

# Köln

## I. Physikalisches Institut der Universität zu Köln

Zülpicher Straße 77, 50937 Köln  
 Telefon: (0221) 470-3567, Telefax: (0221) 470-5162  
 e-Mail: ...@ph1.uni-koeln.de  
 WWW: <http://www.ph1.uni-koeln.de>

### 0 Allgemeines

Die Arbeiten am Institut konzentrieren sich auf drei Schwerpunkte: die Astrophysik der interstellaren Materie und Sternentstehung, die Entwicklung von Empfängersystemen, Spektrometern und Kameras für den Submillimeter-, Ferninfrarot- und Nahinfrarot-Spektralbereich und die Molekülspektroskopie im Labor. Alle Projekte werden neben der Finanzierung durch die Universität und das Land NRW zu wesentlichen Teilen durch den Anfang 2000 neu ins Leben gerufenen Sonderforschungsbereich 494 „Die Entwicklung der Interstellaren Materie: Terahertz-Spektroskopie im Weltall und Labor“ gefördert. Der neue SFB löst damit den SFB 301 ab, dessen Themenschwerpunkt über die vergangenen 15 Jahre „Die Physik und Chemie der interstellaren Molekülwolken“ war. Das Institut ist an der Entwicklung von Komponenten (Mischer, Spektrometer) für das Heterodyninstrument HIFI auf dem Herschel-Ferninfrarotsatelliten beteiligt, der 2007 starten soll. Die technologischen Entwicklungen werden zusätzlich durch das DLR und das BMFT im Rahmen der Verbundforschung Astronomie und des Weltraumprogramms gefördert. An zentraler Stelle des neuen SFB stehen die Entwicklung von Instrumentierung für das Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy SOFIA, das ab 2004 in Betrieb geht.

Das Institut betreibt in Zusammenarbeit mit dem Radioastronomischen Institut der Universität Bonn ein 3-m-Submillimeterteleskop auf dem 3100 m hohen Gornergrat bei Zermatt in der Schweiz. Das Kölner Observatorium für Submillimeter-Astronomie (KOSMA) wird verwaltet von der International Foundation Jungfrauoch & Gornergrat in Bern.

### 1 Personal und Ausstattung

#### 1.1 Personalstand

##### *Direktoren und Professoren:*

Prof. Dr. A. Eckart [-3546], Prof. Dr. R. Schieder [-3568], Prof. Dr. J. Stutzki [-3494], Prof. Dr. G. Winnewisser (geschäftsführender Direktor) [-3567].

##### *Wissenschaftliche Mitarbeiter:*

Dr. F. Bensch [3485], Dr. U. Berndt [3556], Dr. R. Bieber [3495], Dr. U. Corneliussen [3558], Dr. T. Drascher [3556], Dr. R. Gendriesch [2757], Dr. T. Giesen [4529], Dr. U. Graf [4092], Dr. S. Haas [3560], Dr. N. Honingh [4528], Dr. K. Jacobs [3484], Dr. S. Jeyakumar [3485], Dr. G. Klapper [3483], Dr. C. Kramer [3484], Dr. S. Leon [], Dr. F. Lewen [3489],

Dr. M. Miller [3558], Dr. E. Michael [4092], Dr. C. Möckel [3495], Dr. H. Müller [3554], Dr. V. Ossenkopf [3485], Dr. I. Pak [3560], Prof. Dr. S. Pfalzner [3491], Dr. D. Roth [6157], Dr. A. Schröder [3497], Dr. O. Siebertz [3483], Dr. C. Straubmeier [-3552], Dr. A. R. Tieftrunk [3483], Dr. B. Vowinkel [3550], Dr. M. Zielinsky.

*Doktoranden:*

M. Brandt, M. Brüll, U. Fuchs, G. Fuchs, S. Glenz, H. Hafok, S. Heyminck, P. Pütz, C. Robertz, F. Schlöder, G. Sonnabend, S. Stanko, J. Stodolka, S. Thorwirth, M. Wangler, M. Wingender.

*Diplomanden:*

A. Borch, S. Bedorf, M. Hartwich, M. Krips, A. Müller, J. Scharwächter.

*Sekretariat und Verwaltung:*

S. Krämer [3499], B. Krause [3498], M. Selt [3562], K. Sprinkle [7028], A. Vieren [5736].

## 2 Wissenschaftliche Arbeiten

Der SFB 494 befasst sich mit der Thematik der Entwicklung der interstellaren Materie. In einem Temperaturbereich, der von etwa 10 K in kalten Dunkelwolken bis ungefähr 2000 K in wärmeren Sternentstehungsgebieten reicht, kann die von der interstellaren Materie ausgesandte Strahlung aufgrund ihrer relativ geringen Energie am besten in der Übergangsregion zwischen dem Radio- und Infrarotbereich – im Terahertz-Band des elektro-magnetischen Spektrums – gemessen werden. Untersuchungen in diesem Wellenlängenbereich sind von fundamentaler Bedeutung für das Verständnis der Sternbildung aus Molekülwolkenkernen und der Entwicklung der Galaxien selbst. Das Terahertz-Band ist aufgrund der beträchtlichen technologischen Schwierigkeiten, die sowohl in der Detektion der Strahlung wie auch in der limitierten Transparenz der Erdatmosphäre gründen, spektroskopisch aber bisher am wenigsten erforscht. An zentraler Stelle des neuen SFB 494 stehen somit die Beobachtungsflüge mit dem Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy (SOFIA) und die Entwicklung der dafür nötigen Instrumentierung, die auch für bevorstehende Satelliten-Observatorien wie das Herschel Space Observatory einsetzbar sein soll. Parallel hierzu ist die direkte Untersuchung der zu beobachtenden Kohlenstoffketten- und Kohlenstoffring-Moleküle im Labor unabdingbar. In ihrer Komplexität sind diese Makro-Moleküle zwischen den bisher untersuchten einfacheren Spezies und den PAHs (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe) einzuordnen und astrophysikalisch somit von grosser Tragweite.

