

# IMPRESSUM

## Herausgeber:

Studiengemeinschaft Wort und Wissen e.V.,  
 Rosenbergweg 29, D-72270 Baiersbronn,  
 Tel. (0 74 42) 8 10 06, Fax (0 74 42) 8 10 08

## Redaktion:

Dr. Harald Binder, Konstanz  
 Dr. Thomas Fritzsche, Göttingen  
 Dr. Reinhard Junker, Baiersbronn

## Korrespondenzadresse:

Dr. Reinhard Junker, Rosenbergweg 29,  
 D-72270 Baiersbronn

## Graphik/Design:

Regine Tholen AGD, Hüttenberg

## Druck und Bindung:

Jaspis Druck Augsburg

## Erscheinungsweise und Bezugsbedingungen:

Die Zeitschrift erscheint zweimal jährlich.  
 Jahresbezugpreis DM 29,50; für Studenten  
 DM 19,50; Preise inkl. Versandkosten und  
 MwSt. Auslandspreise auf Anfrage.  
 Einzelhefte: DM 15,- (zzgl. Versandkosten).

**Bestellungen** richten Sie an den Heraus-  
 geber. Das Abonnement kann mit einer  
 Frist von drei Monaten zum Jahresende  
 gekündigt werden. Die Kündigung muß  
 schriftlich erfolgen.

## Alle Rechte vorbehalten.

Die Verantwortung für den Inhalt tragen  
 die jeweiligen Autoren. Der Herausgeber  
 und die Redaktion identifizieren sich nicht  
 zwangsläufig mit allen Details der  
 Darlegungen.

Titelbild: Die Wagenrad-Galaxie, aufge-  
 nommen vom Hubble Space Telescope  
 (Space Telescope Science Institute, Balti-  
 more)

ISSN 0948-6135

# STUDIUM INTEGRALE

## journal

3. Jahrgang/Heft 1 – Februar 1996

# I N H A L T

|               |                                                                                             |    |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| N. Pailer     | Entdeckungen des Hubble Space Telescope                                                     | 3  |
| K. Neuhaus    | Mikroevolutionäre Entstehung der Carnivorie bei der<br>Bromelie <i>Brocchinia reducta</i> ? | 12 |
| R. Junker     | Problemfelder der evolutionären Deutung von<br>Ähnlichkeit                                  | 18 |
| F. Zimbelmann | Amphibische Vorstufen der Walartigen?                                                       | 26 |

## Kurzbeiträge

|                           |                                                                                                     |    |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Th. Fritzsche             | Die Erde wird 6000 Jahre alt                                                                        | 30 |
| Th. Fritzsche             | Die Entstehung einer Erzlagerstätte direkt<br>beobachtet                                            | 31 |
| H. Binder                 | Diskussion um wiederbelebte Bakteriensporen<br>aus dem Oligozän                                     | 32 |
| M. Brandt                 | Fußknochen eines frühen Hominiden – Hinweis auf<br>aufrechten Gang?                                 | 33 |
| M. Brandt                 | Wie war „Lucy's“ Körperhaltung beim zwei-<br>beinigen Gehen?                                        | 35 |
| H. Kutzelnigg             | Schnelle Artbildung bei der Gauklerblume<br>( <i>Mimulus</i> ) durch Variation von Blütenmerkmalen? | 37 |
| S. Scherer<br>& R. Junker | Komplexe Symbiose zwischen Pilz und Landpflanze<br>im Unterdevon                                    | 39 |

## Streiflichter

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Flechten mindestens fünfmal unabhängig entstanden             | 41 |
| Frühe Landbesiedlung wirft neue Fragen auf                    |    |
| Massenaussterben als Startschuß für Auftreten neuer Baupläne? |    |
| Quastenflosser doch kein Vorfahre der Landwirbeltiere?        | 42 |
| „Konfuzius-Vogel“ sorgt für Konfusion                         |    |
| Brütende Dinosaurier entdeckt                                 |    |
| Dinosaurier-Brutkolonie?                                      | 43 |
| Ein neuer Artbegriff                                          |    |
| Schnelle Artbildung mit Hilfe von lautlosem Gesang            | 44 |
| Durch präbiotische Chemie zur Lebensentstehung? Neue Impulse? |    |
| Weiterer Hinweis auf kontaminierte Dinosaurier-DNA            |    |

## Rezensionen

|               |                                                                                                     |    |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| R. Junker     | The origin of species reconsidered (W. R. Bird)                                                     | 45 |
| Th. Fritzsche | Altersbestimmung von jungen Gesteinen und<br>Artefakten (G. A. Wagner)                              | 46 |
| Th. Fritzsche | Steine aus dem Norden. Geschiebe als Zeugen der<br>Eiszeit in Norddeutschland (P. Smed & J. Ehlers) | 48 |

Wissenschaftler glauben, daß es sich um Bruchstücke einst zertrümmerter Monde handeln könnte. Das Bulletin des Lunar and Planetary Science Institute in Houston, Texas, berichtet von „clumps of icy rubble that could be remnants of recently scattered moonlets orbiting near the outer edge of Saturn's ring system“.<sup>2</sup> Die neuesten Bilder gaben Gelegenheit, die Existenz von zwei neuen Monden zu bestätigen, die das HST während des ersten Ringdurchgangs am 22. Mai 1995 entdeckt hat. Allerdings hat der zweite Ringkantendurchgang nicht nur die Mondfrage geklärt, sondern auch zwei Rätsel hinterlassen: Zum einen das Aufscheinen von mindestens drei neuen Objekten in Bahnen, die sich von den Mai-Beobachtungen unterscheiden. Diese Objekte zeichnen sich durch außergewöhnliche Formen aus, die dünn und gestreckt erscheinen. Zum anderen stellte sich heraus, daß die beiden neuentdeckten Monde so hell leuchten, daß sie eigentlich vor 15 Jahren von den vorbeifliegenden Voyagersonden hätten beobachtet werden müssen. Entweder reflektieren die die Trümmer umgebenden Staubwolken das Sonnenlicht zu verschiedenen Zeiten in unterschiedlichem Ausmaß oder wir haben es mit einer neueren Kollision im Saturn-Ringsystem zu tun. „They also appear to be very elongated or arc-like, unlike a satellite should be. One possibility is that they are large clouds of debris from small satellites shattered by impacts with chunks of space debris (possibly comets), sometime during the 14 years since the Voyager 2 flyby.“<sup>3</sup>

Die Entdeckung von Objekten, die sich in einer Übergangsphase befinden, kommt nicht völlig überraschend. Eine Theorie der Saturn-Ringentstehung geht davon aus, daß Ringe aus zahllosen Fragmenten von „pulverisierten“ Monden bestehen. Gelegentlich wird sich eine Staubwolke über eine Umlaufbahn „verschmieren“, um einen neuen Ring zu bilden.

