

PRESSEINFORMATIONEN

Pyramid Supercomputer

ATLAS

1 Teraflop für unter 55.000 €

Am 22. Mai 2008 erfolgte im Albert-Einstein-Institut die Inbetriebnahme eines der schnellsten (Deutschland Ranking #4) Supercomputer Deutschlands.



PRESSEMITTEILUNG

„Neuer Supercomputer forscht in Hannover nach Gravitationswellen“

Pyramid liefert einen der größten Cluster-Rechner in Deutschland

Freiburg, 26. Mai 2008 – Am Zentrum für Gravitationsphysik des Albert Einstein Instituts in Hannover wurde der neue Computer-Cluster ATLAS in Betrieb genommen. ATLAS wird als zentraler Rechner die von den amerikanischen und europäischen Gravitationswellenobservatorien gemessenen Daten nach Anzeichen für direkt gemessene Gravitationswellen durchforsten. Mit dem von der Freiburger Pyramid Computer GmbH gelieferten ATLAS Cluster verfügt das Hannoveraner Albert-Einstein-Institut über einen Hochgeschwindigkeitsrechner, der derzeit zu den deutschen TOP 5 gehört.

ATLAS ist ein Computercluster der aus über 1400 individuellen Maschinen, so genannten Nodes, besteht. 1342 der Cluster-Rechner werden als Arbeits-Nodes zur Analyse der Daten eingesetzt. Sie durchsuchen einzelne Abschnitte der Datenmenge nach Signalen von Gravitationswellen. Nach einer Bewertung mit dem HPC-Linpack-Test, der speziell zur Ermittlung der Geschwindigkeit von Supercomputern (High Performance Computer – HPC) entwickelt wurde, kann ATLAS über $32,8 \times 10^{12}$ Gleitkommaoperationen pro Sekunde, d.h. 30 Billionen Flop pro Sekunde oder 30 Teraflop/s ausführen. Damit würde ATLAS Platz 38 der derzeitigen internationalen TOP 500 Liste einnehmen. Darüber hinaus verfügt ATLAS über 1 Petabyte (1000 Terabytes) Speicherkapazität.

Die Nodes des Supercomputers arbeiten mit dem frei verfügbaren Betriebssystem Debian GNU/Linux. Die freie Verfügbarkeit des Quellcodes ermöglicht eine optimale Kontrolle über die Abläufe innerhalb des Clusters. Die Ressourcenverwaltung für die Verteilung der Daten übernimmt ein System namens Condor, das selbständig erkennt, welche Nodes Kapazitäten frei haben und die anstehende Arbeit automatisch verteilt. So wird eine bestmögliche Auslastung des Systems gewährleistet. Condor entstand an der Universität von Wisconsin-Madison und wird laufend weiterentwickelt.

Lieferant der ATLAS Nodes ist die deutsche Pyramid Computer GmbH. Pyramid stellt hochwertige Workstations und Server her und verfügt über umfangreiche Erfahrungen in der Herstellung und Installation von Cluster-Lösungen. Pyramid hat

bereits für das das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) in Potsdam, das Fraunhofer Institut (Institut für Graphische Datenverarbeitung), und diverse Universitäten und Industriekonzerne leistungsfähige Cluster Systeme realisiert. Auch beim ATLAS-Projekt wurde durch eine enge Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlern ein innovatives Konzept entwickelt und die bestmögliche Lösung – vor allem ein unschlagbares Kosten-Nutzen-Verhältnis - sichergestellt.

Hochauflösendes Bildmaterial unter:

http://www.aei.mpg.de/english/aS/ATLAS_BilderAnimationen/index.html

Weitere Informationen über Gravitationswellenforschung finden Sie unter:

www.pyramid.de

Über Pyramid Computer

Die Pyramid Computer GmbH entwickelt, produziert und vertreibt seit 1986 hochwertige Server und IT-Infrastrukturlösungen für gewerbliche und industrielle Zwecke. Insbesondere sich das Unternehmen konzentriert auf die Herstellung so genannter Appliance Server für die Softwareindustrie.