### 2.1 Technische Entwicklungen

*KOSMA-Teleskop*

Die guten atmosphärischen Bedingungen des Standortes auf dem Gornegrat sowie die Oberflächengenauigkeit des neuen Teleskops erlauben astronomische Beobachtungen bis in die höchsten von der Erde aus zugänglichen atmosphärischen Fenster (bis ca. 900 GHz). Im Winter 1999/2000 kam ein Zweikanal-SIS-Empfänger zum Einsatz, der simultane Beobachtungen bei 345 und 690 GHz erlaubt. Im Sommer und Herbst 2000 wurden Messungen von CO und Isotopomeren bei 345 GHz und später simultan bei 230 GHz durchgeführt. In Zusammenarbeit mit dem Institut für angewandte Physik in Bern (Schweiz) machten wir einige vielversprechende Testmessungen der Kontinuumsstrahlung der Sonne bei 230 und 345 GHz.

*Submillimeter- und Ferninfrarot-Instrumentierung*

Der Empfänger wird durch eine im Hause entwickelte Kühlmaschine mit geschlossenem Heliumkreislauf betrieben. Ein Array-Empfänger zur simultanen Beobachtung bei 490 und 810 GHz mit jeweils 4 Pixeln ist derzeit im Bau und soll im Winter 2001/2 am Teleskop installiert werden. Dieser Empfänger erlaubt die simultane Beobachtung der beiden einzigen Feinstrukturübergänge von atomarem Kohlenstoff im Submillimeterbereich.

Darüberhinaus wird in Zusammenarbeit mit dem MPIfR (Bonn) und dem DLR (Berlin) ein Empfänger für das Flugzeugprojekt SOFIA entwickelt. Der Frequenzbereich über 1 THz, der aufgrund der atmosphärischen Absorption vom Erdboden aus nicht beobachtbar ist, wird damit erstmals für hochempfindliche Heterodynspektroskopie zugänglich. Die Beobachtungsschwerpunkte in diesem Wellenlängenbereich sind die Untersuchung der interstellaren Feinstrukturemission von ionisiertem Kohlenstoff bei 1.9 THz, des Rotationsübergangs von HD bei 2.7 THz und der Feinstrukturlinien von [OI] bei 2.1 und 4.8 THz.

Die Entwicklung radioastronomischer Backends am Institut konzentriert sich auf akustooptische Spektrometer (AOS). Zur Zeit stehen am KOSMA Observatorium vier Spektrometer zur Verfügung: zwei breitbandige (1 GHz) AOS mit einer Frequenzauflösung von etwa 700 kHz, wovon eins eine Variation der Auflösung bis hin zu 320 kHz erlaubt, sowie zwei schmalbandigere AOS mit mittlerer (170 kHz) und hoher (30 kHz) Frequenzauflösung. Ausserdem wurde ein akusto-optisches Kontinuum-Backend gebaut. In Köln gebaute AOS sind neben KOSMA aber auch an verschiedenen anderen Observatorien (SEST, AST/RO, SWAS, Karlsruher Kernforschungszentrum) im permanenten Einsatz.

Eine wichtige Weiterentwicklung im Hinblick auf den geplanten Einsatz von Array-Empfängern stellen Array-AOS dar. Durch Verwendung eines 4-Kanal-Array-Deflektors können in einem bereits fertiggestellten Prototyp vier Empfängerkanäle gleichzeitig verarbeitet werden. Ende 2000 wurde ein Kölner Array-AOS am 1.7-m-Südpolteleskop AST/RO installiert. Zusammen mit dem Array-Empfänger POLSTAR sollen im antarktischen Winter 2001 Kartierungen des 2–1 Übergangs von atomarem Kohlenstoff durchgeführt werden. Für das Heterodyninstrument HIFI auf dem Herschel-Satelliten sind zwei weitere Array-AOS mit einer gesamten Bandbreite von 8 GHz in Vorbereitung.

Die KOSMA Arbeitsgruppe für supraleitende Detektoren und Mischer entwirft, entwickelt und fabriziert supraleitende elektronische Bauelemente, die als Heterodyn-Detektoren und Lokaloszillatoren für die spektroskopische Empfänger eingesetzt werden. Zu den laufenden Projekten gehört die Entwicklung von Mischern für das KOSMA-Teleskop und für Partnergruppen (fünf der 800-GHz-Mischer sind zur Zeit am AST/RO Teleskop an der Amundsen-Scott-Südpolstation (CARA) eingesetzt), die Entwicklung von Terahertz-Mischern für GREAT, einen Empfänger für das Stratospheric Observatory for Far Infrared Astronomy (SOFIA) und die Entwicklung eines raumfahrttauglichen hochempfindlichen Mischers für das Band 2 (640–800 GHz) der ESA Cornerstone Mission Herschel.