Die Dynamik der „bumper car zone“ wird auch deutlich bei der Beobachtung des Saturn-Mondes Prometheus. So nahmen die Astronomen an, daß ein drittes Objekt der „Mai-Beobachtung“ ein weiterer, neuer Mond sein sollte. Seine Position paßte für keinen der bekannten Monde. Heute wird angenommen, daß Prometheus aufgrund einer Kollision mit Körpern des F-Rings seine Position um ca. 20° geändert hat. Der Zeitpunkt des Zusammenstoßes wurde für Frühjahr 1993 ermittelt.

Kurzzeitveränderungen von solchem Ausmaß lassen die berechnete Frage nach der Langzeitstabilität des Ringsystems aufkommen.

### Schnelle Änderungen auf Neptun und Io

Der ferne Planet Neptun ist immer wieder für Überraschungen gut. Mit der Planetary Wide Field Camera 2 des Weltraumteleskops HST erscheint er

so scharf wie Jupiter mit erdgebundenen Teleskopen. Bei Aufnahmen von Neptun mit dem HST im Juni 1994 gab es ihn noch nicht, aber die Aufnahme vom 2. November 1994 zeigt ihn: einen Flecken hoch im Norden am Planetenrand. Damit hat sich die Situation von 1989 nun gespiegelt. Damals gab es im Süden einen großen Dunklen Fleck, der seither wieder verschwand. Wie zuvor ist der neue Dunkle Fleck vermutlich eine transparente Stelle in den Methanwolken Neptuns, an der man tiefer in die Atmosphäre hineinschauen kann, und erneut ist er von hellen Wolken umgeben, die offenbar in der Hochatmosphäre auskondensieren. „New features like this indicate that with Neptune's extraordinary dynamics, the planet can look completely different in just a few weeks,“ sagte Heidi HAMMEL vom MIT-Institut.

In der nördlichen Hemisphäre befindet sich ein einzelnes, aber auffälliges Wolkenband bei 30° nördlicher Breite, das vermutlich identisch ist mit einer hellen Struktur, die Beobachtern auf der Erde bereits 1993 auffiel und die auch noch bei HST-Beobachtungen im Herbst 1994 zu sehen war. 1989 war davon jedoch nichts bemerkt worden, als die Raumsonde Voyager 2 am Planeten vorbeiflog und das bis jetzt schärfste Bild lieferte.

Es ist bemerkenswert, daß ein Planet in den Tiefen des kalten Raumes in 30 AE (30fachem Sonne-Erde-Abstand) – also weit entfernt von der Energiequelle Sonne – eine solche Dynamik zeigt.

Auch auf dem Jupiter-Mond Io hat sich innerhalb etwa 11 Monaten ein ca. 300 Kilometer großes, gelbliches Gebilde geformt, wobei man erwähnen muß, daß während der letzten 15 Jahren keine so dramatischen Änderungen beobachtet wurden. Die Astronomen vermuten eine Explosion oder einen großen Lava-Ausfluß. Die Raumsonde Galileo wird bald genau nachsehen können, was sich dort tut.<sup>4</sup>

### Hinweise auf kometares Reservoir

Als Übergang zwischen den äußeren Planeten und der postulierten Oort'schen Wolke wurde die Existenz zweier Strukturen vorgeschlagen, nämlich die Hills-Wolke zwischen 3 000 und 20 000 AE und der Kuiper-Gürtel von Pluto bis zu 3 000 AE Entfernung, was in Abb. 2 schematisch dargestellt ist.

Der Kuiper-Gürtel wurde als Raum angesehen, in dem eine riesige Population von Mini-Eiskörpern an der Grenze zur interstellaren Finsternis die Sonne umkreisen. Er wird auch als fossiler Rest der sog. „Planetenbildungsscheibe“ angesehen, die man am Ende des Kollapses einer langsam rotierenden Gaswolke erwartet. Da sich in so weiter Entfernung die Materie sehr stark ausgedünnt haben soll, mußte für diesen Bereich die Bildung größerer Körper ausgeschlossen werden. Das Pluto-Charon-Paar, das aufgrund seiner exzentrischen Bahn teilweise in den Kuiper-Gürtel zu liegen kommt, und

der Neptun-Mond Triton werden bereits als Übergang zur Eiskörperpopulation gerechnet. Sie gelten allerdings aufgrund ihrer ausgefallenen Größe schon als erste Ausnahme.

Seit den 50er Jahren haben die Astronomen bereits über die Existenz eines Reservoirs für kurzperiodische Kometen nachgedacht, um die mit diesen vergänglichen Objekten zusammenhängenden Staubphänomene zu erklären. Damit ist z. B. der Erhalt der interplanetaren Staubwolke in Anbetracht der langen Zeiträume angesprochen. Um nun diese Idee zu testen, haben Wissenschaftler die Planetary Wide Field Camera des HST eingesetzt. Mit Hilfe ausgefeilter Messungen und unter Anwendung statistischer Auswerte-Methoden konnten schließlich 30 Objekte ausgemacht werden, die den Keplergesetzen folgend jenseits der Neptunbahn ihre Kreise ziehen. Das Entdeckerfoto eines Objekts ist in Abb.3 wiedergegeben. Man hält dies für den bislang besten experimentellen Hinweis auf ein Kometenreservoir jenseits von Neptun.