Über die Tochtergesellschaft iTernity GmbH wird der Wachstumsmarkt für Compliance und rechtssichere Speicherung abgedeckt. Das Unternehmen mit Hauptsitz in Freiburg ist weltweit aktiv und unterhält eine Niederlassung in den USA. 2007 wurde ein neues Werk in Erfurt eröffnet. Im gleichen Jahr erhielt Pyramid eine Wachstumsfinanzierung zur Beschleunigung des internationalen Vertriebs und der Expansion in vertikale Märkte.

www.pyramid.de

Kontakt:

Pyramid Computer GmbH
Frieder Hansen
Bötzingen Straße 60
D-79111 Freiburg
Tel.: +49 761 4514 0
Fax: +49 761 4514 319
Frieder.Hansen@Pyramid.de

New Technology Communication
Uwe Scholz
Albrechtstraße 119
D-12167 Berlin
Tel.: +49 172 39 88 11 4
U.Scholz@snafu.de

Hintergrundinformationen I

ATLAS Supercomputer für die Gravitationswellenforschung

Am Zentrum für Gravitationsphysik/Albert Einstein Institut in Hannover wurde der neue Computer-Cluster ATLAS eingeweiht. ATLAS wird als zentraler Rechner die von den amerikanischen und europäischen Gravitationswellenobservatorien gemessenen Daten nach Anzeichen für direkt gemessene Gravitationswellen durchforsten. Aller Voraussicht nach wird man also von Hannover aus erstmals die direkte Messung von Gravitationswellen bestätigen können.

ATLAS wird das größte einzelne Element im so genannten LIGO Data Grid sein, in dem die Daten des internationalen Verbundes von Gravitationswellenobservatorien verarbeitet werden. Hier fließen die Daten aus den amerikanischen LIGO Detektoren, dem italienisch-französischen VIRGO Projekt sowie dem deutsch-britischen GEO600 Observatorium zusammen. Sie werden zunächst in Rechenzentren am California Institute for Technology in Pasadena, am CNAF National Center of National Institute for Nuclear Physics in Bologna und am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik gesammelt, aufbereitet und dann an ATLAS weiter geschickt. Das neue ATLAS System wird als einziges Teilstück hauptsächlich die Analyse von Gravitationswellen übernehmen. Einen Teil der Rechenzeit stellen die Hannoveraner Ihren Kollegen aus der Radio- und Röntgenastronomie sowie für numerische Simulationen von kosmischen Ereignissen zur Verfügung.

Zum LIGO Data Grid gehören noch etwa zehn weitere Computer Cluster, die der LIGO Scientific Collaboration (LSC) zugeordnet sind. Außerdem arbeiten weltweit rund 200 000 private Rechner im Rahmen von Einstein@Home an der Analyse der von den Gravitationswellendetektoren gelieferten Daten. ATLAS ist derzeit die Nummer 4 unter den deutschen Wissenschafts-Supercomputern.

Mit dem ATLAS Cluster verfügt das Hannoveraner Albert-Einstein-Institut über einen Hochgeschwindigkeitsrechner, der derzeit zu den deutschen TOP 5 gehört: Nach einer Bewertung mit dem HPC-Linpack-Test, der speziell zur Ermittlung der Geschwindigkeit von Supercomputern (High Performance Computer – HPC) entwickelt wurde, kann ATLAS über $32,8 \times 10^{12}$ Gleitkommaoperationen pro Sekunde, d.h. 30 Billionen Flop pro Sekunde oder 30 Teraflop/s ausführen. Damit würde ATLAS Platz 38 der derzeitigen internationalen TOP 500 Liste einnehmen, und auf Platz 4 der Liste deutscher Supercomputer stehen, die im wissenschaftlichen Bereich eingesetzt werden. Da ATLAS jedoch nicht für den HPC-Linpack-Test optimiert ist, wird seine reale Leistung weit über dem ermittelten Wert liegen. Darüber hinaus verfügt ATLAS über 1 Petabyte (1000 Terabytes) Speicherkapazität. Das sind 25% der Speicherkapazität der CERN Rechner – CERN ist dafür bekannt, einen der größten Rechenspeicher der Welt zu benötigen.

