevolution von Flares

RHESSI-Beobachtungen von Röntgenspektren von Flares zeigen, dass impulsive Flares ein härteres Spektrum haben zum Zeitpunkt der maximalen Flussstärke. Der zeitliche Verlauf des Spektralindex kann mit der Lichtkurve bei einer festen Energie verglichen werden. Die beiden Kurven antikorrelieren sehr gut. Wir finden in erster Näherung eine Potenzgesetzabhängigkeit zwischen Fluss und Spektralindex. Diese Beobachtungen können mit den Voraussagen von theoretischen Beschleunigungsmodellen verglichen werden, um sie zu testen oder um Einschränkungen der Modellparameter zu finden. Der Mittelwert der Messungen stimmt gut mit den Voraussagen des Transit-time-damping-Modells überein. Unerklärlich ist jedoch, warum die einzelnen Messungen um diesen Wert streuen (P. Grigis, A.O. Benz).

Räumlich aufgelöste Spektrographie der Röntgenstrahlung von Flares

Das RHESSI-Instrument hat ausgezeichnete Auflösung sowohl im Raum wie im Spektrum. Um beides zu verbinden, haben wir ein Programm entwickelt, das automatisch Röntgenquellen im Bild identifiziert und ihr Spektrum bestimmt. Das Spektrum wird verwendet, um thermische und nichtthermische Strahlungen zu bestimmen und um Temperaturen, Emissionsmasse und Spektralindizes zu messen. Die Daten werden für jedes Flare berechnet und im HESSI European Data Center (HEDC) der ETH gespeichert. Die routinemässig bestimmten Spektrogramme zeigen grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Quellen. Fusspunkte haben hohe Temperaturen und ein hartes nichtthermisches Spektrum. Koronale Quellen sind kühler und weicher. Das neue Programm gibt zum Beispiel gute erste Überblicke über die komplexen Emissionsbilder der grossen Flares vom Oktober und November 2003. Erstaunlich viele Quellen sind koronal. Ob sie alle von Beschleunigungsregionen stammen, muss sich erst noch bestätigen. Wir arbeiten an einer statistischen Untersuchung koronaler Quellen, was durch die Datenaufbereitung, die Archivierung und der schnelle Zugriff im HEDC wesentlich erleichtert wird (P. Saint-Hilaire).

Kohärente Radiostrahlung und Elektronenbeschleunigung in solaren Flares

Der Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI)-Satellit hat bereits mehr als 1000 Sonneneruptionen grösser als C5 registriert. Rund 200 von ihnen wurden genügend vollständig aufgezeichnet und ereigneten sich während der Beobachtungszeit des ETH-Radiospektrometers Phoenix-2. Diese grosse Zahl von Ereignissen erlaubt zum ersten Mal eine systematische Suche nach koinzidenten Radioemissionen und ihre statistische Erfassung im Bereich von 100 MHz bis 4 GHz. Noch häufiger als die bekannte assoziierte Gyroschrotronstrahlung bei Zentimeterwellen sind die Emissionen von Elektronenstrahlen (Typ III) im Meter- und Dezimeterbereich. Ebenfalls häufig sind die typisch dezimetrischen Emissionen von pulsierenden Kontinua, oft in der Frequenz driftend, und schmalbandige Spikes. Dezimetrische Typ-IV-Bursts mit den bekannten Feinstrukturen sind sehr selten und ereignen sich meist nur bei grossen Ereignissen. Überraschenderweise weisen 16% der Ereignisse überhaupt keine kohärente Radioemission auf, obwohl der Frequenzbereich Phoenix-2 wesentlich breiter und die Empfindlichkeit von RHESSI grösser ist als in früheren Untersuchungen. Diese Resultate zeigen, dass der Beschleunigungsmechanismus kein zuverlässiger Radiostrahler ist und somit gewisse vorgeschlagene Mechanismen ausgeschlossen werden können (A.O. Benz, P. Grigis).

Röntgen- und Mikrowellenbeobachtungen von Mikroflares

RHESSI-Beobachtungen der Sonne im Röntgenbereich zeigen eine grosse Flussvariabilität: Mikroflares ereignen sich ständig. Die Emission besteht aus thermischen Emission von heissem (≈ 10 Millionen Kelvin) Plasma und Strahlung von beschleunigten, nichtthermischen Teilchen. Die nichtthermische Population kann auch im Mikrowellenbereich verfolgt werden. Die entsprechende Emission bei 17 und 34 GHz wird in Bildern des Radioheliographen von Nobeyama (Japan) nachgewiesen. Räumliche und spektrale Daten bestätigen, dass sich die Mikroflares ähnlich wie grössere Flares verhalten (P. Grigis, A.O. Benz, in Zusammenarbeit mit M.R. Kundu, Univ. Maryland und weiteren Kollaboratoren in den USA).

Radiostrahlung von Elektronenbeams

Elektronen, die in der Korona auch ausserhalb von Flares beschleunigt werden, emittieren auf ihrem Weg ins interplanetare Medium Radiostrahlung vom Typ III. Der Emissionsprozess beginnt mit einer Plasmastabilität des Beams, die elektrostatische Dichtewellen erzeugt, welche dann an ionenakustischen Wellen in Radiostrahlung umgewandelt werden. Dieser Prozess ist nicht linear und wird nach gängigen Vorstellungen von Inhomogenitäten im Plasma beschränkt. Wenn dies so ist, gilt die stochastische Zuwachstheorie (SGT). An 230 koronalen Type-III-Bursts haben wir zum ersten Mal die Input-Parameter gemessen, welche die Theorie braucht, um die Emissionstärke zu erklären. Die Beobachtungen bestätigen die Theorie nicht. Eine mögliche Erklärung ist die Verschiedenheit der Plasmaparameter der Korona in verschiedenen aktiven Regionen (S. Hirt, A.O. Benz, in Zusammenarbeit mit I. Cairns, Sydney).

Lokalisierung von Radioquellen in Flares

Jeden Sommer gibt es drei Monate, während derer die Sonne von Kalifornien und der Schweiz bis zu zwei Stunden gleichzeitig beobachtet werden kann. Wir haben in den Jahren 2002 und 2003 je ein interessantes Ereignis gefunden, für welches der Owens Vally Solar Array die räumliche Lokalisierung der kohärenten Radioemission bei einigen Frequenzen über 1 GHz registrierte und das Phoenix-2-Spektrometer die Emission mittels des Spektrums identifizieren konnte. Die Radiostrahlung von Dezimeterstrahlung bei verschiedenen Frequenzen stammt aus verschiedenen Höhen und verschiedenen Typen von Dezimeteremission aus verschiedenen Gebieten der aktiven Region (A.O. Benz, G. Paesold, in Zusammenarbeit mit D. Gary, NJIT).

Nanoflares und Koronaheizung

Wir haben Änderungen in der Materiedichte (Emissionsmass) und Temperatur der Korona untersucht, um zeitabhängige Phänomene der Koronaheizung studieren. Solche Veränderungen werden Mikroflares in aktiven Regionen und Nanoflares in ruhigen Gebieten genannt. Die Veränderungen bedeuten, dass Energie zugeführt wird. Die Energiezufuhr pro Zeiteinheit ist eine untere Grenze der Koronaheizung. Messungen von EIT/SOHO und TRACE haben sich bisher in der Literatur um mehr etwa zwei Zehnerpotenzen widersprochen. Es ist und gelungen, den Grund dafür in einem einfachen Fehler der Auswertung zu eruieren und die beiden Instrumente in guten Einklang zu bringen. TRACE kann somit gebraucht werden, um die EIT-Messungen zu kleineren Ereignissen um einen Faktor zehn zu erweitern. Die Heizleistung integriert über den gesamten Beobachtungsbereich wird somit etwa verdoppelt und beträgt nun etwa 10% der benötigten Energie, wenn auf versteckte Energie in Expansion (Enthalpie) und Rekonnektionsbewegungen korrigiert wird. Die grössten Unsicherheiten sind der Korrekturfaktor sowie Flares unterhalb der Empfindlichkeitsschwelle (A.O. Benz, in Zusammenarbeit mit S. Krucker, UC Berkeley).

Teilchenbeschleunigung in multiplen Dissipationsregionen

Eugene Parker's Idee einer komplexen Korona mit vielfach verwundenen Diskontinuitäten und lokalisierten Dissipationsregionen wird als Szenario für effiziente Teilchenbeschleunigung aufgegriffen. Konkret untersuchen wir ein 'Turbulenz'-Modell, in welchem das Vek-

torpotential als MHD-kompatibles zeitabhängiges Gauss-Feld modelliert wird, und wo beim Überschreiten eines kritischen elektrischen Stromes ein super-Dreiecker Ohmsches Feld auftritt. In diesem Medium werden Testteilchen (Protonen und Elektronen) numerisch verfolgt, und die Entwicklung einer Population im Hinblick auf Abweichungen von konventioneller Diffusion untersucht. Es stellt sich heraus, dass die Beimischung von Ohm-Feldern die Teilchenbeschleunigung stark erhöht, wobei allerdings bei Feldern $> 1000E_{\text{Dreiecker}}$ nurmehr Subdiffusion des kinetischen Impulses beobachtet wird (K. Arzner, PSI, in Zusammenarbeit mit L. Vlahos, Thessaloniki).

3.2 Physik der Sterne

Einfluss von UV- und Röntgenstrahlung auf die molekulare Entwicklung bei der Sternentstehung

Wir haben mit dem JCMT in Hawaii junge stellare Objekte (YSO) in Moleküllinien beobachtet, die möglicherweise als Tracer für intensive Hochenergiestrahlung in Betracht kommen. Die UV- und Röntgenstrahlung ionisiert den inneren Teil der Akkretionsscheibe und die zirkumstellare Enveloppe. Die ionisierten Atome und Moleküle sind chemisch äusserst reaktiv und verändern die chemische Zusammensetzung im Bereich der Umlaufbahnen entstehender Planeten. Es ist uns zum ersten Mal gelungen, CO^+ in einem massereichen YSO, W3 IRS5, nachzuweisen. Dieses Molekül wurde vermutlich mittels Photodissoziation und Ionisation durch die intensive UV- und Röntgenstrahlung der Korona des jungen stellaren Objekts produziert. Um die Effekte der Strahlung auf die Umgebung des YSOs zu studieren, verwenden wir zeit- und tiefenabhängige Modelle der UV- und Röntgenchemie. Wir finden, dass Moleküle wie CO^+ und NO als Tracer der sehr frühen Röntgenstrahlung verwendet werden können, auch zu Zeiten wenn das YSO noch so stark eingebettet ist, dass keine UV- oder Röntgenstrahlung entweichen kann (P. Stäuber, A.O. Benz, in Zusammenarbeit mit E.v. Dishoeck, Leiden, S. Doty, Denison Univ.).

Oberflächen-Strukturen von stellaren, nicht-radialen Pulsationen

Die Technik, um aus der punktförmigen, nicht aufgelösten Lichtquelle eines Sterns dessen Oberfläche zu rekonstruieren, wurde für Studien über stellare, nicht-radiale Pulsationen verwendet. Als Basis diente die Inversion von ganzen Zeitserien variabler Linienprofile, ohne irgendwelche Annahmen über die spezifische Form der Pulsationen. Die Inversionen resultierten in Bildern der Sternoberfläche, in welchen häufig verschiedene Moden unterschieden und die Quantenzahlen der Pulsationen bestimmt werden können. Wir haben die Möglichkeiten dieser Methode zunächst mit simulierten Daten untersucht. Anschliessend haben wir die Methode auf hochaufgelöste Spektren des rasch rotierenden β Cep-Sterns σ^1 Sco angewandt, welche starke Variationen der Linienprofile im Si III-4552-, 4567-, 4574-Å-Triplet zeigen. Unter der Annahme, dass die Pulsationen nur Temperatur-Fluktuationen bewirken, konnten wir den dominanten Pulsations-Mode erhalten. Wir konnten die Quantenzahlen der Pulsation schätzen und die Verteilung des Pulsations-Musters mit geographischer Breite studieren. Zusätzlich zum bekannten, dominierenden Mode fanden wir Spuren eines zweiten Pulsations-Modes. Unsere Arbeit hat gezeigt, dass die angewandte Technik der Rekonstruktion von Sternoberflächen nützlich ist, um Pulsations-Moden zu identifizieren (S.V. Berdyugina, in Zusammenarbeit mit J.H. Telting, NOT La Palma, H. Korhonen, AIP Potsdam, C. Schrijvers, Amsterdam).

Magnetfelder in Weissen Zwergen

Spektropolarimetrische Messungen von 12 normalen (DA), hellen Weissen Zwergen wurde mit dem VLT durchgeführt. Dabei wurden in drei Objekten Magnetfelder zwischen 2 und 4 kGauss gefunden. Abgesehen vom sehr hellen Weissen Zwerg 40 Eri B ($m_V = 8,5$ mag) sind dies die ersten schwachen Magnetfelder (< 30 kG), die in Weissen Zwergen entdeckt wurden. Bisher war nicht klar, ob ein signifikanter Anteil der Weissen Zwerge magnetische Felder dieser Stärke besitzen. Theoretisch wurden solche Felder postuliert unter der Annahme, dass der magnetische Fluss durch den Äquator eines Sterns während der Stern-

evolution erhalten bleibt. Auf Grund dieser Hypothese resultieren aus den nicht messbaren, aber postulierten schwachen Magnetfeldern (~ 1 G) normaler Sterne durch Kontraktion des Kerns verstärkte Magnetfelder im Bereich \sim kG für die resultierenden Weissen Zwerge. Dank des VLT ist es nun möglich, kG-Felder für viele Weisse Zwerge ($m_V = 12$ – 15 mag) mit Hilfe des Zeeman-Effekts zu messen. Unsere Detektionsrate von 25 % (3/12) scheint nun tatsächlich zu bestätigen, dass ein grosser Teil der Weissen Zwerge solche Magnetfelder besitzen. Diese Entdeckung, falls sie durch weitere Messungen bestätigt wird, ermöglicht es, aus Messungen der Magnetfelder in Weissen Zwergen Rückschlüsse über die nicht messbaren (gemittelten) Magnetfelder normaler Hauptreihen-Sterne zu ziehen (H.M. Schmid in Zusammenarbeit mit R. Aznar Cuadrado, S. Solanki, MPI für Aeronomie, S. Jordan, Tübingen, und R. Napiwotzki, Leicester).