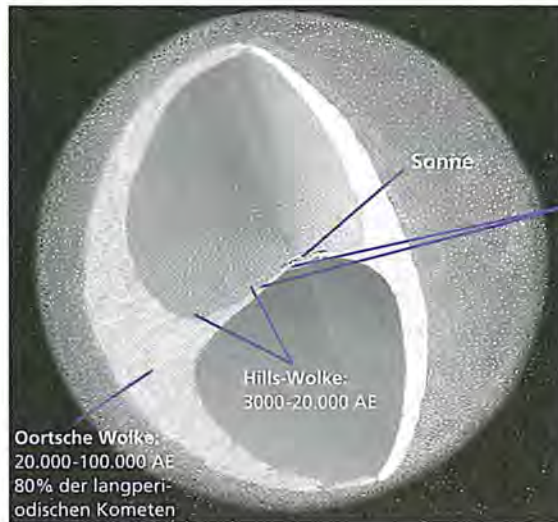
Gleichzeitig mit der Bekanntgabe der HST-Ergebnisse wurden bodengestützte Beobachtungen veröffentlicht, die 27 Körper von ca. 100 km Durchmesser in diesem Raum entdeckt haben. Sie wären also deutlich größer, als die Kometen, die ins Innere des Sonnensystems gelangen. Die mit HST entdeckten Körper mit typischerweise sechs bis zwölf Kilometern fallen in die Größe der Kometen Halley, Encke und West. Astronomen glauben, daß in einem Bereich von 30 bis 50 AE eine Population von 10 Milliarden dieser Körper existiert.<sup>5</sup>

## Beobachtungen von Sternenwelten

### Mysteriöser Sterntod

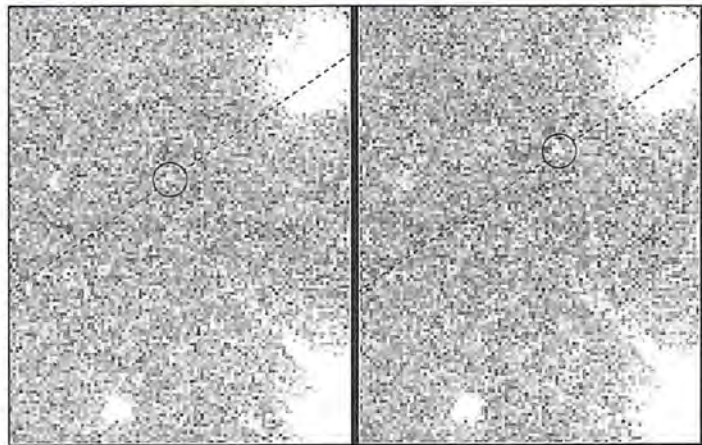
Die sogenannte Magellansche Wolke ist mit etwa 100.000 Lichtjahren Entfernung das zu unserer Milchstraße benachbarte Galaxiensystem. Es besteht aus zwei bzw. drei Komponenten. Am bekanntesten davon sind die Große und die Kleine Magellansche Wolke. Sie sind für viele Zweige der Astronomie von großer Bedeutung. Einmal sind sie nahe genug, um mit Hilfe großer Teleskope detaillierte Untersuchungen einzelner Objekte zu ermöglichen, andererseits sind sie so weit entfernt, daß für ihre Objekte der gleiche Abstand angenommen werden kann.

Im Jahre 1987 wurde in der Großen Magellanschen Wolke der explodierende Stern mit der Bezeichnung Supernova SN87A entdeckt. Abb. 4 zeigt in drei Schritten die sprichwörtliche Suche nach der „Stecknadel im Heuhaufen“. Letztlich zeigt sich der explodierende Stern inmitten eines grün-



Kuiper-Gürtel:  
Pluto bis 3000 AE  
vorwiegend  
kurzperiodische  
Kometen

Abb. 2: Modellhafte  
Vorstellung über  
Kometenreservoirs  
jenseits unseres  
Planetensystems in  
Form des Kuiper-  
Gürtels, der Hills-  
Wolke und der  
Oortschen Wolke.



gelb leuchtenden Rings. Der Ring selbst ist nicht Ergebnis der Sternexplosion. Vielmehr soll der Stern vor seiner Explosion Material freigesetzt haben, das sich aufgrund der Rotation zum Äquator hin konzentrierte (POWELL 1994). Der Explosionsblitz der SN87A hat nun das Gas ionisiert und so das Leuchten angeregt.

Zwei Aspekte machen die SN87A weiterhin interessant:

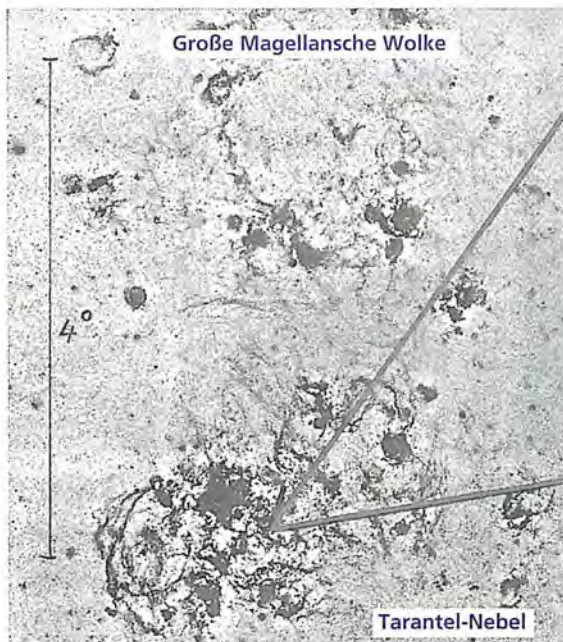
1. Normalerweise erwartet man vom Helligkeitsverlauf einer Supernova, daß er nach Erreichen des Helligkeitsmaximums langsam abklingt. Nicht so unsere SN87A. Sie überraschte vielmehr durch einen plötzlichen Anstieg der Helligkeit.

2. Bei der Sternexplosion löst sich der Stern nicht vollständig auf. Er hinterläßt vielmehr einen kleinen, kompakten Neutronenstern. Bisher blieb die Suche danach vergeblich. Stattdessen entdeckte man ein Triplet von ca. 1,5 Lichtjahre großen Ringen, die in jeweils unterschiedlichen Ebenen liegen: Der bereits bekannte Ring und ein Paar spiegelsymmetrischer Ringe (Abb. 5).