#### *Nahinfrarot-Instrumentierung*

Weiterhin plant das I. Physikalisches Institut der Universität zu Köln, sich an der Instrumentierung des Large Binocular Telescope (LBT) zu beteiligen. Das derzeit auf dem Mt. Graham in Arizona in Bau befindliche und voraussichtlich 2003 in Betrieb gehende LBT ist ein Zwillingsteleskop in Fizeauanordnung, zu dem mehrere astronomische Forschungsinstitute in Deutschland 25 % des Gesamtbudgets durch die LBT-Beteiligungsgesellschaft beisteuern. Die beiden in einem Abstand von 14 Metern montierten Hauptspiegel haben einen Durchmesser von 8.4 m und werden unter Verwendung von adaptiver Optik beugungsbegrenzt betrieben werden. Im Vergleich zu anderen Teleskopen wird die Zusammenschaltung der beiden Spiegel als Interferometer eine bisher unerreichte Kombination aus Winkelauflösung (10 bis 20 Millibogensekunden im nahen Infrarot), Bildfeld (20 Bogen Sekunden bis eventuell 2 Bogenminuten) und Empfindlichkeit (bei 2  $\mu\text{m}$  Wellenlänge etwa 28. Magnitude für Punktquellen nach 3 Stunden Beobachtungszeit mit einem Signal-zu-Rausch-Verhältnis von 10) darstellen. Das I. Physikalisches Institut will dabei in Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg den Strahlvereiner und eine beugungsbegrenzt arbeitende abbildende Kamera für den nahen Infrarotbereich von 1.5  $\mu\text{m}$  bis 2.5  $\mu\text{m}$  bauen. Der geplante Beitrag der Kölner Gruppe umfaßt insbesondere den Bau, die Qualifikation und den Betrieb des Kryostaten sowie des „fringe trackers“. Der fringe tracker ist ein eigenständiges Gerät der adaptiven Optik und ermöglicht, die Positionen des charakteristischen Interferenzstreifenmusters des LBT Zwillingsteleskops zu bestimmen und somit den durch die Atmosphäre verursachten Gangunterschied zwi-

schen den Wellenfronten der beiden Hauptspiegel zu messen. Nur anhand der Signale des fringe trackers kann dieser Gangunterschied von der adaptiven Optik der Teleskopspiegel korrigiert und ein interferometrischer Betrieb der Kamera erreicht werden. Diese beiden Komponenten stellen einen grundlegenden Beitrag des I. Physikalisches Instituts zur interferometrischen Nahinfrarot-Kamera des LBT dar.

### *Laborspektroskopie*

Die astronomischen Beobachtungen bis nahe an Frequenzen im THz-Bereich werden von entsprechenden Labormessungen leichter Hydride wie SH, H<sub>2</sub>S, CH<sub>2</sub> etc. sowie der astrophysikalisch relevanten Kohlenstoff-Isotope <sup>12</sup>C und <sup>13</sup>C begleitet. Die hierbei im Moment eingesetzten monochromatischen Strahlungsquellen (Backward Wave Oszillator, FIR-Laser) können in Zukunft als Lokaloszillatoren eingesetzt werden und legen so die Basis für die Entwicklung höchstfrequenter Empfänger.

Basierend auf Entwicklungen in der Laborspektroskopie wurde ein IR-Heterodynempfänger aufgebaut. Durch den Einsatz einer abstimmbaren Laserdiode als Lokaloszillator fallen die Einschränkung des herkömmlichen IR-Heterodyn-Systems, mit CO<sub>2</sub>-Laser-LO, hinsichtlich der spektralen Abdeckung weg.

## 2.2 Astronomie und Astrophysik

### *Galaktische Astronomie*

Mit dem 2-Kanal (230/345 GHz) SIS-Empfänger wurde die Kartierung von Teilen des galaktischen molekularen Rings bei <sup>13</sup>CO  $J = 2 \rightarrow 1$  und <sup>12</sup>CO  $J = 3 \rightarrow 2$  fortgeführt. Die <sup>13</sup>CO Karte umfasst jetzt ein Gebiet von annähernd 0.4 deg<sup>2</sup> auf einem Raster von 30". In Ergänzung zur weiträumigen Kartierung des molekularen Rings mit dem FCRAO in <sup>13</sup>CO  $J = 1 \rightarrow 0$ , erfassen die KOSMA-Beobachtungen das wärmere und dichtere Gas. Ziel dieser Arbeit ist, die Anregungsbedingungen des molekularen interstellaren Gases in verschiedenen Teilen der Galaxis zu untersuchen. Im Rahmen von zwei Diplomarbeiten werden die Sternentstehungsregionen S106 und W3 kartiert, für die bereits umfangreiche Datensätze bei anderen Wellenlängen existieren.

Die Karten erlauben die Analyse der Wolkenstruktur mittels am Institut entwickelter Verfahren. Außerdem werden die Daten der verschiedenen Übergänge und Isotopomere mit einfachen und komplexen Strahlungstransportmodellen verglichen und interpretiert.

Das Zusammenspiel von Staub und Gas in kalten, dichten, prästellaren Kernen ist Gegenstand von Beobachtungen der mit IC 5146 assoziierten Molekülwolke. Das selektive Ausfrieren von Molekülen auf Staub im kalten Wolkeninnern sowie die Submillimeteremission von Staub sind dabei von besonderem Interesse. Als ein Teil einer internationalen Kooperation und einer Beobachtungskampagne an mehreren Teleskopen wurde dazu im Jahr 2000 ein 12' × 3' grosses Wolkenfilament mit dem 15 m James Clerk Maxwell Telescope auf dem Mauna Kea in Hawaii bei Wellenlängen von 850 μm und 450 μm simultan kartiert. Ein erster Vergleich dieser Staubemissionskarten zeigt eine sehr gute Korrelation mit der Detailkarte der Emission eines Wolkenkerns bei 1.2 mm Wellenlänge und mit der ausgedehnten Karte der optischen Staubextinktion. Mit diesen Datensätzen wird es erstmals möglich sein, simultan die Staubtemperatur und die bisher wenig bekannte Staubabsorption im Submillimeterbereich zu bestimmen.