Zum Vergleich:

Der CRAY Y-MP, einer der schnellsten Supercomputer aus dem Jahre 1990 erreichte bei diesem Test 0,27 Gflop/s. Ein moderner, hochwertiger Dualcore-Rechner kommt auf etwa 10 Gflop/s. Der derzeit schnellste Rechner der Welt, IBMs Deep Blue mit 212 992 direkt und eng vernetzten Prozessoren, schafft nach diesem Test 478 Tflop/s (478200 Gflop/s)

Die Technik von ATLAS

ATLAS ist ein Computercluster. Dies bedeutet, dass er aus einer Vielzahl hochwertiger und größtenteils konventioneller Rechner besteht, die untereinander über ein extrem schnelles Netzwerk verbunden sind. Das System verfügt über 1400 individuelle Maschinen, die so genannten Nodes. 1342 von ihnen werden als Arbeits-Nodes zur Analyse der Daten eingesetzt. Sie durchsuchen einzelne Abschnitte der Datenmenge nach Signalen von Gravitationswellen. Gravitationswellen gehen von kraftvollen Ereignissen im Weltraum, z.B. Sternexplosionen oder der Verschmelzung von zwei Schwarzen Löchern, aus. Zur Verdeutlichung der Datenmengen, die ATLAS verarbeitet: jeder der Gravitationswellendetektoren generiert zwischen 1 und 2 Megabyte Daten pro Sekunde. Während der letzten Messperiode des internationalen Detektornetzwerkes, dem so genannten Science Run S5, dessen Daten jetzt zur Verfügung stehen, liefen die drei Detektoren LIGO, Virgo und GEO600 über einen Zeitraum von 18 Monaten und sammelten mehrere hundert Terabyte Rohdaten.

31 Nodes dienen als Daten-Server und als Puffer für die Datenmengen. Von ihnen werden die einzelnen Rechenpakete an die Arbeitsnodes geschickt. 4 Head Nodes überwachen das gesamte System. An diesen Maschinen können sich die Wissenschaftler einloggen und beispielsweise die Verteilung der verschiedenen Arbeitsprozesse an Maschinen steuern. Die Benutzerkonten der direkt mit ATLAS arbeitenden Wissenschaftler werden auf 13 Sun Fire Servern gespeichert.

Lieferant der ATLAS Nodes ist die 1986 gegründete deutsche Pyramid Computer GmbH. Pyramid stellt hochwertige Workstations und Server her und verfügt über umfangreiche Erfahrungen in der Herstellung und Installation von Cluster-Lösungen. Pyramid hat bereits für das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) in Potsdam, das Fraunhofer Institut (Institut für Graphische Datenverarbeitung), und diverse Universitäten und Industriekonzerne leistungsfähige Cluster Systeme realisiert. Auch beim ATLAS-Projekt wurde durch eine enge Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlern ein innovatives Konzept entwickelt und die bestmögliche Lösung – vor allem ein unschlagbares Kosten-Nutzen-Verhältnis - sichergestellt.

Die Nodes des Supercomputers arbeiten mit dem frei verfügbaren Betriebssystem Debian GNU/Linux. Die freie Verfügbarkeit des Quellcodes ermöglicht eine optimale Kontrolle über die Abläufe innerhalb des Clusters. Die Ressourcen-Verwaltung für die Verteilung der Daten übernimmt ein System namens Condor, das selbständig erkennt, welche Nodes Kapazitäten frei haben und die anstehende Arbeit automatisch verteilt. So wird eine bestmögliche Auslastung des Systems gewährleistet. Condor entstand an der Universität von Wisconsin-Madison und wird laufend weiterentwickelt.

Für die Verbindung der Nodes untereinander wurde ein Netzwerk benötigt, das extrem hohen Ansprüchen genügt. Das neuartige Netz der Firma Woven Systems aus Santa Clara in den USA erfüllt diese Anforderungen optimal. Das Herz des Netzwerkes ist der EXF 1000 Switch. Das Besondere an diesem Gerät ist, dass es vollkommen nicht-blockierend arbeitet. Das heißt, die Daten zwischen jedem beliebigen Paar der 144 10Gbit Ports werden so verschickt, als ob eine direkte Verbindung zwischen den Ports besteht. Andere Daten, die durch das Gerät fließen, beeinträchtigen die Geschwindigkeit dieses Datenflusses nicht. An jeweils 4 Ports des EFX1000 ist ein TRX100 Gbit Switch von Woven Systems angehängt, an dem jeweils 42 Nodes angeschlossen sind.