Da man sich unter einem sterbenden Stern etwas anderes vorgestellt hatte, war die Überraschung groß. Eigentlich erwartete man eine sich ausbreitende Gaswolke. Möglicherweise sind die beiden äußeren Ringe nur die Projektion eines Teilchenstrahls, der die (noch) nicht beobachtete Gaswolke

Abb. 3:  
Entdeckerfoto des  
HST von einem etwa  
10 Kilometer großen  
Eiskörper, der als  
Kandidat für Kuiper-  
gürtel-Objekte gilt.  
Die ganze Populati-  
on soll sich auf rund  
10 Milliarden sol-  
cher Objekte belau-  
fen. (STScI)

Abb. 4: Weg zur Entdeckung der Supernova SN87A in der Großen Magellanschen Wolke. Man beachte die jeweiligen Maßstäbe. (STScI)



Andeutungen von Dichtewellen um die Supernova SN87A

4'



Supernova SN87A mit zwei benachbarten Sternen

entlang seiner Spur zum Leuchten anregt, ähnlich einem Laserstrahl, der den Abendhimmel kreisförmig abtastet. Was die Ursache des Laserstrahls sein soll, wird nicht ausgeführt.<sup>6</sup>

## Katastrophe in der Wagenradgalaxie

Zusammenstöße im Weltraum sind nichts Ungewöhnliches. Jede feste Planetenoberfläche ist durch ihr von Einschlagskratern vernarbtes Antlitz ein beredtes Zeugnis von gewaltigen Zusammenstößen. Nicht zuletzt hat uns der Kometencrash auf Jupiter im Sommer 1993 diesen Umstand unmittelbar vor Augen geführt (vgl. PAILER 1995). Ein seltenes, aber hochspektakuläres Ereignis ist jedoch der Frontalzusammenstoß von ganzen Galaxien. Genau das hat das HST Weltraumteleskop mit hoher Auflösung fotografiert.

Die sog. Wagenrad-Galaxie ist rund 500 Millionen Lichtjahre weit entfernt im Sternbild Skulptor zu

finden. Sie ist bzw. war eine ganz normale Spiralgalaxie, bevor eine kleinere Galaxie – möglicherweise eine der beiden rechts im Bild (Abb. 6) stehenden Objekte – sie durchdrungen hat. Die beeindruckende ringähnliche Struktur ist ein direktes Ergebnis des Zusammenstoßes: Wie ein ins Wasser geworfener Stein ringförmige Wellen auslöst, so ist der helle Ring eine Wellenfront, die sich mit rund 300 000 Stundenkilometern ausbreitet. In diesem Feuersturm dominieren helle, blaue Verdichtungen, die als gigantische Cluster von Sternentstehungsgebilden interpretiert werden. Der Ring würde damit größenordnungsmäßig mehrere Milliarden neugeborener Sterne beherbergen.

Im linken oberen Teil von Abb. 6 sind Einzelheiten der knotenförmigen Struktur dargestellt. Beispielhaft wird eine blasenförmige Ausdünnung gezeigt, die wahrscheinlich durch eine Explosion entstand. Sie wird so interpretiert, daß ein neu entstandener Stern schon wieder in Form einer gewaltigen Supernova auseinandergerissen wurde. In deren Stoßfront kann man bereits neue Hinweise auf eine weitere Sternbildung finden, sozusagen Sterne zweiter Generation (BRUNING 1995). Das Space Telescope Science Institute STScI in Baltimore berichtet von Tausenden von Supernovae.

In der Zwischenzeit hat sich der Kern der Wagenrad-Galaxie bereits wieder formiert, ebenso wie Spiralarme, die sich in Abb. 6 zwischen dem Zentrum und der Ringstruktur andeuten.<sup>7</sup>

Abb. 5: Die Supernova SN87A mit einem Triplet von Ringen. Der mittlere Ring besteht aus ionisierten Gasen, während die beiden anderen Spiegelbilder eines von einer Art Laserstrahl an eine Gaswolke projizierten Kreises sein sollen, der zur Bildebene geneigt ist. (STScI)



## Stern- und Planetenentstehung aus der Sicht des HST-Weltraumteleskops

Das durchaus kontrovers diskutierte Thema der Stern- und Planetenentstehung hat durch Beobachtungen mit dem HST neuen Auftrieb bekommen. Um



Abb. 6: Ergebnis eines Zusammenstoßes zweier Galaxien (STScI)

den generellen Trend vorwegzunehmen: Die Untersuchungen haben in weiten Teilen theoretische Vorhersagen unterstützt, auch wenn Einzelheiten offen bleiben müssen.

**Theoretischer Hintergrund.** Blaue Sterne hoher Leuchtkraft werden oft in unmittelbarer Nähe zu interstellaren Wolken gesehen. Aufgrund ihres nach heutigem Verständnis jungen Alters können sie sich vom Ort ihrer Entstehung noch nicht weit entfernt haben, und es spricht einiges dafür, daß sie aus dem verdichteten Gas und Staub dieser Wolken hervorgegangen sind. „Ob es zur Sternbildung kommt, ist dabei keineswegs sicher. Die Kompression einer Wolke ist nämlich von der Erhöhung des inneren Drucks begleitet, die sich der weiteren Verdichtung widersetzt und zur Auflösung drängt. Die Schwerkraft kann in diesem Wechselspiel nur gewinnen, wenn die Ansammlung interstellarer Materie also genügend Masse umfaßt“, so H. ELSÄSSER (1985), Direktor des Max-Planck-Instituts für Astronomie in Heidelberg. Ein Hindernis bei diesem Krätemessen ist die in der Physik bekannte Drehimpuls-Erhaltung. Sie kommt darin zum Ausdruck, daß ein rotierendes System bei Kontraktion immer schneller wird, was vergleichbar ist mit der Pirouette eines Schlittschuhläufers. Es ist deshalb zu erwarten, daß eine Wolke um so rascher rotiert, je stärker sie kontrahiert. Mit der Rotationsgeschwindigkeit wächst aber auch die Fliehkraft. H. ELSÄSSER weiter: „Dem Kollaps stellt sich also jetzt neben dem steigenden Gasdruck eine weitere Hürde in den Weg, die besonders unangenehm ist. Unter gewissen Voraussetzungen gewinnt sie (die Fliehkraft) nämlich so schnell an Höhe, daß die Gravitation sie (die Fliehkraft) nicht mehr zu nehmen vermag und die Sternbildung unterbleibt. Offenbar kennt die Natur aber doch Wege, mit diesem Problem fertig zu werden. Und wie sie das macht, ist eine Frage, an der sich die Theoretiker

der Sternentstehung gegenwärtig die Zähne ausbeißen... Unverkennbar besteht die Neigung, eine zentrale Konzentration aufzulösen oder erst gar nicht entstehen zu lassen.“