Die Wechselwirkung massereicher Sterne mit ihrer Umgebung wurde in den Sternentstehungsgebieten RCW 38, RCW 108, G351.6, NGC 6334, W3 u. a. durch neue Beobachtungen am SEST, KOSMA, AST/RO und Chandra weiter untersucht. Mit AST/RO wurde dabei das <sup>13</sup>C-Isotop bei 809 GHz in weiteren galaktischen Wolken ( $D > 1$  kpc) zum ersten Mal detektiert. Mit dem SEST wurde in einem Survey mit der Suche nach massereichen Protosternen begonnen, die sich durch isolierte Methanol Maser, die *nicht* mit IRAS-Quellen oder H II-Regionen assoziiert sind, ankündigen. Darüber hinaus wurde am SEST mit einem neuen Linien-Survey im 1-mm- und 2-mm-Band in NGC 6334 begonnen – einer aktiven Sternentstehungsregion, die sich durch reiche Chemie aber geringe Dynamik und damit

geringe Linienbreiten auszeichnet, so daß weitaus mehr Emissionslinien detektieren werden können, als in den bisher bekannten Orion- oder Sgr-Standard-Linien-Surveys. Mit Chandra wurde die Röntgenemission in W3 untersucht, die von einer Vielzahl einzelner, mit W3 West assoziierter, junger Sternenhaufen zu stammen scheint. Großräumig wurde W3 auch mit KOSMA in CO ergänzend zu Beobachtungen am HST und CSO kartiert.

Im Rahmen der Arbeiten zur Analyse der Struktur von Molekülwolken wurden neue Methoden zur umfassenden Charakterisierung der Geschwindigkeitsstruktur in turbulenten Wolken entwickelt und die Methoden zur Beschreibung der Dichtestruktur verbessert und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit klar klassifiziert. Die damit möglichen Vergleiche zwischen Beobachtungsdaten und numerischen Simulationen kompressibler magnetohydrodynamischer Turbulenz lieferten erste Hinweise auf die Skalen des Energieeintrags und der Dissipation der Turbulenz im interstellaren Medium. Daneben wurden die Strahlungstransportmodelle für die physikalische Interpretation beobachteter Molekülliniendaten weiterentwickelt und u. a. für die Ableitung von Parametern dichter Molekülwolkenkerne mit Sternentstehungsaktivität benutzt.

Modelle Photonen-dominierten Regionen berücksichtigen die physikalische Struktur der Wolken, ihre chemische Bilanz, die Energiebilanz und von aussen einwirkende UV-Strahlungsfelder. Die Modelle erlauben die Vorhersage der emittierten Linienintensitäten von Kohlenmonoxyd, atomarem Kohlenstoff und anderen Spezies. Das chemische Netzwerk wurde um schwefelhaltige Spezies erweitert, da diese die Häufigkeit von atomarem Kohlenstoff beeinflussen. Ausserdem wurde begonnen, das Netzwerk um weitere wichtige Spezies wie  $C^{18}O$  zu erweitern. In naher Zukunft soll als weiterer freier Parameter der Metallgehalt eingeführt werden. Diese Arbeiten bereiten damit die Interpretation von Messungen im Submillimeter- und Ferninfrarotbereich mit SOFIA und dem Herschel Space Observatory vor.

#### *Extragalaktische Astronomie*

Mit einer Auflösung von  $80''$  bei 345 GHz eignet sich das KOSMA-Teleskop sehr gut für die Erforschung globaler Eigenschaften externer Galaxien. Zentraler Untersuchungsgegenstand bilden Spiralgalaxien im Virgohaufen (Entfernung 15 Mpc). Ausgehend von dem  $^{12}CO(J = 1 \rightarrow 0)$ -Survey von A.A. Stark, durchgeführt mit dem Bell-Labs-7-m-Teleskop, wurden mit dem KOSMA-Teleskop 18 Galaxien in  $^{12}CO(J = 2 \rightarrow 1)$  und 17 Galaxien in  $^{12}CO(J = 3 \rightarrow 2)$  detektiert. Mit Hilfe von LTE und Escape Probability-Strahlungstransportrechnungen können die beobachteten Linienverhältnisse mit der Emission von 10–20 K kalten Materials erklärt werden. Des weiteren ergänzen  $^{12}CO(J = 2 \rightarrow 1)$  und  $^{12}CO(J = 3 \rightarrow 2)$  Beobachtungen näher gelegener Galaxien (Entfernung ca. 3–7 Mpc), wie NGC 6946, IC 342, Maffei2, NGC 3627 das Sample. Im Vergleich mit hochaufgelösten Datensätzen aus der Literatur zeigt sich, daß die globale Emission durch die Emission aus den Kernregionen dominiert wird.

Weiterhin sind neue Programme zur detaillierte Untersuchung der Verteilung, Dynamik und Anregung des molekularen Gases in extragalaktischen Objekten gestartet worden. Hierzu haben Beobachtungen eine Reihe von Stichproben begonnen, die zu ersten Ergebnissen geführt haben. Dazu gehören u. a. Untersuchungen des molekularen Gases in nahen ( $< 20$  Mpc) elliptischen und Spiralgalaxien mit aktiven Kernen (NGC 3718, NGC 2903, NGC 3504, NGC 6764) und Galaxien in nahen Haufen (z. B. Abell 262) mit dem IRAM-Plateau-de-Bure- und dem BIMA-mm-Interferometer, sowie die Messung einer Stichprobe von Galaxien mit QSO-Kernen mit Rotverschiebungen von  $z < 0.006$  und einer Durchmusterung von 3CR-Radiogalaxien im Licht von CO-Emissionslinien mit verschiedenen mm-Teleskopen. Im Rahmen eines internationalen Programms ist außerdem mit der Beobachtung einer umfangreichen Stichprobe naher Galaxien mit Seyfert-Kernen am Plateau-de-Bure-Interferometer begonnen worden. Die Wechselwirkungen von Galaxien werden über die Untersuchung die Verteilung molekularen Gases in der 'supershell' von NGC 5775, der Beobachtung von Kugelsternhaufen in Tidal-Tails von Merger-Galaxien sowie in kompakten Gruppen und Haufen von Galaxien abgedeckt. Die Beobachtung einer Stichprobe