Das 2003 gegründete Unternehmen ist auf die Herstellung extrem schneller Netzwerke für Datenzentren und Supercomputer spezialisiert. Beim ATLAS-Cluster werden die über Pyramid Computer bezogenen Woven Hochgeschwindigkeits-Netzwerkkomponenten erstmalig in Europa eingesetzt.

Dank der Lieferanten hat das AEI nicht nur eine sehr leistungsfähige, sondern auch eine enorm preiswerte Cluster-Lösung bekommen. Das Verhältnis von Rechenleistung zu Kosten ist bei ATLAS ungewöhnlich hoch. Die Gesamtkosten für die Cluster-Nodes und das Netzwerk liegen bei 1,76 Millionen Euro. Sie wurden von der Max-Planck-Gesellschaft finanziert. Eingebettet ist ATLAS in die Infrastruktur der Leibniz Universität Hannover.

Hilfssysteme

Um eine gleichmäßige und effiziente Kühlung der ATLAS Nodes zu garantieren, wurden die Rechner in Schränken von Rittal GmbH & Co.KG aus Herborn in Deutschland installiert. ATLAS ist in geschlossenen, eigenständig gekühlten Schränken untergebracht. Bei diesen Schränken verlaufen auf beiden Seiten über die ganze Höhe zwei Lüftungsschlitze mit eingebautem Gebläse und Wärmeaustauscher, die einen langsamen und gleichmäßigen Fluss von gekühlter Luft durch die Rechnergehäuse garantieren.

Der Vorteil von dieser Vorgehensweise liegt darin, dass nicht im gesamten Serverraum, sondern nur im Inneren der Schränke die Temperatur penibel kontrolliert werden muss. Lokale Temperaturschwankungen werden so verhindert, die naturgemäß immer auftreten, wenn eine große Fläche von einem einzigen großen System belüftet wird. Zusätzlich wurden viele kleine statt weniger großer Gebläse eingebaut, was die Effizienz steigert und den Lärmpegel im Serverraum enorm senkt.

Um die Luft in den Serverräumen zu klimatisieren und mittels einer Serie von Filtern staubarm zu halten, wurde von der Firma Airco-Klima aus Hannover ein Klimatisierungssystem bereitgestellt und installiert. Die Räume wurden von der Leibniz Universität Hannover gemietet und vom Ingenieurbüro Wolf + Weiskopf GmbH aus Hannover umgebaut.

Für den Fall eines kompletten Stromversorgungsausfalls, kann eine unterbrechungsfreie Stromversorgung von der Firma MGE mit einer Gesamtkapazität von etwa 800 kW den gesamten

Cluster unter Vollast für etwa 6 Minuten versorgen. Das ist genug Zeit, um die Arbeit in einem definierten Zustand zu sichern und den Cluster ohne Datenverlust herunterzufahren.

Technische Daten der Nodes:

1342	Pyramid Computer 811X Arbeits-Nodes	1HE
	Intel Xeon X3220 2,4 GHz Quad Core	
	8GB RAM, 500 GB HDD	
	1 NIC 1Gbit Daten	
	1 NIC 100Mbit Wartung	
	5368 CPU Cores	
31	Pyramid Computer 836X Daten Server	3HE
	2x Intel Xeon 5345 2,33 GHz Quad Core	
	16GB RAM, 16x750 GB HDD RAID	
	248 CPU Cores	
4	Pyramid 836H Head Nodes	3HE
	2x Intel Xeon 5345 2,33 GHz Quad Core	
	16GB RAM, 4x750 GB HDD RAID	
	32 CPU Cores	
13	Sun Fire X4500	
	2 x Opteron 290 Dual Core	
	16 GB RAM, 48x500 GB HDD	
	56 CPU Cores	

Hintergrundinformationen II

Warum Gravitationswellenastronomie?

Als Albert Einstein 1916 im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie die Existenz von Gravitationswellen voraussagte, war er fest davon überzeugt, diese kleinsten Veränderungen der Raumzeit werde man niemals messen können. Bis heute gehört der direkte Nachweis von Gravitationswellen zu den wichtigsten offenen Fragen der modernen Wissenschaft. Ihre direkte Beobachtung wird das Zeitalter der Gravitationswellenastronomie eröffnen und damit völlig neue Einblicke ins Universum ermöglichen – bis hin zu seiner Entstehung.