Deshalb wird bei diesem Prozeß Materie so stark nach außen getrieben, daß sie einen Wulst oder Torus um das Rotationszentrum bildet. Ein solcher Materiekrans ist jedoch instabil und zerbricht in Stücke, die ihrerseits prinzipiell zu Sternen kollabieren können. Möglicherweise ist der Zerfall einer Wolke ein Weg, wie der Drehimpuls abgeführt wird, denn der Anfangsdrehimpuls wird in die Bahnbewegung der Bruchstücke um ein gemeinsames Zentrum überführt und geht nur teilweise in die Eigenrotation der Fragmente ein. „Das scheint der Trick zu sein“, so ELSÄSSER (1985), „mit dem die Natur die vorher besprochene Hürde überwindet. Und schließlich zeichnet sich hier eine Erklärung dafür ab, wie die recht häufigen Doppelsterne und Mehrfachsysteme zustande kommen.“

Unser eigenes Sonnensystem kann als Illustration für die Entstehung eines Einzelsterns dienen. Wie ist unsere Sonne mit dem Problem des Drehimpulses fertig geworden? Die Gegebenheiten deuten in Richtung der diskutierten Mechanismen: Während die Planeten insgesamt nur wenig mehr als ein Promille der Sonnenmasse ausmachen, ist der Drehimpuls ihrer Bahnbewegung 50 mal größer als derjenige der Sonnenrotation. Die Masse steckt also fast vollständig im Zentralkörper, der Drehimpuls dagegen im Umlauf der Planeten (ELSÄSSER 1985).

**Aktuelle Beobachtungen zur Sternentstehung.** Vom Ende von Sternen war bereits die Rede. Nun haben jüngste HST-Untersuchungen im 7000 Lichtjahre entfernten Adler-Nebel M16 die bislang dramatischsten Einsichten in sog. Sternentstehungsgebiete ermöglicht. „For a long time astronomers have speculated about what processes control the

**Abb. 7:** Gas-Staub-Säulen in M 16 als mögliche Sternentstehungsgebiete. Die heißen Zentralsterne verdampfen und ionisieren laufend Material der mächtigen Säulen und legen so dichtere Materiekondensationen frei. Einige sollen Protosterne enthalten. (STScI)



size of stars about why stars are the sizes that they are“, sagte Jeff HESTER von der Arizona State University, Tempe. „Now we seem to be watching at least one of the processes at work right in front of our eyes.“<sup>18</sup>

Abb. 7 zeigt eine astronomische Szene, die an die Stalagmiten einer Tropfsteinhöhle erinnert. Am jeweils vorderen Ende dieser schlanken, fingerähnlichen Strukturen aus Gas und Staub befinden sich verdichtete Objekte, die treffend EGGs (Evaporating Gaseous Globules) genannt werden. Innerhalb dieser Gas-Staub-Säulen, die eine Ausdehnung von der Größenordnung eines Lichtjahres haben, ist die Dichte so hoch, daß die Materie unter ihrer eigenen Schwerkraft kollabiert und junge Sterne formen kann. Sie können wachsen, indem sie mehr und mehr Material in den Sog ihrer Gravitationskraft bringen.

Das HST zeigt nun, was passiert, wenn junge Nachbarsterne mit ihrer intensiven UV-Lichtkomponente die „Oberfläche“ der Säulen durch die sog. Photoevaporation verdampfen und ionisieren (NECKEL 1996). Bilder größerer Auflösung zeigen, wie gelegentlich ganze Felder abgetrennt werden. Allerdings wird nicht gleichmäßig abgetragen. Da die EGGs dichter sind als das umgebende Gas,

bleiben sie stehen und alles, was in ihrem „Wind-schatten“ liegt. Man beachte dabei z. B. den Stern links über der linken Säule oder den ausgesprochen hellen Stern auf deren rechten Seite.

Der Vorgang kann mit der Erosion in der Wüste verglichen werden. Während der Wind den leichten Flugsand abträgt, werden vergrabene Steine freigelegt. So beobachtet man in der Nähe der Säulen freigelegte, tropfenförmige Gebilde. „In some way it seems more like archaeology than astronomy. The ultraviolet light from nearby stars does the digging for us, and we study what is unearthed“, fährt Jeff HESTER fort. Danach können die Sterne so lange wachsen, indem sie Material auf sich konzentrieren, bis sie vom umgebenden Material selbst isoliert sind.

Damit haben wir hier eine mögliche Sternentstehung vor uns, die sich von der Entwicklung in einer isolierten Gas-Staub-Wolke unterscheidet, in der die Sternbildung durchaus gegen Effekte zu kämpfen hat, die eine Zusammenballung von Materie verhindern könnten, z. B. der Drehimpuls, der innere Druck – wie oben diskutiert – und das Magnetfeld. Einige Astronomen glauben, daß hier ein Stern wächst, bis die Bedingungen für Kernfusion in seinem Inneren erreicht sind. Danach erzeugt

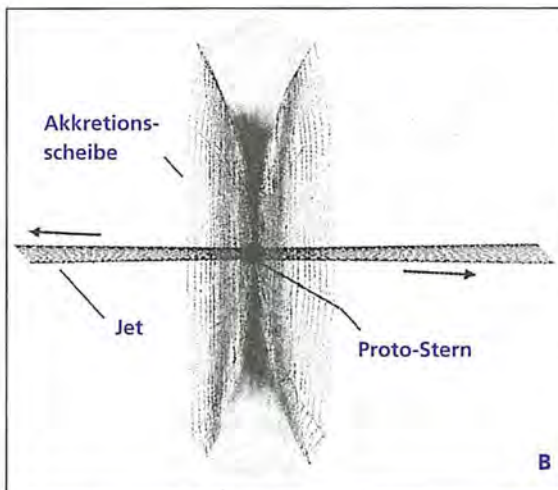


Abb. 8: A. Das Herbig-Haro-Objekt HH30 mit Jet und Staubscheibe, die teilweise das Zentralgestirn verdeckt. Pfeile deuten die Dynamik einiger Strukturen im Laufe eines Jahres an. B. Schematische Darstellung von Herbig-Haro-Objekten. (STScI)

der neue Stern einen starken „Wind“, welcher das restliche Material wegbläst. Auch hier hat das HST bestechende Aufnahmen von den sog. Herbig-Haro-Objekten geliefert, die diese Phase charakterisieren. Eine Kostprobe ist in Abb. 8A gegeben. Nach Meinung der Astronomen sehen wir hier etwas Ähnliches zu dem, was sich am Beginn unseres Sonnensystems abgespielt haben könnte: Ein neuer Stern wird im Zentrum einer Staubscheibe sichtbar, die wir ziemlich genau von der Seite sehen. „A disk appears to be a natural outcome when a slowly rotating cloud of gas and dust collapses under the force of gravity... Material falling onto the star creates

## Glossar

**Akkretion.** Nach den heutigen Vorstellungen über Sternentstehung können sich Sterne aufgrund eines gravitativen Kollapses einer riesigen interstellaren Gaswolke bilden. Aus den Modellen über Sternentstehung folgt auch – und das bestätigen die HST-Bilder – daß sich um junge Sterne Staubscheiben bilden. Deren Staubteilchen sind das Material, das sich aufgrund von inelastischen Stößen zusammenlagern und so durch Akkretion Planetenkörper aufbauen kann. Wenn der Stern im Zentrum heiß genug wird, kommt die Akkretion dadurch zum Abschluß, als die Restmasse weggeblasen wird. In diesem Bild wird z. B. verständlich, warum unsere Planeten die Sonne in der gleichen Richtung umkreisen und warum sie nahezu in einer gemeinsamen Ebene liegen.

**Jet.** Wenn im Laufe eines gravitativen Kollapses laufend Material auf den zentralen Stern fällt, können sich Teile dieses Materials erhitzen und in Form von Jets abgestoßen werden. Diese Jets aus heißem Gas

sind nur für eine relativ kurze Zeit von 100 000 Jahren aktiv. Jedoch wird diese Phase für die weitere Entwicklung des Stern von großer Bedeutung sein. Jets sind übliche Erschöpfungsprodukte der gewaltigen Dynamik der Sternbildung. Sie können auch einen erheblichen Teil des Drehimpulses aus der kollabierenden Gaswolke abführen. Aus der bizarren Struktur der Jets können möglicherweise Einblicke in die Vorgänge des Kollapses erreicht werden.

**Herbig-Haro-Objekt.** Bezeichnung für lichtschwache, neblige Objekte, die entweder als irregulär geformte Objekte auftreten oder komplexe Jets ausgebildet haben. Sie wurden unabhängig voneinander von G. HERBIG und G. HARO zu Beginn der 50er Jahre in Sternentstehungsgebieten entdeckt. Erst in den letzten 20 Jahren hat man die wahre Natur dieser Objekte und deren Rolle im Sternbildungsprozeß erkannt. Bislang kennt man rund 300 Herbig-Haro-Objekte.

a jet when some of it is heated and blasted along the path that follows the star's rotating axis, like an axle through a wheel“, so die Aussage des HST Science Institutes in Baltimore vom 6. Juni 1995. Solche Jets unterstützen die Sternentstehung, indem sie Drehmoment von dem kollabierenden Gebilde abtransportieren, das ansonsten weiteres Material daran hindern würde, den sich bildenden Stern zu erreichen. Die schematische Darstellung in Abb. 8B verdeutlicht das Szenario. Abb. 9 zeigt ebenfalls eine sehr ausgeprägte Strukturierung eines Jets, die Abbild der Modulation bei der Akkretion sein könnte. Damit könnte aus dieser Struktur die Historie der Akkretion abgeleitet werden. Da sich die Jets mit einer hohen Geschwindigkeit ausbreiten, kann man mit dem HST die Dynamik der Veränderungen

Abb. 9: Beispiele für hochstabile und hochkollimierte (auf langen Strecken eng gebündelte) Jet-Strukturen junger Sterne. Man beachte die angegebenen Skalen, die jeweils dieselbe Länge anzeigen. Links sieht man direkt auf die Kante der Staubscheibe, die den Zentralstern für uns verdeckt. Der rechte Jet mit seiner perlenkettenartigen Struktur breitet sich mit über 100 km/sec aus. (STScI)



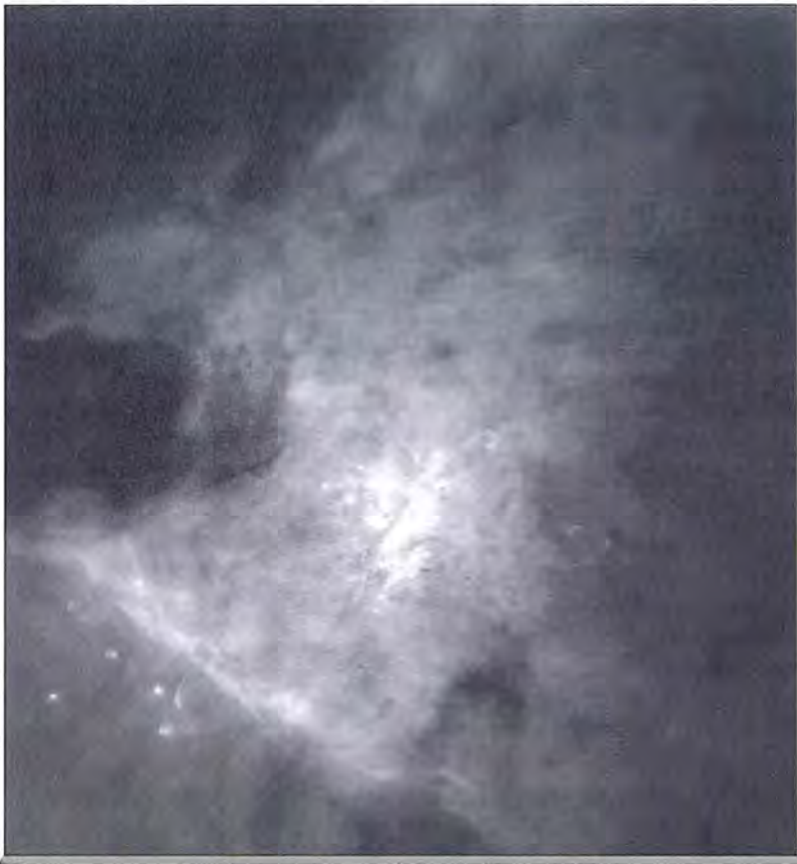


Abb. 10: Aktuelle HST-Aufnahme von Sternentstehungsgebieten im Orion-Nebel (STScI)

bereits innerhalb eines Jahres feststellen. Abb. 8A zeigt das Herbig-Haro-Objekt HH30 im Abstand von rund einem Jahr. Die Pfeile deuten die Dynamik einiger Strukturen an.