von ULIRG-Merger-Galaxien wurde am VLA im Kontinuum bei einer Wellenlänge von 3.6 cm begonnen. In Zusammenarbeit mit IRAM (Grenoble) wird bei hohen Rotverschiebungen das molekulare Gas in dem Gravitationslinsensystem 0957+561 untersucht. Parallel dazu werden dynamische Analysen über 'tilted ring'- und Vielteilchen-Simulationen von I Zwicky 1, NGC 3718 sowie Arp 220 durchgeführt. Ziel der Projekte ist, die Eigenschaften des molekularen Gases in den zentralen 10 bis 100 Parsek externer Galaxien zu erschließen sowie dessen Zusammenhang mit deren Kernaktivität zu bestimmen.

In Zusammenarbeit mit dem MPI für extraterrestrische Physik wurde eine weitere Meßkampagne mit der Nahinfrarot-Kamera SHARP am ESO-NTT durchgeführt. Diese Beobachtungen haben nun zum Nachweis von Bahnkrümmungen der Hochgeschwindigkeitssterne im der unmittelbaren Umgebung von Sagittarius A\* geführt. Diese Messungen stellen eine weitere wichtige Bestätigung der hohen Dichte und Masse im Zentrum unserer Milchstraße dar, die nur über die Existenz eines massereichen schwarzen Lochs an der Position der Radioquelle SgrA\* erklärt werden kann.

### SWAS

Der Submillimeter Wave Astronomy Satellite (SWAS) erlaubt die Beobachtungen von Linienübergänge der Spezies  $O_2$ , C,  $^{13}CO$ ,  $H_2^{16}O$  und  $H_2^{18}O$ . SWAS wurde als NASA Small Explorer entwickelt und ist mit einem am Institut gebauten akusto-optischen Spektrometer ausgestattet. Der Routinemessbetrieb verläuft nunmehr seit 2 Jahren ohne nennenswerte Probleme. Erste Resultate wurden in einer Serie von 16 Artikeln in den *Astrophysical Journal Letters* (Vol. 539, No. 2) veröffentlicht. Das Institut ist auch an der Planung der Beobachtungen und der Datenverwertung beteiligt. So konnte mit SWAS erstmals eine Molekülwolke mit geringer visueller Extinktion ( $A_v < 4^m$ ) in der [CI]-Line bei 492 GHz kartiert werden. Ein Vergleich mit PDR Modellrechnungen führt zu dem überraschenden Resultat, daß die Emission konsistent ist mit sehr dichtem Material, eingebettet im mittleren interstellaren FUV-Strahlungsfeld. Weitere Projekte umfassen [CI]-Beobachtungen von Dunkelwolken, Molekülwolken mit Ausflüssen sowie Wolken in erhöhten FUV-Strahlungsfeldern. Ziel ist es, die Häufigkeit und die räumliche Verteilung des atomaren Kohlenstoffs zu bestimmen und für Molekülwolken auf verschiedenen Entwicklungsstufen zu vergleichen. Als vierthäufigstes Element ist Kohlenstoff ein wichtiger Bestandteil des interstellaren Mediums und leistet neben anderen Kohlenstoffspezies einen wichtigen Beitrag zur Kühlung der Molekülwolken. Ein besseres Verständnis der Kohlenstoffchemie erlaubt deshalb auch Rückschlüsse auf die physikalischen und chemischen Prozesse, die bei der Bildung und Entwicklung von Molekülwolken relevant sind.

## 3 Diplomarbeiten, Dissertationen, Habilitationen

### 3.1 Diplomarbeiten

#### *Abgeschlossen:*

Borch, A. : „Charakterisierung von supraleitenden, diffusionsgekühlten Hot Electron Bolometern“

Brüll, M. : „Entwicklung eines optischen Bildrotators für einen Zwei-Frequenzband-Mehrkanalempfänger am KOSMA Teleskop“

#### *Laufend:*

Bedorf, S. : „Die Struktur der Molekülwolke S106“

Hartwich, M. : „Molekulares Gas in der Galaxie NGC 3718“

Krips, M. : „Untersuchung von Gravitationslinsen im Millimeterbereich“

Müller, A. : „Kohlenstoffchemie in Photonen dominierten Region: Die Sternentstehungsregion W3“

Scharwächter, J. : „Simulation der Galaxie I Zwicky 1“

### 3.2 Dissertationen

#### *Abgeschlossen:*

Bernd, Ute: „Jet-Spektroskopie an kohlenstoffhaltigen Radikalen“

Drascher, Thorsten: „Spektroskopie kalter Gase: Linienprofilmessungen an CO und CO<sub>2</sub>“

Gendriesch, Ralf: „Präzisionsspektroskopie mit einem stabilisierten THz-Seitenbandspektrometer“

Klapper, Gabriele: „Höchstaufösende Rotationsspektroskopie an Molekülen von astrophysikalischer Relevanz“

Möckel, Cornelius: „Untersuchungen zur Bestimmung von Hochfrequenz-Korrelationen mit akusto-optischen Methoden“

Roth, Daniel: „Millimeterwellen-Spektroskopie an van-der-Waals Komplexen“

Zielinsky, Maik: „Signaturen der fraktalen Struktur von interstellaren Molekülwolken“

#### *Laufend:*

Brandt, Michael: „Mikromechanische Methoden zur Herstellung von Hohlleitermischern im Terahertzbereich“