Analytische Flare-Statistik

Es wird ein exakt lösbares statistisches Modell zur Erfassung überlagerter stellarer (oder solarer) Flares vorgeschlagen. Eine beobachtete Sequenz von Photonen-Ankunftszeiten wird dabei als Poisson-Abtastung eines Schrot-Rauschens interpretiert, dessen Amplitudenverteilung analytisch auf die erwartete Häufigkeitsverteilung der Photonen-Wartezeiten und gebinneten Zählraten umgerechnet werden kann. Bei der Anwendung der Methode auf eine Beobachtung von AD Leo ergibt sich, dass dessen Flare-Amplituden einem Potenzgesetz folgen, dessen Index rund 2,3 beträgt. Dies stimmt gut mit existierenden Studien derselben Daten überein, welche mit – viel aufwendigeren – Monte-Carlo-Simulationen gewonnen wurden (K. Arzner, M. Güdel, PSI, in Zusammenarbeit mit M. Audard, Columbia Univ.).

Koronale Röntgenspektroskopie von sonnenähnlichen Sternen

Mehrere XMM-Newton-Spektren von Hauptreihensternen mit sonnenähnlicher Masse, aber verschiedenem Alter, wurden auf koronale Elementhäufigkeiten und thermische Struktur untersucht (47 Cas [Alter 0,1 Gyr], EK Dra [0,1 Gyr], π^1 UMa [0,3 Gyr], χ^1 Ori [0,3 Gyr] und κ^1 Cet [0,75 Gyr]). Die Häufigkeiten und das differentielle Emissionsmass (DEM) wurden mit iterativen Methoden aus Flüssen einzelner Spektrallinien berechnet. Das DEM der jüngeren, aktiveren Sterne (47 Cas und EK Dra) zeigt eine heisse Komponente bei ungefähr $T = 20$ MK und kühles Plasma bei $T \approx 7$ MK, während bei den älteren Sternen (π^1 UMa, χ^1 Ori und κ^1 Cet) die heisse Komponente nicht existiert. Für die älteren Sterne beobachten wir den sogenannten FIP-Effekt: die Häufigkeiten der Elemente mit einem ersten Ionisationspotential (First Ionization Potential, FIP) unterhalb von 10 eV sind angereichert relativ zu den Elementen mit höherem FIP. Dieser Effekt wurde auch in der Korona der Sonne beobachtet. Bei aktiveren Sternen kehrt sich der Effekt jedoch um („inverser FIP-Effekt“). Bei EK Dra beobachten wir eine flache Verteilung der Häufigkeiten, während beim aktivsten Stern, 47 Cas, Elemente mit höheren ersten Ionisationspotentialen häufiger sind. Damit stellt sich der FIP- oder I-FIP-Effekt als abhängig von der Sternevolution heraus (A. Telleschi, M. Güdel, K. Briggs, PSI, in Zusammenarbeit mit J.-U. Ness, Hamburg, R. Mewe und A.J. Raassen, Utrecht).

Energiefreisetzung auf aktiven Sternen

Kühle Sterne setzen während Flares in ihren Koronen grosse Mengen Energie in Röntgenemission um, die detaillierte Diagnostik für den Energiefreisetzungsprozess und die Geometrie der magnetischen Gebiete hergibt. Mit XMM-Newton ist es uns gelungen, auf dem nächsten Stern zur Sonne, Proxima Centauri, ein sehr starkes Röntgenflare in seiner ganzen Entwicklung zu verfolgen und hydrodynamisch zu simulieren. Das Flare erhöhte die gesamte Röntgenstrahlung des Sterns um ca. einen Faktor 100 und zeigte im Spektrum erstmals klare Hinweise einer Elektronen-Dichteentwicklung von ca. $3 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ auf $4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ zumindest im kühleren Plasma. Der Energieinput kommt wahrscheinlich von hochenergetischen Elektronen, da während des Flare-Anstiegs sehr starke optische Emission beobachtet wurde (Elektron-Impakt in der Chromosphäre). Das ganze Flare wurde sowohl mit vereinfachten „2-Ribbon“-Modellen wie auch mit selbstkonsistenten hydrodynamischen Simulationen modelliert. Die Resultate stimmen gut überein. Es wurden explizite Hinwei-

se auf mehrfache magnetische Loops sowie auf zwei Heizungsprozesse gefunden (impulsive Energiefreisetzung an den Loop-Fusspunkten am Anfang, gefolgt von langsam abnehmender Heizung in der Korona während des Flare-Zerfalls). Die magnetischen Loops erreichen eine Höhe von ca. einem Sternradius (ca. 1/7 des Sonnenradius). Solche Ereignisse sind auch statistisch wichtig. Wie in einer langen Zeitserie des Doppelsystems UV Ceti gezeigt werden konnte, ist die Röntgenemission kontinuierlich variabel, was darauf hindeutet, dass Flare-Prozesse wesentlich an der gesamten Röntgenemission beteiligt sind (M. Güdel, PSI, in Zusammenarbeit mit M. Audard, Columbia Univ./New York, F. Reale und G. Peres, Palermo, S. Skinner und J. Linsky, Colorado).

Sternentstehung: Sterne kleiner Masse

XMM-Newton und Chandra ermöglichen erstmals den Zugang zu Sternentstehungsgebieten im Röntgenbereich mit hoher räumlicher Auflösung und hoher Empfindlichkeit. In einem Grossprojekt wird das Sternentstehungsgebiet in der Taurus-Molekülwolke mit beiden Satelliten sowohl räumlich wie auch spektroskopisch untersucht. Das Projekt wird von Surveys im Optischen und im nahen Infrarot (mit dem Canada-France-Hawaii Telescope), im Millimeter-Gebiet und im Radiobereich begleitet. Hauptthemen der Untersuchungen sind: Evolution von Protosternen, Scheiben-Stern-Wechselwirkungen, Braune Zwerge, Chemie in Scheiben und in der Hülle, Flare-Energiefreisetzungen, Jets, und Aufbau und Zusammensetzung der Molekülwolken. Erste Resultate wurden für das Mehrfach-System T Tau erhalten. Es stellt sich als relativ starke Röntgenquelle mit hohen Temperaturen heraus, und zwar ist im Gegensatz zum Radiobereich die nördliche Komponente stärker. Dies wird auf verschiedene Röntgen-Absorption durch molekulares Gas zurückgeführt. Mehrere Protosterne, die starke Jets ausstossen, wurden mit Chandra aufgenommen (zwei weitere Quellen befinden sich in den Orion-Sternentstehungsgebieten). Erste Analysen zeigen Röntgenquellen nahe bei den Infrarot-Protosternen. Ein Beitrag der Jets zur Röntgenemission ist nicht auszuschliessen (M. Güdel, K. Briggs, A. Telleschi, PSI, in Zusammenarbeit mit mehreren externen Instituten).

Sternentstehung: Sterne grosser Masse

Herbig Be/Ae-Sterne sind Quellen von Röntgenemission, jedoch ist der Ursprung dieser Strahlung nicht identifiziert. Wir haben neue Beobachtungen mit XMM-Newton und Chandra erhalten, zusätzlich zu Archivdaten, die mit verschiedenen Hypothesen getestet wurden. Zum ersten Mal wurden Röntgen-Emissionslinien in den Spektren dieser Sterne identifiziert, die auf Temperaturen bis über 30 Millionen Grad hinweisen. Dies unterstützt Modelle, die auf magnetisch eingeschlossene Koronen aufbauen. Zwei Alternativen wurden weiter untersucht: i) Die Emission kommt vom Herbig-Stern selber. Ein Modell spekuliert, dass das koronale Magnetfeld letztlich durch Energie in der differentiellen Rotation im Sterninnern erzeugt wird („shear dynamo“). Die Voraussagen stimmen grob mit den Beobachtungen überein, allerdings sind die Röntgenleuchtkräfte tendenziell zu schwach. ii) Die Röntgenemission stammt von einem kühleren Begleiter (T Tau-Stern). Dies wäre kompatibel mit dem beobachteten Röntgenfluss. Die Distanz eines bisher nicht bekannten Begleiters muss aber weniger als 0,6 arcsec betragen. Eine klare Entscheidung für eines der beiden Modelle braucht weitere Beobachtungen (M. Güdel, PSI, in Zusammenarbeit mit M. Audard, Columbia Univ., N.Y., S. Skinner, Colorado, und K. Smith, Bonn).

Röntgenstrahlung von γ^2 Velorum

Im γ^2 Velorum-System umkreist ein O-Stern (mit schwachem Wind) einen Wolf-Rayet-Stern mit einem dichten Wind. Der schon früher beobachtete Röntgen-Fluss ist abhängig von der Orbit-Phase und ist besonders hoch, wenn die Wind-Schockzone durch die WR-Wind-Kavität hinter dem O-Stern beobachtet werden kann. Das XMM-Newton-Observatorium wurde benutzt, um das System in zwei Phasen zu beobachten, einmal in Richtung der Wind-Kavität und einmal orthogonal dazu. Die Hauptkomponente der Röntgenemission wurde als thermisches Plasma mit Temperaturen von 3–20 Millionen Grad modelliert und dem Wind-Schock zugeschrieben. Diese Komponente wird in der zweiten Beobachtung

sehr stark vom WR-Wind absorbiert. Die Absorption wurde mit Modellen des WR-Windes getestet, woraus Aussagen über Wind-Clumping gemacht werden konnten. Eine weitere, bisher unbekannte, Photoionisations-Röntgenkomponente wurde in hochaufgelösten Spektren identifiziert; sie ist der variablen WR-Wind-Absorption nicht unterworfen und muss sich deshalb in beträchtlicher Distanz von der Schock-Zone befinden (H. Schild und M. Güdel, PSI, in Zusammenarbeit mit W. Schmutz, Davos, T. Dumm, Zürich, M. Audard und M. Leutenegger, Columbia N.Y., R. Mewe, A. Raassen, und K. van der Hucht, Utrecht).

Röntgenemission junger Sterne im Orion-Sternentstehungsgebiet

Die energiereiche Röntgenemission junger ($t \sim 1-10$ Myr) Sterne von solarer oder subsolarer Masse mit Leuchtkräften L_X bis zum 10^4 -fachen der Sonne hat ihren Ursprung in Magnetfeldern. Die komplexe Umgebung eines solchen Sterns kann eine zirkumstellare Scheibe, Akkretionsströme auf den Stern und polare Ausflüsse enthalten, alle verbunden mit Magnetfeldern. Dadurch ergeben sich verschiedene Möglichkeiten für den Ort und den Mechanismus der Plasmaheizung, und entsprechende Modelle werden mit Rotationsparametern und Signaturen der Akkretion getestet. Wir benutzen Beobachtungen mit XMM-Newton, um das Orion-Sternentstehungsgebiet über ein Gebiet von $2^\circ \times 0,5^\circ$ mit mehreren hundert Sternen zu durchmusteren. Resultate von einem Teil der Daten ergeben, dass jene Sterne niedriger Masse, welche einen optischen U-Band-Exzess als Signatur von starker Akkretion zeigen, eine normierte (L_X/L_{bol}) Röntgen-Leuchtkraft zeigen, die 2 bis 3mal tiefer liegt als bei Sternen ohne starke Akkretion. Die deutet darauf hin, dass die magnetische Aktivität vor allem auf den Sternen selber stattfindet und nicht in der Akkretionsscheibe oder in den Magnetfeldern zwischen Scheibe und Stern. Eine Abschwächung des stellaren Dynamos kann wegen des Fehlens einer Korrelation zwischen Aktivität und Rotation ausgeschlossen werden. Möglicherweise verändern Akkretionsströme die magnetisch geschlossenen koronalen Gebiete und verringern das koronale Volumen für Röntgenemission (K.R. Briggs, M. Güdel, PSI, in Zusammenarbeit mit M. Audard, Columbia Univ. N.Y.; K.W. Smith, Bonn; R. Mewe & A.J.F. den Bogge, Utrecht).

3.3 Extragalaktische Astronomie

Beobachtungen des Universums bei hoher Rotverschiebung

S. Lilly und V. Tran haben ihre Entwicklung einer Technik fortgesetzt, mit der schwache Emissionslinien bei sehr hohen Rotverschiebungen detektiert werden sollen. Besondere Betonung liegt dabei auf dem Ziel, Galaxien bei $z \sim 6,5$ aufzuspüren, was der höchsten bislang beobachteten Rotverschiebung entspricht. Diese Rotverschiebung ist darum interessant, weil es Hinweise gibt, dass sie sich gerade ein wenig weiter weg befindet als der Punkt, wo die Reionisation des Universums stattgefunden hat. Die anschließende Analyse der ersten Daten, die in Zusammenarbeit mit D. Crampton (HIA, Victoria) erhoben wurden, ergaben keine Ly α emittierende Galaxien bei $z \sim 6,5$ auf einer Fläche von 10 arcmin^2 . Die limitierende Empfindlichkeit war $2,5 \cdot 10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Das ganze Dutzend der Emissionsliniengalaxien, das gesehen wurde, konnte zuverlässig mit niedrigerer Rotverschiebung assoziiert werden. Dies geschah basierend auf photometrischen Schätzungen für die Rotverschiebung anhand tiefer Aufnahmen, ausgeführt von M. Brodwin (Univ. Toronto).

Dieses Programm wurde jetzt zum FORS-2-Spektrograph auf dem VLT transferiert, was zu einer viel grösseren Empfindlichkeit führt, die bis zu $3 \cdot 10^{-18} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ geht, und zudem zu einer vergrösserten spektralen und räumlichen Auflösung. Eine totale Fläche von 20 arcmin^2 wurde mit dem VLT untersucht. Die Daten werden momentan analysiert. C. Maier hat sein Projekt über die Suche nach Emissionsliniengalaxien bei hohen Rotverschiebungen ($z > 5$) im CADIS Projekt fortgesetzt. In diesem wird die Auswahl von Emissionsliniengalaxien mit der Hilfe von Schmalband-Fabry-Perot-Aufnahmen getroffen. Ein wichtiges Resultat ist, dass helle Lyman- α emittierende Galaxien bei $z > 5$ deutlich seltener sind als man aufgrund der Werte bei $z \sim 3$ erwarten könnte, falls die Population mit kosmischer Zeit unverändert geblieben wäre.

A. Pasquali nimmt an den APPLES- und GRAPES-Untersuchungen mit dem ACS-Gitterspektrograph auf HST teil (PIs: J. Rhoads und S. Malhotra, STScI, Baltimore). Das Ziel dieser Erhebungen ist die Messung der morphologischen Parameter von Feldgalaxien als Funktion von Rotverschiebung und das Finden von Zusammenhängen zwischen Morphologie und spektralen Eigenschaften (z. B. Sternentstehung). Dieses Projekt ist noch nicht abgeschlossen, hat aber schon zu der Entdeckung von einer bislang unbekanntem spärlichen Zwerggalaxie mit laufender Sternentstehung im Feld geführt.