Wenn der Stern also heiß genug ist, wird der Prozeß der Akkretion zum Ende kommen, und die entstehenden Jets und Sternwinde können rest-

liches Material zwischen den sich aus der Scheibe bildenden Planeten wegblasen. Sozusagen als Skelett einer ehemaligen Staubscheibe würden Planetenkörper zurückbleiben, die sich

- in der gleichen Richtung und
- in der gleichen Ebene

um die Sonne drehen. In diesem Sinne können Modellvorhersagen und aktuelle Beobachtungen nahe zusammen. Allerdings ist man eher der Meinung, daß unsere Sonne wahrscheinlich nicht von einem EGG herrührt. Die Tatsache, daß Planeten existieren, schließt die Existenz einer starken UV-Strahlung im Frühstadium aus. „Sonst wäre,“ so meint Vincent KIERNAN „die ganze Materie mit dem Wasserstoff weggeblasen worden“ (KIERNAN 1995).

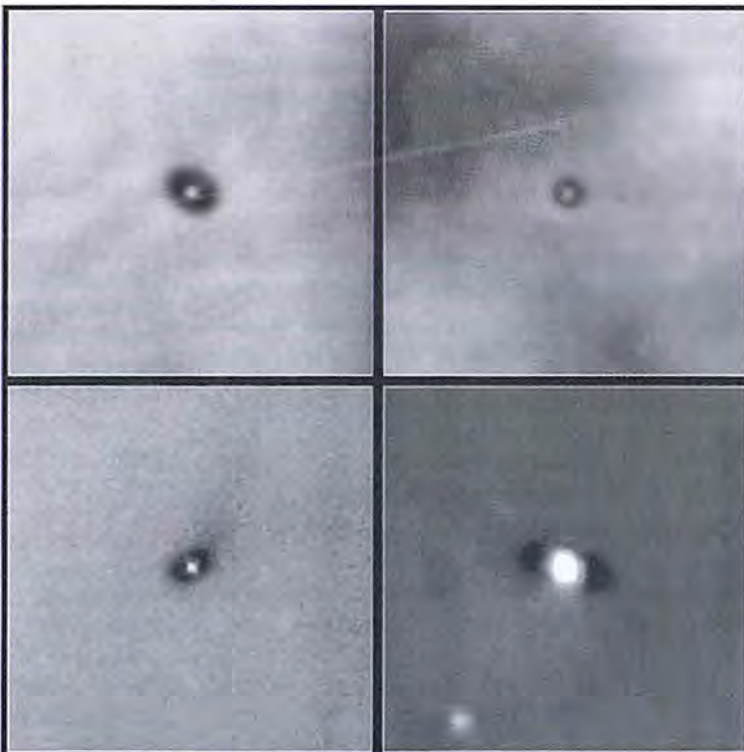
Wenn auch die neuen HST-Erkenntnisse im Rahmen der groben Vorhersagen liegen, so haben diese Untersuchungen auch eine Reihe von neuen Fragen aufgeworfen:

- Wo entstehen die Jets?
- Warum kommen sie von einer so genau bestimmten Region der Scheibe?
- Warum sind sie über teilweise Milliarden von Kilometern so eng gebündelt?
- Was verursacht ihre knotenförmige Struktur?

**Aktuelle Beobachtung zur Planetenbildung.** Eine bemerkenswerte Ergänzung zur möglichen Planetenentstehung hat das HST ganz in unserer Nähe, nämlich im ca. 1500 Lichtjahre entfernten Orion-Nebel (Abb. 10) gemacht. In einem für Sternentstehung verdächtigen Gebiet wurden 110 Sterne genauer untersucht und bei 56 von ihnen Staubscheiben nachgewiesen. Und da es viel leichter ist, leuchtende Sterne aufzufinden als dunkle Staubscheiben, ist es wahrscheinlich, daß noch mehr Sterne Staubscheiben besitzen. Abb. 11 zeigt Sterne mit ihren Staubscheiben aus der erwähnten systematischen Suche. Mit größerem Detail sind in Abb. 12 zwei protoplanetare Scheiben in der Seitenansicht dargestellt. Schon früher war exemplarisch gezeigt worden, daß der Komet Halley und die Staubscheibe um den Stern  $\beta$ -Pictoris grundsätzlich ein einheitliches silikatisches Spektrum besitzen (PAILER 1995).

**Beobachtung von extraterrestrischen Planeten.** Bislang waren die direktesten Hinweise auf planetenähnliche Körper außerhalb unseres Systems die Begleiter eines Pulsars (PAILER 1995), der am Ende eines Sternenlebens steht. Diese Situation war damit sicher nicht sehr repräsentativ für das Beispiel eines Planetensystems. Das scheint sich mit den neuen Beispielen zu ändern. Zusätzlich hat das HST den seit längerem für Planeten verdächtigen Stern Gliese 229B näher untersucht. Aufgrund der einge-

Abb. 11: Sterne mit Staubscheiben im Orion-Nebel mit unterschiedlicher Orientierung zur Blickrichtung (STScI)