Brüll, Martin: „Der galaktische molekulare 5 pc Ring“

Fuchs, Guido: „Infrarotspektroskopie an Kohlenstoff-Wasserstoff Clustern“

Fuchs, Ulrike: „Terahertz-Spektroskopie an kohlenstoffhaltigen Radikalen“

Glenz, Stefan: „Niob-Titan-Nitrid-Filme für supraleitende Terahertz-Heterodyn-mischer“

Hafok, Heiko: „Submm-Beobachtungen externer Galaxien“

Pütz, Patrick: „Herstellung und Analyse von SIS-Mischern mit submikrometergroßen Tunnelelementen höchster Stromdichte“

Schlöder, Frank: „Entwicklung eines extrem breitbandigen HF-Spektrometers mit optischen Methoden“

Stanko, Stephan: „Algorithmen für die automatische Abstimmung eines SIS-Array-Empfängers“

Stodolka, Jörg: „Diffusionsgekühlte Niob-Hot-Electron-Bolometer als Terahertz-Heterodyn-mischer“

Sonnabend, Guido: „Beobachtungen mit einem Infrarot-Heterodyn Spektrometer“

Thorwirth, Sven: „Rotationsspektroskopie von Cyanopolyinen und zyklischen Molekülen“

Wangler, Michael: „Infrarotspektroskopie von schwach gebundenen Komplexen“

Wingender, Martin: „Untersuchungen zur Überlagerung von Diodenlasern zur Herstellung von THz-Strahlung“

## 4 Tagungen, Projekte am Institut und Beobachtungszeiten

### 4.1 Projekte und Kooperationen mit anderen Instituten

SWAS: erster Submm-Satellit (60-cm-Teleskop) (PI: Dr. G. Melnick, CfA, Cambridge U.S.A.). Kölner Beitrag zur Instrumentierung ist ein akusto-optisches Spektrometer.

AST/RO: 1.7-m-Submm-Off-Axis-Teleskop (PI: Dr. A. Stark, CfA, Cambridge, U.S.A.); Kölner Beitrag sind 2 breitbandige und 1 hochauflösendes AOS sowie ein 810-GHz-Mischer.

Verbundforschung: Entwicklung eines Prototyp Submm Array Heterodyn-Empfängers.

Entwicklung hochfrequenter SIS-Mischer in Zusammenarbeit mit dem MRAO/Cambridge, England (Prof. R. Hills).

## 5 Auswärtige Tätigkeiten

### 5.1 Vorträge und Gastaufenthalte

Eckart, A., „Die Massenkonzentration im Zentrum der Milchstraße; Ein massives schwarzes Loch?“, eingeladener Vortrag zur 64. Physikertagung der DPG, Dresden, März 2000

Eckart, A., „Black Holes in the Galactic Center and Beyond; Future projects with the LBT“, Konferenzbeitrag: Science with the LBT, Schloß Ringberg, July, 2000

Eckart, A., „Das Zentrum unserer Milchstraße ein 'Schwarzes Loch'?“, eingeladener Vortrag, Volkssternwarte Nordenham, April, 2000

Eckart, A., „The Dark Mass and Stellar Orbits at the Center of the Milky Way“, eingeladener Vortrag am MRAO, Cambridge, Oktober, 2000

Eckart, A., „The Center of our own Galaxy“, eingeladener Vortrag zur XXIV Hauptversammlung der IAU, Manchester, August, 2000

Bensch F., Gastaufenthalt am Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, MA, USA, Juli 2000 und Dezember 2000

Bensch F., Gastaufenthalt und Vortrag an der University of Maryland, College Park, MD, USA, Juli 2000

Stutzki J., „Absorption measurements of cold halo gas: FIRST's Sensitivity“, Vortrag auf der Konferenz „The Promise of FIRST“, Toledo, Spanien (12/00)

### 5.2 Beobachtungsaufenthalte, Meßkampagnen

Eckart, A., Stellare Eigenbewegungen im Galaktischen Zentrum, ESO, NTT (06/00)

Heithausen A., Bensch F., HC<sub>3</sub>N in a cirrus core with beginning star-formation, Effelsberg 100m Teleskop, Deutschland (06/00)

Heithausen A., Bensch F., Star formation in a cirrus cloud?, IRAM-30-m-Teleskop, Granada, Spanien (07/00)

Kramer C., The dust opacity at submm wavelengths, JCMT-15-m-Teleskop, Mauna Kea, Hawaii/USA (6/00 und 9/00)

Kramer C., Cyanoacetylene as a probe of depletion in dense cores, Effelsberg 100-m-Teleskop (2000)

Megeath, Tieftrunk, A Deep Stellar Census of the W3 Main Compact/Ultracompact HII Region Complex, Hubble Space Telescope

Tieftrunk, Stutzki, Atomic carbon in young star-forming cores, AST/RO, Südpol

Tieftrunk, Stutzki, The impact of high-mass star formation on molecular cores, AST/RO, Südpol

Tieftrunk, Thorwirth, A spectral line survey toward NGC 6334, SEST, Chile

Thorwirth S., Ring molecules: A Search for Interstellar Ethylenimine (c-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>NH), SEST-15-m-Teleskop, ESO, Chile (3/00)

Thorwirth S., A Search for Interstellar Cyanogen N-Oxide, NCCNO, IRAM 30-m-Teleskop, Granada, Spanien (6/00)

Thorwirth S., Carbon chain molecules: II. Vibrationally Excited HC<sub>5</sub>N Toward Proto-planetary Nebulae, Effelsberg 100-m-Teleskop (2000)

Thorwirth S., Vibrationally Excited HCN Towards High-Mass Star Forming Regions, Effelsberg 100-m-Teleskop (2000)



## 6 Veröffentlichungen

### 6.1 In Zeitschriften und Büchern

#### *Erschienen:*

- Ashby, M.L.N., Bergin, E.A., Plume, R., Carpenter, J.M., Melnick, G.J., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Howe, J.E., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Neufeld, D.A., Patten, B.M., Schieder, R., Snell, R.L., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F.: Water Abundance and Velocity Structure in S140, rho Oph A, and B335. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L119
- Ashby, M.L.N., Bergin, E.A., Plume, R., Carpenter, J.M., Neufeld, D.A., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Howe, J.E., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Patten, B.M., Schieder, R., Snell, R.L., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F., Melnick, G.J.: An Analysis of Water Line Profiles in Star Formation Regions Observed by the Submillimeter Wave Astronomy Satellite. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L115
- Bergin, E.A., Lellouch, E., Harwit, M., Gurwell, M.A., Melnick, G.J., Ashby, M.L.N., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Howe, J.E., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Neufeld, D.A., Patten, B.M., Plume, R., Schieder, R., Snell, R.L., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F.: Submillimeter Wave Astronomy Satellite Observations of Jupiter and Saturn: Detection of 557 GHz Water Emission from the Upper Atmosphere. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L147
- Bergin, E.A., Melnick, G.J., Stauffer, J.R., Ashby, M.L.N., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Howe, J.E., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Neufeld, D.A., Patten, B.M., Plume, R., Schieder, R., Snell, R.L., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F.: Implications of Submillimeter Wave Astronomy Satellite Observations for Interstellar Chemistry and Star Formation. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L129
- Beuther, H., Kramer, C., Deiss, B., Stutzki, J.: CO mapping and multi-line-analysis of Cepheus B. *Astron. Astrophys.* **362** (2000), 1109
- Braine, J., Lisenfeld, U., Duc, P., Leon, S.: Formation of molecular gas in the tidal debris of violent galaxy-galaxy interactions. *Nature* **403** (2000), 867
- Davies, R., Eckart, A., Hackenberg, W., Ott, T., Butler, D., Kasper, M., Quirrenbach, A.: The ALFA Laser Guide Star: Operation and Results. *Exp. Astron.* **10** (2000), 103
- Eckart, A., Hippler, S., Glindemann, A., Hackenberg, W., Quirrenbach, A., Kalas, P., Kasper, M., Davies, R.I., Ott, T., Rabien, S., Butler, D., Holstenberg, H., Looze, D., Rohloff, R., Wagner, K., Wilnhammer, N., Hamilton, D., Beckwith, S.V.W., Appenzeller, I., Genzel, R.: ALFA: The MPIA/MPE Laser Guide Star AO System. *Exp. Astron.* **10** (2000), 1
- Eckart, A., Schinnerer, E., Tacconi, L.: Molecular gas and star formation in the host galaxy of I Zw 1. *New Astron. Rev.* **44** (2000), 523
- Genzel, R., Pichon, C., Eckart, A., Gerhard, O.E., Ott, T.: Stellar dynamics in the Galactic Centre: proper motions and anisotropy. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **317** (2000), 348
- Goldsmith, P.F., Melnick, G.J., Bergin, E.A., Howe, J.E., Snell, R.L., Neufeld, D.A., Harwit, M., Ashby, M.L.N., Patten, B.M., Kleiner, S.C., Plume, R., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Zhang, Y.F., Erickson, N.R., Koch, D.G., Schieder, R., Winnewisser, G., Chin, G.: O<sub>2</sub> in Interstellar Molecular Clouds. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L123

- Gurwell, M.A., Bergin, E.A., Melnick, G.J., Ashby, M.L.N., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Howe, J.E., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Neufeld, D.A., Patten, B.M., Plume, R., Schieder, R., Snell, R.L., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F.: Submillimeter Wave Astronomy Satellite Observations of the Martian Atmosphere: Temperature and Vertical Distribution of Water Vapor. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L143
- Hackenberg, W., Eckart, A., Davies, R.I., Rabien, S., Ott, T., Kasper, M., Hippler, S., Quirrenbach, A.: Near-infrared adaptive optics observations of galaxy clusters: Abell 262 at  $z=0.0157$ , J1836.3CR at  $z=0.414$ , and PKS 0743-006 at  $z=0.994$ . *Astron. Astrophys.* **363** (2000), 41
- Howe, J.E., Ashby, M.L.N., Bergin, E.A., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Hollenbach, D.J., Kaufman, M.J., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Neufeld, D.A., Patten, B.M., Plume, R., Schieder, R., Snell, R.L., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F., Melnick, G.J.: Extended [C I] and  $^{13}\text{CO}$  (5–4) Emission in M17SW. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L137
- Jeyakumar, S., Saikia, D.J.: Collimation of extragalactic radio jets in compact steep-spectrum and larger sources. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **311** (2000), 397
- Jeyakumar, S., Saikia, D.J., Pramesh Rao, A., Balasubramanian, V.: Small-scale structures in compact steep-spectrum and GHz-peaked-spectrum radio sources. *Astron. Astrophys.* **362** (2000), 27
- Leon, S., Meylan, G., Combes, F.: Tidal tails around 20 Galactic globular clusters. Observational evidence for gravitational disk/bulge shocking. *Astron. Astrophys.* **359** (2000), 907
- Lim, J., Leon, S., Combes, F., Dinh-V-Trung: Molecular Gas in the Powerful Radio Galaxies 3C 31 and 3C 264: Major or Minor Mergers? *Astrophys. J., Lett.* **545** (2000), L93
- Keller, L.D., Jaffe, D.T., Ershov, O.A., Benedict, T., Graf, U.U.: Fabrication and testing of chemically micromachined silicon echelle gratings. *Appl. Optics* **39** (2001), 7, 1094
- Müller, H.S.P., Klaus, T., Winnewisser, G.: Submillimeter-wave spectrum of the ethynyl radical, CCH, up to 1 THz. *Astron. Astrophys.* **357** (2000), L65
- Mac Low, M., Ossenkopf, V.: Characterizing the structure of interstellar turbulence. *Astron. Astrophys.* **353** (2000), 339
- Mao, R.Q., Henkel, C., Schulz, A., Zielinsky, M., Mauersberger, R., Störzer, H., Wilson, T.L., Gensheimer, P.: Dense gas in nearby galaxies. XIII. CO submillimeter line emission from the starburst galaxy M82. *Astron. Astrophys.* **358** (2000), 433
- Melnick, G.J., Ashby, M.L.N., Plume, R., Bergin, E.A., Neufeld, D.A., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Howe, J.E., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Patten, B.M., Schieder, R., Snell, R.L., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F.: Observations of Water Vapor toward Orion BN/KL. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L87
- Melnick, G.J., Stauffer, J.R., Ashby, M.L.N., Bergin, E.A., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Howe, J.E., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Neufeld, D.A., Patten, B.M., Plume, R., Schieder, R., Snell, R.L., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F.: The Submillimeter Wave Astronomy Satellite: Science Objectives and Instrument Description. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L77
- Morino, I., Yamada, K.M.T., Belov, S.P., Winnewisser, G., Herbst, E.: The CF Radical: Terahertz Spectrum and Detectability in Space. *Astrophys. J.* **532** (2000), 377

- Neufeld, D.A., Ashby, M.L.N., Bergin, E.A., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Howe, J.E., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Patten, B.M., Plume, R., Schieder, R., Snell, R.L., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F., Melnick, G.J.: Observations of Absorption by Water Vapor toward Sagittarius B2. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L111
- Neufeld, D.A., Snell, R.L., Ashby, M.L.N., Bergin, E.A., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Howe, J.E., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Patten, B.M., Plume, R., Schieder, R., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F., Melnick, G.J.: Observations of Interstellar Water Vapor in Outflow Regions. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L107
- Neufeld, D.A., Stauffer, J.R., Bergin, E.A., Kleiner, S.C., Patten, B.M., Wang, Z., Ashby, M.L.N., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Howe, J.E., Koch, D.G., Plume, R., Schieder, R., Snell, R.L., Tolls, V., Winnewisser, G., Zhang, Y.F., Melnick, G.J.: Submillimeter Wave Astronomy Satellite Observations of Water Vapor toward Comet C/1999 H1 (Lee). *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L151
- Neuhäuser, R., Brandner, W., Eckart, A., Guenther, E., Alves, J., Ott, T., Huélamo, N., Fernández, M.: On the possibility of ground-based direct imaging detection of extrasolar planets: the case of TWA-7. *Astron. Astrophys.* **354** (2000), L9
- O'Sullivan, C., Redfern, R.M., Ageorges, N., Holstenberg, H., Hackenberg, W., Ott, T., Rabien, S., Davies, R., Eckart, A.: Short timescale variability of the mesospheric sodium layer. *Exp. Astron.* **10** (2000), 147
- Ott, T., Hackenberg, W., Rabien, S., Eckart, A., Hippler, S.: The ALFA Laser: Beam Relay and Control System. *Exp. Astron.* **10** (2000), 89
- Plume, R., Bensch, F., Howe, J.E., Ashby, M.L.N., Bergin, E.A., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Kleiner, S., Koch, D.G., Neufeld, D.A., Patten, B.M., Schieder, R., Snell, R.L., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F., Reynolds, K., Joyce, R., Tavoletti, C., Jack, G., Rodkey, C.J., Melnick, G.J.: Large-scale  $^{13}\text{CO}$  J=5-4 and [C I] Mapping of Orion A. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L133
- Rabien, S., Ott, T., Hackenberg, W., Eckart, A., Davies, R., Kasper, M., Quirrenbach, A.: The ALFA Laser and Analysis Tools. *Exp. Astron.* **10** (2000), 75
- Schinnerer, E., Eckart, A., Boller, T.: The Young Starburst Nucleus of the Wolf-Rayet LINER Galaxy NGC 6764. *Astrophys. J.* **545** (2000), 205
- Schinnerer, E., Eckart, A., Tacconi, L.J.: Distribution and Kinematics of the Circumnuclear Molecular Gas in the Seyfert 1 Galaxy NGC 3227. *Astrophys. J.* **533** (2000), 826
- Schinnerer, E., Eckart, A., Tacconi, L.J., Genzel, R., Downes, D.: Bars and Warps Traced by the Molecular Gas in the Seyfert 2 Galaxy NGC 1068. *Astrophys. J.* **533** (2000), 850
- Snell, R.L., Howe, J.E., Ashby, M.L.N., Bergin, E.A., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Neufeld, D.A., Patten, B.M., Plume, R., Schieder, R., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F., Melnick, G.J.: The Distribution of Water Emission in M17SW. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L97
- Snell, R.L., Howe, J.E., Ashby, M.L.N., Bergin, E.A., Chin, G., Erickson, N.R., Goldsmith, P.F., Harwit, M., Kleiner, S.C., Koch, D.G., Neufeld, D.A., Patten, B.M., Plume, R., Schieder, R., Stauffer, J.R., Tolls, V., Wang, Z., Winnewisser, G., Zhang, Y.F., Melnick, G.J.: Water Abundance in Molecular Cloud Cores. *Astrophys. J., Lett.* **539** (2000), L101