Aufgrund des weitverbreiteten Interesses für den Gebrauch von Gravitationslinsen zur Suche nach sehr schwachen und fernen Galaxien haben C. Porciani, S. Lilly und T. Lisker eine Untersuchung der möglichen systematischen Fehler durchgeführt, die durch Schätzungen für die statistischen Eigenschaften wie z. B. die Leuchtkraftfunktion der abgebildeten Population, entstehen könnten. Für gewisse Schätzverfahren treten in solchen Untersuchungen unter Umständen systematische Fehler auf. Diese können aber zu einem grossen Teil eliminiert werden, wenn bessere Schätzverfahren gebraucht werden (S. Lilly, V. Tran, C. Porciani, A. Pasquali, C. Maier und T. Lisker).

Durch Staub verdeckte Galaxien mit hoher Leuchtkraft

An der Analyse des Canada-UK Deep Submillimeter Surveys (CUDSS) wurde weiter gearbeitet. Quellen und Identifikationen wurden für das 3-h- und 14-h-Feld publiziert. Die Quellen in der Untersuchung, die heller sind als 3 mJy, sind verantwortlich für 13 Prozent der extragalaktischen Hintergrundstrahlung bei 850 μm (nach der Korrektur für flux boosting, 20 Prozent ohne Korrektur). Dies ist in ungefährender Übereinstimmung mit früheren Schätzungen durch andere Gruppen. Die Quellen scheinen am Himmel stark zusammengeballt zu sein, besonders, wenn die ausgedehnte Rotverschiebungsverteilung der Quellen berücksichtigt wird. Die meisten der Identifikationen sind sehr rot in den Farben, nahe zum Infrarot, und viele wurden als sogenannte extrem rote Objekte klassifiziert. Sie zeigen normalerweise gestörte Morphologien. Mit einer Kombination verschiedener Methoden wurde der untere Grenzwert der durchschnittlichen Rotverschiebung der Population auf $z_{\text{med}} > 1,4$ geschätzt (S. Lilly, in Zusammenarbeit mit T. Webb, Leiden, und anderen Mitgliedern der CUDSS-Zusammenarbeit, namentlich S. Eales und W. Gear, Cardiff).

Erste Resultate von XMM-Newton-Beobachtungen des CUDSS-Feldes wurden in einem gemeinsamen CUDSS-Projekt analysiert. Keine der 27 SCUBA-Quellen im 3-h-Feld wurde von XMM detektiert, während eine der 23 SCUBA-Quellen im 14-h-Feld offensichtlich mit einer Quelle von Röntgenstrahlen zusammenfällt. Die SCUBA Population ist als ganzes nicht massgeblich detektiert worden, weder im 0,5–2-keV- noch im 2–10-keV-Röntgenband. Dies galt auch noch, als der Röntgenfluss bei den SCUBA-Positionen in beiden Feldern aufaddiert wurde. Die 18 Röntgenquellen in der CUDSS-3-h-Karte verursachen einen Submillimeter-Flux von $0,48 \mp 0,27$ mJy. Indem wir dieses Resultat verwenden, können wir einen oberen Grenzwert für den Beitrag von AGN zur Submillimeter-Hintergrundstrahlung bei 850 μm von unter 7% festlegen. Andererseits können wir den Beitrag von Submillimeter-Quellen zu der 0,5–2-keV-Röntgen-Hintergrundstrahlung auf unter 16,5% schätzen. Diese Resultate unterstützen die Folgerung, dass die zwei Hintergrundstrahlungen durch verschiedene Prozesse ausgelöst werden, in einem Fall durch Nukleosynthese in Sternen, im anderen durch Akkretion zu schwarzen Löchern (S. Lilly, in Zusammenarbeit mit T. Waskett, Cardiff).

In einem dritten gemeinsamen CUDSS-Projekt mit Webb und anderen CUDSS-Team-Mitgliedern wurden die Submillimetereigenschaften von Lyman-break-Galaxien (LBGs) untersucht. Die durchschnittliche Submillimeter-Emission von drei grossen Datensätzen von LBG wurden analysiert. In jedem der Fälle war die durchschnittliche sub-mm-Flussdichte sehr klein und kaum von Null unterscheidbar. LBGs können daher nicht mehr als 20% zur 850- μm -Hintergrundstrahlung beitragen. Es wurde jedoch ein signifikantes cross-clustering-Signal zwischen den LBGs und den SCUBA-Quellen festgestellt, was darauf hinweist, dass einige der letztgenannten mit Strukturen assoziiert sind, die von den LBGs bereits skizziert werden (S. Lilly).

*Theoretische Studien in der Kosmologie**Kosmologischer Strahlungstransfer*

Numerische Methoden für die detaillierte Behandlung des Strahlungstransports in einem kosmologischen Rahmen sind eine herausfordernde Aufgabe wegen der komplexen mathematischen Struktur und der hohen Dimensionalität des Problems (das Strahlungsfeld hängt von drei räumlichen Koordinaten, zwei Winkeln, Frequenz und Zeit ab). Wir haben eine Strahl-Verfolgungsmethode entwickelt, um den Strahlungstransport im IGM bei hoher Rotverschiebung zu untersuchen, wobei besondere Aufmerksamkeit der Frage der inhomogenen Reionisation galt. Diese Methode ist perfekt dafür geeignet, Strahlungstransport innerhalb einer Box einer vorausberechneten kosmologischen Simulation zu berechnen, in Größenordnungen der typischen Abständen zwischen den Quellen von ionisierendem Flux (C. Porciani).

Entstehung von Strukturen auf grossen Skalen

C. Porciani untersucht das Potential der Umformulierung von Modellen für die Struktur-entstehung im Universum, motiviert durch viele Beispiele von Verbindungen zwischen der Schrödinger-Gleichung und Fluid-dynamik. Das Ziel ist die Konstruktion eines nützlichen Instrumentes zur Entwicklung von Dichtefluktuationen im nicht-linearen Bereich, über den Zusammenbruch der analytischen Standardtheorie für Störungen hinaus.

Zusammen mit Munshi (Cambridge Univ.) und Wang (Univ. Oklahoma), hat C. Porciani die Entwicklung von Galaxienhaufenbildung in einer weiten Klasse von Dunkle-Energie-Szenarien entwickelt. Die Forscher sind zum Schluss gekommen, dass es im Moment nicht möglich ist, aufgrund der beobachteten Galaxienhaufenbildung starke Beschränkungen für die dunkle Energie festzulegen. Allerdings zeigen ihre Resultate klar das Potential von zukünftigen homogenen, tiefen und weiten Untersuchungen für die Bestimmung der wichtigsten Eigenschaften. Insbesondere sind die Häufigkeit und die räumliche Verteilung von Galaxienhaufen ein empfindlicher Test für dunkle Energie bei mittleren Rotverschiebungen (C. Porciani).

Kosmischer Neutrino-hintergrund

Obwohl die Neutrino-astronomie noch in ihren Kinderschuhen steckt, erwartet man, dass sie spektakuläre neue Sichtweisen des Universums eröffnen wird. Ein wichtiges Problem in ihrer Entwicklung ist die Bestimmung der Neutrino-Hintergrundstrahlung als Funktion der Energie. Viele verschiedene Quellen tragen möglicherweise dazu bei, von fernen Galaxien bis zu galaktischen Supernovae. Wir berechneten die Flüsse und Energiespektren des kosmischen und galaktischen Neutrino-hintergrundes, die durch thermonukleare Aktivität in Sternen über die gesamte kosmische Zeit erzeugt wurden (C. Porciani, in Zusammenarbeit mit Petroni, Pisa, und Fiorentini, Ferrara).

*Die dynamische Evolution von Galaxien**Sekulare Entwicklung und Entstehung von Bulges*

Hochauflösende, kollisionslose N-Körper-Simulationen zeigen die sekulare Entwicklung von Scheibengalaxien und im besonderen die Eigenschaften von Scheiben, die eine Balken- und vielleicht eine Balkenstauchungsinstabilität erlitten haben. Obwohl wir feststellen, dass die Balken nicht durch die Stauchungsinstabilität zerstört werden, finden wir, wenn wir die radialen Dichteprofile von diesen sekular-entwickelten Scheiben in innere Sersische und äussere exponentielle Komponenten aufteilen, dass für bevorzugte Sichtwinkel die resultierenden strukturellen Parameter, Skalenrelationen und die globale Kinematik der Balkenkomponenten in guter Übereinstimmung sind mit denen, die in der Literatur für viele der Bulges von Galaxien von spätem Typ abgeleitet wurden. Wir sind auch daran, zu untersuchen, wie die Umgebung der Balken ihre Entstehung und Evolution beeinflusst, indem wir die oft aufgestellte, aber nie getestete Hypothese überprüfen, dass triaxiale Halos aus dunkler Materie das Entstehen von starken Balken hemmen. Sogar wenn triaxiale Halos wirklich die Entstehung von starken Balken unterdrücken, da die Scheibenmasse bis zu

einem Punkt wächst, wo sie das Potential dominiert, haben Balken eventuell die Möglichkeit, sich wieder zu bilden (M. Carollo und V. Debattista, in Zusammenarbeit mit L. Mayer und B. Moore, Uni. Zürich).

Die Dynamik von Balken

Mit der modellunabhängigen Tremaine-Weinberg-Methode untersuchen wir die Geschwindigkeit des Balkenmusters in Galaxien mit verschiedener Leuchtkraft, Umgebungen und Balkenstärken. In NGC 2950, einer nahen und ungestörten SB0-Galaxie mit zwei ineinandergeschachtelten Sternbalken, haben wir direkt feststellen können, dass die zwei Balken mit verschiedenen Geschwindigkeiten rotieren, und dass im besonderen die Rotationsfrequenz des zweiten Balkens höher ist als die des ersten. Das ist das erste Mal, dass dieser Unterschied gemessen wurde (V. Debattista, in Zusammenarbeit mit E.M. Corsini, Padua, J. Aguessi, Canarias, und T. Williams, Rutgers).

Mittels Fabry-Perot-Absorptionslinien-Spektroskopie der SBO-Galaxie NGC 7079 wurden kinematischen Daten bis zu einer I-Band-Oberflächenhelligkeit von 21 Magnituden arcsec^{-2} in einem Feld mit einem Radius von 40 arcsec erfasst. Die Balkenmuster-geschwindigkeit von NGC 7079, gemessen mit der Tremaine-Weinberg-Methode, ist $8,3 \pm 0,2 \text{ km s}^{-1} \text{ arcsec}^{-1}$; das ist die am genauesten gemessene Mustergeschwindigkeit, die jemals für einen Balken bestimmt wurde.

Ausgehend von der Rotationskurve, mit Korrektur für die asymmetrische Drift, berechnen wir den ko-rotierenden Radius und finden, dass der Balken gerade innerhalb dieses Radius endet. Der zweidimensionale Charakter dieser Daten hat uns erlaubt zu zeigen, dass die Tremaine-Weinberg-Methode empfindlich ist für Fehler im Positionswinkel (position angle, PA) der Scheibe – ein PA-Fehler von 2 Grad kann einen Fehler von der Grössenordnung von 25 Prozent in Ω ergeben (V. Debattista und T. Williams).

Wechselwirkungen zwischen Balken mit Halos aus dunkler Materie

Störungstheoretische Berechnungen sagen voraus, dass die dynamische Reibung zwischen einem rotierenden Balken und einem massereichen Halo aus dunkler Materie einen schnell rotierenden Balken verlangsamen sollte. Mit Hilfe von N-Körper-Simulationen haben wir gezeigt, dass Balken realistischerweise nur dann ihre hohe Geschwindigkeit über die Hubble-Zeit beibehalten können, wenn die Scheibe die Massenverteilung dominiert. Dieses Resultat ist von Bedeutung im Bezug auf die laufende Debatte über Cusps oder Kerne in Galaxien, und es ist nicht in Übereinstimmung mit dem Resultat von kürzlich von Valenzuela und Klypin durchgeführten Studien. Allerdings ist es wahrscheinlich, dass die letztgenannte Studie von unphysikalischer numerischer Viskosität beeinflusst ist (V. Debattista, in Zusammenarbeit mit J. Sellwood, Rutgers).

Dynamik von elliptischen Zwerggalaxien

Mit einer hochauflösenden N-Körpersimulation haben wir den Abstand zwischen den Kernen und dem Zentrum der Isophoten von elliptischen Zwerggalaxien untersucht. Das Resultat zeigt, dass der Kern durch die einseitige Gegenströmungsinstabilität vom Zentrum weg bewegt werden kann. Die Instabilität ist in abgeflachten Sternsystemen ohne Rotation besonders stark (V. Debattista, in Zusammenarbeit mit S. De Rijcke, Gent).

Die chemische und stellare Evolution von Galaxien

In 66 CFRS-Galaxien zwischen $0,47 < z < 0,92$ haben wir die [O/H]-Metallhäufigkeit des sternenbildenden Gases untersucht. Diese Untersuchung basierte auf den Flussverhältnissen von hellen Emissionslinien. Die meisten Galaxien (> 75 Prozent) haben die [O/H] $\sim 8,9$ -Metallhäufigkeit, die auch lokal in Galaxien von ähnlicher Leuchtkraft beobachtet wird. Eine Minderheit, bis zu 25 %, abhängig von der vorausgesetzten Rötung, scheint deutlich niedrigere Metallhäufigkeiten zu haben, [O/H] $< 8,6$. Der hohe Metallgehalt der Mehrheit der Galaxien weist darauf hin, dass ihre Leuchtkraft nicht abnimmt und sie nicht die Vorläufer von Zwerggalaxien mit niedriger Metallhäufigkeit sind.

Die Metallhäufigkeit scheint nicht stark mit der Galaxiengrösse korreliert zu sein, der Stärke von $H\beta$ oder, zumindest aufgrund der beschränkten Daten, die verfügbar sind, der Kinetik. Sie ist aber stark korreliert mit den Farben des optisch-infraroten Kontinuums, und zwar auf eine Weise, die mit einer Kombination von photosphärischen Effekten, verschiedenem Alter der Sternpopulation und/oder verschiedenem Ausmass von Rötung erklärbar ist. Diese Resultate unterstützen eher ein „down-sizing“-Bild der Galaxienevolution, in welchem die Manifestationen von sternenbildender evolutionärer Aktivität in immer massereicheren Galaxien in früheren Epochen erscheinen, als ein „fading dwarf“-Bild, in welchen die hellen aktiven Galaxien bei hohen Rotverschiebungen stark aufgehellte Zwerggalaxien sind.