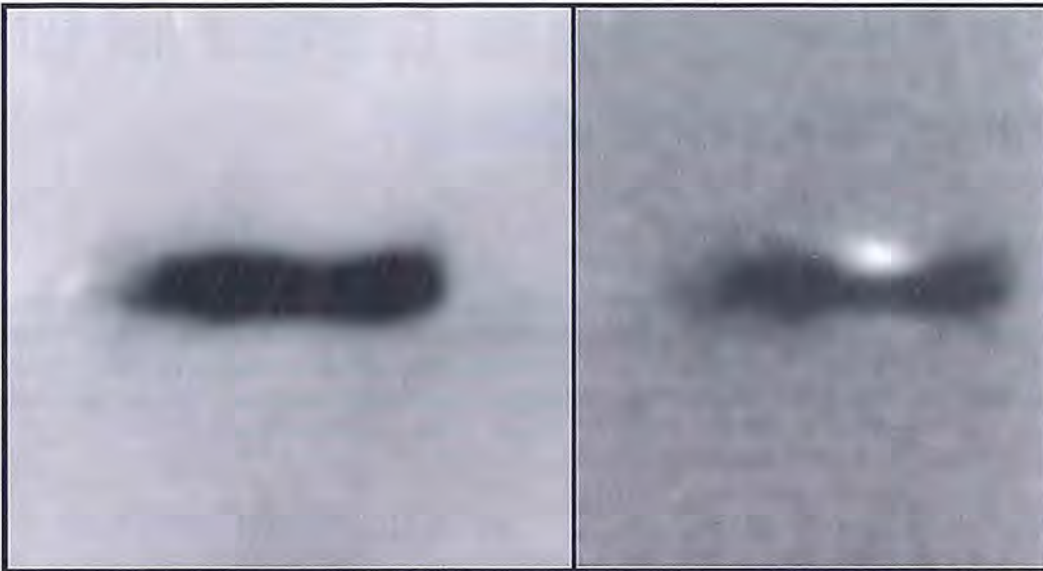


Abb. 12: Blick auf die Kanten von Staubscheiben und den von ihnen nahezu vollständig verdeckten Stern. Sind diese Staubscheiben im Orion Planeten-Entstehungsgebiete? (STScI)

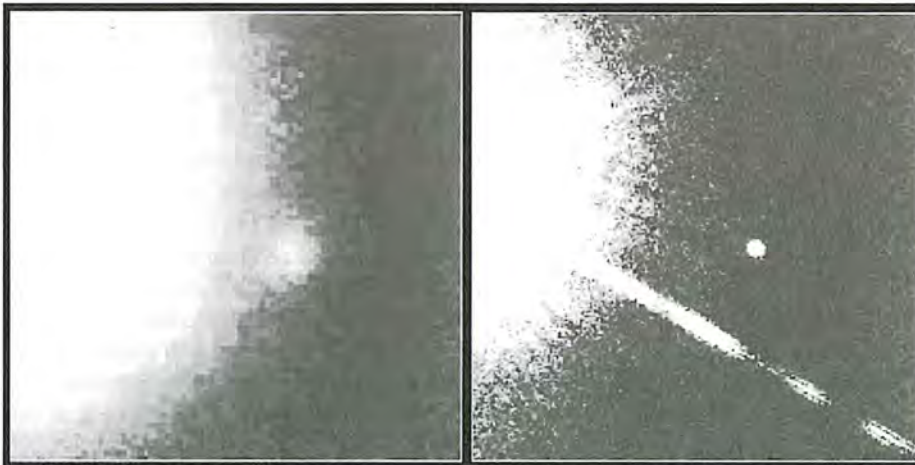


Abb. 13: Der teilweise mit einem Koronagraphen abgeschirmte Zentralstern Gliese 229B und sein jupitergroßer Begleiter. Der Lichtstrahl im rechten Teil des Bildes ist bedingt durch die Aufnahmetechnik. Links: Aufnahme des Palomar-Observatoriums vom 27. Oktober 1994, rechts: HST-Aufnahme vom Nov. 1995. (STScI)

schränkten Auflösung war ein zweifelsfreier Nachweis mit dem Palomar-Observatorium nicht möglich. Die beste Aufnahme stammt vom 27. Oktober 1994; sie ist in der linken Bildhälfte von Abb. 13 gezeigt. Im November 1995 wurde nun mit Hilfe des leistungsfähigeren HST ein jupitergroßes Objekt in seiner Nähe entdeckt. Die Beobachtung der Bahnelemente lassen darauf schließen, daß es nicht ein zufällig vorbeikommendes Objekt ist. Vielmehr ist der Begleiter ein an den Zentralstern gravitativ gebundenes Objekt, das wegen seiner geringen Größe auch als Brauner Zwerg bezeichnet wird. Die in Abb. 13 dargestellten Verhältnisse werden als der bisher beste Beleg für einen Planeten außerhalb unseres Sonnensystems gewertet.

- <sup>2</sup> „Saturn Ring Plane crossing Yields Intriguing Images“, Lunar and Planetary Information Bulletin Summer 1995, No 76 und Zusammenfassung mehrerer Infos, z. B. NASA e-mail vom Herbst 1995.
- <sup>3</sup> wie Anm. 2.
- <sup>4</sup> Aus Infos des Space Telescope Science Institute STScI, Baltimore, Sommer 1995.
- <sup>5</sup> Astronomy, Sept 1995 „First Drops in a Comet Reservoir“, News
- <sup>6</sup> e-mail des STScI vom 19. Mai 1994, STScI-PR 94-22; POWELL 1994.
- <sup>7</sup> Zusammenfassung mehrerer Infos; insbesondere: Kirk BORNE, Hubble views a starry ring world born in a head-on collision, e-mail 10th Jan. 1995; BRUNING 1995.
- <sup>8</sup> e-mail STScI-PR95-44, Embryonic stars emerge from interstellar eggs, 2. Nov. 1995

## Anmerkungen

- <sup>1</sup> Die primäre wissenschaftliche Zielsetzung des HST ist die Bestimmung des Alters des Universums. Dazu liegen bereits interessante Messungen vor. Da dies ein in sich geschlossenes Thema ist, wird es gesondert in der kommenden Ausgabe von *Studium Integrale Journal* veröffentlicht. Der vorliegende Beitrag erhält damit dann eine Weiterführung im Bereich der Kosmologie.

## Literatur

- BRUNING D (1995) A galaxy of news. Astronomy, June 1995.  
 ELSÄSSER H (1985) Weltall im Wandel. Stuttgart. 1985.  
 KIERNAN V (1995) The EGGs where the stars are hatched, New Scientist, Nov. 1995.  
 NECKEL T (1996) Eggs im Adlernebel. Sterne und Weltraum 1/96, S. 8-9.  
 PAILER N (1995) Weltraumtelegramm. Stud. Int. J. 2, 33-37.  
 POWELL CS (1994) Super Loops. Sci. Amer., Sept. 1994, S.8.