Die Beobachtung von Gravitationswellen hätte, neben der Untermauerung der Allgemeinen Relativitätstheorie, noch weiter reichende Auswirkungen: Erstmals wäre es möglich, einen Blick in die sehr frühe „Kinderstube“ des Universums zu werfen. Die bisherigen Beobachtungen des Himmels beschränken sich nämlich auf das elektromagnetische Spektrum (z.B. Radio- und Röntgenteleskope sowie Beobachtungen sichtbaren Lichtes). Die Informationen, die uns damit über die Entstehung des Universums zugänglich sind, reichen nur bis maximal 380.000 Jahre nach dem Urknall zurück. Weiter zurück liegende Zeiten bleiben der Beobachtung bislang verborgen, da das Universum erst zu diesem Zeitpunkt transparent für elektromagnetische Strahlung wurde. Die verschiedenen Theorien zum frühen Universum sind somit bislang experimentell unbestätigt. Die direkte Messung von Gravitationswellen eröffnet hier vollkommen neue Möglichkeiten, da die Gravitation diesen Beschränkungen nicht unterliegt. Durch Gravitationswellenastronomie werden daher völlig neue physikalische Bereiche der direkten Beobachtung zugänglich.

90 Jahre nach Einsteins Voraussage ist eine direkte Messung von Gravitationswellen in den Bereich des Möglichen gerückt. Als geeignete Methode, die winzigen Stauchungen und Dehnungen der Raumzeit beim Durchgang einer Gravitationswelle zu beobachten, hat sich in den vergangenen Jahrzehnten die Laserinterferometrie herauskristallisiert.

Entstehung und Nachweis von Gravitationswellen

Gravitationswellen sind Änderungen in der Struktur der Raumzeit, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Sie wurden 1916 von Albert Einstein im Rahmen seiner Allgemeinen Relativitätstheorie vorausgesagt. Unter den vielen stets mit Glanz bestandenen Tests der Allgemeinen Relativitätstheorie ist es besonders diese Voraussage, die noch der Bestätigung durch einen *direkten* Nachweis harrt. Der Grund liegt in der Schwäche der Wechselwirkung zwischen Gravitation und Materie. Bisher gibt es nur einen *indirekten* Beweis für die Existenz von Gravitationswellen. Die Astronomen Hulse und Taylor studierten über 25 Jahre Veränderungen in den Bahndaten des Binärpulsars PSR1913+16. Die Abnahme der Bahnperiode dieses Doppelsternsystems läßt sich als durch die Abstrahlung von Gravitationswellen bedingten Energieverlust deuten.

Die Beobachtungen stimmen mit den Voraussagen der Allgemeinen Relativitätstheorie bestens überein. Dafür bekamen Hulse und Taylor 1993 den Nobelpreis für Physik.

Gravitationswellen werden von beschleunigten Massen erzeugt. Die dabei auftretenden Änderungen des Gravitationsfeldes können sich nur mit endlicher Geschwindigkeit ausbreiten. Das führt zwangsläufig zu einer als Welle fortschreitenden Erscheinung. Sie äußert sich in einer Verformung der Raumzeit, d.h. in einer periodischen Abstandsänderung zwischen benachbarten Probenmassen. Der experimentelle Nachweis von Gravitationswellen besteht daher "nur" in einer einfachen Längenmessung. Wegen der Starrheit der Raumzeit sind die dadurch erzeugten Strukturänderungen aber nur sehr klein. Beobachtbare Gravitationswellen werden nur von kompakten kosmischen Objekten und Vorgängen mit großen Beschleunigungen erzeugt.

Typische Quellen sind daher Sternexplosionen (Supernovae), superschwere Schwarze Löcher oder schnell umeinander kreisende Neutronensterne. Selbst wenn diese Quellen in der Milchstraße oder einer Nachbargalaxis liegen, rufen sie auf der Erde nur relative Längenänderungen von bestenfalls 10^{-18} hervor, typischerweise sogar nur 10^{-21} , d.h. eine Strecke von 3 km Länge ändert sich nur um ein Tausendstel eines Protonendurchmessers. Dies verdeutlicht die Herausforderung, die ein direkter Gravitationswellennachweis darstellt.