Die allgemeine Änderung in der Metallhäufigkeit von sternenformenden Galaxien über die zweite Hälfte des Alters des Universums scheint bescheiden gewesen zu sein, $\Delta[O/H] = 0,08 \pm 0,06$. Das ist in Übereinstimmung mit der Alter-Metallgehalts-Beziehung in der galaktischen Scheibe und ist ungefähr konsistent mit Modellen für die chemische Evolution des Universums, im speziellen für jene, die verschiedene Umgebungen berücksichtigen. Das Projekt wird weiterentwickelt durch die Akquisition von infraroten Spektren, um $H\alpha$ und $[N\text{sc ii}] \lambda 6583$ messen zu können, wodurch die Rötung bestimmt werden kann und die wohlbekannteste Entartung in den Schätzungen für die Metallhäufigkeit, die auf optischen Linien basiert, gebrochen werden kann. Galaxien bei ähnlichen Rotverschiebungen und Linienstärken, aber mit schwächerer Kontinuumsleuchtkraft wurden ebenfalls untersucht. Wir bestimmten auch die Metallhäufigkeit von sternenformenden Galaxien, die im CADIS-Survey bei $0,4 < z < 0,7$ entdeckt wurden. Die Kombination von den Sauerstoffhäufigkeiten in diesen Galaxien mit denen von helleren Galaxien im obengenannten CFRS-basierten Survey und in der Literatur machte es möglich, die Metallhäufigkeit-Leuchtkraft-Beziehung bei mittlerer Rotverschiebung zu bestimmen und die Resultate mit theoretischen chemischen Evolutionsmodellen zu vergleichen (M. Carollo, S. Lilly, C. Maier, in Zusammenarbeit mit A. Stockton, Hawaii).

Die Beschaffenheit von Galaxien in tiefen Surveys

M. Carollo, I. Ferreras, S. Lilly und T. Lisker haben eine extensive Analyse von Galaxien in den GOODS-Bildern begonnen. Sowohl der frühe Typ Galaxien als auch solche, die aktiv Sterne bilden, wurden mit der Hilfe von photometrischen Rotverschiebungskatalogen analysiert. Mehrere nicht-parametrische Messungen von Morphologien wurden mit den photometrischen Typen verglichen. Letztendlich ist die Absicht, die Sternbildung in diesen Galaxien auf Pixel-für-Pixel-Basis zu studieren, wobei das Limit durch die photometrische Qualität der ACS-Daten gegeben ist. Erste Resultate dieser Untersuchungen wurden benutzt, um wissenschaftliche Angelegenheiten für das COSMOS-Projekt weiterzuentwickeln, eine grosse internationale Zusammenarbeit, die von N. Scoville (Caltech) geleitet wird.

Die Beschaffenheit von Galaxien in Haufen und im Feld bei $0,3 < z < 1,0$

E+A-Galaxien

K. Tran hat ihre Untersuchung über Post-starburst-Galaxien, sogenannte E+A-Galaxien, in Galaxienhaufen bei mittlerer Rotverschiebung ($0,3 < z < 1$) abgeschlossen. Sie konnte sich auf eine grosse spektroskopische Datenmenge stützen, aus dessen über 500 Haufenmitgliedern in drei Feldern sie die relativ seltene E+A-Population auswählte. Indem sie bodengebundene Spektroskopie mit HST/WFPC2-Bildern kombinierte, konnte sie die physikalischen Eigenschaften der E+A-Galaxien im Detail studieren. Aus diesen Beobachtungen leitete sie ab, dass E+A eine wichtige Rolle in der Entwicklung der passiven, ruhigen Galaxien spielen, welche die Haufenpopulation dominieren.

Als logische Erweiterung ihrer Haufenstudien began K. Tran auch eine komplementäre Analyse von E+A-Galaxien im mittleren Gebiet der Rotverschiebung. Zusammen mit den Untersuchungen bei $0,3 < z < 1$ führte diese Erweiterung zu ersten Resultaten über die physikalischen Eigenschaften dieser Systeme. Die ersten Ergebnisse lassen vermuten, dass mindestens 20% der passiven Galaxien im nahen Universum eine E+A-Phase durchliefen

bei $z < 1$ (K. Tran in Zusammenarbeit mit M. Franx, Leiden, G. Illingworth, UC Santa Cruz, D. Kelson, Carnegie, und P. van Dokkum, Yale).

Theorie der E + A-Galaxien

Auf der theoretischen Seite wurde ein Projekt begonnen, um abzuklären, ob die Phase der E+A-Galaxien möglicherweise durch die Wechselwirkung mit einem heissen Gas ausgelöst wird, das in Röntgenstrahlen zu beobachten ist. Die Beobachtungen legen nahe, dass die meisten E+A-Galaxien zu Galaxiengruppen gehören statt eine eigentliche Feldpopulation darzustellen. Es ist aber nicht klar, welcher Mechanismus für diese Post-starburst-Phase verantwortlich ist. Um zu testen ob das heisse Gas, das mit den röntgenstarken Galaxiengruppen assoziiert ist, die Sternbildung beschleunigen kann, werden hochauflösende hydrodynamische Simulationen von Scheibengalaxien in Gruppenumgebung durchgeführt (K. Tran, L. Mayer und C. Mastriopetti).

Superhaufen bei $z = 0,45$

K. Tran hat eine umfassende Untersuchung von SC1120, einem Superhaufen bei $z = 0,45$ begonnen. Das Hauptziel der Arbeit ist ein kompletter spektroskopischer Überblick über das SC1120-Feld mittels Daten vom VIMOS-Instrument am VLT. Die Rotverschiebungen werden benutzt, um die dynamische Masse des Superhaufens zu bestimmen, welche dann mit den Massen verglichen werden, die aus der weak-lensing-Analyse und den Röntgenbeobachtungen mit dem Chandra-Teleskop stammen. Die Spektren werden auch verwendet, um die Galaxienpopulationen im Superhaufen zu analysieren und zu untersuchen, wie sie sich in dieser ungewöhnlich reichen Umgebung entwickeln und um die Masse der Struktur festzulegen (K. Tran, in Zusammenarbeit mit A. Gonzalez, U. Florida, D. Zaritsky, U. Arizona, und D. Clowe, Bonn).

Zentrale Regionen von Haufen bei mittlerer Rotverschiebung

Die Studie der S/S0-Galaxien in den zentralen Regionen von 8 Haufen bei mittlerer Rotverschiebung ($0,4 < z < 0,48$) wurde publiziert. Bei dieser Untersuchung wurde sehr genaue optische und infrarote Photometrie verwendet. Wir finden, dass die Leuchtkraftfunktion für rote Galaxien mit $-25,6 < M_V < -17,6$ gut mit einer Schechterfunktion beschrieben wird, mit einem einzelnen Wert für die charakteristische Magnitude (M^*). Der Wert von M^* bei $z = 0,45$ scheint heller als der, der im lokalen Haufen beobachtet wurde ($\Delta M_R = -0,94 \pm 0,41$). Dies stimmt mit Modellen von passiver Evolution und mit Untersuchungen der Oberflächenhelligkeit und der fundamentalen Ebene bei diesen Rotverschiebungen überein. Die meisten der einfachen Modelle für Sternpopulationen schaffen es nicht, die Farbänderung im Ruhesystem-, (U-V)- und (V-H)-Evolutionsvektor von $z \sim 0$ rückblickend zu erklären, wobei die Diskrepanz hauptsächlich in den optisch-infraroten Farben auftritt (S. Lilly und der frühere Student F. Barrientos, Univ. Pontificada de Chile).

Modellierung der chemischen Entwicklung von Galaxien

Daten für die Metallhäufigkeitsverteilung von K-Riesensternen im Galaktischen Bulge wurden mit einem phänomenologischen Modell verglichen, um die Geschichte der Sternentstehung und der chemischen Anreicherung im Galaktischen Bulge zu entschlüsseln. Die Daten setzen eine robuste Beschränkung für die Zeitskala des Einfalls, die kleiner als 1 Gigajahr sein muss. Dieses Resultat ist auch in guter Übereinstimmung mit den grossen [Mg/Fe]-Häufigkeitsverhältnissen, die in diesen Sternen gefunden werden. Diese Beschränkung lässt auf eine kürzere Formationszeit schliessen, als mit dem neuesten Stand der Technik entsprechenden numerischen Simulationen gefunden wird (I. Ferreras, in Zusammenarbeit mit R. Wyse, John Hopkins, und J. Silk, Oxford).

Mit J. Silk (Oxford) und E. Scannapieco (UC Santa Barbara) hat I. Ferreras den Beitrag von sowohl SN1a- als auch SNII-Supernovae zur Metallhäufigkeit des Gases, das ins IGM oder ICM ausgestossen wird, untersucht. Die neusten Daten betreffend die Metallhäufigkeiten und Häufigkeitsverhältnisse in Galaxien des frühen Typs wurden nochmals durchgesehen, um die Dauer des Sternentstehungsprozesses in diesen System zu bestimmen. Das Verhältnis von [Mg/Fe] wird benützt, um eine sehr kurze Formationszeit, d. h.

kürzer als 1 Gigajahr, in massereichen elliptischen Galaxien herzuleiten. Das Resultat wird in Zusammenhang mit der Sternentstehungseffizienz und den Einfallzeitskalen untersucht. Diese sind die zwei wichtigsten phänomenologischen Parameter, die den Aufbau der stellaren Komponenten in Galaxien vorantreiben.

Obengenannte Personen haben herausgefunden, dass diese zwei Parameter entartet sind mit den momentanen Daten, aber dass eine genauere Schätzung der Masse-Metallhäufigkeitsbeziehung im Prinzip die Entartung aufbrechen könnte. I. Ferreras hat zusammen mit S. Yi (Oxford) die Ruhesystem-Spektroskopie im nahen Ultraviolett von zwei schwachen Radioquellen bei $z \sim 1,5$ vom Leiden Berkeley Deep Survey untersucht. Die Spektren wurden mit einem weitem Raster von einfachen und zusammengesetzten stellaren Populationen verglichen. Obwohl einfache Populationen zu einer ziemlich grossen Alter-Metallhäufigkeits-Entartung führen und zusammengesetzte Modelle weitere Unsicherheiten in der Modellierung verursachen, erlaubt ihnen eine konsistente Mischung von Alter und Metallhäufigkeit dennoch, Beschränkungen für das durchschnittliche Alter dieser zwei elliptischen Galaxien bei hoher Rotverschiebung festzusetzen, und zwar bei etwa 3,5 Gigajahren, mit einem tiefsten möglichen Alter von 2,8 Gigajahren, in einem Vertrauensbereich von 99 Prozent (innerhalb der Annahmen im Modell), was darauf hinweist, dass es einen Höchstwert in der Sternentstehungsrate bei $z > 4,5$ gab.

I. Ferreras und S. Yi schlagen eine Kombination von genauer optischer und nah-infraroter Breitband-Photometrie und Spektroskopie als bestmögliche Strategie vor, mit dem Ziel, Balmer-Absorption zu untersuchen, die dazu geeignet wäre, systematische Unsicherheiten in den Schätzungen für das Alter zu verringern.

Mit J. Silk (Oxford), B. Ziegler und A. Böhm (Göttingen), hat I. Ferreras die Sternentstehungsgeschichte von einer Reihe von Scheibengalaxien untersucht bei $0,5 < z < 1$, vom FORS Deep Field Survey. Breitbandphotometrie wird kombiniert mit einer einfachen Modellierung der Sternentstehungsgeschichte. Eine bedeutende Bimodalität in der Sternentstehungseffizienz wurde gefunden, d. h. in langsam rotierenden Scheiben (unter 120 km/s) ist die Sternentstehungseffizienz kleiner. Das ist in bemerkenswerter Übereinstimmung mit anderen Studien, die auf grösseren nahen Datensätzen (SDSS) oder auf Analyse der Ausdehnung von Staubstreifen basieren und eine ähnliche Bimodalität bei derselben Rotationsgeschwindigkeit vorschlagen. Als nächstes wird man sich jetzt mit der Tully-Fisher-Beziehung befassen, da die Steigung dort mit lokalen Beobachtungen im Widerspruch steht (I. Ferreras, in Zusammenarbeit mit den erwähnten Personen).

Sternpopulationen in den inneren Regionen von Scheibengalaxien

Daten, die mit der Advanced Camera for Surveys auf dem Hubble Space Telescope erhalten wurden, werden von einem internationalen Team, das von M. Carollo geleitet wird und das damit die nuklearen Sternpopulationen einer Menge von Scheibengalaxien untersucht. Diese Systeme besitzen Bulges, deren Sterndichtevertellungen ähnlich sind wie jene von Scheiben (und nicht wie die von massereichen Sphäroiden). Eine erste Analyse weist darauf hin, dass diese Pseudo-Bulges relativ junge Sternstrukturen sind, gleich alt wie die kompakten Sternhaufen, die in ihren Zentren liegen. Das Resultat weist auf ein Szenario hin, bei dem die Bulges späteren Typs das Ergebnis interner sekularer Evolution der Mutterscheibe sind. Daher kann man annehmen, dass etwa 40 Prozent der lokalen Scheibengalaxienpopulation eventuell kein reguläres Spheroid beinhalten, sondern ein Überbleibsel eines Mergers. Dieses Resultat ist ein wichtiger Input für hochauflösende numerische Simulationen, mit denen die Galaxienpopulation im lokalen Universum reproduziert werden soll (M. Carollo, in Zusammenarbeit mit R. Wyse, JHU).

Beobachtungen von nahen Sternentstehungsregionen

Super-Sternhaufen in NGC 6240

Die Sternentstehungsmoden in den extremen Umgebungen von ultrahellen Infrarot-Galaxien wurden mit HST/WFPC2- und HST/NICMOS-Daten untersucht mit dem Ziel, die Eigenschaften (Alter, Masse und intrinsische Rötung) von Super-Sternhaufen in NGC 6240

herzuleiten, der ein Beispiel eines Mergers von zwei massereichen Spiralgalaxien ist. Die Resultate haben gezeigt, dass periphere Sternhaufen, weit weg vom inneren Kern von NGC 6240, so jung und massereich sind wie die Super-Sternhaufen, die in einer Vielzahl von Sternentstehungsgalaxien verschiedener Masse beobachtet wurden. Im Kern von NGC 6240 werden die Sternhaufen eher als H II-Regionen klassifiziert und sind dadurch charakterisiert, dass sie extreme Sternentstehungsraten und ein kleines Alter aufweisen. Es wurde gezeigt, dass sie sowohl die IR- als auch die weichen Röntgenstrahlen von NGC 6240 mit Energie versorgen. Die gleichzeitige Anwesenheit von diesen H II-Regionen und einem binären schwarzen Loch wird wahrscheinlich NGC 6240 in eine kernelliptische Galaxie umwandeln (A. Pasquali, in Zusammenarbeit mit J. Gallagher, Madison, und R. de Grijs, Sheffield)

Sternentstehungsgeschichte bei verschiedenen Wellenlängen

Spektren aus dem IUE-Archiv und HST/WFPC2- und NICMOS-Bilder von Sternentstehungsgalaxien wurden benutzt, um Anhaltspunkte für die Sternentstehungsgeschichte bei verschiedenen Wellenlängen zu finden. Die angewandte Methode bestimmt, ob die Eigenschaften (d. h. Alter und Masse) von Supersternhaufen, die bei verschiedenen optischen und infraroten Wellenlängen beobachtet werden, die beobachteten UV-Spektren reproduzieren können, und ob eventuelle gefundene Diskrepanzen mit der Hilfe von älteren Sternpopulationen erklärt werden können.

Wir haben ebenfalls die Emission im entfernten Infrarot im IRAS-Band eines Samples von SLOAN-Galaxien, für die optische Spektren erhältlich sind, analysiert. Das Ziel ist, die galaktische Sternentstehungsaktivität bei verschiedenen Wellenlängen und Rotverschiebungen zu studieren und jede mögliche Korrelation mit der galaktischen AGN-Aktivität zu untersuchen (A. Pasquali, in Zusammenarbeit mit P. Castangia, Cagliari, G. Kauffmann, Garching, und T. Heckman, Baltimore).

Statistische Beschreibungen der Galaxienpopulation

Die räumliche Verteilung von Galaxien im 2dFGRS

Unter Benutzung des vollen 2dFGRS-Surveys haben wir die Zusammenballung in hoher Ordnung von 2dFGRS-Galaxien untersucht, und zwar als Funktion von Leuchtkraft und mit volumenbeschränkten Datensätzen. Trotz der Tatsache, dass die Interpretation von der Anwesenheit von zwei sehr seltenen Superhaufen im Sample beeinflusst ist, haben sie gezeigt, dass M*-Galaxien bis zu einer Rotverschiebung von etwa 6 hierarchische Zusammenballungen aufweisen. Es wurde gezeigt, dass die Amplituden hierarchischer Zusammenballungen von Galaxien im 2dFGRS eine schwache Abhängigkeit von der Leuchtkraft haben. Eines der zwei Hauptziele des 2dFGRS-Projektes war, das 2dFGRS-Galaxien-Power-Spektrum zu analysieren. Diese Messung ist ziemlich empfindlich darauf, wie die Auswahlfunktion modelliert wird. Darum ist eine gründliche Untersuchung nötig, die zu einem übergreifenden Verständnis der 2dFGRS-Auswahlfunktion führt. Maximale-Wahrscheinlichkeits-Methoden, um die optimale Auswahlfunktion für jede Untermenge zu finden, aufgeteilt bei Ruhesystemfarbe, um die verschiedenen Auswahlfunktionen so zu kombinieren, dass man die insgesamt 2dFGRS-Auswahlfunktion erhalten kann, die nötig ist, um das totale Powerspektrum zu konstruieren (P. Norberg, in Zusammenarbeit mit D. Croton, Garching, C. Baugh, Durham, J. Peacock, Edinburgh, und anderen Mitgliedern der 2dFGRS-Teams).

Ausgedehnte massereiche Halos aus dunkler Materie

Mit Hilfe des vollen 2dFGRS-Surveys identifizieren wir isolierte helle Galaxien zusammen mit ihren assoziierten Satelliten. Die Satellitengeschwindigkeitsverteilung, bei grossen Radien gemessen, erlaubt, zusammen mit hochauflösenden N-Körpersimulationen, die unter Benutzung eines semi-analytischen Ansatzes für Galaxienentstehung und -entwicklung mit Galaxien bevölkert werden können, die Masse des Galaxienhalos zu bestimmen und die Existenz von ausgedehnten massereichen Halos aus dunkler Materie um Galaxien nachzuweisen (P. Norberg, in Zusammenarbeit mit C. Frenk, Durham, S. White, Garching, und S. Cole, Durham).

Masse-Licht-Verhältnis als Funktion der Gruppenleuchtkraft

Mit Hilfe eines von Perkolations abgeleiteten Algorithmus, der auf 2dFGRS angewandt wurde, wurde das grösste vorhandene homogene Sample von Galaxiengruppen konstruiert. Wir benützen diesen 2PIGG-Katalog, um den hellen Inhalt von Galaxiensystemen mit verschiedenen Grössen zu studieren. Ein robuster Trend von einem wachsenden Masse-Licht-Verhältnis mit wachsender Gruppenleuchtkraft wurde Daten abgeleitet (P. Norberg, in Zusammenarbeit mit V. Eke, Durham, und anderen Mitgliedern des 2dFGRS-Teams).

Verteilung von Quasaren im Universum

Wir untersuchen die Verteilung von Quasaren im Universum, und was daraus über die Natur von Halos von dunkler Materie, die Quasare beinhalten, gelernt werden kann. Als ein Resultat des Galaxienbildungsprozesses kann ein einzelnes Halo mehrere Galaxien beinhalten. Unter Benützung der Haufenbildungseigenschaften und Häufigkeiten von Galaxien im 2dFGRS wurde die Besetzungszahl des Halos in Galaxien bestimmt (d. h. die durchschnittliche Anzahl von Galaxien in einem Halo von gegebener Masse), und zwar als Funktion des spektralen Typs der Galaxie. Diese Analyse wird nun ausgedehnt auf Quasare, die im grossen 2QZ-Katalog verzeichnet sind (C. Procciani und P. Norberg, in Zusammenarbeit mit Magliocchetti, SISSA, Trieste).

Die bedingte Leuchtkraftfunktion von Galaxien

Um die Frage abzuklären, wie Galaxien mit Halos und dunkle Materie verknüpft sind, wurde eine neue Methode entwickelt. Sie bringt die beobachtete Leuchtkraftfunktion und die Zusammenballungseigenschaften von Galaxien in einen Zusammenhang, um Beschränkungen für die sogenannte bedingte Leuchtkraftfunktion zu finden, die spezifiziert, wie viele Galaxien mit einer gegebenen Leuchtkraft durchschnittlich ein Halo mit gegebener Masse bevölkern. Die neue Methode wurde mit den Resultaten des entgegengesetzten Ansatzes, der auf ab initio-Modellen für die Formation von Galaxien basiert, verglichen. Wir haben den Formalismus der bedingten Leuchtkraftfunktion benutzt, um stringente Beschränkungen für verschiedene kosmologische Parameter zu finden. Dabei wurde gezeigt, dass das beobachtete Masse-Licht-Verhältnis, kombiniert mit den beobachteten Haufenbildungseigenschaften von Galaxien, auf ein Universum mit einem relativ tiefen Wert von σ_8 von 0,75 hinweisen. Die bedingte Leuchtkraftfunktion wurde auch dafür benutzt, Halos aus dunkler Materie in grossen numerischen Simulationen zu bevölkern. Diese wurden verwendet, um Pseudo-Galaxienrotverschiebungssurveys zu konstruieren, die dann dazu gebraucht wurden, die Struktur auf grossen Skalen zu untersuchen. Eine gute Übereinstimmung mit beobachteten Daten konnte wieder nur erzielt werden, wenn ein relativ tiefer Wert von σ_8 von 0,75 verwendet wurde. (F. van den Bosch, in Zusammenarbeit mit H.J. Mo und X. Yang, Amherst, Y.P. Jing, Shanghai, und Y.Q. Chu, Hefei, China).

Die bedingte Leuchtkraftfunktion wurde auch dafür benutzt, die Abhängigkeit der Galaxienleuchtkraftfunktion von der Umgebung zu untersuchen. Das Modell sagt voraus, dass die Schechterfunktion eine gute Näherung ist für die die Leuchtkraftfunktionen von Galaxien, und das in praktisch allen Umgebungen. Allerdings wird vorausgesagt, dass die charakteristische Leuchtkraft mit Überdichte ansteigt, während die Steigung am schwachen Ende relativ konstant bleibt. Zusätzliche Voraussagen wurden auch gemacht in Bezug auf die Unterpulationen von Galaxien frühen und späten Typs. Der Formalismus der bedingten Leuchtkraftfunktion wurde benutzt, um die Statistik und die Dynamik von Satellitengalaxien um helle, isolierte Wirtsgalaxien zu untersuchen. Wenn man die Resultate von 2dFGRS mit Pseudo-Galaxienrotverschiebungssurveys vergleicht, erhält man Hinweise darauf, dass ein relativ tiefer Wert von σ_8 benötigt wird, oder dann, dass das Masse-Lichtverhältnis von Galaxienhaufen einem relativ hohen Wert entspricht (F. van den Bosch, P. Norberg in Zusammenarbeit mit H.J. Mo, X. Yang und Y.P. Jing).

Skalenbeziehungen in Galaxien

Eine grosse Anzahl von Datensets über Scheibengalaxien wurden kombiniert, um in noch nie erreichter Detailliertheit einige ihren Skalenbeziehungen zu untersuchen. Spezielle Auf-

merksamkeit wurde dabei einer detaillierten Untersuchung von Korrelationen in der Streuung von verschiedenen Skalenrelationen gewidmet (F. van den Bosch, in Zusammenarbeit mit S. Courteau, L.A. MacArthur, Vancouver, A. Dekel, Jerusalem, D.H. McIntosh, Amherst, und D. Dale, Laramie, USA).

Mittels semianalytischer Modelle von Scheibengalaxienentstehung konstruieren wir Pseudo-Galaxiensamples, um damit die Skalenrelationen zwischen Leuchtkraft, Rotationsgeschwindigkeit und Grösse der Scheibe zu untersuchen. Wir benützen die beobachteten Steigungen, Streuungen, Nullpunkte und Korrelationen der Residuen, um Beschränkungen für ihre semi-analytischen Modelle zu finden. Im Vordergrund steht die Frage nach dem Mangel an Korrelation zwischen den Residuen der Geschwindigkeits-Leuchtkraft- und Grösse-Leuchtkraftsbeziehung. Eine mögliche Antwort ist, dass im Durchschnitt die Scheiben submaximal sind und die Scheibe nur 55 Prozent zur totalen zirkularen Geschwindigkeit bei 2,2 Scheibenskalenlängen beiträgt (F. van den Bosch und A. Dutton).

Halos und Cusp

Hochaufgelöste $H\alpha$ -Rotationskurven einer Reihe von Zwerggalaxien und Galaxien mit niedriger Oberflächenhelligkeit wurden analysiert, um Beschränkungen für die Steigung der zentralen Masseverteilung festzulegen. In der laufenden Debatte, ob die Rotationskurven von Zwerg- und LSB-Galaxien konsistent seien mit den Voraussagen für ein CDM-Universum, sind wir der Ansicht, dass die momentanen Daten nicht genügend Beweise erbringen, dass Halos mit einem zentralen Cusp ausgeschlossen werden können (F. van den Bosch, in Zusammenarbeit mit R. Swater, JHU, B. Madore, OCIW, und M. Balcells, IAC).

Numerische Simulationen von Strukturenentstehung wurden benutzt unter Einbezug von nicht-strahlendem Gas, um die Drehimpulsverteilung im Gas und in der dunklen Materie in CDM-Halos zu berechnen und zu vergleichen. Im speziellen haben wir uns auf den Einfluss von Preheating auf die Drehimpulsverteilung des Gases konzentriert. Es wurde gezeigt, dass, anders als naiverweise erwartet, Preheating den spezifischen Drehimpuls im Gas, das an den Halo aus dunkler Materie gebunden bleibt, reduziert (F. van den Bosch, in Zusammenarbeit mit T. Abel, Penn State, und L. Hernquist, CfA).

Die Verbindung zwischen Galaxie und schwarzem Loch

Beobachtende Studien von galaktischen Kernen

M. Carollo hat in Zusammenarbeit mit J. Noel-Storr und J. Van Gorkom (Columbia University), S. Baum und C. O'Dea (STScI), G. Verdoes-Klein (ESO) und P.T. de Zeeuw (Leiden) eine Reihe von Spektren mittlerer Auflösung analysiert. Sie wurden mit dem Space Telescope Imaging Spectrograph an Bord des HST von Emissionsliniengas von den Kernen eines vollständigen Samples von 21 nahen Galaxien frühen Typs mit Radiojets aufgenommen. Für jeden Galaxienkern haben wir spektroskopische Daten in der Region von $H\alpha$ und die abgeleitete Kinematik studiert. Wir haben dabei gefunden, dass in 67% der Kerne das Gas offenbar rotiert, und mit einer Ausnahme, dass die Fälle, in denen Rotation nicht gesehen wird, sie entweder face-on gesehen werden oder komplexe zentrale Morphologien haben. In 62% der Kerne wird der Fit an das zentrale Spektrum mit der Einschliessung von einer breiten Komponente verbessert. Die breiten Komponenten haben eine mittlere Geschwindigkeitsdispersion von etwa 1500 km s^{-1} , und sie sind von den schmalbandigen Komponenten (unter der Annahme, dass ihr Ursprung in $H\alpha$ ist) um etwa 0 bis 1000 km s^{-1} verschoben.

Im Kontext einer grossen internationalen Zusammenarbeit, die von D. Axon (Rochester) geführt wird, haben M. Carollo und die anderen Mitglieder der Zusammenarbeit HST STiS optische long-slit-Spektren von nuklearen Gasscheiben und STiS optische ($\sim R$ -Band) und NICMOS infrarote (H)-Bilder des zentralen $5 \text{ arcsec} \times 5 \text{ arcsec}$ -Bereichs von nahen Scheibengalaxien analysiert. Farbenkarten wurden abgeleitet, um die innere Struktur zu studieren. Eine grosse Vielfalt von Kernstaub- und Gasmorphologien wurde gefunden, von glatten Verteilungen zu wohldefinierten nuklearen Spiralen und Staubstreifen.

Die Spektren wurden gebraucht, um das Geschwindigkeitsfeld von Kernscheiben zu bestimmen und somit die Anwesenheit von zentralen, massereichen schwarzen Löchern in diesen Systemen zu detektieren. Ein erster Versuch in dieser Richtung wurde von A. Marconi (Arctetri) geleitet, um das Geschwindigkeitsfeld des Gases in der Kernregion der Spiralgalaxie NGC 4041 zu kartographieren. Eine kompakte (ungefähr 0,4 arcsec oder 40 pc), rotierende Scheibe mit hoher Oberflächenhelligkeit, die sich am gleichen Ort befindet wie ein Kern-Sternhaufen, wurde in dieser Galaxie detektiert. Die Scheibe ist durch eine Rotationskurve mit einer Peak-zu-Peak-Amplitude von $\sim 40 \text{ km s}^{-1}$ charakterisiert und ist systematisch blauverschoben um $< \sim 10\text{--}20 \text{ km s}^{-1}$ im Bezug auf die systemische Geschwindigkeit der Galaxie. Mit der Standardannahme eines konstanten Masse-Licht-Verhältnisses und mit einer Inklination der Kernscheibe, die von derer der äusseren Scheibe übernommen wird, finden wir, dass eine dunkle Punktmasse von etwa 10^7 Sonnenmassen benötigt wird, um die beobachtete Rotationskurve zu reproduzieren. Unter Ausweitung der Standardannahmen können die kinematischen Daten jedoch mit der stellaren Massen erklärt werden können. Entweder wird das zentrale Masse-Licht-Verhältnis um einen Faktor ~ 2 vergrössert oder die Inklination der Scheibe variiert. Dieses Modell resultiert in einem 3σ oberem Limit von 6×10^6 Sonnenmassen für die Masse von jedem sich im Kern befindlichen Schwarzen Loch. Diese Resultate sind nicht inkonsistent mit sowohl der M_{BH} - als auch der L_{sph} -Korrelation. Einschränkungen der Massen von schwarzen Löchern in Spiralgalaxien von so spätem Typ wie SBC sind immer noch sehr rar; darum trägt das neue Resultat einen wichtigen neuen Datenpunkt zu unserem Verständnis der Demographie schwarzer Löcher bei (M. Carollo).

Binäre schwarze Löcher und das Dichteprofil von Galaxien

Wenn zwei Galaxien verschmelzen, bildet sich eventuell ein Doppelsystem von schwarzen Löchern. Die Entstehung des binären schwarzen Lochs und besonders die Zeitskala seiner Formation hängen stark vom zentralen Dichteprofil des Halos aus dunkler Materie ab. Sobald sich das binäre schwarze Loch gebildet hat, beeinflusst es möglicherweise das Dichteprofil des umgebenden Halos aus dunkler Materie stark. Das binäre schwarze Loch könnte Energie zu den umgebenden Teilchen in der zentralen Region von hoher Dichte transportieren, und zwar durch den Slingshoteffekt, was zu einem flacheren zentralen Dichteprofil der dunklen Materie führt, und auch zu einer Population von Teilchen hoher Energie in den äusseren Teilen des Halos. Diese Fragen sollen durch sehr hochauflösende N-Körpersimulationen mit PKDGRAV beantwortet werden. Es wurden Tests durchgeführt, um die optimalen numerischen Parameter und den Bereich der Verlässlichkeit in der Simulation zu finden. Simulationen mit bis zu 10^8 Teilchen pro Halo werden entwickelt, um das Dichteprofil bis zu ca. 0,01 Prozent des Virialradius des Halos aus dunkler Materie aufzulösen. Ein neuer Zeitschrittalgorithmus, der auf den lokalen Eigenschaften der Schwerkraft beruht, d. h. der jedem Teilchen erlaubt, sich in einem Zeitschritt proportional zu seiner lokalen dynamischen Zeit zu bewegen, wurde entwickelt und in den N-Körper-Code eingefügt, was erlaubt, adaptive Zeitschritt-Simulationen durchzuführen (M. Zemp und M. Carollo).

Die Massenfunktion in M15

Die globale Massenfunktion im galaktischen Haufen M15 wurde mittels HST/NICMOS-Aufnahmen und Daten aus der Literatur charakterisiert. Wir haben die Leuchtkraftfunktion, die bei verschiedenen Distanzen vom Haufenzentren bestimmt wurde, mit Modellen der internen dynamischen Entwicklung von Haufen verglichen. Die Resultate zeigen, dass die radialen Variationen der beobachteten Leuchtkraftfunktion von Massensegregation herrühren, und dass die globale Massenfunktion von M15 ein segmentiertes Potenzgesetz ist. Der Vergleich mit Modellen weist auch darauf hin, dass sich eine grosse Anzahl von schweren Sternüberbleibseln im Zentrum des Haufens befinden, was die Massensegregation in M15 erklären kann, ohne dass die Anwesenheit eines schwarzen Lochs mittlerer Masse benötigt wird (A. Pasquali, in Zusammenarbeit mit G. De Marchi, ESTEC).

Gamma Ray Burst GRB 030329

Der Gamma Ray Burst vom 29. März 2003 (GRB 030329) war einer der nächsten (800 Mpc) und hellsten seiner Art. Dank der grossen Helligkeit dieser Explosion konnte bewiesen werden, dass GRB mit sehr leuchtkräftigen Supernovae verbunden sind. Das Nachleuchten (Afterglow) dieses Bursts wurde mit dem VLT polarimetrisch und spektropolarimetrisch während etwa eines Monats verfolgt mit dem Ziel, neue Anhaltspunkte über die Struktur des relativistischen Jets zu gewinnen.

Die Daten zeigen, dass die Polarisation des Nachleuchtens stark variabel, aber immer niedrig war (zu keinem Zeitpunkt über 2,5%) und dass die Polarisation nicht mit dem Strahlungsfluss korreliert. Die niedrige Polarisation, die durch Synchrotronstrahlung erzeugt wird, deutet auf eine stark verwickelte Magnetfeldstruktur im Jet. Die Magnetfelder werden wahrscheinlich durch turbulente Zonen hinter dem äusseren Jet-Schock verstärkt. Starke Synchrotron-Emission aus einem eher homogenen Magnetfeld, z. B. aus dem schon vorher vorhandenen interstellaren Magnetfeld, kann mit diesen Beobachtungen ausgeschlossen werden (H.M. Schmid, in Zusammenarbeit mit J. Greiner, Garching, S. Klose, Tautenburg, K. Reinsch, Göttingen und dem GRACE-Konsortium).

3.4 Astronomische Instrumentierung

Hauptoptik und Mixer-Subassemblies für HIFI auf dem Herschel-Satelliten

Das Institut ist mit einem umfangreichen Projekt am Heterodyne Instrument for the Far Infrared (HIFI) beteiligt, einem der drei Fokalinstrumente des Herschel-Satelliten der ESA. HIFI wird von 2007 an Submillimeter-Wellen mit grosser Empfindlichkeit und spektraler Auflösung messen. Der Forschungsschwerpunkt ist die Sternentstehung und die Beobachtung von Wasserdampf in verschiedenen astronomischen Objekten. Das Institut für Astronomie ist für die Fabrikation der Hauptoptik und Mixersubassemblies verantwortlich, die in der Industrie (HTS Wallisellen) produziert werden. Das Qualifikationsmodell der Hauptoptik wurde ans PI-Institut (SRON, Niederlande) abgeliefert und erfüllt die Spezifikationen. Das Flugmodell ist im Bau. Die Hauptoptik enthält über hundert Aluminiumspiegel, deren Produktion ebenfalls vom Institut für Astronomie in Auftrag gegeben und überwacht wird. Der zweite Beitrag, die Mixersubassemblies, beherbergen die Mischerstufe auf Mikrowellenfrequenzen. Jedes der 14 Mixersubassemblies besteht wieder aus hunderten von Elementen, die produziert, zusammengebaut und zur Qualifikation abgeliefert wurden. Am Institut für Feldtheorie und Höchsthfrequenztechnik der ETH wurde ein weiterer Beitrag, der zweite Zwischenfrequenzverstärker entwickelt, getestet und qualifiziert. Sein Flugmodell wird nun ebenfalls in der Industrie (Contraves) hergestellt. Das Institut für Astronomie wird von 2005 an die Betreuung des gesamten ETH-Teils übernehmen und bereitet sich auf die wissenschaftliche Auswertung der Beobachtungen vor (A.O. Benz, Ch. Monstein, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Feldtheorie und Höchsthfrequenz ETH und SRON, Groningen).

James Webb Space Telescope

S.J. Lilly wirkt als Interdisciplinary Scientist am NASA James Webb Space Telescope (JWST), dem Nachfolger des Hubble-Weltraumteleskops. JWST soll 2010 gestartet werden. Die sechs interdisziplinären Wissenschaftler leiten die endültige Ausgestaltung im Hinblick auf die wissenschaftliche Nutzung des JWST und werden nach dem Start unter den ersten Benutzern der Anlage sein. S. Lilly ist zudem ein Mitglied des Instrument Definition Team für das NIRCAM-instrument für das JWST (PI: M.J. Rieke, University of Arizona).

MUSE-Konsortium

S.J. Lilly und M. Carollo sind Mitglieder des MUSE-Konsortiums (PI: R. Bacon, CNRS Lyon), das eine Phase-A-Studie zu einem neuartigen Konzept für einen „integral field spectrograph“ der zweiten Generation für das VLT durchführt. Das Instrument soll bei der Durchführung hochempfindlicher Suchen nach Emissionslinien von sehr lichtschwachen

Galaxien mit hoher Rotverschiebung sowie zum Studium der Dynamik naher Galaxien eingesetzt werden. Der Beitrag der ETH zu der Phase-A-Studie wird im Bereich der Systementwicklung sowie in der Definition der wissenschaftlichen Zielsetzung für das Instrument bestehen.

ZIMPOL / CHEOPS

Schmid, Gisler, Joos, Povel und Stenflo sind Mitglieder des CHEOPS-Konsortiums (P.I. M. Feldt, MPIA Heidelberg), das bis Ende 2004 eine von der ESO unterstützte Phase A-Studie für ein ehrgeiziges VLT-Instrument zum direkten Nachweis von extra-solaren Planeten durchführt. Wir sind für die Studien über ZIMPOL (Zurich Imaging Polarimeter) zuständig, mit dem das Polarisationsignal des reflektierten Lichts der extra-solaren Planeten detektiert werden soll. Ein grundsätzliches Design-Konzept für ZIMPOL wurde erstellt, auf Grund dessen die Spezifikationen für die einzelnen Komponenten festgelegt werden sollen.

Im Rahmen dieses Projekts wurden auch polarimetrische und spektropolarimetrische Beobachtungen der Gasplaneten im Sonnensystem mit dem ESO-3,6-m-Teleskop auf La Silla durchgeführt. Mit diesen Daten sollen die polarimetrischen Eigenschaften der Methan-Absorptionsbanden im Bereich 0,6 bis 1,0 μm , dem vorgesehenen Wellenlängenbereich für das ZIMPOL-Polarimeter in CHEOPS, untersucht werden. Es wird erwartet, dass die Polarisation in den Methan-Bändern höher ist als im benachbarten Kontinuum. Ist dies tatsächlich der Fall, so liefern Polarisationsmessungen der Methan-Bänder interessante Informationen über den Aufbau der Atmosphären von Gasplaneten in unserem Sonnensystem, und in Zukunft auch für extra-solare Planeten.

Instrumentierung für optische Polarimetrie

ZIMPOL2

Drei ZIMPOL2-Systeme, von denen jedes wahlweise mit einem von drei Kameratypen (Standard, UV, Nacht) ausgestattet werden kann, werden intensiv in verschiedenen Observatorien für Sonnen- und Nachtbeobachtungen eingesetzt. Die erforderlichen Arbeiten für ZIMPOL2 betreffen Wartung und Reparatur der Systeme sowie Modifikationen, Verbesserungen und Erweiterungen der Hard- und Software, die durch die sich häufig ändernden Bedürfnisse der unterschiedlichen Beobachtungen gefordert werden.

ZIMPOL3

Die drei vorhandenen ZIMPOL2-Systeme sollen in naher Zukunft durch eine neue, verbesserte Version, ZIMPOL3, ergänzt oder gegebenenfalls ersetzt werden. Die Hard- und Software dafür befindet sich in der Entwicklung. Die teuren, maskierten Spezial-CCD-Sensoren stammen aus der ZIMPOL2-Produktion. Die Elektronik für ZIMPOL3 wird von S. Hagenbuch entwickelt, gebaut und getestet, die Kontroll- und Steuerungs-Software wird von P. Steiner geschrieben, die mechanischen Komponenten werden von F. Aebersold entworfen und gebaut.

Das neue System weist einen flexiblen, modularen Aufbau auf, der eine einfache Anpassung an neue Erfordernisse und Komponenten, z. B. CCD-Sensoren, ermöglichen soll. Es werden hochintegrierte Spezial-Bauteile verwendet, z. B. ein CCD-Signalprozessor und ein komplexer programmierbarer Logik-Baustein (FPGA). Der weitgehende Einsatz der SMD-Technologie erlaubt einen kompakten und störungsarmen Aufbau. Die neue Kamera kann direkt über eine Netzwerkverbindung bedient werden. Das Herz der Kamera-Elektronik ist ein Embedded Micro-Controller, der mit einem FIFO-Speicher und dem Sequenzer (FPGA) verbunden ist. Der Sequenzer erzeugt die Signale zur Steuerung des CCD-Sensors. Der FIFO-Speicher übernimmt den synchronen Strom der digitalisierten CCD-Signale und wird asynchron vom Micro-Controller ausgelesen.

Der Micro-Controller läuft unter Linux, das einen einfachen Netzwerkzugang über TCP/IP ermöglicht. Die Kamera-Software besteht aus zwei Modulen, dem Net-Server, der u. a. für Steuerbefehle, Fehlerbehandlung und Bilddatenerfassung zuständig ist und dem Hardware-

Driver, der u. a. die Datenströme kontrolliert. Das Konzept der neuen Kamera-Elektronik wurde mit einem Laboraufbau funktionell getestet. Ein Prototyp der ZIMPOL3-Kamera befindet sich in der Entwicklungs- und Testphase.

Bei ZIMPOL2 hat es sich gezeigt, dass die Steuer- und Vorverarbeitungs-Software wesentlich zur Brauchbarkeit des Systems beiträgt. Neben einfacher Bedienbarkeit haben sich Konfigurierbarkeit und Erweiterbarkeit der Software als wichtige Eigenschaften herausgestellt. Diese sollen bei ZIMPOL3 nochmals wesentlich verbessert werden. Das Software-Konzept wurde deshalb weiterentwickelt und insbesondere der Verfügbarkeit von miniaturisierten und leistungsfähigeren Ein-Chip-Computern und anderen Standard-Bausteinen angepasst.

Aus der Systemsicht wird das Instrument als dynamisch konfigurierbar betrachtet aus einer Anzahl von Hard/Software-Einheiten, wie Kameras, Motor-Controller, Modulatoren und reinen Software-Einheiten, wie Vor- und Nachauswertung, Benutzerschnittstellen, Script-Interpretation, die über ein Netzwerk kommunizieren. Aus der Software-Sicht erscheint das Instrument als verteiltes System, das aus verschiedenen auf mehreren Prozessoren laufenden Prozessen besteht, die durch logische Steuer- und Daten-Kanäle verbunden sind und bezüglich eines solchen Kanals (reaktiv) als Server oder (aktiv) als Client auftreten.

Das Software-Konzept basiert auf folgenden sich gegenseitig stützenden Prinzipien: die Einheiten kommunizieren durch textuelle, d. h. Anweisungs-basierte, symbolische und formal einheitlich definierte Duplex-Steuerdatenströme; die funktionalen Einheiten werden von ihren textuellen und graphischen Benutzer-Schnittstellen strikt getrennt; im Normalbetrieb vermittelt ein Script- und Kommandointerpreter zwischen Benutzerschnittstellen und Funktionseinheiten; die Programme der höheren Stufen werden als generische Programme mit dynamisch ladbaren textuellen Beschreibungsdateien, welche das spezifische Verhalten bestimmen, realisiert; funktionale Einheiten liefern den sie benutzenden höheren Einheiten eine formalisierte Beschreibung ihrer Parameter und Anweisungen, so dass sich diese weitgehend automatisch an die aktuelle Konfiguration anpassen können; schliesslich ist das Gesamtsystem strikt Ereignis-getrieben und der Kommandointerpreter und gewisse Funktionseinheiten unterstützen parallele Vorgänge wie z. B. die gleichzeitige mechanische Verstellung optischer Komponenten.

Polarisationsmodulatoren

Für Modellberechnungen und Optimierungen von unseren aktuellen und zukünftigen Modulatoren wurde ein Simulationsprogramm in Fortran 90 entwickelt. Das Programm erlaubt Simulationen von Modulatorsystemen bestehend aus einer beliebigen Anzahl von fixen und variablen Verzögerungselementen. Es ermöglicht Berechnungen der Stokesparameter, Resonanzmatrizen und Effizienzen als Funktion der Wellenlänge. Damit eine hohe Effizienz und/oder ein guter Achromatismus in einem bestimmten Wellenlängenbereich erreicht werden kann, können mit numerisch Optimierungs-routinen die besten Parameter (Winkel und Verzögerungen) der Einzelkomponenten gefunden werden.

Um mit unserem ZIMPOL2-System alle Stokesparameter gleichzeitig messen zu können, sind zwei Polarisationsmodulatoren erforderlich. Zur Zeit ist das technisch nur mit einer Kombination aus zwei FLCs und zwei fixen Verzögerungsplatten möglich. 2001 wurde ein erster Modulator dieser Art gebaut, mit dem wichtige technische Probleme gelöst wurden. Die Effizienz und der nutzbare Wellenlängenbereich dieses Geräts waren noch ungenügend. Als Weiterentwicklung dieser Technologie wurde ein zweiter Doppelmodulator mit einem verbesserten optische Design gebaut. Der neue Modulator hat eine stark verbesserte Effizienz, so dass Anwendungen im Bereich von 460 bis 700 nm möglich sind. Er ist nicht achromatisch, aber seine Wellenlängenabhängigkeit oberhalb 500 nm ändert sich nur langsam, so dass auch Anwendungen mit Breitbandfiltern (80 nm), wie wir sie in unseren Nachtanwendungen brauchen, möglich sind. Ausführliche Tests im Labor und am IRSOL zeigten, dass der neue Modulator die theoretische Leistungsfähigkeit in der Praxis sehr gut erfüllt.

Drei kundenspezifische Pockels-Zellen wurden bei Meadowlark Optics/USA für uns hergestellt. Die Zellen haben folgende Spezifikationen: 40 mm Durchmesser, 3 mm Dicke, nutzbarer Wellenlängenbereich 320–700 nm, Antireflexions-Beschichtung $< 1,25\%$, Verzögerung 10,6 V/nm, Kapazität 140 pF. Bei Verwendung eines Modulations-Schemas mit vier Zuständen (D. Elmore) kann man mit zwei Zellen in Kombination mit ZIMPOL2/3 alle vier Stokesparameter gleichzeitig messen. Für den Betrieb der Zellen werden spezielle Hochspannungstreiber im Institut entwickelt (D. Gisler, A. Feller).

Vektorpolarimetrie von Planeten

Die im Jahr 2002 begonnenen polarimetrischen Beobachtungen der Planeten mit ZIMPOL wurden im März 2003 auf Kitt Peak fortgeführt. Speziell für Nachtanwendungen angepasste Komponenten von ZIMPOL kamen das ersten Mal wissenschaftlich zur Anwendung. Im einzelnen sind dies: Eine modifizierte ZIMPOL2-Kamera, welche eine verbesserte CCD-Kühlung hat und dadurch Integrationszeiten von bis zu 20 Minuten pro Bild ermöglicht, eine Kamera mit Mikrolinsen auf dem Sensor, damit der Lichtverlust durch die Maske verringert werden kann und ein Prototyp eines achromatischen Modulators, bestehend aus drei FLCs. Es wurden Polarisationsbilder von Venus, Mars, Jupiter und Saturn bei verschiedenen Wellenlängen im sichtbaren Spektralbereich aufgenommen. Im speziellen konnte Saturn mit besserer Auflösung und grösserer polarimetrischer Genauigkeit gemessen werden. Von Jupiter wurden zusätzlich Messungen im UV-Bereich (bis 310 nm) durchgeführt werden.

Ergänzend zu unserem Messprogramm auf Kitt Peak wurden vom Mars während seiner letzten Opposition (August/September) am IRSOL zusätzliche Messungen gemacht. Dabei kam der neue FLC-Doppelmodulator zum Einsatz. (D. Gisler, H.M. Schmid, F. Joos)

Radio-Spektrometer mit FFT-Technologie

Radio-Spektrometer können wesentlich empfindlicher gemacht werden, wenn sie gleichzeitig auf allen Kanälen messen. Breitbandige Multikanal-Radiospektrometer gibt es bisher nur nach dem akusto-optischen Prinzip. Eine neue Möglichkeit mittels schnellem Sampling und anschließender Fourier-Transformation ist durch die Fortschritte der Digitalelektronik in Griffweite gerückt. Wir kombinieren mit einer kommerziellen Firma, Acqiris (Genf), und zwei Schweizer Fachhochschulen einen schnellen digitalen Sampler mit einem Rechner (FPGA-Chip), der die Fast-Fourier Transformation des zeitlichen Signalverlaufs genügend schnell schafft, so dass alle Information kontinuierlich erfasst wird. Die totale Bandbreite wird 1 GHz sein bei 16 000 Kanälen. Das Institut für Astronomie ist PI dieses zunächst technischen Projekts und wird das PC-Interface und die Benutzeroberfläche entwickeln. Die Hardware wird kommerziell hergestellt, FFT-Design und FPGA-Implementation geschieht an den Fachhochschulen. Das Multikanal-Spektrometer, ARGOS, wird zunächst für solare Beobachtungen eingesetzt, vor allem für gemeinsame Messungen mit internationalen Interferometern, wo grosse Empfindlichkeit wichtig und das Spektrum eine notwendige Ergänzung ist. Sehr gefragt wird das Multikanal-Spektrometer aber vor allem für Millimeter- und Submillimeter-Astronomie sein, wo seine grosse Stabilität und Frequenzauflösung allen bestehenden Spektrometern überlegen sein wird. Insbesondere wird das Spektrometer nächstes Jahr auf dem Gornegrat (KOSMA) eingesetzt werden, um Moleküllinien in Millimeterwellen zu messen (Ch. Monstein, M. Arnold, F. Aebersold).

Kostengünstiges Breitband-Spektrometer

Ein neues frequenz-agiles Spektrometer, CALLISTO, im Bereich der Dezimeterwellen ist im Bau. Es besteht aus kommerziellen Komponenten mit sehr geringen Hardware-Kosten. Sie verschwinden neben den Kosten für die Entwicklung des Prototyps und der Software. Lehrlinge können die Hardware leicht nachbauen. Wir haben uns daher entschlossen, mehrere Spektrometer bauen zu lassen. Sie werden für verschiedene Zwecke eingesetzt, zunächst aber zur Beobachtung der Sonnenaktivität mit dem eigenen Teleskop. Später werden wir das Instrument auch an anderen Teleskopen einsetzen. Das amerikanische National Radio Observatory (NRAO) hat uns um eine Kopie des Spektrometers angefragt. Callisto wiegt

nur 1,8 Kilogramm und ist leicht zu transportieren. Das Gerät könnte auch in entlegenen Bergregionen eingesetzt werden, wo der terrestrische Funkverkehr die Messungen weniger stört. Die Beweglichkeit des Spektrometers war ein grosser Vorteil, als wir uns entschlossen, mit ihm die hohe Sonnenaktivität vom Oktober und November 2003 zu registrieren. Callisto wurde innert weniger Stunden am Übungsteleskop für Studenten, Praxos, installiert und erweiterte unseren Beobachtungsbereich auf 40 MHz hinunter. Die ersten Daten sind bereits wissenschaftlich brauchbar und übertreffen die Erwartungen (C. Monstein, H. Meyer).

Verbesserungen am Radiospektrometer Phoenix-2

Das Radiospektrometer Phoenix-2 ist seit 1998 im Dauerbetrieb und beobachtet seit 2002 ein Übersichtsspektrum von 100 MHz bis 4 GHz der Sonne in Stokes I und V mit einer Zeitauflösung von 0,1 Sekunden. Im vergangenen Jahr wurde die Radiostrahlung der Sonne praktisch lückenlos aufgezeichnet von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang. Das Teleskop wurde weiter ausgebaut. Das Pointing konnte mittels genauer Messungen der Richtcharakteristik der Antenne und eines neuen Regelmechanismus in der Nachführung verbessert werden. Die Sicherheit gegen Hacker und Viren wurde stark erhöht. Die Daten finden vor allem im Zusammenhang mit Röntgenbeobachtungen des RHESSI-Satelliten Verwendung (Ch. Monstein, M. Arnold, H. Meyer, F. Aebersold).

4 Veröffentlichungen

Erschienen:

- Arzner, K.: Time-domain demodulation of RHESSI light curves. *Solar Phys.* **210** (2003), 213–227
- Audard, M., Güdel, M., Skinner, S.L.: Separating the X-Ray Emissions of UV Ceti A and B with Chandra. *Astrophys. J.* **589** (2003), 983–987
- Audard, M., Güdel, M., Sres, A., Raassen, A.J.J., Mewe, R.: A Study of Coronal Abundances in RS CVn Binaries. *Astron. Astrophys.* **398** (2003), 1137–1149
- Barrientos, L.F., Lilly, S.J.: Evolution of Cluster Elliptical Galaxies. *Astrophys. J.* **596** (2003), 129–142
- Benz, A.O., Saint-Hilaire, P.: Solar flare electron acceleration: comparing theories and observations. *Adv. Space Res.* **32** (2003), 2415–2423
- Benz, A.O., Grigis, P.C.: Micro-events in the active and quiet solar corona. *Adv. Space Res.* **32** (2003), 1035–1042
- Benz, A.O., Grigis, P.C.: Microflares and hot component in solar active regions. *Solar Phys.* **431** (2003), 431–444
- Benz, A.O.: Solar Activity. *Trans. IAU* **25A** (2003), 75–88
- Benz, A.O.: The Sun and Heliosphere. *Trans. IAU* **25A** (2003), 73–74
- Benz, A.O.: Radio diagnostics of energy release. In: Klein, K.-L. (ed.): *Energy Conversion and Particle Acceleration in the Solar Corona. Lect. Not. Phys.* **612** (2003), 80–95
- Berdyugina, S.V., Solanki, S.K., Frutiger C.: The molecular Zeeman effect and diagnostics of solar and stellar magnetic fields II. Synthetic Stokes profiles in the Zeeman regime. *Astron. Astrophys.* **412** (2003), 513–527
- Berdyugina, S.V., Usoskin, I.G.: Active longitudes in sunspot activity: Century scale persistence. *Astron. Astrophys.* **405** (2003), 1121–1128
- Berdyugina, S.V., Telting, J.H., Korhonen, H.: Surface imaging of stellar non-radial pulsations. I. Inversions of simulated data. *Astron. Astrophys.* **406** (2003), 273–280

- Berdyugina, S.V., Telting, J.H., Korhonen, H., Schrijvers, C.: Surface imaging of stellar non-radial pulsations. II. The β Cephei star ω^1 Sco. *Astron. Astrophys.* **406** (2003), 281–285
- Berdyugina, S.V., Solanki, S.K., Stenflo, J.O.: Molecules as diagnostics of solar and stellar magnetic fields. In: Trujillo Bueno, J., Sánchez Almeida, J. (eds.): *Solar Polarization. Proc. 3rd Int. Workshop. Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **307** (2003), 181–194
- Berdyugina, S.V., Solanki, S.K., Lagg, A.: New Molecular Indicators of Sunspot Magnetic Fields: Infrared OH lines. In: Pevtson, A.A., Uitenbroek, H. (eds.): *Current theoretical models and future high resolution solar observations: Preparing for ATST. Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **286**, (2003), 299–305
- Berger, T.E., Berdyugina, S.V.: The observation of sunspot light-bridge structure and dynamics. *Astrophys. J.* **589** (2003), L117–L121
- van den Besselaar, E.J.M., Raassen, A.J.J., Mewe, R., van der Meer, R.L.J., Güdel, M., Audard, M.: AD Leonis: Flares Observed by XMM-Newton and Chandra. *Astron. Astrophys.* **411** (2003), 587–593
- van den Besselaar, E.J.M., Raassen, A.J.J., Mewe, R., van der Meer, R.L.J., Güdel, M., Audard, M.: AD Leonis: Analysis of the X-Ray Spectrum. *Adv. Space Res.* **32** (2003), 1155–1159
- Bianda, M.: Observations of Scattering Polarization and the Hanle Effect in the Sun's Atmosphere. Dissertation, ETH No. 15010 (2003)
- Bianda, M., Stenflo, J.O., Gandorfer, A., Gisler, D.: Enigmatic magnetic field effects in the scattering polarization of the Ca I 4227 Å line In: Pevtson, A.A., Uitenbroek, H. (eds.): *Current theoretical models and future high resolution solar observations: Preparing for ATST. Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **286**, (2003), 61–68
- Briggs, K.R., Pye, J.P.: XMM-Newton and the Pleiades – I. Bright Coronal Sources and the X-ray Emission from Intermediate-Type Stars. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **345** (2003), 714–726
- Briggs, K.R., Pye, J.P.: Chasing Coronal X-ray Emission to the End of the Pleiades Main Sequence ... and Beyond? *Adv. Space Res.* **36** (2003), 1081–1085
- Briggs, K.R., Güdel, M., Audard, M., Smith, K., Mewe, R., den Boggende, T.: X-Ray Emission from Pre-Main Sequence Stars in the Orion Star-Forming Region. *Astron. Nachr.* **324** (2003), 9–10
- Corsini, E.M., Debattista, V.P., & Aguerri, J. A. L.: Direct Confirmation of Two Pattern Speeds in the Double Barred Galaxy NGC 2950. *Astrophys. J.* **599** (2003), L29–L32
- Fluri, D.M., Stenflo, J.O.: Depolarizing lines in the Sun's spectrum. *Astron. Astrophys.* **398** (2003), 763–773
- Fluri, D.M., Nagendra, K.N., Frisch, H.: An operator perturbation method for polarized line transfer. VI. Generalized PALI method for Hanle effect with partial frequency redistribution and collisions. *Astron. Astrophys.* **400** (2003), 303–317
- Fluri, D.M.: Radiative Transfer with Polarized Scattering in the Magnetized Solar Atmosphere. Dissertation, ETH No. 15007 (2003)
- Fluri, D.M., Holzreuter, R., Klement, J., Stenflo, J.O.: Radiative transfer in Na I D₂ and D₁. In: Trujillo Bueno, J., Sánchez Almeida, J. (eds.): *Solar Polarization. Proc. 3rd Int. Workshop. Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **307** (2003), 263–269
- Foucaud, S., McCracken, H.J., Le Fèvre, O., Arnouts, S., Brodwin, M., Lilly, S.J., Cramp-ton, D., Mellier, Y.: The Canada-France deep fields survey-II: Lyman-break galaxies and galaxy clustering at $z \sim 3$. *Astrophys. J.* **409** (2003), 835–850
- Güdel, M.: Energy Release in Stellar Coronae – Review. *Adv. Space Res.* **32** (2003), 1011–1020

- Güdel, M., Arzner, K., Audard, M., Mewe, R.: Tomography of a Stellar X-Ray Corona: α Coronae Borealis. *Astron. Astrophys.* **403** (2003), 155–171
- Güdel, M., Audard, A., Drake, J.J., Kashyap, V.K., Guinan, E.F.: Are Coronae of Magnetically Active Stars Heated by Flares? II. EUV and X-Ray Flare Statistics. *Astrophys. J.* **582** (2003), 423–442
- Güdel, M.: Stellar Coronal Structure and Flares. *Astron. Nachr.* **324** (2003), 11
- Güdel, M.: The Sun in Time: From PMS to Main Sequence—Review. In: Meunier, N., Arnaud, J. (eds.): *Magnetism and Activity of the Sun and Stars*. (2003), 339–349
- Güdel, M., Audard, M., Mewe, R., Raassen, A.J.J., Behar, E., Foley, C.R., Magee, H., Beasley, A.J., Smith, K., Benz, A.O.: A Systematic Spectroscopic X-Ray Study of Stellar Coronae with XMM-Newton. In: Brown, A., Harper, G.M., Ayres, T.R. (eds.): *Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun*. 12th Cambridge Workshop. (2003), <http://origins.colorado.edu/cs12/>
- Hawkins, E., Maddox, S., Cole, S., Lahav, O., Madgwick, D.S., Norberg, P., Peacock, J.A., et al. (the 2dFGRS Team): The 2dF Galaxy Redshift Survey: correlation functions, peculiar velocities and the matter density of the Universe. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **346** (2003), 78–96
- Henault, F., Bacon, R., Bonneville, C., Boudon, D., Davies, R. L., Ferruit, P., Gilmore, G. F., LeFevre, O., Lemonnier, J.-P., Lilly, S. and 4 coauthors: MUSE: a second-generation integral-field spectrograph for the VLT. *Proc. SPIE* **4841** (2003), 1096–1107
- Hughes M.A. Alonso-Herrero, A., Axon, D., Scaralata, C., Atkinson, J., Batcheldor, D., Binney, J., Capetti, A., Carollo, C.M., Dressel, L and 10 coauthors: An Atlas of Hubble Space Telescope Spectra and Images of Nearby Spiral Galaxies. *Astron. J.* **126** (2003), 742–761
- Lilly, S.J., Carollo, C.M., Stockton, A.N.: The Metallicities of Star-forming Galaxies at Intermediate Redshifts $0.47 < z < 0.92$. *Astrophys. J.* **597** (2003), 730–750
- Lilly, S.J.: The Assembly of Galaxies. *BAAS* (2003), 20312403
- Lin, R.P. et al. incl. Benz A.O.: The Reuven Ramaty High-Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI). *Solar Phys.* **210** (2003), 3–32
- Lin, R.P., Dennis, B.R., Benz, A.O. (eds.): *The Reuven Ramaty High-Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI)-Mission Description and Early Results*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 456 pages (2003)
- den Herder, J.-W., et al. incl. Güdel, M.: Performance and Results of the Reflection Grating Spectrometers On-Board XMM-Newton. *Proc. SPIE* **4851** (2003), 196–207
- Kashyap, V., Drake, J.J., Güdel, M., Audard, M.: Modeling Stellar Microflares. In: Feigelson, E.D., Babu, G.J. (eds.): *Statistical Challenges in Modern Astronomy III*. (2003), 451–452
- Klement, J., Stenflo, J.O.: Influence of Collisions and Magnetic Fields on the Polarization of the Na I D₁ and D₂ Lines. In: Trujillo Bueno, J., Sánchez Almeida, J. (eds.): *Solar Polarization*. *Proc. 3rd Int. Workshop. Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **307** (2003), 278–283
- Madgwick, D.S., Hawkins, E., Lahav, O., Maddox, S., Norberg, P., Peacock, J.A., et al. (the 2dFGRS Team): The 2dF Galaxy Redshift Survey: galaxy clustering per spectral type. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **344** (2003), 847–856
- Magliocchetti, M. and Porciani, C.: The Halo Distribution of 2dF Galaxies. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **346** (2003), 186–198
- Magee, H.R.M., Güdel, M., Audard, M., Mewe, R.: An XMM-Newton Observation of the Flare Star AU Mic. *Adv. Space Res.* **32** (2003), 1149–1154

- Marconi A., Axon, D.L., Capetti, A., Maciejewski, W., Atkinson, J., Batcheldor, D., Binney, J., Carollo, C.M., Dressel, L., Ford, H., and 9 coauthors: Is there really a black hole at the center of NGC 4041? Constraints from gas kinematics. *Astrophys. J.* **586** (2003), 868–890
- Mathew, S.K., Lagg, A., Solanki, S.K., Collados, M., Berdyugina, S.V., Frutiger, C., Krupp, N., Woch, J.: Three dimensional structure of a sunspot. In: Trujillo Bueno, J., Sánchez Almeida, J. (eds.): *Solar Polarization. Proc. 3rd Int. Workshop. Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **307** (2003)
- Mathew, S.K., Solanki, S.K., Lagg, A., Collados, M., Berdyugina, S.V., Frutiger, C., Krupp, N., Woch, J.: Structure of a simple sunspot from the inversion of IR spectral data. *Astron. Nachr.* **324** (2003), 388–389
- Mathew, S.K., Lagg, A., Solanki, S.K., Collados, M., Borrero, J.M., Berdyugina, S.V., Krupp, N., Woch, J., Frutiger, C.: Three dimensional structure of a regular sunspot from the inversion of IR Stokes profiles. *Astron. Astrophys.* **410** (2003), 695–710
- Mewe, R., Raassen, A.J.J., Cassinelli, J.P., van der Hucht, K.A., Miller, N.A., Güdel, M.: High-Resolution X-Ray Spectroscopy of τ Scorpii (B0.2V) with XMM-Newton. *Astron. Astrophys.* **398** (2003), 203–211
- Mewe, R., Raassen, A.J.J., Cassinelli, J.P., van der Hucht, K.A., Miller, N.A., Güdel, M.: High-Resolution XMM-Newton X-Ray Spectra of τ Scorpii. *Adv. Space Res.* **32** (2003), 1167–1173
- Molotov, I., et al. incl. Benz, A. O.: International Low-Frequency Very-Long-Baseline Interferometry Network Project Milestones. *Astron. Astrophys. Trans.* **22** (2003), 743–752
- Nagendra, K.N., Frisch, H., Fluri, D.M.: Numerical Methods for Solving the Polarized Line Transfer Equations with Partial Frequency Redistribution. In: Trujillo Bueno, J., Sánchez Almeida, J. (eds.): *Solar Polarization. Proc. 3rd Int. Workshop. Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **307** (2003)
- Ness, J.-U., Audard, M., Schmitt, J.H.M.M., Güdel, M.: Coronal Densities and Temperatures for Cool Stars in Different Stages of Activity. *Adv. Space Res.* **32** (2003), 937–943
- Ness, J.-U., Schmitt, J.H.M.M., Audard, M., Güdel, M., Mewe, R.: Are Stellar Coronae Optically Thin in X-Rays? A Systematic Investigation of Opacity Effects. *Astron. Astrophys.* **407** (2003), 347–358
- Noel-Storr J., Baum S.A., Verdoes Kleijn G., van der Marel R.P., O’Dea C.P., de Zeeuw P.T., Carollo C.M.: Space Telescope Imaging Spectrograph Spectroscopy of the Emission-Line Gas in the Nuclei of Nearby FR-I Galaxies. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **148** (2003), 419–472
- Norberg, P., Eke, V., and the 2dFGRS Team: Identifying groups and clusters in the 2dFGRS. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **285** (2003), 205–209
- Olsen, J.E., Kirk, E.C., Lerch, P., Huber, M.E., Arzner, K., Hajdas, W., Zehnder, A., Ott, H.R.: Study of a Mo-Au TES deposited directly on a freestanding membrane. *Nucl. Instrum. Methods A*, December 20, 2003
- Paesold, G., Benz A.O.: Test particle simulation of the Electron Firehose instability. *Astron. Astrophys.* **401** (2003), 711–720
- Paesold, G., Kallenbach, R., Benz, A.O.: Acceleration and Enrichment of ^3He in Impulsive Solar Flares by Electron Firehose Waves. *Astrophys. J.* **582** (2003), 495–505
- Raassen, A.J.J., van der Hucht, K.A., Mewe, R., Antokhin, I., Rauw, G., Vreux, J.-M., Schmutz, W., Güdel, M.: XMM-Newton High-Resolution X-Ray Spectroscopy of the Wolf-Rayet Object WR25 (HD93162, WN6ha) in the Carina OB1 Association. *Astron. Astrophys.* **402** (2003), 653–666

- Raassen, A.J.J., Mewe, R., Audard, M., Güdel, M.: The X-Ray Spectrum of the Flaring and Quiescent State of AT Microscopii Observed by XMM-Newton. *Astron. Astrophys.* **411** (2003), 509–515
- Raassen, A.J.J., van der Hucht, K.A., Mewe, R., Antokhin, I., Rauw, G., Vreux, J.-M., Schmutz, W., Güdel, M.: XMM-Newton High-Resolution X-Ray Spectroscopy of the Wolf-Rayet Object WR25 (WN6HA+04F). *Adv. Space Res.* **32** (2003), 1161–1165
- Rieke, M.J., Baum, Stefi A., Beichman, C.A., Crampton, D., Doyon, R., Eisenstein, D., Greene, T.P., Hodapp, K.-W., Horner, S.D., Johnstone, D., and 10 coauthors including Lilly, S.: NGST NIRCcam Scientific Program and Design Concept. *Proc. SPIE* **4850** (2003), 478–485
- Saint-Hilaire, P., Benz A. O.: Hard X-rays, ejecta, and their associated decimetric radio emission in solar flares. *Solar Phys.* **216** (2003), 205–224
- Saint-Hilaire, P., von Praun, C., Stolte, E., Alonso, G., Benz, A.O., Gross, T.: The RHESSI Experimental Data Center. *Solar Phys.* **210** (2003), 143–164
- Saint-Hilaire, P., Benz, A.O.: Energy budget and imaging spectroscopy of a compact flare. *Solar Phys.* **210** (2003), 287–306
- Schwartz R.A., Hurford G.J., Csillaghy A., McTiernan J., Tolbert K., Zarro D.M.: Data Analysis Software: Rationale and Methods. *Solar Phys.* **210** (2003), 165–191
- Smith, K., Pestalozzi, M., Güdel, M., Conway, J., Benz, A.O.: VLBI Observations of T Tauri South. *Astron. Astrophys.* **406** (2003), 957–967
- Stenflo, J.O.: Spectro-Polarimetry. In: Dwivedi, B.N. (ed.): *Dynamic Sun*. Cambridge Univ. Press (2003), 128–147
- Stenflo, J.O.: Imaging polarimetry: Opportunities and limitations. In: Fineschi, S. (ed.): *Polarimetry in Astronomy*. *Proc. SPIE* **4843** (2003), 76–88
- Stenflo, J.O.: Scattering polarization in magnetic fields: Anomalies, surprises, and enigmas. In: Trujillo Bueno, J., Sánchez Almeida, J. (eds.): *Solar Polarization*. *Proc. 3rd Int. Workshop. Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **307** (2003), 385–398
- Stenflo, J.O.: Spectro-polarimetric observations: What's next? In: Trujillo Bueno, J., Sánchez Almeida, J. (eds.): *Solar Polarization*. *Proc. 3rd Int. Workshop. Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **307** (2003), 583–592
- Stenflo, J.O., Holzreuter, R.: Distribution of magnetic fields at scales beyond the spatial resolution limit. In: Pevtson, A.A., Uitenbroek, H. (eds.): *Current theoretical models and future high resolution solar observations: Preparing for ATST*. *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* **286**, (2003), 169–176
- Stenflo, J.O., Holzreuter, R.: Flux tubes or fractal distributions – on the nature of photospheric magnetic fields. In: Kneer, F. (ed.): *From the Gregory Coudé Telescope to GREGOR: A Development from Past to Future*. *Astron. Nachr.* **324** (2003), 397
- Telleschi, A., Güdel, M., Briggs, K. R., Audard, M., Ness, J.-U., Mewe, R., Raassen, A.J.: Coronal X-Ray Spectroscopy of Solar Analogs. *Astron. Nachr.* **324** (2003), 110–111
- Tran, K., Franx, M., Illingworth, G. Kelson, D. and van Dokkum, P.: The Nature of E+A Galaxies in Intermediate Redshift Clusters. *Astrophys. J.* **599** (2003) 865–885
- Waskett, T.J., Eales, S.A., Gear, W.K., Puchnarewicz, E.M., Lilly, S., Flores, H., Webb, T., Clements, D., Stevens, J.A., Thuan, T.X.: XMM-Newton surveys of the Canada-France Redshift Survey fields – I. The submillimetre/X-ray relation. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **341** (2003), 1217–1225
- Webb, T.M.A., Lilly, S.J., Clements, D.L., Eales, S., Yun, M., Brodwin, M., Dunne, L., Gear, W.K.: The Canada-UK Deep Submillimeter Survey. VII. Optical and Near-Infrared Identifications for the 14 Hour Field. *Astrophys. J.* **597** (2003), 680–698

- Webb, T.M.A., Eales, S.A., Lilly, S.J., Clements, D.L., Dunne, L., Gear, W.K., Ivison, R.J., Flores, H., Yun, M.: The Canada-UK Deep Submillimeter Survey. VI. The 3 Hour Field. *Astrophys. J.* **587** (2003), 41–54
- Webb, T.M.A., Eales, S., Foucaud, S., Lilly, S.J., McCracken, H., Adelberger, K., Steidel, C., Shapley, A., Clements, D.L., Dunne, L., and 3 coauthors: The Canada-United Kingdom Deep Submillimeter Survey. V. The Submillimeter Properties of Lyman Break Galaxies. *Astrophys. J.* **582** (2003), 6–16

Arnold O. Benz