Die Messung von Gravitationswellen

Derzeit arbeiten weltweit vier Gravitationswellenobservatorien am direkten Nachweis der Gravitationswellen: Die beiden amerikanischen LIGO Observatorien in Hanford/Washington und Livingston/Louisiana, das italienisch-französische Virgo- sowie das deutsch-britische GEO600-Observatorium. Diese Observatorien arbeiten im Rahmen der LIGO Scientific Collaboration (LSC) eng zusammen.

Die Messgeräte – Laserinterferometer – arbeiten nach folgendem Prinzip: Jedes der L-förmigen Interferometer nutzt einen Laser, dessen Licht in zwei Strahlen geteilt wird. Diese Laserstrahlen laufen in einer Vakuumröhre zwischen zwei Spiegeln immer hin und her. Mit Hilfe der Laserstrahlen wird die Entfernung zwischen den exakt positionierten Spiegeln gemessen.

Durchquert eine Gravitationswelle den Detektor müsste sich nach Albert Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie die Entfernung der Spiegel zueinander geringfügig ändern, wenn eine Gravitationswelle - eine Verformung der Raumzeit, die von massiven beschleunigten Objekten auf die Reise durchs Universum geschickt wird - den Detektor passiert. Das Interferometer ist so empfindlich, dass es eine Längenänderung des Laserarms von weniger als einem Tausendstel des Durchmessers eines Atomkerns erkennen kann.

Am Zentrum für Gravitationsphysik, einer gemeinsamen Einrichtung der Max-Planck-Gesellschaft und der Leibniz Universität Hannover, wird experimentelle Gravitationswellenforschung betrieben. Dazu gehört sowohl die Grundlagenforschung als auch die angewandte Forschung auf den Gebieten Laserphysik, Vakuumtechnik, Vibrationsisolation sowie die klassische Optik und Quantenoptik. Weitere Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklung und Realisierung von Algorithmen zur Datenanalyse für verschiedene Typen von Quellen für Gravitationsstrahlung. Zusammen mit dem in

Golm bei Potsdam angesiedelten theoretischen Teil des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik bildet das Albert Einstein Institut ein weltweit einzigartiges Zentrum für Gravitationsphysik, das alle ihre Aspekte abdeckt.

Gemeinsam mit britischen Forschungseinrichtungen betreibt das Zentrum für Gravitationsphysik in Ruthe bei Hannover den Gravitationswellendetektor GEO600. Die Wissenschaftler des Instituts sind außerdem federführend an LISA (Laser Interferometer Space Antenna), dem Gravitationswellendetektor im Weltraum beteiligt. Das Gemeinschaftsprojekt von NASA und ESA soll ab 2015 Gravitationswellen im Weltraum messen und damit erstmals so tief ins Universum hinein „hören“ können, wie niemals zuvor.

Weitere Informationen im Internet:

- Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut): <http://www.aei.mpg.de>
 - LSC data grid: <http://www.lsc-group.phys.uwm.edu/lscdatagrid/overview.html>
 - US LIGO data analysis system: <http://www.ldas-cit.ligo.caltech.edu/cgi-bin/index.cgi>
 - LIGO: <http://www.ligo.caltech.edu>
 - CNAF: <http://www.cnaf.infn.it/main/index.php/en>
 - Virgo: <http://www.ego-gw.it/public/virgo/virgo.aspx>
 - GEO600: <http://geo600.aei.mpg.de>
 - Einstein@Home: <http://einstein.phys.uwm.edu>
 - Pyramid Computer GmbH: <http://www.pyramid.de>
 - Woven Systems: <http://www.wovensystems.com>
 - Betriebssystem Debian: <http://www.debian.org/index.de.html>
 - Condor-Ressourcenverwaltung: <http://www.cs.wisc.edu/condor>
- Milde Marketing Science Communication: <http://www.mildemarketing.de/Hilfssysteme>

Bildmaterial



Supercomputer ATLAS zur Gravitationswellenforschung im Albert-Einstein-Institut Hannover



Professor Bruce Allen, Direktor des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik