

# extrakte

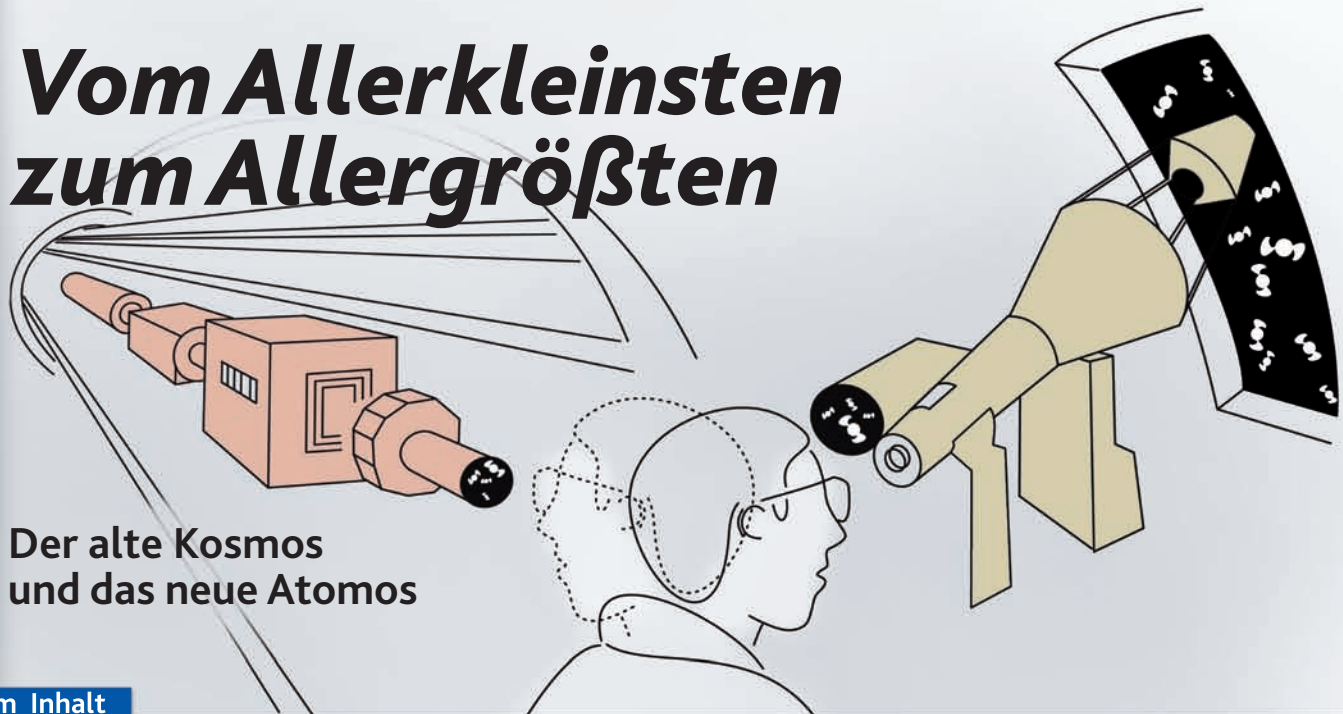
Auszüge aus der Wissenschaft

Ein Pressedienst der



## Vom Allerkleinsten zum Allergrößten

Der alte Kosmos  
und das neue Atomos



Aus dem Inhalt

### 2 Nadel im Heuhaufen - da können wir nur lachen!

Für Teilchenphysiker ist die sprichwörtliche Suche nach der Nadel im Heuhaufen ein Kinderspiel – dank der Hilfe extremer High-Tech-Detektoren. In das ATLAS-Experiment am CERN in Genf wird dazu gerade ein Pixeldetektor eingebaut, der es in sich hat.



### 5 Ein analoges und ein digitales Bild aus der Geschichte der Teilchenphysik

„Du sollst Dir kein Bildnis machen“ steht zwar in der Bibel, aber moderne

Forschung ist auf visuelle Darstellungen angewiesen. Fotos werden dabei immer mehr durch Computerrekonstruktionen ersetzt.

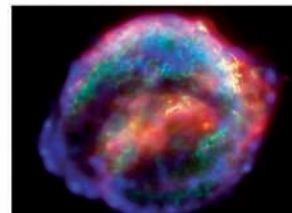
### 7 Das Mysterium der Masse

Jeder kennt sie aus dem täglichen Leben, aber wie entsteht eigentlich Masse? Mit dem ‚Large Hadron Collider‘ wollen die Teilchenphysiker dieses uralte Rätsel endlich lösen. Was hat das Higgs-Teilchen damit zu tun, und wie sucht man danach?



### 14 Superenergien aus dem All

Kosmische Beschleuniger sind viel mächtiger als erdgebundene. Wo stehen sie? Nach welchem Prinzip arbeiten sie? Wie kann man sie lokalisieren? Das ‚Auger-Experiment‘ hofft, auf diese Fragen Antworten geben zu können.



### 19 Chirurgie mit dem Taschenrechner

Warum Teilchenphysik studieren? Was machen Teilchenphysiker eigentlich später im Beruf? Wir haben bei Studierenden und Ehemaligen nachgefragt.

### 23 Im Gespräch

Was treibt Teilchenphysiker an? Wie sieht ihre Arbeit konkret aus? Drei Professoren der Universität Siegen im Gespräch.



### 27 Andere Meldungen aus der Forschung

- Experten auffinden in großen Organisationen
- BMBF-Forschungsschwerpunkte: Siegener Teilchenphysik als exzellent ausgezeichnet
- Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Sprachwissenschaft

# „Nadel im Heuhaufen – da können wir nur lachen“

Wie ein Pixeldetektor den Geheimnissen der Teilchenphysik auf die Spur kommen soll

Die sprichwörtliche Suche nach der Nadel im Heuhaufen ist für die Teilchenphysiker, die sich am Europäischen Labor für Elementarteilchenphysik CERN in Genf aufgemacht haben, die letzten Geheimnisse des Mikrokosmos zu ergründen, eigentlich ein Klacks.

Grob überschlagen, besteht ein Heuhaufen aus einer Million Grashalme, in denen versteckt die Nadel ruhig ihrer Entdeckung harret. „Wenn man bedenkt, dass wir pro Sekunde 40 Millionen mal mehr als tausend neu entstandene Teilchen nach Dingen durchsuchen, von denen wir zu allem Überfluss noch nicht einmal wissen, wie sie genau aussehen, und die aller Wahrscheinlichkeit nach nur extrem kurz auftreten, versteht man, warum wir über die Nadel im Heuhaufen nur lächeln können“, erläutert Prof. Dr. Peter Buchholz, der die Arbeitsgruppe ‚Experimentelle Teilchenphysik‘ an der Universität Siegen leitet. Er baut mit seinen Mitarbeitern als eine von vier deutschen Arbeitsgruppen aus NRW im Rahmen einer weltweiten Kollaboration den derzeit leistungsstärksten ‚Nadelsucher‘ der Welt, den so genannten ‚Pixeldetektor‘. „Faszinierend dabei ist auch die in den letzten Jahren immer klarer gewordene Bedeutung der so gewonnenen Erkenntnisse für das Verständnis unseres gesamten Universums. Das verstärkt noch die Bereitschaft, sich auf ein technisch derartig schwieriges und auch langfristiges Unternehmen einzulassen“, fügt Buchholz hinzu.

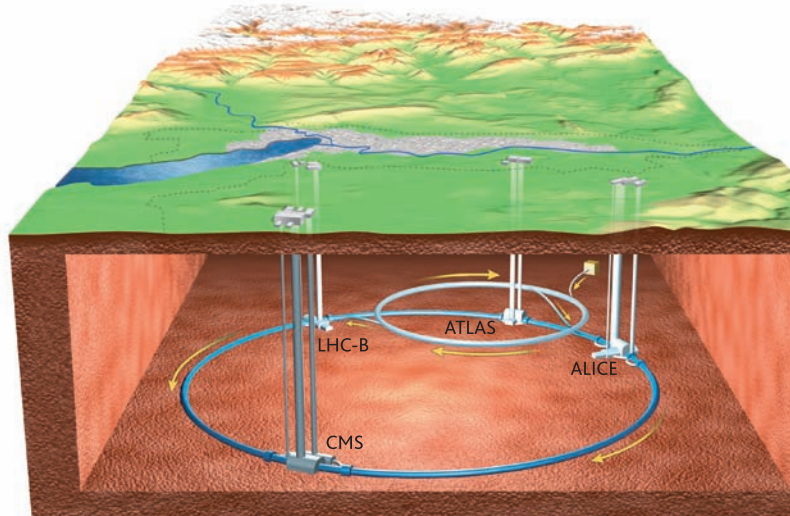
Um was geht es nun genau und wie schaffen es die Physiker auch an einer kleineren Universität ein solches Großprojekt zu verwirklichen? Die treibende Kraft ist der Drang, fundamentalste Dinge zu verstehen, wie z.B. die Entstehung des Universums und seinen Aufbau vom subatomaren Bereich bis zu kosmologischen Distanzen, sowie seine zukünftige Entwicklung vorherzusagen zu können. Dazu haben sich die Teilchenphysiker weltweit zusammengeschlossen, um an großen Beschleunigeranlagen Teilchen möglichst hoher Energie zur Kollision zu bringen. Mittlerweile sind die erreichten Energien so hoch, dass sich dabei ähnliche Verhältnisse wie bei der Entstehung des Universums im Urknall herstellen lassen – aller-

dings räumlich sehr begrenzt. Die frei werdende Energie geht sofort in eine sehr große Anzahl neu entstandener Teilchen über. Die Kunst ist nun, möglichst viele dieser Partikel, nicht nur zu identifizieren, sondern auch ihre Richtungen und Geschwindigkeiten zu bestimmen. Da manche Teilchen nur sehr kurz leben und nach einigen Millimetern schon wieder zerfallen, muss man sehr dicht an ihren Entstehungsort gehen. Außerdem sind es sehr viele – tausende auf kleinstem Raum. Daher benötigt man ein Nachweisgerät möglichst hoher Auflösung. Das kennt jeder Hobbyfotograf, der gerne große Ausdrücke seiner Bilder machen möchte, von seiner Digitalkamera. Er entscheidet sich für eine Kamera mit der höchsten Pixelzahl, die sein Geldbeutel ihm erlaubt.

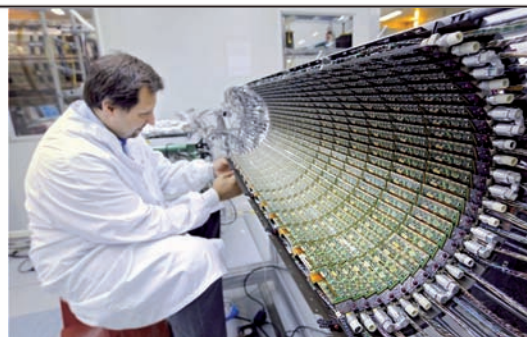
„Gerne hätten wir den Pixeldetektor von der Industrie gekauft, da wir auch mit dem Betrieb und der Datenauswertung schon alle Hände voll zu tun haben; aber so etwas gibt es leider nicht“, meint Peter Buchholz. „Das mag manchen Kamerabesitzer verwundern, der doch auch schon Herr über Millionen von Pixel ist. Das Problem besteht darin, dass die CCD-Chips der Kameras einfach nicht schnell genug sind.“ Wie entsteht das fotografische Bild bei einer Digitalkamera? Ein CCD-Chip besteht aus einer Matrix von lichtempfindlichen Silizium-Zellen, die Pi-

Blick in den Pixeldetektor nach Zusammenbau der Halbschalen

Der LHC Teilchenbeschleuniger mit seinen vier Detektoren 100 m unter der schweizerisch/französischen Erdoberfläche



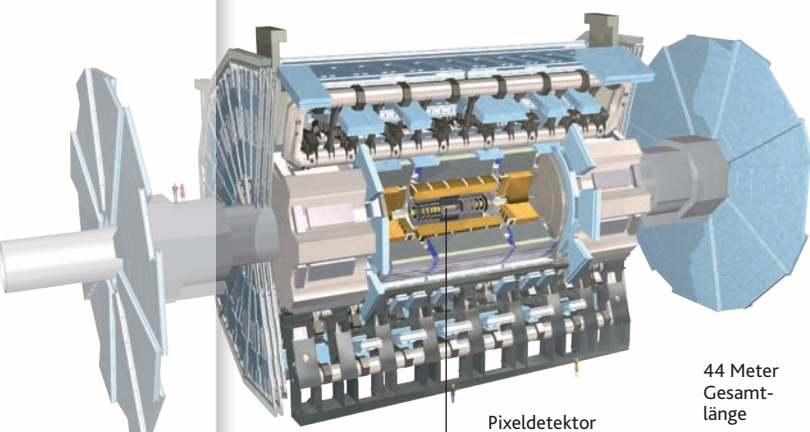
xel genannt werden. Ein Lichtstrahl setzt sich aus unzähligen kleinen Teilchen, den Photonen, zusammen. Dringen Photonen durch das Kameraobjektiv zu den Pixel des CCD-Chips vor, schlagen diese Elektronen, negativ geladene Teilchen, aus der Atomstruktur des Chips heraus. Je Lichtfarbe entsteht dadurch ein spezifisches elektrisches Signal, das über Ladungverschiebungen zur Ausleseelektronik des CCD-Chips weitergeleitet wird. Wie bei einer Menschenkette, die zum Löschen eines Brandes einen Wassereimer von der Quelle zum Brandherd weiter reicht, werden die Ladungen sukzessive durch den Chip transportiert. Jedem Signal, das in die Ausleseelektronik des Chips eingeht, ist eine eindeutig bestimmte Farbe zugeordnet. Aus dieser fotografischen Zuordnung konstruiert der Chip dann das gewünschte fotografische Bild. Das dauert bei der Kamera typischerweise bis zu einer halben Sekunde. Dazu bleibt im Teilchenphysik-Experiment einfach keine Zeit.



Der Projektingenieur Danilo Giugni vor einer Halbschale des Pixeldetektors

zelenen Proton-Proton-Volltreffers eine Hitze von 140 000 000 000 000 Grad. Temperaturen wie diese gab es bisher nur ein einziges Mal in unserem Universum - vor 15 Milliarden Jahren während der Geburt unseres Universums. Der Crash, von den Physikern lakonisch nur ‚Ereignis‘ genannt, simuliert damit Bedingungen, wie sie wenige Augenblicke nach dem Urknall herrschten. Wie beim ‚Big Bang‘ wird entsprechend der berühmten Einsteinschen Formel  $E=mc^2$  kinetische Energie im Moment des Zusammenpralls in Masse transformiert; auf diese Weise werden vielfältige neue Formen von Materie erzeugt. Um die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten auch extrem seltener Prozesse zu erhöhen, bemühen sich die Physiker am CERN den Produktions-Ausstoß der LHC-Teilchenfabrik möglichst hoch zu schrauben. Das heißt, dass sie die Wechselwirkungsrate des LHC auf 40 Megahertz takteten; im Klartext: der Mini-Urknall wiederholt sich unglaubliche 40 Millionen mal in der Sekunde. Alle 25 Nanosekunden treffen demnach die Protonen aufeinander und hinterlassen einen Teilchenschauer, der sich sternförmig vom Wechselwirkungspunkt weg in alle Richtungen ausbreitet.

Bild links: Modell des ATLAS-Detektors mit seinem Herzstück, dem Pixeldetektor

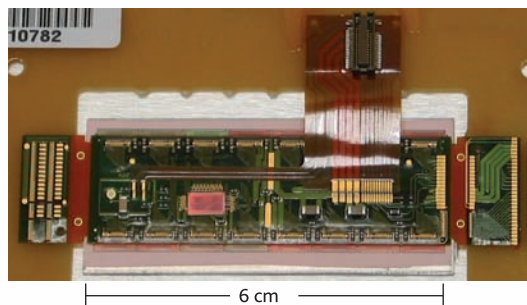


**Mini-Urknall im Labor:  
40 Millionen mal pro Sekunde**

Schauplatz des Experiments ist das CERN in Genf – das Jahrzehnte alte Mekka der Teilchenphysik in Europa, mittlerweile auch weltweit führend. Die Apparatur, von der man sich ab Inbetriebnahme in diesem Jahr eine Fülle wissenschaftlicher Erkenntnisse verspricht, heißt ‚Large Hadron Collider‘, kurz ‚LHC‘. Der LHC ist ein Beschleuniger für Protonen – Atomkern-Bausteine, die viele noch aus der Schule kennen. Teilchenbeschleuniger werden in der experimentellen Physik seit den 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts eingesetzt, um auf künstlichem Wege Elementarteilchen zu produzieren. Die Protonen werden in einem unterirdischen ringförmigen Tunnel von 27 km Länge in einem Vakuumrohr beschleunigt. Elektromagnetische Wechselfelder geben ihnen auf ihrer Bahn die notwendige Energie, Magnete halten sie durch extrem starke Felder auf der Strecke. Haben die Protonen nach ca. 400 Millionen Umläufen endlich ihre Zielgeschwindigkeit erreicht, stellen die Wissenschaftler am CERN die Weichen um: die fast lichtschnellen Protonen rasen dann mit ungebremster Geschwindigkeit aufeinander zu – und einige knallen mit voller Wucht ineinander. Rechnet man die dabei entstehende Kollisionsenergie in eine Temperatur um, so herrscht im Moment eines ein-

**Der Pixeldetektor:  
Geschwindigkeit ist keine Zauberei**

Der Pixeldetektor ist die innerste Schale und gleichzeitig das letzte fehlende Bauteil einer gigantischen High-Tech-Apparatur mit Namen ‚ATLAS‘, die zur Vermessung der Kollisions-Zerfallsprodukte wie eine Zwiebel in mehreren Lagen um den Wechselwirkungspunkt herum aufgebaut ist. ATLAS, der ob seiner immensen Größe seinen Namen nicht zu Unrecht von einer Riesen-Gestalt aus der griechischen Mythologie bezieht, ist einer von insgesamt vier zylinderförmigen Detektoren, die zur Erkundung der physikalischen Vorgänge im Augenblick der Teilchen-



Pixeldetektormodul

Kollisionen derzeit am Streckenverlauf der LHC-Trasse installiert werden. Insgesamt 44 Meter lang und 22 Meter hoch schichtet sich das riesige Messgerät in mehreren Lagen um die Strahlachse des LHC-Teilchenbeschleunigers. Jede Lage dieses für Be-

schleuniger wohl größten Detektors der Welt hat als eigener Subdetektor seine spezifische Messfunktion. Nur wenn die Subdetektoren von ATLAS genau aufeinander abgestimmt sind und zuverlässig ihre Aufgaben erfüllen, können die Physiker die aus dem

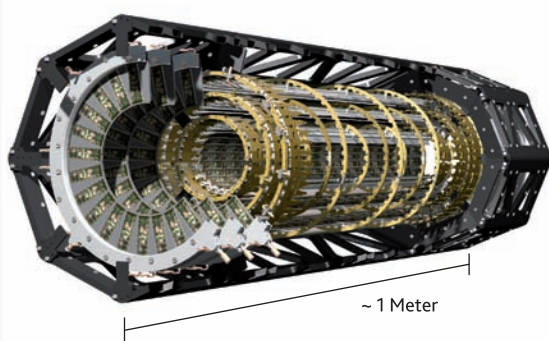


„Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration“ in Berlin, das einen Großteil der Bare Module hergestellt hat. Diese werden dann in den Universitätslaboren auf einer Trägerplatine mit weiteren Elektronikchips sowie ihrer elektrischen Versorgung



Wechselwirkungs-Ereignis entstehenden Teilchenarten bestimmen und analysieren. Als innerster Subdetektor von ATLAS trennen den Pixeldetektor nur Zentimeter vom Ursprung des Geschehens. Eine Digitalkamera könnte dieses etwa zweimal pro Sekunde festhalten; der Pixeldetektor muss 40 Millionen Mal bereit sein! Das schafft er nur, wenn jedes einzelne Pixel seine Information auf direktem Wege an die Ausleseelektronik weitergeben kann.

Anders ausgedrückt: jedes der insgesamt 80 Millionen Pixel benötigt einen direkten Draht zu dem jeweils zuständigen Verstärker. Bei einer Pixelgröße von nur 50 Mikrometer Breite und 400 Mikrometer Länge keine leichte Aufgabe; Kabel scheiden offensichtlich aus. Zum Vergleich: ein menschliches Haar



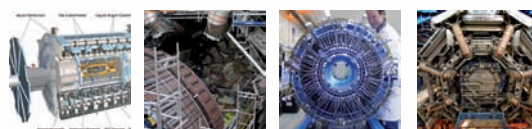
ist etwa 100 Mikrometer dick. Die Lösung bietet eine neue Technologie, das ‚Bump-Bonding‘. Dabei werden der Pixel-Chip und die Chips, die Verstärker und weitere Elektronik beinhalten, direkt miteinander zu einem so genannten ‚Bare Module‘ verbunden. Die Verbindung erfolgt mit Hilfe kleiner Metallkugeln (‚Bumps‘), die kleiner sind als die Pixel. Im Falle des Pixeldetektors werden so mit einem Sensorchip, der über 46000 Pixel besitzt, jeweils sechzehn kleinere Elektronikchips mit je 2880 Verstärkern verbunden. Im Klartext bedeutet das, es müssen 2880 winzig kleine Lötverbindungen gleichzeitig hergestellt werden. Dieses High-Tech-Verfahren gibt es nur an wenigen Orten der Welt. Einer dieser Orte ist das

versehen. Das Resultat ist eines von 1744 Modulen, die dann zu dem gesamten Pixeldetektor zusammengesetzt werden. „Wir haben uns schon früh entschieden, alle Schritte des Modulbaus in allen beteiligten Arbeitsgruppen auszuführen. Die Alternative wäre eine Fließband-Produktion gewesen, bei der jedes Institut jeweils nur für sehr wenige Schritte zuständig gewesen wäre“, führt Dr. Wolfgang Walkowiak aus, der die Modulproduktion in Siegen leitet. In einer beispielhaften, vom BMBF geförderten Zusammenarbeit, haben sich die vier aus NRW stammenden Arbeitsgruppen der Universitäten Bonn, Dortmund, Siegen und Wuppertal als Teil einer internationalen Kollaboration des Pixeldetektors angenommen. Jede Gruppe hat dabei, ihrer Expertise und ihren Möglichkeiten entsprechend, Aufgaben bei der Entwicklung und beim Bau des Detektors übernommen. Dadurch kann auch mit den weltweit größten am Bau des Pixeldetektors beteiligten Laboren mitgehalten werden.

Ende Mai soll es soweit sein; der Pixeldetektor wird in das ATLAS-Experiment eingebaut. Dann werden auch Siegener Studierende die Gelegenheit haben, aktiv zu seiner Inbetriebnahme beizutragen. „Die dabei in einer hochmotivierten, internationalen Wissenschaftlergruppe gemachten Erfahrungen werden für ihren späteren beruflichen Werdegang sicherlich sehr hilfreich sein“, ist Peter Buchholz überzeugt.

Links im Bild: Der ATLAS-Detektor im Oktober 2006. Noch fehlt der letzte Baustein: der Pixeldetektor. Bild Mitte, Bild links: Impressionen des Zusammenbaus des Pixeldetektors. Voraussichtlich Ende Mai wird der Pixeldetektor eingebaut.

Bild links: Modell des Pixeldetektors. Der Pixeldetektor besteht aus drei konzentrischen Schalen. Abgeschlossen werden diese durch je drei kreisförmige Scheiben. Schalen und Scheiben sind mit Modulen bestückt.



Texte, Bilder und Zusatzmaterial  
[www.extrakte.uni-siegen.de](http://www.extrakte.uni-siegen.de)

**Ansprechpartner**  
 Prof. Dr. Peter Buchholz  
 Experimentelle Teilchen-/Astroteilchenphysik  
 Telefon: ++49 271 740 3718 / Telefax: ++49 271 740 3886  
[buchholz@hep.physik.uni-siegen.de](mailto:buchholz@hep.physik.uni-siegen.de)  
 Fraunhofer-Institut IZM: [www.pb.izm.fhg.de/izm/DE/index.html](http://www.pb.izm.fhg.de/izm/DE/index.html)

Jens Schröter

## Ein analoges und ein digitales Bild aus der Geschichte der Teilchenphysik

Über die Bedeutung von Bildmedien im physikalischen Erkenntnisprozess

„Was wir über unsere Gesellschaft, ja über die Welt, in der wir leben, wissen, wissen wir durch die Massenmedien.“ So beschrieb einst Niklas Luhmann die Macht der Medien. Luhmann zielte mit dieser Sentenz zwar in erster Linie auf das Wissen, mit dem wir uns über die Gesellschaft, in der wir leben, orientieren. Ein Blick in die naturwissenschaftliche Forschung zeigt aber, dass der Satz zunehmend auch seine Gültigkeit in einer noch viel elementareren Hinsicht beweist. Denn die Art und Weise wie Forschung in der Gegenwart zu ihren Erkenntnissen kommt, ist auf das Engste mit dem Einsatz von Medien verbunden.

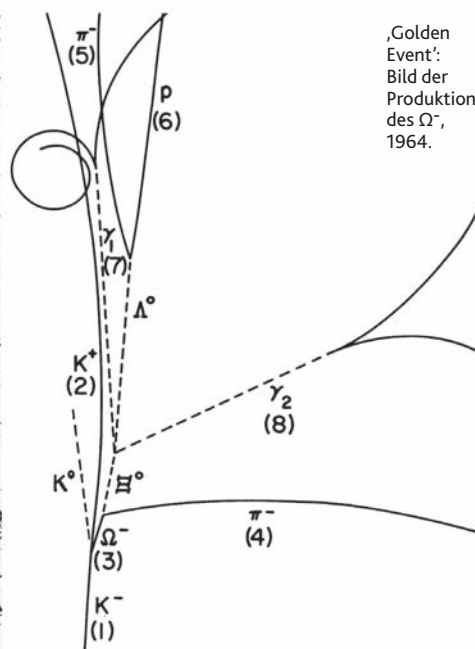
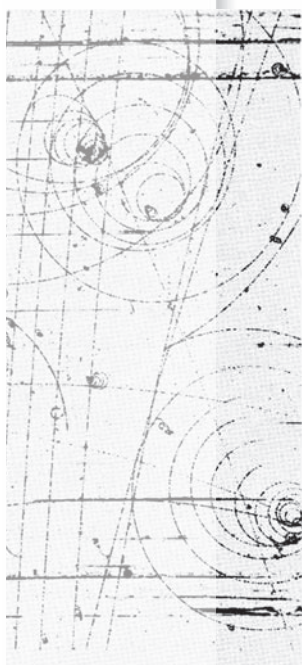
Damit stellt sich die Frage nach dem Verhältnis von Realität und Abbild auf einer neuen und äußerst sensiblen Ebene – dort wo unser Wissen seinen Ausgang findet, in der Wissenschaft, wird zunehmend uneindeutiger, ob wir im Erkenntnisprozess das sehen, was wir medial erzeugen oder ob wir mit den Medien sehen, was die Welt ohne ihren Einsatz nicht preisgeben würde. Erweitern Medien, die in der Grundlagenforschung eingesetzt werden, unseren Blick oder verstellen sie ihn, indem sie ihren Produzenten den Spiegel vorhalten? Ob ihrer Bedeutung beschäftigt sich zunehmend auch die heutige Medienforschung mit der Frage, welche Funktion Medientechnologien für die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung haben. Gerade in Hinsicht auf die Teilchenphysik leuchtet das unmittelbar ein. Denn wie sonst sollte man von der – jeder Anschauung unvorstellbar weit entrück-

ten – Welt der Quanten erfahren, als eben über Bilder, Formeln und Kurven. In dieser Hinsicht sind die beiden hier abgedruckten Bilder aufschlussreich.

Das erste ist eines der wichtigsten Bilder aus der Geschichte der Teilchenphysik. Links sieht man das Bild Nr. 97025 einer Experimentalreihe am Brookhaven Laboratory, New York, rechts seine Interpretation. Zum Hintergrund: In dem amerikanischen Labor für Teilchenphysik hatten Forscher eine mit rund 1000 Litern Wasserstoff gefüllte Blasenkammer aufgestellt. In die 80 inch große Blasenkammer des Labors wurde ein Strahl aus negativ geladenen Kaonen geschossen. Bei den Kollisionen des Strahls mit den Atomen entstanden zahlreiche neue Partikel, die abhängig von ihrer Ladung und Masse Spuren, wie winzige Kondenssstreifen, hinterließen. Doch nur ein Teilchen interessierte die Forscher – nämlich das Teilchen mit dem unscheinbaren Namen  $\Omega^-$ . Murray Gell-Mann war es, der die Existenz dieses Teilchen schon 1962 auf einer internationalen Konferenz vor seinen Kollegen behauptet hatte. Gell-Mann konnte das Teilchen und dessen exakte Eigenschaften voraussagen, da er eine neue Regelhaftigkeit im bis dahin eher unübersichtlichen Teilchenzoo, nämlich die so genannte ‚SU(3)-Symmetrie‘, entdeckt hatte. Diese Theorie wurde durch den Nachweis der Spuren auf Foto Nr. 97025 bestätigt. Schon an der schlichten Tatsache, dass es das 97025ste Bild war, auf dem die gesuchten Spuren auftraten, wird der mediale Aufwand ersichtlich, der für die Teilchenjagd betrieben worden war. Über der Blasenkammer wurde mit hoher Geschwindigkeit ein Film vorbeigezogen, der die zahllosen und ungeordneten Kollisionsereignisse festhielt. Deutlich wird: Ohne den Film hätte es gar keine Aufzeichnung des Ereignisses gegeben. Ohne Medium kein Wissen. Nachdem der Beschuss beendet war, musste der Film Bild für Bild ausgewertet werden. Dafür gab es ganze Spezialistenteams (‚Scanner‘ genannt), die nach verdächtigen Spuren Ausschau hielten. Fand man fotografische Evidenzen, dann mussten sie interpretiert werden. Denn: die wenigen schwachen und verworrenen Linien, die das Licht auf das photosensible Material gezeichnet hatte, berichteten ja nicht selbst davon, was sie waren. Jedenfalls: Das 97025ste Bild wurde zusammen mit seiner Interpretation – das gejagte und kurzlebige  $\Omega^-$  ist der kleine Rechtsknick in einer der Linien – geradezu zu einer Ikone der Teilchenphysik. Es überzeugte die meisten Physiker davon, dass Murray Gell-Manns Theorie richtig war – sie ist daher heute unter dem Begriff ‚Quarkmodell‘ als eine tragende Säule in dem so genannten ‚Standardmodell der Teilchenphysik‘ aufgegangen. Wieder wäre dieser Überzeugungsprozess ohne das Foto von diesem – wie man sagt – ‚goldenen Ereignis‘ gar nicht möglich gewesen. Ohne die Bilder, die mühsame Arbeit ihres Durchsuchens und Bewertens, wäre keine physikalische Erkenntnis zu haben gewesen. Solche Prozesse untersucht eine wissenschaftshistorisch orientierte Medienwissenschaft – oder eine an Medien orientierte Wissenschaftsgeschichte, wie sie etwa Peter Galison in seinem erkenntnisreichen Buch ‚Image and Logic. A Material Culture of Microphysics‘ zeichnet.

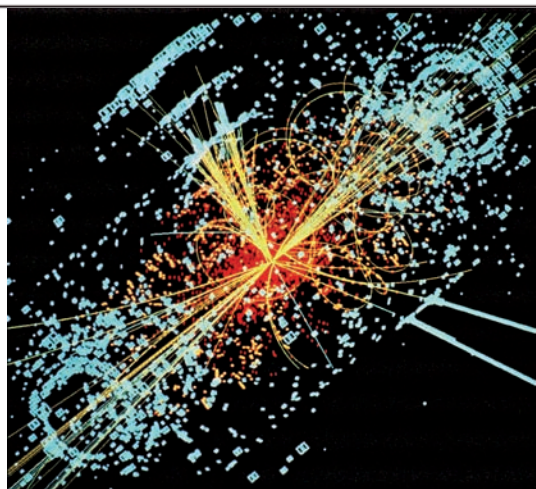
Ohne Medium kein Wissen

Bild Nr. 97025: eine Ikone der Teilchenphysik



„Golden Event“: Bild der Produktion des  $\Omega^-$ , 1964.

Das zweite Bild ist viel jünger. Es stammt aus der Gegenwart. Schon lange gibt es keine Blasenkammer



Simulation: Ein mögliches, zukünftiges ‚Higgs-Ereignis‘

mit Filmapparaten mehr. Stattdessen werden inzwischen komplizierte, computergestützte Detektoren für die Bildgebung eingesetzt. Der Medienumbruch von den analogen zu den digitalen Bildern ist auch an der Teilchenphysik nicht vorübergegangen, ja die Naturwissenschaften sind im Allgemeinen gerade die Vorreiter beim Einsatz – anfänglich ja oft noch sehr teuer – neuer Medientechnologien. Das Bild ist kein Foto, sondern die visuelle Darstellung einer Simulation. Es zeigt eine mögliche Variante eines Kollisionsereignisses, von dem die Physiker hoffen, dass es vielleicht am CERN, wenn der neue Large Hadron Collider dieses Jahr seine Arbeit aufnimmt, auftreten *wird*. Das Bild zeigt, anders als das Foto aus dem Brookhaven Lab, kein vergangenes, sondern ein mögliches, zukünftiges Ereignis. Statt ein fotografisch fixiertes Gewirr von Spuren zu interpretieren, um herauszufinden, ob von der Theorie vorausgesagte Ereignisse stattgefunden haben, wird die Theorie in gewisser Weise selbst zum Bild, das nun als Vorlage dient, um das gesuchte Ereignis aus der Fülle möglicher Ereignisse herauszufiltern. ‚Pattern recognition‘ also ‚Muster-Erkennung‘ nennen die Physiker diesen Prozess. Die Übersetzung von Bild und Theorie ineinander hat sich verändert. Neue Medien verändern die Modalitäten, mit denen wir uns der ‚Wirklichkeit‘ annähern. Natürlich sind Physiker nicht allein auf solche Bilder angewiesen – aber ohne Medientechnologien, die Daten sammeln, bearbeiten und auf verschiedene Weise darstellen können, ist Wissenschaft unmöglich. Es gibt heute schon die Disziplin ‚Computational Physics‘, in der die Rechenkraft großer Computer für die Erzeugung wissenschaftlicher Kenntnisse zentral wird. Und das Ereignis, das in dem simulierten Bild dargestellt wird, ist vielleicht von ähnlicher Bedeutung wie das  $\Omega$ -Ereignis. Denn es geht um die Beantwortung einer Frage, die das heutige ‚Standardmodell‘ nicht beantworten kann. Warum besitzen die Teilchen so verschiedene Massen, ja überhaupt eine Masse? Das Bild ist die Visualisierung des Ereignisses der Produktion und des Zerfalls eines Higgs-Bosons bei der Kollision zweier Protonen. Das noch hypothetische Higgs-Boson und das ihm zugeordnete Higgs-Feld gelten heute als beste Kandidaten für die Erklärung der Partikelmassen. Doch erst wenn dem simulierten Bild dereinst ein wirkliches Ereignis entspricht, wird man wissen, ob diese Theorie richtig ist. Simulation ersetzt nicht die ‚Wirklichkeit‘; aber sie ist eine neue mediale

Strategie herauszufinden, was ‚wirklich‘ ist. Der Titel von Niklas Luhmanns Buch „Die Realität der Massenmedien“ aus dem das Zitat zu Beginn dieses Artikels stammt, könnte demzufolge heute vielleicht richtiger heißen: „Die Realität der Medien“.

Dr. Jens Schröter ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des von der DFG geförderten kulturwissenschaftlichen Forschungskollegs SFB/FK 615 ‚Medienumbrüche‘, das in dreizehn Teilprojekten Medienkulturen und Medienästhetik zu Beginn des 20. Jahrhunderts und im Übergang zum 21. Jahrhundert erforscht. Schröter in-



teressiert sich insbesondere für die technologische Dimension medialer Umbrüche. Entlang der paradigmatischen Leitdiffferenz von ‚Analog‘

und ‚Digital‘ spürt Schröter den epistemologischen, kulturellen und ästhetischen ‚Erschütterungen‘ nach, die im Zuge des Auftretens von neuen Medientechnologien auf vielen gesellschaftlichen Ebenen zu beobachten sind.

#### Texte, Bilder

[www.extrakte.uni-siegen.de](http://www.extrakte.uni-siegen.de)

#### Ansprechpartner

Dr. Jens Schröter  
Kulturwissenschaftliches Forschungskolleg  
SFB/FK 615 Medienumbrüche  
Telefon: ++49 271 740 4959  
Telefax: ++49 271 740 4924  
[schroeter@fk615.uni-siegen.de](mailto:schroeter@fk615.uni-siegen.de)  
[www.theorie-der-medien.de](http://www.theorie-der-medien.de)

Forschungskolleg Medienumbrüche SFB/FK 615:  
[www.fk615.uni-siegen.de](http://www.fk615.uni-siegen.de)

#### Literaturtipp

Galison, Peter: Image & Logic.  
A material culture of microphysics.  
Chicago, 1997



# Das Mysterium der Masse

## Die Suche nach dem Higgs-Teilchen

„Unerträglich“ empfand Milan Kundera die „Leichtigkeit des Seins“. „Unbegreiflich“ empfinden demgegenüber Physiker aus aller Welt die „Existenz der Schwere“. Nein, es geht hier nicht um die melancholischen Dispositionen eines arbeitsüberlasteten Forscherstandes. Angesprochen ist vielmehr eine fundamentale Frage, mit deren Beantwortung sich die physikalische Grundlagenforschung nun schon seit mehr als 40 Jahren herumschlägt.

Eine Frage, die so einfach klingt, dass selbst Sesamstraßen-sozialisierte „wieso, weshalb, warum“-Kinder wohl kaum auf die Idee kämen, sie überhaupt einmal ihren Eltern zu stellen. „Warum gibt es Masse?“ – ‚Gewicht‘, würde der Laie sagen – rätselt nun schon in der dritten Forschergeneration die internationale Wissenschaftsgemeinschaft der Teilchenphysik. Zwar gibt es seit den 60er Jahren eine Hypothese, was das eigentlich ist: ‚Masse‘. Und auch wie sie zustande kommt. Den Beweis bleibt die Physik allerdings bis heute schuldig. Das könnte sich in den kommenden Jahren nun ändern. Mit dem Aufspüren eines winzigen Materieteilchens von subatomarer Größe wollen die Teilchenphysiker ihre vier Jahrzehnte alte Theorie bestätigen. Tausende von Physikern aus aller Welt versammeln sich zu diesem Zweck am Europäischen Labor für Teilchenphysik CERN, ausgerüstet mit einer gigantischen Maschine: dem ‚Large Hadron Collider‘, kurz ‚LHC‘. Ab Ende 2007 steht der Teilchenbeschleuniger bereit für die Jagd auf das Phantom. Gesucht wird das sogenannte ‚Higgs-Teilchen‘.

Mit dem Large Hadron Collider stößt die Naturwissenschaft zu Beginn des neuen Jahrtausends das Tor zu einer faszinierenden Welt der aller kleinsten Größenordnung und der höchsten Energieskalen auf. Tiefer als jemals zuvor dringen die Teilchenphysiker mit dem LHC in den Phänomenbereich des Mikrokosmos ein. Bis dato waren der Physik diese Areale lediglich in alternativen, zum Teil widersprüchlichen

Theorien zugänglich. Der LHC soll nun auch experimentell den Zutritt verschaffen. Er wird zurzeit in Genf am CERN fertig gestellt – dem weltweit größten Labor für Teilchenphysik. Bei der Experimentiermaschine handelt es sich um einen Ringbeschleuniger, der auf Jahre hinaus der leistungsfähigste seiner Art sein wird. Mit dem LHC werden die CERN-Physiker voraussichtlich ab Jahreswechsel 2007/2008 Pakete von Protonen auf einer 27 km langen Kreisbahn auf annähernde Lichtgeschwindigkeit beschleunigen und bei einer Energie von zwei mal sieben Tera-Elektronenvolt zur Kollision bringen. Der neue Teilchenbeschleuniger lässt Alchemisten-Träume wahr werden – wenn auch nur im Aller kleinsten: im Zusammenprall wird die Energie der Protonenstrahlen in neue Materie verwandelt. Tausende von Teilchen entstehen, die von Detektoren – riesigen Messapparaturen – aufgefangen werden.

Um alle Kollisionspunkte herum, insgesamt vier an der Zahl, haben die Physiker am CERN Detektoren installiert, die als eine Art Fotoapparat die entstandenen Teilchen, je nach deren Eigenschaften und Durchdringungsvermögen, in unterschiedlichen Detektorschichten vermessen und absorbieren. Gleichzeitig liefern sie unzählige Messdaten, die den Forschern Antworten auf eine Vielzahl von Fragen über den Aufbau der Welt im subatomaren Bereich liefern. Die Detektoren sind experimentelle Messinstrumente von höchster Komplexität. Sie sind so etwas wie die Augen, mit denen die Physiker in die tiefsten Tiefen des Mikrokosmos blicken. Zwei der vier im Aufbau befindlichen Detektoren, ATLAS und CMS – Messapparaturen von der Größe eines fünfgeschossigen Wohnhauses, bestehend aus Milliarden von Schaltkreisen, Mikrochips und Supermagneten – widmen sich einem breiten Spektrum von grundsätzlichen physikalischen Fragestellungen. Im Zentrum der Forschungsarbeit steht, neben anderen, die Frage nach dem Ursprung der Masse der Elementarteilchen.

Dem Geheimnis der Masse auf der Spur: Markus Schumacher koordiniert die internationale Suche nach dem Higgs-Teilchen am ATLAS-Experiment

### Das Massenproblem und der Higgs-Mechanismus

Das Standardmodell der Teilchenphysik, das Modell, in dem das gesammelte Wissen der teilchenphysikalischen Forschung der letzten Jahrzehnte zusammenfließt, wurde in den 60er Jahren entwickelt und seitdem einer Vielzahl von Präzisionstests unterzogen – mit großem Erfolg. So konnten die Forscher keine Abweichungen zwischen theoretischen Vorhersagen und experimentellen Befunden beobachten. Die Freude ist allerdings getrübt. Denn es gibt da ein nicht unbedeutendes Problem: das Modell in seiner ursprünglichen Form kann nur masselose Elementarteilchen beschreiben.

Man braucht nicht Physik studiert zu haben, um zu erkennen, dass sich die Wissenschaft an dieser Stelle in Erklärungsnot befindet. Wenn die Materie unseres Universums aus Elementarteilchen aufgebaut ist, wie kann es dann Elementarteilchen ohne Masse geben? Das klingt unplausibel: werden wir doch jeden Tag erneut mit unserem eigenen Körpergewicht und dem Gewicht der uns umgebenden Gegenstände – zuweilen auf unangenehme Weise – konfrontiert. So haben Experimente an älteren Teilchenbeschleunigern auch bestätigt, was die Alltagserfahrung ohnehin schon immer vermuten ließ: Für nahezu alle bekannten Teilchen lässt sich eine spezifische Masse ausmachen; die schwersten subatomaren Teilchen sind das Top-Quark und die Austauschteilchen der schwachen Kernkraft, die etwa der Masse bzw. der halben Masse eines Goldatoms entsprechen.

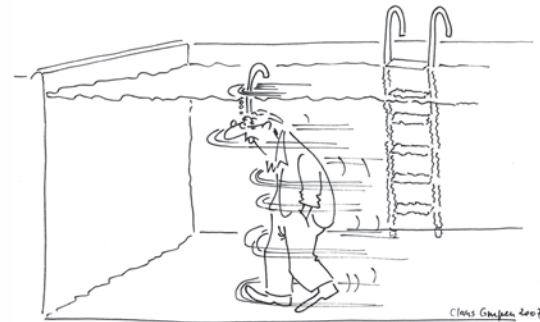
Der Schotte Peter Higgs und zeitgleich andere Kollegen entwickelten aufbauend auf Ideen von Philip Anderson in der Festkörperphysik einen ‚mathematischen Kniff‘, der das Erklärungsproblem des Standardmodells, zunächst nur auf dem Papier, lösen kann: den nach seinem Erfinder benannten ‚Higgs-Mechanismus‘. Dieser erlaubt es, den elementaren Bausteinen der Materie (Elektronen und Quarks) und den Kraftteilchen eine effektive Masse zu geben, und die Theorie dennoch selbstkonsistent zu bewahren. Nun mag der physikalisch Gebildete einwenden, dass die Masse unserer Umwelt hauptsächlich auf den Massen von Protonen und Neutronen in den Atomkernen beruht, die zum größten Teil von der Bewegungsenergie und anderen Effekten der starken Kernkraft herrührt. Ein Mechanismus, den das Standardmodell schon immer problemlos beschreiben konnte. Demnach beruht die Masse von Materie nur im kleineren Prozentbereich auf den Massen der Quarks und Elektronen – die Erklärungslücke, die mit dem Higgs-Mechanismus geschlossen werden soll, könnte aus dieser Perspektive als vernachlässigbar erscheinen. Allerdings bestimmt die winzige Elektronenmasse, um die es dem Higgs-Mechanismus geht, die Längenskala unserer Welt. Ohne Elektronenmasse keine Atombindung und daher auch keine komplexeren Strukturen wie Pflanzen, Tiere oder – Menschen. Die spezifische Masse der Atomkerntnanten, der Elektronen, ist dabei außerdem keineswegs beliebig. Würde man die Elektronenmasse um einen Faktor zehn vergrößern, wären wir Menschen – vorausgesetzt die Evolution wäre ge-

Ohne  
Elektronen-  
masse kein  
Leben

lungen – plötzlich nur noch zwanzig Zentimeter groß und das Tageslicht läge im Röntgenbereich. Ähnliche Argumentationsketten, die die Bedeutung des Higgs-Mechanismus belegen, lassen sich für die Massen der Quarks aufstellen. Fazit: Elementarteilchen haben Masse und das ist nicht nur gut so, sondern für das Leben auf der Erde sogar existentiell notwendig!

Mit was für einem theoretischen Trick erklären aber nun Peter Higgs et al. die Masse von Elektronen und Quarks? Anschaulich lässt sich der Higgs-Mechanismus durch folgende Analogie beschreiben: betrachten wir die Bewegungen eines Menschen, der der Tristesse des deutschen Winters entfliehend, seine Runden durch eine Poollandschaft in Südspanien dreht – korrekter gehen wir davon aus, dass der Bade-gast nicht schwimmt sondern sich laufend über den Beckenboden bewegt. Sehen können wir, dass sich der Urlauber im Wasser vergleichsweise nur langsamer fortbewegen kann, als der Bademeister, der am Beckenrand entlang spaziert. Würde man diese triviale Beobachtung auf ihre Ursachen zurückführen wollen, so würden sich zwei Erklärungsmöglichkeiten anbieten.

Erstens: man vernachlässigt für die Erklärung die Existenz des Wassers. Warum bewegt sich der Winterflüchtling im Pool bei gleicher Muskelkraft dann



Wie das Wasser den Pool, füllt das Higgs-Feld das Weltall aus.

auf einmal langsamer fort als der Aufseher am Beckenrand? Einzige Erklärung: sein Gewicht – der Physiker würde präziser sagen: seine Masse – muss plötzlich zugenommen haben, so dass die Muskelkraft den Körper nur schleppender nach vorne bringen kann.

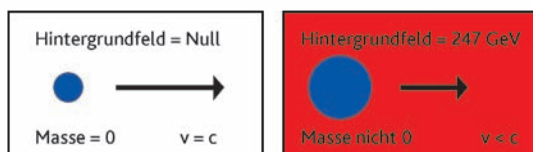
Zweite Erklärungsmöglichkeit: man bezieht das Wasser in die Erklärung mit ein. Dann lässt sich plausibel behaupten, dass der Urlauber gegen den Widerstand des Wassers anlaufen muss; das Wasser ‚bremst‘ den Urlauber aus, so dass er bei derselben Kraftanstrengung nur langsamer vorankommt. Was wir bei der ersten Begründung noch Masse genannt haben, würden wir jetzt ‚Reibungswiderstand‘ nennen.

Bezogen auf die Massenerzeugung der Elementarteilchen ähnelt unsere kleine Episode aus den warmen Gefilden des sonnigen Südens dem Bild der Teilchenphysiker von der Natur. Der Higgs-Mechanismus behauptet die Existenz eines omnipräsenten Hintergrundfeldes. Wie das Wasser den Pool, füllt demnach das Higgs-Feld das Weltall homogen und isotrop aus.

Gäbe es kein Higgs-Hintergrundfeld (Äther) würden sich alle Teilchen mit Lichtgeschwindigkeit durchs Weltall bewegen – der Urlauber würde sich quasi in einem leeren Schwimmbecken befinden.



Existiert nun der Higgs-Äther, so lässt sich die Trägheit der Elementarteilchen analog zur Spaniengeschichte auf zwei Arten erklären: Erstens: man ignoriert den Äther und behauptet alle Teilchen verfügen über Masse (wie es ja auch alltagsprachliche Praxis ist) oder zweitens, entsprechend dem Vorschlag von Peter Higgs: man berücksichtigt den Äther und beschreibt die Interaktion der Teilchen mit dem Hintergrundfeld als Effekt von ‚Reibungskräften‘. Die effektive Masse der Elementarteilchen hängt dann von zwei Faktoren ab. Zum einen von der ‚Zähflüssigkeit des Äthers‘ oder in der Sprache der Elementarteilchenphysik dem ‚Vakuumerwartungswert‘ des Higgs-Feldes; zum anderen von dem ‚Reibungskoeffizienten‘ der spezifischen Teilchensorte oder in der Sprache der Physik den ‚Kopplungskonstanten‘ der Wechselwirkung zwischen Higgs-Feld und Teilchen. Ein Teilchen ist deshalb massiver als das andere oder übersetzt: der eine Urlauber liegt ‚schwerer‘ im Wasser als der andere.



Der Higgs-Mechanismus: ohne Hintergrundfeld sind alle Teilchen masselos und bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit durchs All. Das Hintergrundfeld verleiht den Elementarteilchen eine effektive Masse und ihre Geschwindigkeit ( $v$ ) liegt unterhalb der des Lichtes ( $c$ ).

Man fragt sich nun: Was hat man durch die Einführung des Higgs-Feldes gewonnen? Die Antwort: Die Erklärungslücke des Standardmodells schließt sich; das Gesamtmodell behält seine Gültigkeit und Aussagekraft auch für Elementarteilchen, die über Masse verfügen. Der Higgs-Mechanismus stärkt somit die Prognosefähigkeit des Standardmodells. So erlaubt er im Prinzip beliebig genaue Vorhersagen für den Ausgang von Experimenten bei beliebig hohen Kollisionsenergien.

Einen Preis muss man jedoch bezahlen: die Selbstkonsistenz der Theorie verlangt nach einem weiteren Teilchen – dem ‚Higgs-Teilchen‘, auch ‚Higgs-Boson‘ genannt. Dieses von der Theorie postulierte Elementarteilchen tritt als energetische Anregung des Higgs-Feldes auf; in unserem Vergleich mit dem Swimmingpool entspräche es einem Strudel im Wasser. Das Higgs-Teilchen ist zum einen der notwendige Begleiter des omnipräsenten Äthers. Zum anderen hilft es aber auch die Theorie experimentell überprüfbar zu machen und sie notfalls zu falsifizieren. Der allgegenwärtige, homogene Äther lässt sich nämlich nicht direkt nachweisen. Das Higgs-Teilchen bildet somit den letzten, noch fehlenden Baustein im strahlenden Theoriegebäude des Standardmodells der Teilchenphysik; was den Alchemisten des Mittelalters der ‚Stein der Weisen‘ war, ist einigen Physikern der Gegenwart das Higgs-Teilchen. Einzelne, wie der Nobelpreisträger Leon Lederman, gehen sogar soweit, es als ‚Teilchen Gottes‘ zu betiteln.

Der Nachweis und die Vermessung des Higgs-Teilchens wäre nicht nur das fehlende Puzzlestück zur Komplettierung des Standardmodells – es wäre auch die Krönung der physikalischen Forschungsbe-

mühungen von Tausenden von Wissenschaftlern der letzten Jahrzehnte. Alle Versuche, das Higgs-Teilchen experimentell zu orten, sind bislang allerdings fehlgeschlagen. So konnte es weder mit dem ‚Large Electron-Positron Collider‘, kurz ‚LEP‘, dem Vorgängermodell des LHC am CERN (1989 bis 2000) noch mit dem TEVATRON-Beschleuniger (2000 bis heute) am Fermilab in den USA nachgewiesen werden. Der neue Teilchenbeschleuniger, der LHC, wird leistungsstärker sein als alle Vorgängermodelle. Mit ihm soll nun endlich die Ortung des Higgs-Partikels gelingen – und die Jagd nach 40 Jahren ein gutes Ende nehmen.

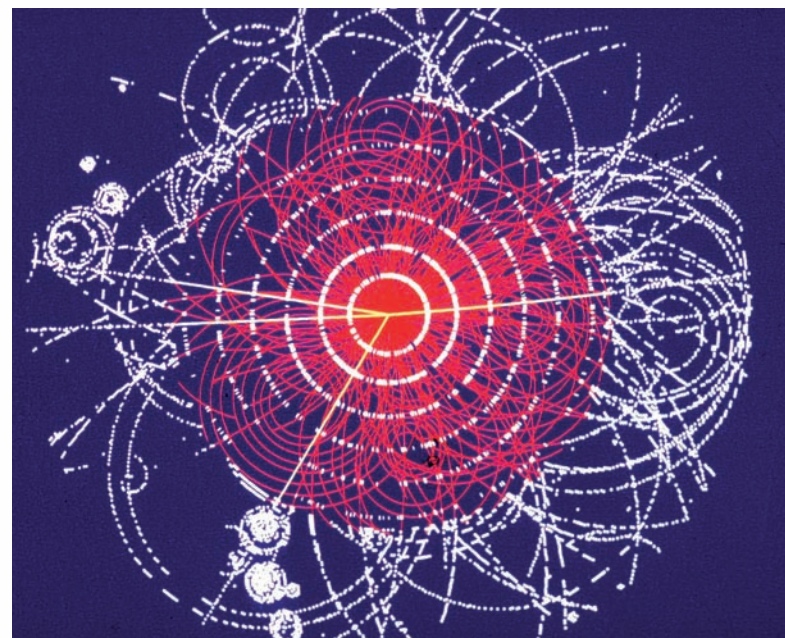
### Die Suche nach dem Higgs-Boson mit ATLAS am LHC

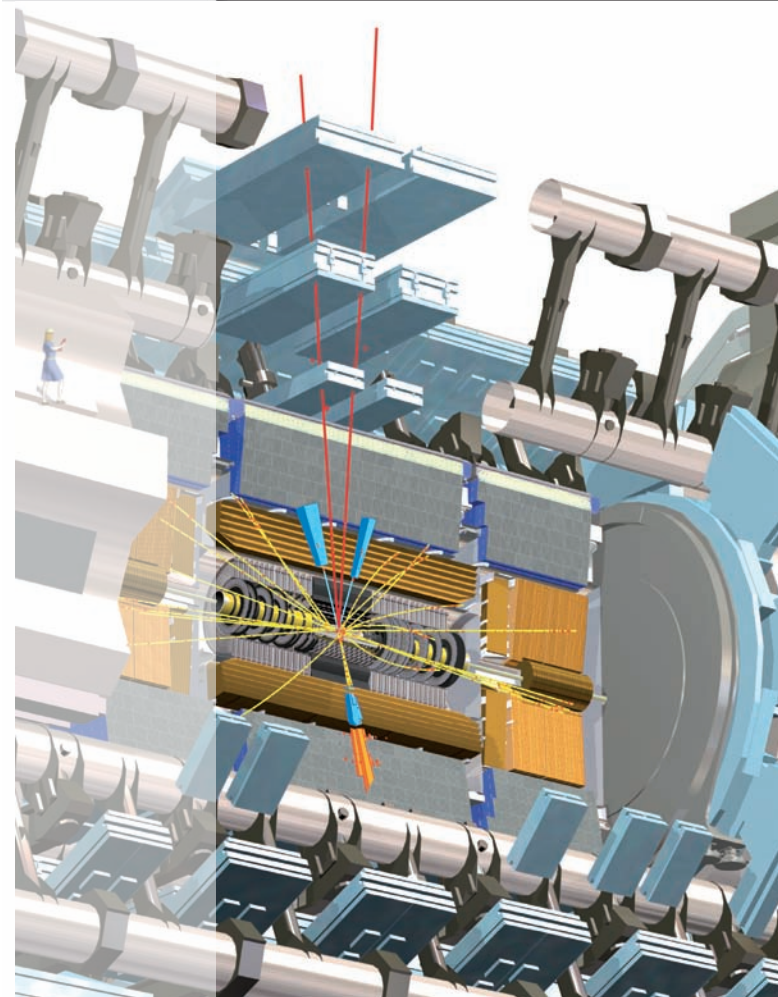
Nach dem Higgs-Teilchen suchen: wer, wie, was? Zunächst das ‚was‘: das Higgs-Teilchen ist als solches nicht direkt zu fassen. Im Moment seiner Entstehung zerfällt es auch schon wieder in so genannte ‚Sekundärteilchen‘. Nur über diese Sekundärteilchen kann es dann schließlich identifiziert werden. Allerdings ist nur die Masse des Higgs-Teilchens unbekannt. Nimmt man einen Wert für diese an, so sind alle weiteren Eigenschaften im Standardmodell festgelegt und sein Steckbrief kann präzise berechnet werden. Je nach Massenbereich, in dem das Higgs-Teilchen auftritt, sind aber auch die Zerfallsprodukte jeweils andere. Entsprechend muss man verschiedene Nachweistechnologien im ATLAS-Experiment hintereinander schalten, um alle möglichen Arten von Zerfällen bestimmen und vermessen zu können.

Das führt uns zum ‚wie‘ und ‚wer‘. ATLAS steht für ‚A Toroidal LHC Apparatus‘ und bezeichnet zum einen den riesigen Nachweisapparat, zum anderen aber auch die entsprechende, etwa 2000 Personen zählende Kollaboration aus 153 Universitäten und Forschungseinrichtungen aus 34 Ländern in aller Welt. Bereits seit Beginn der 90er Jahre studieren und entwickeln hunderte von Physikern das Design und die Technologien, die für das ATLAS-Experiment angestrebt werden. Zurzeit wird sowohl der Aufbau des Detektors in der Kaverne 100 Meter unter der Erd-

Alle Versuche das Higgs-Teilchen experimentell zu orten sind bislang fehlgeschlagen

Der Zerfall eines Higgs-Teilchens in vier Myonen in der ATLAS-Simulation. Die vier gelben Spuren stammen aus dem Higgs-Zerfall. Überlagert sind ihnen etwa 1500 ‚uninteressante‘ Spuren aus derselben Strahldurchkreuzung. Die Herausforderung liegt in der Identifizierung und Rekonstruktion der Myonen.





Der Zerfall eines Higgs-Teilchens in zwei Elektronen und zwei Myonen in der ATLAS-Simulation.

oberfläche am CERN, als auch die Entwicklung der Software zur Auslese und Rekonstruktion der Daten abgeschlossen.

Im 44 Meter langen ATLAS-Detektor bauen sich, ausgehend vom Kollisionspunkt, um die Strahlachse des LHC-Beschleunigers bis zu einem Durchmesser von 22 Metern die unterschiedlichsten Messschichten – Spurdetektoren, Kalorimeter, Myonspektrometer – auf. Jede hat als eigener Subdetektor seine spezifische Funktion. Nur wenn die Subdetektoren von ATLAS harmonisch wie in einem Symphonieorchester zusammenspielen, können die zahlreichen ATLAS-Physiker die in der Kollision entstehenden Teilchenarten bestimmen und analysieren und sich der Beobachtung des Higgs-Teilchens annähern.

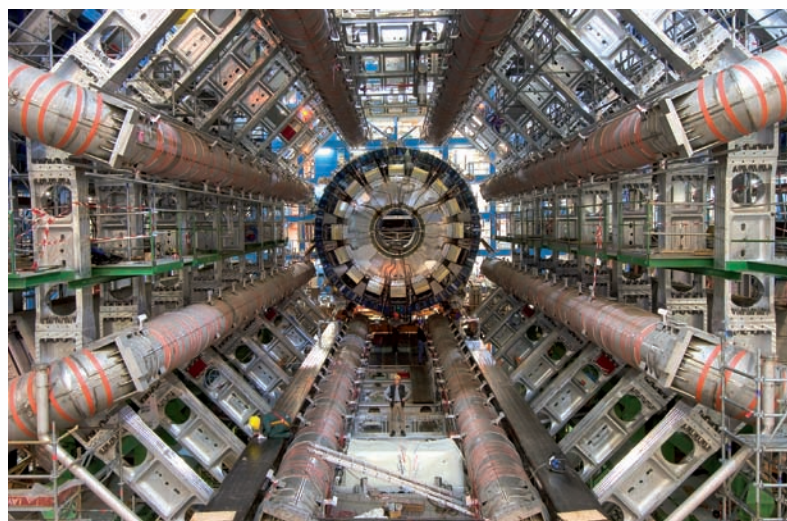
Markus Schumacher ist Teil dieses Wissenschaftskrimis. Der Professor für experimentelle Teilchenphysik von der Universität Siegen geht selbst schon seit zwölf Jahren auf Higgs-Safari. Auch nach mehr als einer Dekade mühevoller Forschungsarbeit ist seine Leidenschaft den Winzling zu stellen noch immer ungebrochen. Ermöglicht wird die jahrelange kontinuierliche Forschungsarbeit durch die Förderung des BMBF und die ‚Deutsch-Israelische Projektkooperation‘ (DIP).

Derzeitig koordiniert er die 200 Kopf starke, internationale Arbeitsgruppe bei ATLAS, die für die Suche nach dem Higgs-Teilchen verantwortlich zeichnet. Von Beginn des Jahres 2008 an wird Schumacher mit

seinen Kollegen aus allen Teilen der Welt die immensen Datenberge durchforsten, die ATLAS ab dann für Jahrzehnte liefert – mit dem Hauptinteresse jenes geisterhafte Teilchen endlich zu finden, dessen Existenz Peter Higgs schon 1963 vorhergesagt hatte. Mit aufwendigen Simulationen trainiert die Gruppe schon seit Jahren den Ernstfall. „Mit ATLAS werden wir das Higgs-Phantom endlich finden“, gibt sich Schumacher zuversichtlich. Und fügt etwas leiser noch hinzu: „Wenn es denn tatsächlich existiert.“ Schumacher spricht aus, was Konsens in der internationalen Forscherszene ist. Weltweit stimmen die Teilchenphysiker überein, dass, falls es das Higgs-Teilchen tatsächlich in der Natur gibt, es mit dem fast fertig gestellten LHC-Beschleuniger und den angeschlossenen Detektoren ATLAS und CMS innerhalb der nächsten Dekade entdeckt werden wird.

„Entdecken“; der harmlos wirkende Begriff verstellt allerdings den Blick auf die komplexe Realität der Suche. Führt man sich die Details des Unternehmens ‚Higgs-Boson‘ vor Augen, wird schnell deutlich, dass die Expedition in das Reich des Allerkleinsten den Vergleich mit keiner der größeren Entdeckungsfahrten der Menschheit zu fürchten braucht. Damit nicht genug. Zum Leidwesen der Argonauten des Mikrokosmos handelt es sich bei dem Higgs-Partikel um ein äußerst kamerascheues Wesen. Die Wahrscheinlichkeit, das Higgs-Teilchen in der Kollision von zwei Protonen am LHC zu erzeugen, ist sehr gering. Daher muss man versuchen, möglichst viele Proton-Proton-Zusammenstöße pro Zeiteinheit zu erreichen. In den großen Experimenten am LHC werden sich 40 Millionen mal pro Sekunde zwei Pakete aus jeweils 100 Milliarden Protonen durchkreuzen. Erfüllt der Beschleuniger diese Anforderungen, so wird etwa einmal pro Minute ein nachweisbares Higgs-Teilchen erzeugt. So weit, so gut! Allerdings finden unter diesen Bedingungen etwa eine Milliarde – zumindest für die

Das toroidale Luftspulensystem, welches ATLAS seinen Namen verliehen hat. Die acht Toroidspulen sind jeweils 25 Meter lang und fünf Meter breit. Der Durchmesser des gesamten Magnetsystems beträgt zwanzig Meter. Das Foto zeigt den Status des Detektoraufbaus im November 2005 in der ATLAS-Kaverne 100 Meter unter der Erdoberfläche. Im Hintergrund erkennt man Teile des Kalorimeters in seiner Parkposition.



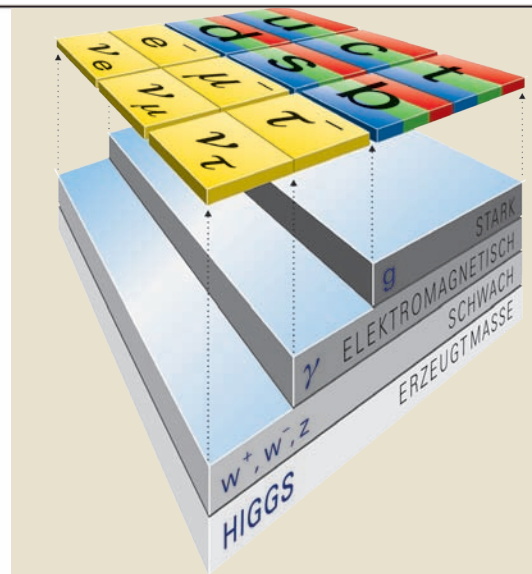
Higgs-Sucher – uninteressante Kollisionen pro Sekunde statt. Nun beginnt die Arbeit des ATLAS-Detektors und seiner Experimentatoren: wie selektiert man das eine, so genannte Higgs-Ereignis, in den 100 Milliarden Kollisionen oder wie findet man die ‚Higgs‘-Nadel im ‚Untergrund‘-Heuhaufen? Wollte man im Takt von 25 Nanosekunden die Informationen der

140 Millionen Auslesezellen des ATLAS-Detektors auf Speichermedien schreiben, so wäre die anfallende Datenflut ungefähr eine Million Gigabyte pro Sekunde groß. Dies entspricht der Datenrate von 100 Milliarden Telefongesprächen. Eine solche Zahlenflut kann von keinem Computersystem der Welt gemeistert werden.

Ein dreistufiges intelligentes Filtersystem – der so genannte ‚Trigger‘ des ATLAS-Experimentes – erkennt praktisch instantan, ob das Ereignis für die weitere Datenauswertung interessant ist. In weniger als zwei millionstel Sekunden trifft der Filter der ersten Stufe die Entscheidung und reduziert die Ereignisrate auf ein Niveau von 100 000 Ereignisse pro Sekunde, die durch die abschließenden beiden Filter bis auf eine speicherfähige Menge von 100 Ereignissen pro Sekunde verringert werden. Trotz dieses rigorosen Selektionsprozesses, in dem 99.9995 Prozent aller Ereignisse bereits verworfen werden, liefert der LHC alleine durch ATLAS jedes Jahr eine Million Gigabyte Daten oder anschaulich eine CD pro Sekunde. Soweit der erste technische Schritt des Abtragens des Heuhaufens. Die eigentliche Gärtnerarbeit der Higgs-Truppe nimmt hier allerdings erst ihren Anfang.

Markus Schumacher erläutert die Problematik: „Die Signal-Charakteristik des Higgs-Ereignisses unterscheidet sich von den anderen – auch einfach ‚Untergrund‘ genannten – Ereignissen nur minimal. In den letzten Jahren hat sich unsere Gruppe hauptsächlich damit beschäftigt, optimale Methoden zu entwickeln, mit denen wir die ‚Spreu vom Weizen‘ bzw. den Untergrund von den Higgs-Ereignissen trennen können.“ Ziel ist es an Hand von Auswahlkriterien das ungünstige Verhältnis von Signal-zu-Untergrund von eins zu einigen Millionen nach dem Trigger auf ein Verhältnis im Bereich von eins zu eins anzureichern. Da es noch keine Daten gibt, stellen die Physiker die erwartete Realität in aufwendigen und detailgetreuen Simulationen der erwarteten Physik und des Ansprechverhaltens des Detektors nach. Beliebte letzte Kenngröße für die Entscheidung, ob es sich um einen Kandidaten für ein Higgs-Ereignis handelt, ist die invariante Masse aller Zerfallsprodukte, die sich aus den gemessenen Richtungen und Energiedepositionen der Sekundärteilchen im ATLAS-Detektor berechnen lassen. Im erhofften Idealfall erhebt sich über einen flachen Untergrund ein Berg aus zusätzlichen Ereignissen, die dann dem Higgs-Teilchen zugeordnet werden. Von Entdeckung wird vereinbarungsgemäß gesprochen, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um einen Fehlalarm auf Grund von statistischen Fluktuationen handelt, nur 0,0000029 Prozent oder weniger beträgt.

Wie gut aber beschreiben die entwickelten Simulationsprogramme die Rate an Untergrundereignissen, ihre Charakteristik und das Ansprechverhalten des ATLAS-Detektors tatsächlich? Wie genau stimmen Vorstellung und Realität miteinander überein? Das Vertrauen der Physiker ist begrenzt, da sie mit dem LHC Neuland bei bisher nie erreichten Energien betreten. Deshalb werden schon jetzt detaillierte Strategien entwickelt, wie und mit welcher Genauigkeit man später, jenseits aller Simulationen, aus den Da-



### Das Standardmodell in der ‚Nusschale‘

Die uns umgebende Materie besteht aus Atomen, diese wiederum aus den fundamentalen Elektronen und den zusammengesetzten Kernen, die aus den Nukleonen ‚Proton‘ und ‚Neutron‘ aufgebaut sind. Jedes Nukleon ist wiederum ein Bindungszustand aus drei Quarks. Das Proton besteht aus zwei up-Quarks und einem down-Quark, das Neutron aus einem up-Quark und zwei down-Quarks. In Beschleunigerexperimenten und in der kosmischen Strahlung wurden jeweils noch zwei schwerere Partner für up-Quark, down-Quark und Elektron entdeckt. Zusätzlich gibt es für jedes der drei Leptonen, das Elektron und seine beiden Verwandten, noch jeweils ein Neutrino.

Alle diese zwölf fundamentalen Teilchen haben einen halbzahligen Eigendrehimpuls und gehören damit zur Gruppe der Fermionen. Ihre Anzahl ist für die Entwicklung des frühen Universums bedeutsam. Die Fermionen lassen sich in drei Familien gemäss aufsteigender Masse, bestehend aus jeweils zwei Quarks und zwei Leptonen einteilen.

Insgesamt stehen sechs Quarks up (u), down (d); charm (c), strange (s); top (t), bottom (b) sechs fundamentalen Leptonen (Elektronen (e), Myonen ( $\mu$ ) und Tauonen ( $\tau$ ) mit ihren jeweiligen Neutrinos ( $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ )) gegenüber.

Kräfte - der Physiker spricht hier von Wechselwirkung - zwischen den elementaren Fermionen werden durch den Austausch von Vektorbosonen beschrieben. Diese tragen Eigendrehimpuls eins. Die elektromagnetische Wechselwirkung wird durch das Photon ( $\gamma$ ), die starke ‚Farb‘-Wechselwirkung durch Gluonen (g) und die schwache Wechselwirkung durch Weakonen ( $W^+$  und  $W^-$ ) und durch das neutrale Vektorboson Z vermittelt. An einer bestimmten Wechselwirkung nehmen nur die Fermionen teil, die die entsprechende Ladung aufweisen. Quarks besitzen Farb-, elektromagnetische und schwache Ladung, geladene Leptonen (e,  $\mu$ ,  $\tau$ ) elektromagnetische und schwache Ladung und die Neutrinos nur schwache Ladung.

Die Masse der fundamentalen Materieteilchen als auch einiger Austauscheteilchen ( $W^+$ ,  $W^-$ , Z) wird durch die Wechselwirkung mit dem Higgs-Feld verliehen. Der notwendige Begleiter dieses Higgs-Mechanismus ist das Higgs-Boson, welches als einziges elementares Teilchen Eigendrehimpuls null besitzt.

ten selbst den Untergrund extrahieren kann. Mit dieser Aufgabe beschäftigen sich die 200 Higgs-Jäger bei ATLAS zur Zeit. Bis zum Sommer 2007 sollen die Studien abgeschlossen sein und in einem neuen Report veröffentlicht werden. Einmal im Monat trifft sich die Higgs-Arbeitsgruppe unter Leitung von Markus Schumacher und seines französischen Kollegen Louis Fayard für ein bis zwei Tage am CERN. Hier präsentieren die versprengt in aller Welt arbeitenden Teammitglieder ihre Arbeitsergebnisse. Hier wird festgelegt, welcher Kurs zukünftig eingeschlagen werden soll. Dabei geht es zuweilen munter her: ab und an weichen die Methoden und damit die Ergebnisse des einen Physikers zunächst von denen des anderen ab. Entsprechend gehen dann auch die Meinungen über das weitere Vorgehen und die richtigen Strategien auseinander. Als Koordinator ist es dann Aufgabe von Schumacher, die Wogen zu glätten und in Übereinstimmung mit allen Kollegen Leitlinien zu entwickeln, die das vielköpfige internationale Team zusammenhalten. „Es ist nicht immer einfach alle zufrieden zu stellen“, grübelt Schumacher mit ernster Mine. Im nächsten Moment heitert sich sein Gesicht wieder auf. Lächelnd betont Schumacher, dass er das Erlebnis keinesfalls missen wollte, sich mit so vielen unterschiedlichen Mentalitäten und Kulturen gemeinsam auf die Suche zu begeben. „Letztendlich sind alle Kollegen hoch motiviert. Das gemeinsame Ziel, die Entdeckung des Higgs-Teilchens, schweißt zusammen und hilft Differenzen meist sehr schnell aus dem Weg zu räumen“, beschreibt Schumacher seine bisherigen Erfahrungen.

200 Gefährten haben sich aufgemacht, den Heuhaufen von ATLAS-Daten nach dem Higgs-Teilchen zu durchforsten. Viele und unerwartete Herausforderungen werden sie auf ihrer einzigartigen Entdeckungsreise noch zu meistern haben. Zehnmal mehr Köpfe sind aber letztendlich notwendig, um das Unternehmen ‚Higgs-Boson‘ zum Erfolg zu führen. 2000 Wissenschaftler aus aller Herren Länder arbeiten seit vielen Jahren daran, das Schiff zu bauen, mit dem die Abenteuerreise unternommen werden soll. Schumacher wird nicht müde zu betonen, dass die Arbeit derjenigen, die den ATLAS-Detektor konstruiert und installiert haben, derjenigen, die den Detektor warten und kalibrieren und derjenigen, welche die benötigte Software schreiben, mindestens ebenso wichtig ist, wie die Arbeit des Higgs-Teams. Deshalb werden im Falle einer Entdeckung auch alle 2000 Mitarbeiter in alphabetischer Reihenfolge die Publikation unterzeichnen, die den lang erarbeiteten Erfolg verkündet. Mit dem Nobelpreis wird es dann schwer: dieser kann bisher nur maximal an drei Personen vergeben werden.

Dem Beginn der Datennahme fiebern die Higgs-Jäger mit gespannter Erwartung entgegen. „Allerdings wird es einige Zeit brauchen, bis die Qualität der Daten verstanden ist und erste Anzeichen eines Higgs-Teilchens sich zeigen könnten“, dämpft Schumacher Hoffnungen auf einen schnellen Durchbruch. Nach drei Jahren erfolgreicher und bewährter Datennahme sollte es dann soweit sein: „Dann wissen wir, ob es das Higgs-Teilchen des Standardmodells in der

Natur tatsächlich gibt oder nicht. Die Entdeckung wäre wunderbar aber auch nur der erste Schritt“, so Schumacher. „Danach fängt der Spaß erst richtig an. Es gilt das neu entdeckte Teilchen und seine Eigenschaften zu vermessen, um wirklich abschließend klären zu können, ob es sich um das von uns erwartete Higgs-Teilchen handelt.“

### Alle Fragen beantwortet oder doch offen !?

Ende des 19. Jahrhunderts. Ein junger Abiturient sucht die physikalische Fakultät der Universität München auf, um den Physikprofessor Philipp von Jolly um Rat zu fragen. Der Schulabgänger trägt sich mit dem Gedanken ein Physikstudium zu beginnen. Ob das sinnvoll sei, fragt er Jolly. Dieser rät dem Abiturienten ab. Jolly vertrat die Ansicht, dass in dieser Wissenschaft schon fast alles erforscht sei und dass es nur noch einige unbedeutende Lücken zu schließen gelte – viele Zeitgenossen teilten damals Jollys Überzeugung. Der Name des jungen Abiturienten: Max Planck. Der spätere Nobelpreisträger studierte wider alle damalige Vernunft doch Physik und begründete mit Albert Einstein ein Jahrhundert der Physik. Wie sieht die physikalische Welt nun im 21. Jahrhundert aus. Riskieren wir einen Blick in die Zukunft; das Higgs-Boson ist entdeckt und der Higgs-Mechanismus hat inzwischen seinen festen Platz im Standardmodell eingenommen. Wird man Abiturienten nun wieder, wie schon 130 Jahre zuvor, von einem Studium der Physik abraten, da möglicherweise schon „alles erforscht“ ist?

Die Antwort ist ein klares „Nein“. Viele Fragen bleiben auch nach Erforschung des Higgs-Partikels in Teilchenphysik und Kosmologie noch offen (natürlich auch in anderen Teilgebieten der Physik). Ein kurzer Ausblick: Selbst wenn die Physik das Geheimnis der Masse mittels des Higgs-Mechanismus gelöst hätte, so wäre damit noch längst nicht das Universum als Ganzes verstanden. Insbesondere der ‚Energiehaushalt‘ des Universums gibt weiterhin viele Rätsel auf. Denn das Universum besteht insgesamt nur zu fünf Prozent aus sichtbarer Materie, jenem Stoff also aus dem alle Sterne, Planeten und auch wir Menschen aufgebaut sind und zu dessen Verständnis der Higgs-Mechanismus seinen Beitrag liefert. 95 Prozent des Universums bleiben damit im Dunkeln – im wahrsten Sinne des Wortes. Denn das Universum besteht nach aktuellen Forschungserkenntnissen zu 25 Prozent aus so genannter ‚Dunkler Materie‘ und zu 70 Prozent aus ‚Dunkler Energie‘. Zwei mysteriöse Substanzen, die ihrem Namen entsprechend vollkommen unsichtbar sind. Ausschließlich durch ihr Wirken können Forscher auf die Existenz dieser Substanzen schließen: ‚Dunkle Materie‘ macht sich über ihre Schwerkraftwirkung bemerkbar, ‚Dunkle Energie‘ bewirkt, dass unser Universum heute beschleunigt expandiert. Für die ‚Dunkle Materie‘ gibt es viele Kandidaten – z.B. das leichteste Objekt aus der Riege der supersymmetrischen Parterteilchen. Die Theorie der Supersymmetrie postuliert für alle Bosonen und Fermionen die Existenz von Parterteilchen, die sich lediglich im Wert des Eigen Drehimpulses und der Masse von ihren ansonsten ein-

Higgs-Teilchen entdeckt: Ende der Teilchenphysik?

95 Prozent des Universums bleiben im Dunkeln - im wahrsten Sinne des Wortes

eigenen Zwillingen unterscheiden. Falls es supersymmetrische Teilchen gibt, stehen die Chancen gut, dass sie mit dem neuen LHC entdeckt werden können. Woraus die ‚Dunkle Energie‘ besteht ist hingegen völlig unklar. Einen Beitrag zur Erklärung des Wirkens der ‚Dunklen Energie‘ können partiell auch das ‚naive‘ Modell des Higgs-Äthers und der Wert seiner ‚Zähflüssigkeit‘ leisten. Der Beitrag wartet aber leider mit einem falschen Vorzeichen auf; außerdem ist er um einen Faktor  $10^{50}$  zu groß. Dieser Erklärung nach hätte das Universum lediglich die Größe eines Fußballs erreicht und wäre dann wieder kollabiert. Auf dem Weg zu einer umfassenden physikalischen Erklärung des Universums als Ganzem wird das Standardmodell wohl auch nach Entdeckung des Higgs-Bosons nur eine Etappe bleiben. Theorien der ‚Supersymmetrie‘ und von so genannten ‚Extra Dimensionen‘ stehen jenseits des Standardmodells bereit, um Erklärungslücken bei fundamentalen Fragen zu schließen. Gibt es eine Urkraft im frühen Universum und sind unsere heutigen vier Kräfte nur verschiedene Erscheinungsformen dieser einen Urkraft bei niedrigen Energien? Was ist die Struktur der Raumzeit; leben wir eigentlich in mehr als drei Raumdimensionen, die nur zu klein sind, als dass wir sie erleben können? Selbst nach der Entdeckung des Higgs-Teilchens am LHC gibt es weitere große Herausforderungen für die Teilchenphysik im 21. Jahrhundert zu deren Bewältigung der LHC hoffentlich erste Hilfestellungen leistet.



Texte, Bilder und Zusatzmaterial

[www.extrakte.uni-siegen.de](http://www.extrakte.uni-siegen.de)

Ansprechpartner

Prof. Dr. Markus Schumacher

Experimentelle Teilchenphysik

Telefon: ++49 271 740 3789

Telefax: ++49 271 740 3886

[markus.schumacher@hep.physik.uni-siegen.de](mailto:markus.schumacher@hep.physik.uni-siegen.de)

[www.hep.physik.uni-siegen.de/~schumach/](http://www.hep.physik.uni-siegen.de/~schumach/)

[www.teilchenphysik.org](http://www.teilchenphysik.org)

ATLAS - Kollaboration

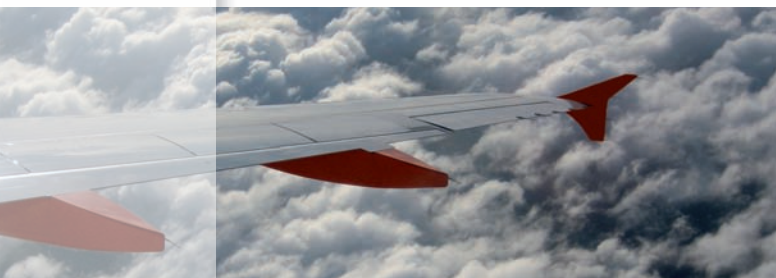
<http://atlas.ch>

# Superenergien aus dem All

## Von kosmischen und irdischen Teilchenbeschleunigern

**Sie trifft jeden von uns – jederzeit. Man kann ihr weder im Haus noch im Freien entkommen. Strahlung aus dem All – so genannte ‚kosmische Strahlung‘ – durchbohrt den menschlichen Körper in Form von atomaren Teilchen hundertfach in jeder Minute. Für das Leben auf der Erde birgt das kosmische Bombardement Chancen und Risiken zugleich.**

Risiken beinhaltet die, oftmals auch als ‚natürliche Radioaktivität‘ bezeichnete Strahlung insbesondere für Menschen, die hoch hinaus wollen: Bergsteiger sind gefährdeter als Spaziergänger, Fluggäste wiederum gefährdeter als Bergsteiger. Die Strahlendosis steigt mit jedem überwundenen Höhenmeter. In den Flughöhen normaler Verkehrsflugzeuge ist die kosmische Strahlung so bedeutsam, dass das fliegende Personal im so genannten ‚Überwachungsbereich‘ arbeitet. Damit unterliegen Piloten und Stewardessen genauso der Strahlenschutzaufsicht wie Personen, die in Kernkraftwerken, Wiederaufbereitungsanlagen oder in der Nuklearmedizin tätig sind, erklärt Professor Dr. Claus Grupen, Strahlenschutzexperte von der Universität Siegen.



Kosmische Strahlung kann Veränderungen im Erbgut des Menschen bewirken. Evolutionsgeschichtlich gesehen ist dieser bedrohlich erscheinende Effekt durchaus als Vorteil für das Dasein zu werten. So betrachten Biologen kosmische Strahlung gar als eine Voraussetzung für die Entstehung von Leben und als einen wichtigen Motor für evolutionäre Entwicklungen. Ohne die mutationsauslösende, ionisierende

Strahlung hätte die Natur wohl kaum die heute zu beobachtende Artenvielfalt hervorgebracht.

Generell dringt allerdings nur ein geringer Teil des Teilchensturms, dessen Partikel stark unterschiedliche Energien aufweisen, bis zur Erdoberfläche durch. Denn unser Planet ist gegen diesen permanenten Teilchenstrom aus dem Weltall gut geschützt: Mit der Wirksamkeit eines Bleimantels legt sich zum einen das Magnetfeld unserer Erde als Strahlenblocker um unseren blauen Planeten. Wie Hagelkörner von einem Hausdach prallt eine Vielzahl der anstürmenden Partikel vom Magnetfeld der Erde ab. Zum anderen absorbiert die Erdatmosphäre einen Teil der kosmischen Teilchen, die in Form von Röntgen- und Gammastrahlung unserem blauen Planeten zu Leibe rücken. Damit verfügt das Leben auf unserem Planeten über einen höchst effektiven doppelten Strahlenschutz-Gürtel, der die Intensität der Strahlung wesentlich abschwächt; Astronauten auf dem Weg durch die lebensfeindlichen Weiten des Alls müssen freilich auf den Schutz der irdischen Rüstung verzichten.

### Im Himmel und auf Erden: Teilchenbeschleuniger

Mit aufwendigen Experimenten rund um die Welt spüren Peter Buchholz und Ivor Fleck von der Universität Siegen den Geheimnissen der kosmischen Strahlung nach. Als Vielflieger sind sich die Professoren, die auf dem Gebiet der Astroteilchenphysik arbeiten, der Risiken der kosmischen Strahlung durchaus bewusst. Ebenso kennen sie aber auch den Zauber der Strahlung aus dem All. Wie zum Beispiel die spukhaften Leuchterscheinungen, die zur Winterzeit den nördlichen Sternenhimmel in ein Farbenmeer verwandeln. Das als ‚Polarlicht‘ bekannte Phänomen zeigt kosmische Strahlung in ihrer schönsten Form. Wahrlich ins Schwärmen geraten die Forscher aber erst, wenn sie über

Teilchenbeschleuniger im All: Supernova-Explosionen, wie der helle Stern vorne links im Bild, gelten als eine mögliche Ursache für hochenergetische kosmische Strahlung

**Polarlicht** - In den Polregionen verlaufen die Feldlinien des Erdmagnetfeldes nicht horizontal sondern senkrecht. Elektrisch geladene Teilchen aus dem All können dadurch tief in die oberen Luftschichten der Erdatmosphäre eindringen. Sie reagieren mit den Molekülen der Luft und geben ihre Energie z.B. als Fluoreszenzlicht an die Umgebung ab.

das wissenschaftliche Forschungspotential sinnieren, das in dem kosmischen Teilchensturm steckt.

Denn die kosmische Strahlung deckt einen enormen Energiebereich ab. Zum Vergleich: Das Echo des Urknalls, die ursprünglich heiÙe Strahlung der kosmischen Geburt, hat sich mittlerweile auf etwa 250 Mikro-Elektronenvolt abgekühlt. Die Strahlung der Sterne im sichtbaren Spektralbereich ist mit etwa drei Elektronenvolt (eV) schon energiereicher. Dieser Bereich wird von der kosmischen (und medizinisch angewandten) Röntgenstrahlung mit zehn Kilo-elektronenvolt (keV) bis 200 keV weit übertroffen. Kernprozesse in Reaktoren liefern Gammastrahlung



Kosmische Strahlung in ihrer schönsten Form

von einigen Megaelektronenvolt (MeV). Die geladene kosmische Strahlung fängt bei MeV-Energien überhaupt erst an. Sie überstreicht ein enormes Energiefenster von Megaelektronenvolt bis zu den allerhöchsten Energien von  $10^{20}$  eV. Insbesondere die kosmische Strahlung der hohen und höchsten Energie erregt das Interesse von Physikern aus aller Welt. Denn den Forschern ist bis heute nicht klar, welche Kräfte im Universum die Teilchen auf eine dermaßen hohe Energie katapultieren können.

Schon 1930 haben Physiker herausgefunden, dass man subatomare Teilchen, wie sie auch in der kosmischen Strahlung stecken, mit Hilfe elektrischer Felder auf hohe Geschwindigkeiten beschleunigen kann. Bringt man Teilchen mit hoher Bewegungsenergie miteinander zur Kollision entstehen eine Vielzahl von Zerfallsprodukten an Hand derer Physiker wichtige Erkenntnisse über den Aufbau der Materie im Aller kleinsten gewinnen können. Seit dem ersten Van-de-Graaff-Generator bauen Physiker zu experimentellen Zwecken immer leistungsfähigere Teilchenbeschleuniger. Die bisher stärkste Maschine dieser Art, der ‚Large Hadron Collider‘, kurz ‚LHC‘ wird Ende 2007 am CERN in Genf in Betrieb genommen. Der LHC erzeugt dann Protonen mit Energien von sieben Tera-Elektronenvolt. Niemals zuvor hat der Mensch atomare Teilchen auf höhere Energien beschleunigt. Verglichen mit der hochenergetischen Strahlung aus dem All wirken die am CERN künstlich produzierten Energieskalen allerdings eher harmlos. Denn die energiereichsten Teilchen aus dem All wei-

### Gefahr für die Gesundheit?

Der Kosmos ist eine Quelle natürlicher Strahlung, der wir Menschen täglich ausgesetzt sind. Daneben gibt es aber auch natürliche Strahlenquellen auf der Erde. So enthält beispielsweise auch Gestein oder Wasser radioaktive Atomkerne, die als ‚terrestrische‘ Strahlung auf den Menschen einwirken. Kosmische und terrestrische Strahlung bilden den einen Teil der vom Menschen zu verkräftenden Strahlenexposition. Den anderen Teil bildet die ‚zivilisatorische‘ oder auch ‚künstliche‘ Strahlung. Zu dieser zählt die in der Medizin eingesetzte Röntgenstrahlung, Abluft aus Kohlekraftwerken und Kernkraftwerken; aber auch nukleare Unfälle wie Tschernobyl tragen zur künstlichen radioaktiven Strahlung bei.

Die radioaktive, richtiger ‚ionisierende‘ Strahlung stellt ein stochastisches Risiko für Krebserkrankungen dar. Man erwartet Krebserzeugungswahrscheinlichkeiten von fünf Prozent pro ein Sievert (Maßeinheit für die Energiemenge pro Masse) absorbiertes Strahlendosis. Bei typischen Strahlungsdosen von drei bis fünf Millisievert pro Jahr durch natürliche (kosmische Strahlung, terrestrische Strahlung) und zivilisationsbedingte Belastungen handelt es sich aber um ein Risiko, das man tragen kann (und muss), denn es ist klein im Verhältnis zu anderen Risiken, denen man sich täglich aussetzt (z.B. Straßenverkehr).

Neuere Forschungsergebnisse legen sogar nahe, dass ein wenig Radioaktivität durchaus für den Menschen nützlich sein kann; denn die ionisierende Strahlung stimuliert das Immunsystem des Menschen und macht es dadurch abwehrbereit für viele andere biologische Angriffe (Hormesis).

Mit einem Programm des Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit (GSF) kann man im Internet die Strahlenbelastung errechnen, der man während eines Fluges ausgesetzt ist:

<http://www.gsf.de/epcard2>

sen eine Energie auf, die zehn Millionen mal über derjenigen der LHC-Protonen liegt. Auch das Magnetfeld der Erde kann diese höchstenergetischen kosmischen Teilchen nicht mehr abwehren.

In den oberen Schichten der Erdatmosphäre kollidieren die primären Teilchen der kosmischen Strahlung, hauptsächlich Protonen, aber mitunter auch Atomkerne wie Helium oder Eisen, mit den Atomkernen der Moleküle der äußeren Luftschicht. Die Reaktionen der kosmischen Strahlung mit den Luftmolekülen ähneln den Stößen der Protonen am LHC. Bei diesen Zusammenstößen entstehen neue Teilchen, auch ‚sekundäre Teilchen‘ genannt; gemäß der Einsteinschen Formel  $E = mc^2$  wird aus einem Teil der Energie des kosmischen Teilchens die Masse der neuen Teilchen erzeugt. Diese neuen Teilchen stoßen ihrerseits wieder mit den Luftmolekülen zusammen, so dass sich der Prozess vielfach wiederholt, bis zum Schluss eine Anzahl von vielen Millionen Teilchen produziert wird: die Menge dieser Teilchen wird Schauer

genannt. Bei der Ankunft auf der Erdoberfläche besteht der Schauer fast ausschließlich aus Elektronen, Myonen, Photonen und Neutrinos und verteilt sich, je nach Energie des kosmischen Teilchens, über eine Fläche von wenigen Quadratmetern bis hin zu vielen Quadratkilometern. Ein gewisses Kontingent der Teilchen in diesem Teilchenschauer, die Myonen, die schweren Geschwister der Elektronen, durchdringen meterdicke Gesteinsschichten und werden selbst noch in ca. 100 Metern Tiefe in den Detektoren der Hochenergiephysiker in den Tunneln am LHC nachgewiesen.

Bis zum Bau der ersten Teilchenbeschleuniger konnte die Zusammensetzung von Atomen nur an Hand der kosmischen Strahlung erforscht werden. Charles D. Anderson konnte auf diese Weise das von Paul Dirac 1928 vorhergesagte ‚Positron‘, das positiv geladene Antiteilchen des Elektrons, entdecken. Mit dem Bau von Teilchenbeschleunigern und der dadurch gegebenen Möglichkeit atomare Teilchen zu Forschungszwecken künstlich zu erzeugen, hat die kosmische Strahlung aber nichts von ihrer Faszination eingebüßt. Denn einerseits bietet die kosmische Strahlung die Möglichkeit, Fragen der Hochenergiephysik in einem Energiebereich zu untersuchen, der gegenwärtig Beschleunigern noch verschlossen ist. Und andererseits tischt sie Forschern wie Ivor Fleck einige der spannendsten Rätselfragen der modernen Physik überhaupt auf. Seit mehr als 100 Jahren harren diese Fragen einer Antwort: Sind die kosmischen Beschleuniger, deren Teilchen wir hier auf der Erde messen, in unserer Milchstraße beheimatet? Oder kommen sie sogar aus extragalaktischen Entfernungen? Oder: Wie schafft es die Natur, so viel leistungsfähigere Beschleuniger zu bauen als der Mensch? Können wir von der Technik, die die Natur verwendet, für unsere irdischen Beschleuniger etwas lernen?

### High-Tech in der Pampa

So enigmatisch die kosmische Strahlung den Physikern erscheint, so rätselhaft dürften sich dem Laien die Versuchsaufbauten präsentieren, mit denen die Physiker den Geheimnissen der kosmischen Strahlung auf die Spur kommen wollen. Die bedeutendste und größte Apparatur zur Erforschung der Strahlung aus dem All befindet sich in einer Weltgegend deren Name sprichwörtlich geworden ist für Naturgewordene Ereignislosigkeit. Der Volksmund weiß, dass man an diesem Ort der Welt nicht viel zu erwarten hat – schon gar nicht internationale Forschung auf Spitzenniveau. Die ‚Pampa‘ ist eine weitläufige Grassteppe im Südosten Südamerikas. Nichts stört die Gleichförmigkeit dieses Landstrichs, sieht man einmal von dem in der Ferne leuchtenden Gebirgszug der schneebedeckten Anden und den braunen Rücken der hier und dort grasenden Rindviecher ab – einem der Hauptexportartikel der Republik Argentinien. Bis vor einigen Jahren. Mit Inbetriebnahme des ‚Pierre-Auger-Observatoriums‘ im Jahre 2001 hat sich das Bild der zivilisationsfernen Steppenlandschaft nachhaltig verändert. Seltsame kreisförmige Objekte, schulterhoch, durchbrechen seitdem als gelbe Farbtupfer auf

graugrünem Grund die Monotonie der Einöde.

1600 dieser Fremdkörper, Tanks, die mit ultrareinem Wasser angefüllt sind, überziehen in einem Abstand von eineinhalb Kilometern eine Fläche so groß wie das Saarland. Die Wassertanks bilden zusammen genommen einen riesigen Detektorschirm, der dem Nachweis von kosmischer Strahlung der höchsten Energie dient. Im Gegensatz zu niedrigenergetischer kosmischer Strahlung, trifft die hier erforschte Strahlung – Strahlung, bei der die Energie des Aufschlags eines Tennisprofis auf die Größe eines Protons konzentriert ist – nur äußerst selten auf die Erde. Auf einer Fläche von einem Quadratkilometer wird nur ein Teilchen alle 100 Jahre erwartet. Dadurch, dass die Physiker in der Pampa Einzeldetektoren über ein riesiges, 3000 km<sup>2</sup> großes Areal streuen, können pro Jahr immerhin circa 50 Ereignisse bei den allerhöchsten Energien beobachtet werden.

Zum Nachweis der kosmischen Strahlung in den Tanks machen sich die Physiker den so genannten Cherenkov-Effekt zu nutze.

Die **Cherenkov-Strahlung**, benannt nach ihrem Entdecker Pawel Alexejewitsch Cherenkov, entsteht immer dann, wenn geladene Teilchen eine höhere Geschwindigkeit haben, als die Lichtgeschwindigkeit in dem Medium, in dem sie sich bewegen. Das klingt zunächst paradox, wird aber verständlich, wenn man weiß, dass die Lichtgeschwindigkeit kein absoluter sondern ein relativer Wert ist. So ist die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum die höchste erreichbare Geschwindigkeit überhaupt. In einem Medium, wie z.B. Luft oder Wasser hingegen, ist die Lichtgeschwindigkeit geringer. Die geladenen Teilchen in den kosmischen Schauern haben beinahe die Vakuumlichtgeschwindigkeit inne und bewegen sich daher mit einer Geschwindigkeit, die größer ist als die Lichtgeschwindigkeit in Luft und Wasser. Beim Vorbeiflug eines geladenen Teilchens an einem Atom wird dessen Elektronenhülle kurzzeitig polarisiert und strahlt durch die Induktion eines zeitlich veränderlichen elektrischen Dipolmoments elektromagnetische Wellen ab. Wenn die Geschwindigkeit des vorbeifliegenden Teilchens größer als die Lichtgeschwindigkeit in diesem Medium ist, so überlagern sich die elektromagnetischen Wellen aller Atome unter einem bestimmten Winkel konstruktiv – eine intensive Lichtstrahlung entsteht.

Auch Astronauten kennen diesen Effekt. So berichteten Raumfahrer über Lichtblitze, die sie trotz geschlossener Augen gesehen haben wollen. Das Rätsel ist auch hier mit Cherenkov zu lösen: geladene Teilchen dringen in Wasser ein – in diesem Fall in das Zellwasser des Augapfels der Astronauten. Das Cherenkov-Licht ist in seinem Mechanismus das Analogon zum Überschallknall, wenn Flugzeuge oder andere Körper sich schneller als der Schall fortbewegen.

Treffen hochenergetische Teilchen der kosmischen Schauer auf einen der Auger-Wassertanks erzeugen diese beim Durchgang einen kurzen Lichtblitz. Dieser schwache Blitz wird mit Hilfe von Photovervielfältigern nachgewiesen. Aus der Stärke der Lichtsignale

Die Energie des Aufschlags eines Tennisprofis konzentriert auf die Größe eines Protons

Astronauten: Lichtblitze bei geschlossenen Augen



kann so auf die Intensität der Primärteilchen geschlossen werden. Um die Präzision der Datennahme zu verbessern, haben die Forscher zusätzlich zu den Tanks noch Teleskope in der zivilisationsfernen Hochebene installiert. Mit ihnen wird in den zwei Wochen um den Neumond herum der sternenklare Nachthimmel ausgespäht. Denn ein hochenergetischer Schauer erzeugt beim Eindringen in die Erdatmosphäre Fluoreszenzlicht. Die Beobachtungen in der Atmosphäre werden dann mit den Ergebnissen der Datennahme in den Wassertanks kombiniert. Durch die Redundanz in der Datenerhebung können Irrtümer der jeweiligen Messverfahren reduziert werden.

Ebenso wie der LHC-Teilchenbeschleuniger in der Schweiz, lässt sich auch ein Großforschungsprojekt wie das Pierre-Auger-Observatorium in Argentinien nicht im nationalen Alleingang realisieren. Vielmehr bedarf es der Gelder und Köpfe vieler Länder, um Spitzenforschung auf dem Niveau des physikalischen Erkenntnisinteresses unserer Zeit zu ermöglichen. Deutschland ist an Bau und Forschung von Auger mit vier vom BMBF geförderten Universitäten und zwei Forschungsinstituten beteiligt. Jedes Institut hat sich auf einen eigenen Bereich spezialisiert. Das neunköpfige Team um Professor Ivor Fleck von der Universität Siegen konzentriert sich in seiner Arbeit auf die Ausleselektronik in den Wassertanks von Auger. In einer eigens für diese Zwecke angeschafften Klimakammer testen die Siegener, ob die Auslesekarten den Temperaturbedingungen in der Pampa standhalten. Die Elektronik muss sich unter Temperaturen von minus zwanzig Grad Celsius bis plus 70 Grad Celsius bewähren. Diese Untersuchungen werden auch unter Mitwirkung von Studierenden durchgeführt, die dadurch schon während des Studiums Kontakt zur aktuellen Forschung erhalten.



Mit Pierre Auger fangen wir höchstenergetische kosmische Strahlung ein und lösen damit das Energieproblem

Generell spielt die Beteiligung des Nachwuchses für die Realisierung multinationaler Forschungsprojekte, wie bei Pierre Auger oder beim CERN in der Schweiz, eine sehr große Rolle. Denn nur durch die enge Verzahnung von Forschung und Lehre stehen der Physik überhaupt genügend Mitarbeiter für die Durchführung der arbeitsintensiven wissenschaftlichen Experimente zur Verfügung. So arbeiten zahlenmäßig viel mehr Promovierende und Diplomanden bei Auger als Professoren. Entsprechend frühzeitig muss sich der Nachwuchs in der Physik internationalisieren und vernetzen. Globale Mobilität wird damit zu einer unabdingbaren Voraussetzung für alle Aktivitäten in der Astroteilchenphysik. Schon in jungen Jahren begibt sich der Nachwuchs

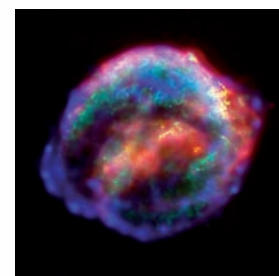


Prof. Ivor Fleck vor einem Nachweistank für kosmische Strahlung im Pierre-Auger-Observatorium

auf Dienstreisen, um Arbeitsabläufe mit Kollegen aus der ganzen Welt zu koordinieren. Aber auch auf nationaler Ebene findet ein reger Austausch statt. So hat die Universität Siegen im Februar das erste Treffen aller deutschen Doktoranden und Diplomanden, die am Pierre-Auger-Experiment arbeiten, ausgerichtet.

### Kosmische Katapulte: Supernovaexplosionen

Was die kosmischen Teilchen auf ihre unvorstellbaren Geschwindigkeiten bringt, wissen die Physiker, wenige Jahre nach Inbetriebnahme von Auger, noch nicht. „Es gibt eine Reihe von plausiblen Annahmen über Beschleunigungsmechanismen“, erklärt Ivor Fleck. Die populärste Idee geht demnach davon aus, dass Schockwellen in Supernovaexplosionen die Teilchen auf Touren bringen. „Diesen relativistischen Schocks traut man zu, Teilchen auf bis zu  $10^{15}$  Elektronenvolt katapultieren zu können“, so Fleck. „In den großen Weiten des Universums können diese Teilchen dann durch die Wechselwirkung und Kollision mit ausgedehnten Magnetwolken nachbeschleunigt werden“, ergänzt Buchholz und stützt sich damit auf eine Theorie des berühmten Physikers Enrico Fermi. Dies sei aber nicht die einzig mögliche Erklärung: „Auch der Zerfall noch unentdeckter massereicher Ur-Elementarteilchen oder primordialer topologischer Defekte könnte eine Quelle hochenergetischer Teilchen sein“, so Buchholz.



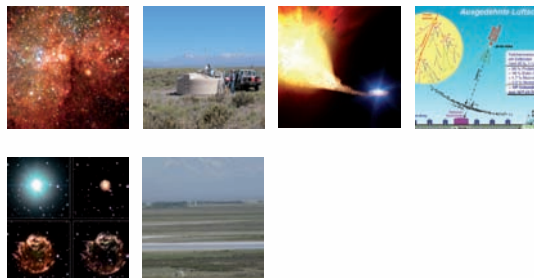
Reste einer Supernovaexplosion beobachtet mit dem Weltraumteleskop Hubble

Als wollten die Physiker mit der Beschleunigung ihrer Erkenntnisobjekte Schritt halten, treiben auch sie die Forschung zur hochenergetischen kosmischen Strahlung in stetig steigendem Tempo voran. So ist für 2009 die Installation eines weiteren Observatoriums von der Größe von Auger auf der nördlichen Erdhalbkugel geplant. Dieses Zwillingprojekt in Colorado, USA, wird den nördlichen Teil des Himmels beobachten und so, zusammen mit dem Projekt in

Argentinien, den kompletten Himmel abdecken.

Die Forscher spüren den Geheimnissen der winzigen Boten aus den Tiefen des Alls aber nicht nur in den zivilisationsfernen Gegenden unserer Erde nach. Auch in den globalen Ballungsgebieten haben die Wissenschaftler Experimente installiert, die ihr Bild von den extraterrestrischen Partikeln vervollständigen. So greift das Team von Peter Buchholz auch auf Daten zu, die in Deutschland gewonnen werden. Bei ‚KASCADE-Grande‘ am Forschungszentrum Karlsruhe untersuchen die Siegener, wiederum im Verbund mit zahlreichen anderen Universitäten, kosmische Schauer, deren Energie im Bereich von  $10^{14}$  bis  $10^{18}$  eV liegt und die mit einer Rate von weniger als einem Teilchen pro Tag und pro Quadratmeter auftreffen. Für das Experiment haben die Wissenschaftler 289 Detektoren über das Gelände des Forschungszentrums verteilt. Ergänzt wird KASCADE-Grande durch das Experiment LOPES. LOPES funktioniert als eine Art Horchposten. Das Experiment misst die Radiosignale der durch kosmische Strahlung ausgelösten Luftschauer im Frequenzbereich von 40 bis 80 Megahertz.

In einigen Jahren hofft das Team von Ivor Fleck und Peter Buchholz dann ein paar von den Rätseln um die kosmische Strahlung gelöst zu haben. Derweil werden die Mitarbeiter sich aber auf ihren regelmäßigen Flügen in die argentinische Pampa noch viele Male selbst dem kosmischen Teilchenregen in den oberen Luftschichten der Atmosphäre aussetzen müssen.



Texte, Bilder und Zusatzmaterial

[www.extrakte.uni-siegen.de](http://www.extrakte.uni-siegen.de)

**Ansprechpartner**

Prof. Dr. Ivor Fleck

Experimentelle Teilchen- /Astroteilchenphysik

Telefon: ++49 271 740 3628

Telefax: ++49 271 740 3886

[fleck@hep.physik.uni-siegen.de](mailto:fleck@hep.physik.uni-siegen.de)

Pierre Auger Observatorium

[www.auger.de](http://www.auger.de)

KASCADE - Grande Observatorium

<http://www.ik.fzk.de/KASCADE>

**Literaturtipp**

Gruppen, Claus: Grundkurs Strahlenschutz.

Praxiswissen für den Umgang mit radioaktiven Stoffen. Berlin, 2003

# Chirurgie mit dem Taschenrechner

## Vom Studieren und Arbeiten als Teilchenphysiker



Surfen auf dem Teilchenstrom:  
Die Studenten Stefan Grebe, Isabell Steinseifer und Michael Pontz.

„Holzhacken ist deshalb so beliebt, weil man bei dieser Tätigkeit den Erfolg sofort sieht“, witzelte einst Albert Einstein mit kritischem Blick auf seine Profession. Einstein spricht damit andeutungsreich aus, was im Stillen wohl eine Mehrzahl der bundesdeutschen Bevölkerung denken dürfte: Physik gilt landläufig als schwer verständlich und praxisfern, die Absolventen des Faches als weltfremd. Hat das Image der Physik im Allgemeinen schon mit allerlei Vorurteilen zu kämpfen, wie abwegig muss es dann erst erscheinen, sich innerhalb der Physik auf das Fachgebiet ‚Experimentelle Teilchenphysik‘ zu spezialisieren. Warum sollten Schulabgänger sich auf das Studium eines Phänomenbereichs der Grundlagenforschung einlassen? Laufen die zukünftigen Absolventen nicht Gefahr als Einsteins Erben in eine Sackgasse zu geraten? Oder vermittelt die experimentelle Teilchenphysik möglicherweise doch reichhaltigere Kenntnisse und Fähigkeiten?

„Die Fertigkeiten von Physikern, insbesondere derjenigen, die Experimentelle Teilchenphysik studieren, werden in vielen Berufszweigen sehr geschätzt, weist Isabell Steinseifer, Physikstudentin im siebten Semester an der Universität Siegen, alle Vorurteile zurück, die auf die hochgradige Spezialisierung ihres Studienfachs anspielen. Zu den Schlüsselqualifikationen gehöre insbesondere die Fähigkeit des abstrakten Denkens und die Zähigkeit sich in komplexe Problemstellungen einzuarbeiten, ergänzt Stefan Grebe, ebenfalls Student im siebten Semester, die Ausführungen seiner Kommilitonin. „Man wird bissig“, stimmt Isabell kopfnickend zu.

Tatsächlich erweist sich das spätere Betätigungsfeld für Absolventen als erstaunlich vielfältig. „Der ‚Biss‘ kombiniert mit dem analytischen Blick steht bei vielen Arbeitgebern hoch im Kurs“, bestätigt Dr. Beate Raabe vom Arbeitsmarkt-Informationsservice (AMS) der Bundesagentur für Arbeit.

### Intellektuelle Allzweckwaffen

„Physiker sind universell einsetzbare Allzweckwaffen mit hoher Frustrationstoleranz gegenüber Widerständen. Mit ihrer Problemlösungskompetenz erweisen sich Physiker als ausgezeichnete Pioniere, die wir gerne an den Stellen einsetzen, wo es intellektuelles Neuland zu betreten gilt“, lobt Dr. Rainer Baumgart, Vorstandsvorsitzender eines der größten Softwareunternehmen für IT-Sicherheit in Deutschland. Baumgart weiß wovon er redet. Er selbst hat 1987 seine Promotion im Fach Experimentelle Teilchenphysik an der Universität Siegen abgeschlossen. In den turbulenten Boomjahren des Neuen Marktes gründete Baumgart in Zusammenarbeit mit dem TÜV-Nord die inzwischen im CDAX notierte ‚Secunet AG‘.

Für ihn lag der Sprung in die IT-Branche nahe. Denn spätestens seit den 70er Jahren geht in der Teilchenphysik nichts mehr ohne den Einsatz von Computertechnologie. Der experimentelle Gebrauch von Teilchenbeschleunigern produziert ein Datenaufkommen in solch einer Größenordnung, dass die Physiker der Zahlenflut nur noch mittels Großrechnern oder, wie in Zukunft, mit ausgefeilten GRID-Systemen Herr werden können. Für die Konstruktion von Beschleunigern und Detektoren müssen zudem die im Experiment zu erwartenden Prozesse zunächst in aufwendigen Computersimulationen getestet werden. Die Technologie und Software, die bei den Großexperimenten zum Einsatz kommt, kann zum größten Teil weder bei der Industrie eingekauft, noch bei Entwicklungsbüros in Auftrag gegeben werden. Vielmehr muss vom supraleitenden Supermagneten bis zur Simulationssoftware alles von den Physikern selbst entwickelt werden. „Teilchenphysiker müssen viele Technologien parallel beherrschen, sie betreten laufend ‚terra incognita‘ und müssen bei spontan auf-

Physiker sind Pioniere bei der Erschließung von intellektuellem Neuland

tauchenden Problemen mit kreativen Lösungen aufwarten. Das kann auch bedeuten, dass man in der Werkstatt mal selber die Feile oder den LötKolben schwingen muss“, so Baumgart. Angesichts der Dimensionen und der Komplexität der Anforderungen, die es bei Bau und Inbetriebnahme von Beschleunigern und Detektoren zu bewältigen gibt, liegt es nahe die ‚Daniel Düsentriebe‘ Deutschlands nicht zuletzt in den Reihen der Teilchenphysiker zu suchen.

Dabei sind die Teilchenphysiker nicht unbedingt geeignet, um innovative Lösungen zur Marktreife zu bringen, meint Baumgart. Physiker seien an der Lösung komplexer Problemstellungen interessiert – sobald das Rätsel geknackt ist, überlässt der Physiker zumeist die Detailarbeit den Ingenieuren, so Baumgart.

### Teilchenphysiker: Einsatz in der Medizin

Als ausgebildete Allrounder arbeiten Teilchenphysiker nach ihrem Studium in den unterschiedlichsten Tätigkeitsbereichen. „Das Berufsspektrum ist bei Teilchenphysikern vergleichsweise größer als bei anderen naturwissenschaftlichen Studiengängen“, weiß Beate

Raabe. Banken beschäftigen Teilchenphysiker ebenso wie Unternehmensberatungen, IT-Dienstleister ebenso wie Krankenhäuser. Selbst bei der Führung der Staatsgeschäfte vertraut Deutschland mit der amtierenden Bundeskanzlerin inzwischen auf die Fähigkeiten einer Physikerin. „Physiker sind nicht so festgelegt wie z.B. Mathematiker oder Ingenieure“, meint Dr. Delf Mattern. Mattern arbeitet für die Siemens Medizin-Technik als Projektmanager in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung. „Aufgrund ihres breiten Grundlagenwissens sind Physiker in vielen Bereichen einsetzbar; sie können sich gut anpassen und schnell in neue Problemstellungen eindenken“, antwortet Mattern auf

die Frage, wo denn die Vorzüge von Physikern lägen. Die Medizintechnik ist neben der IT-Branche ein weiteres Beispiel dafür, wie die Wirtschaft in Deutschland von der physikalischen Grundlagenforschung profitiert. So werden Teilchenbeschleuniger heutzutage überwiegend in anwendungsorientierten Gebieten eingesetzt. Siemens selbst baut inzwischen gebäudegroße Beschleuniger, die seit Jahren in der Medizin erfolgreich bei der Behandlung von Krebserkrankungen eingesetzt werden. Mittels Detektoren, die in anderer Form beispielsweise auch am CERN in der Schweiz oder am DESY in Hamburg Verwendung finden, lässt sich der hochenergetische Teilchenstrahl in allen drei Raumdimensionen exakt auf die befallenen Krebszellen fokussieren. Ähnlich wie bei dem Bildaufbau in einem Röhrenfernseher fährt der Teilchenstrahl dann punktgenau über das Krebsgewebe, um es zu zerstören; der Schaden für das angrenzende gesunde Gewebe kann so deutlich reduziert werden. Aber nicht nur in der Therapie ist das technologische Wissen von Teilchenphysikern heiß begehrt. Auch in der Diagnostik sind die Partikeljäger

inzwischen unentbehrlich geworden. Durch die Arbeit an den Detektoren am CERN oder bei DESY sind Teilchenphysiker prädestiniert für die Erforschung und Entwicklung von bildgebenden, medizinischen Diagnoseverfahren – sei es bei der Verbesserung der alt hergebrachten Röntgentechnologie oder beim Bau und der Bedienung von modernen Kernspintomographen.

### Zahlengewaltiges Handwerkszeug

Dreh- und Angelpunkt in der Teilchenphysik ist und bleibt die Mathematik – soviel sei warnend für alle angemerkt, die mit einem Studium der Physik liebäugeln. „Die Begeisterung für mathematisch abstraktes Denken muss vorhanden sein, sonst wird es nichts“, bemerkt achselzuckend der Student Michael Pontz. Die Mathematik dient dem Physiker als sein chirurgisches Werkzeug. Mit Formeln und Gleichungen seziiert er die Naturerscheinungen der Welt im Kleinsten und im Größten. Ohne Mathematik kein operativer Eingriff in physikalische Phänomene – zum Leidwesen vieler naturwissenschaftlich begeisterter Studienanfänger. Denn viele scheitern in ihrem Physikstudium in den ersten Semestern gerade an dem mathematischen Rüstzeug. Nach den Mathematikprüfungen im ersten Studienjahr werfen bis zu 40 Prozent der Studienanfänger entnervt das Handtuch. Ohne die nötige Begeisterung für die Anwendungsmöglichkeiten, die hinter dem zahlengewaltigen Handwerkszeug stehen, gelingt es den Studenten nur schwer sich für das Überspringen der ersten Hürden im Studium zu motivieren, meint Stefan Grebe.

Dass der Praxisbezug und damit die Faszination für die Physik nicht aus dem Blick gerät, dafür tragen die Lehrenden der Physik an der Universität Siegen aber durchaus Sorge. So gliedert sich das bundeseinheitliche Studium in einen praktischen und einen theoretischen Teil. 60 Prozent des Grundstudiums ist dem Ausprobieren und Experimentieren gewidmet. Auf den Vorlesungstisch kommen dann nicht nur komplexe Problemstellungen aus der Quantenmechanik oder der Teilchenphysik sondern auch Fragen aus dem alltäglichen Leben. „Warum ist der Himmel blau?“, „Wie funktioniert der Transformator in einem Auto?“ Die Liste der Seminarfragen liest sich wie das Inhaltsverzeichnis eines ‚Was ist Was‘-Buchs. Bis zu zehn Experimente pro Doppelstunde sollen gewährleisten, dass die Begeisterung, mit der viele Jungforscher ihr Studium antreten, nicht in den trockenen Mühlen von Theorie und Mathematik aufgerieben wird.

„Die Studenten lernen sehr früh, mit Misserfolgen umzugehen. In der Teilchenphysik braucht man viele Anläufe, um wenige Male erfolgreich zu sein“, berichtet Claus Grupen, langjähriger Professor an der Universität Siegen. „Für viele Problemstellungen müssen unorthodoxe Lösungen gefunden werden.“ Die Studierenden müssen dabei eine enorme geistige Flexibilität beweisen – eine Beweglichkeit, die im Übrigen auch die Lehrenden vorhalten müssen. Denn zur Schadenfreude des Nachwuchs kommt es nicht selten vor, dass vorgeführte Experimente fehlschlagen. „Dann muss man als Lehrender spontan eine Erklärung parat haben, warum es nicht geklappt hat“, beschreibt Grupen die Anforderungen an den Vortragenden.

Bis zu zehn Experimente pro Doppelstunde



**„Tüfteln und Probieren“**

Für Abwechslung sorgt, neben dem Experimentieren im Unterricht, die frühe praktische Einbindung der Studierenden in die internationale Forschungsarbeit. „Forschung und Lehre ist in der Teilchenphysik eng miteinander verzahnt“, erklärt Peter Buchholz, Leiter der Arbeitsgruppe ‚Experimentelle Teilchenphysik‘ an der Uni Siegen. „Obwohl Siegen eine kleine Universität ist, sind wir dennoch an den größten Forschungsexperimenten in der Welt beteiligt“ – sei es nun am CERN in Genf oder bei Pierre Auger, einem Großforschungsprojekt zur kosmischen Strahlung in der argentinischen Pampa. „Von Beginn an stehen viele Studenten mit der Übernahme eigenständiger Aufgabenbereiche an vorderster Front. Sie bekommen bereits während des Grundstudiums die Möglichkeit eigenverantwortlich zu arbeiten und sich nebenbei ein nicht geringes Zubrot zum Studium zu verdienen“, führt Buchholz weiter aus. Die besten Studenten können auf diesem Weg schon während des Studiums ein echtes Forscherleben führen. So z.B. Felipe Gerhard, Physikstudent mit dem Schwerpunkt Experimentelle Teilchenphysik. Gerhard arbeitet seit dem zweiten Studienjahr im Auftrag der Universität Siegen für ‚KASCADE-Grande‘, dem größten Experiment in Deutschland zur Erforschung hochenergetischer Strahlung aus dem All. Der Nachwuchsforscher, der zuvor auch schon olympische Bronze bei der internationalen Physikolympiade in Seoul errungen hatte, beteiligt sich seit einem Jahr an der Datenauswertung bei KASCADE-Grande. Gerhard entwickelte Verfahren zur Kontrolle der Datenqualität. Die Ergebnisse seiner Arbeit stellte er dann im dritten Studiensemester auf einem Kollaborationstreffen vor Professoren und Doktoranden vor.

Das Beispiel weist neben dem Aspekt der Integration von Forschung und Lehre auf einen weiteren Punkt hin, der im Studium aber auch im Berufsleben der Teilchenphysiker eine enorme Bedeutung erhält: Internationalität. Um eine ausreichende Anzahl von Geldgebern für die millionenteuren Versuchsaufbauten zu versammeln, werden heutzutage nahezu alle Forschungsprojekte international aufgezogen. Konsequenz: Die Teilchenphysik spricht englisch. Ab dem Hauptstudium werden Vorlesungen daher fast nur noch in der Lingua Franca des Forschungsbetriebes gehalten – wovon insbesondere die ausländischen Studenten profitieren, die im Masterstudium am Fachbereich Physik der Universität Siegen immerhin einen Anteil von 40 Prozent ausmachen.

**In der Welt zu Hause**

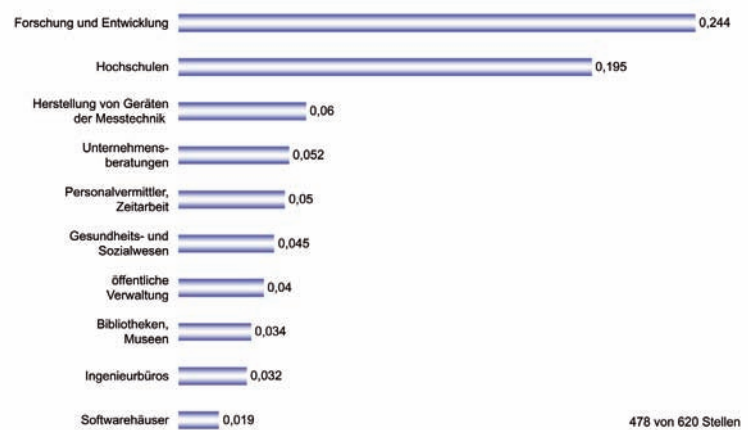
Geht es schon im Studium international zu, so ist das Promotionsstudium, das gut ein Drittel der Graduierten nach ihrem Abschluss aufnehmen, überhaupt nicht mehr in nationalen Grenzen zu denken. Tatsächlich sind es die Promovierenden, die in erster Linie den internationalen Forschungsbetrieb ‚stemmen‘. Viel mehr als die Professoren tragen sie mit ih-



ren Forschungsarbeiten an Beschleunigern, Detektoren und Observatorien rund um die Welt zu den Erkenntnisfortschritten in der Teilchenphysik bei. Ist die Scheu vor der Fremdsprache erst einmal überwunden, lernen die Promovierenden die Internationalität durchaus zu schätzen. In wenigen anderen Berufsfeldern fällt es so leicht, Grenzen zu überschreiten und mit seinen Fachkenntnissen international tätig zu werden. Rainer Baumgart vermutet, dass viele Graduierte nach Ende ihres Studiums die Option wahrnehmen, im Ausland zu arbeiten. „Denn“, so Baumgart, „es gibt kaum Arbeit suchende Physiker, die an unsere Türen klopfen.“

Auch die Aneignung der so genannten ‚soft skills‘ ist ein unvermeidlicher aber willkommener Nebeneffekt einer Promotion in der experimentellen Teilchenphysik. Beate Raabe schätzt, dass Arbeitgebern die außerfachlichen Kompetenzen mindestens so wichtig sind, wenn nicht sogar wichtiger als die Fachkompetenzen. Denn: „Fachkompetenzen im jeweiligen Berufsfeld lassen sich auch ‚on the job‘ noch ausbauen. Die soft skills, wie Präsentationstechniken oder Kommunikationsfähigkeit, sind im nachhinein allerdings nur noch schwer zu verbessern“, schildert Raabe ihre Erfahrungen mit Arbeitnehmern. „Hat man erst einmal einen englischen

Promotion fördert ‚soft skills‘



Arbeitsbereiche, in denen Physiker tätig sind

Vortrag in einem vollen Saal vor mehr als 300 Gurus der internationalen Physikszenen gehalten“ – ein unvermeidlicher Vorgang, der sich im Zuge der Datenauswertung einstellt, mit der man es während der Promotion zu tun bekommt – „dann relativieren sich alle nachfolgenden Präsentationen, die man später im Berufsleben zu halten hat“, erinnert sich Matthias Böcker, der inzwischen bei einer der größten Unternehmensberatungen der Welt arbeitet. Die internationale Verbundforschung in der experimentellen Teilchenphysik trainiert neben Präsentationstechniken darüber hinaus auch die von Arbeitgebern hochgeschätzten Fertigkeiten wie Teamfähigkeit und Projektmanagement. „Als ich als Unternehmensberater

anfang, waren mir viele Arbeitsabläufe schon aus meiner akademischen Ausbildung vertraut. Der Übergang in die Berufspraxis fiel mir, im Gegensatz zu einigen anderen Kollegen, daher sehr leicht. Viele persönlichkeitsbildende Erfahrungen konnte ich schon während meiner Promotion sammeln", freut sich Böcker. Vielleicht konnte er sich auch gerade deswegen als einziger gegen 470 Mitbewerber durchsetzen.

Freuen dürfte alle Physikstudenten wohl auch die Nachricht, dass Physiker überproportional oft in leitenden Tätigkeiten oder sogar auf Vorstandsebene arbeiten. Raabe macht hierfür den Umstand verantwortlich, dass Physiker in Unternehmen eine hohe Schnittstellenkompetenz aufweisen; mit ihrer Fähigkeit zum vernetzten Denken sind Physiker besonders geeignet die teilweise sehr heterogenen Sparten eines Unternehmens miteinander zu integrieren.

Aber nicht alle Absolventen der Teilchenphysik möchten nach dem anforderungsreichen Studium auch noch eine im Durchschnitt vierjährige Promotion anschließen. So wollen die Studenten Isabell Steinseifer und Stefan Grebe lieber in die Praxis einsteigen. Sie sind sich sicher, dass sie mit ihrem erlernten Methodenwissen in vielen Berufssparten unterkommen können. Nur Michael Pontz möchte auch nach dem Studium – am liebsten in der Forschung – der Physik treu bleiben. In einem Punkt sind sich die Studenten allerdings einig: Holzhacken möchte keiner von ihnen.



Texte, Bilder und Zusatzmaterial

[www.extrakte.uni-siegen.de](http://www.extrakte.uni-siegen.de)

Ansprechpartner

Prof. Dr. Claus Grupen

Telefon: ++49 271 740 3795

Telefax: ++49 271 740 3886

[gruppen@hep.physik.uni-siegen.de](mailto:gruppen@hep.physik.uni-siegen.de)



**Im Gespräch: Prof. Dr. Markus Schumacher, Koordinator der internationalen Arbeitsgemeinschaft zur Suche nach dem Higgs-Teilchen bei ATLAS, Prof. Dr. Ivor Fleck, Fachgebiet Kosmische Strahlung, und Prof. Dr. Peter Buchholz, Leiter der Arbeitsgruppe ‚Experimentelle Teilchenphysik‘**

**Extrakte:** Herr Buchholz, sie leiten die Arbeitsgruppe ‚Experimentelle Teilchenphysik‘. Was machen Teilchenphysiker? Wie kann man sich die Inhalte Ihrer Arbeit vorstellen?

**Buchholz:** Naturwissenschaft ist das Wechselspiel zwischen Theorie und Experiment. Experimentelle Teilchenphysiker stellen dabei gezielte Fragen an die Natur. Bedingt durch den fundamentalen Charakter dieser Fragen in für uns Menschen kaum noch vorstellbar kleinen Di-



mensionen, ist der technische Aufwand sehr groß und experimentelle Forschungsprojekte sind entsprechend langfristig angelegt. Für mich als Arbeitsgruppenleiter ist es dabei von entscheidender Bedeutung, an Projekten in allen Stadien der Verwirklichung beteiligt zu sein. Im Klartext heißt das, ein Experiment vorzubereiten, ein weiteres aufzubauen und ein drittes auszuwerten – und das alles gleichzeitig. In unserem Fall ist das konkret, erstens die Planung eines Experiments an einem noch nicht einmal existierenden Teilchenbeschleuniger

zur präzisen Vermessung der Eigenschaften vorhergesagter, aber bisher noch nicht nachgewiesener Teilchen. Die Kunst hierbei ist es, einen Detektor zu entwickeln, der genau für diese Fragen geeignet ist. Des weiteren sind wir an zwei Astroteilchenphysik-Experimenten (KASCADE-Grande und Auger) beteiligt, die gerade Daten nehmen und uns damit die physikalische Datenanalyse erlauben. Das Experiment im Aufbau ist das ATLAS-Experiment im Europäischen Labor für Teilchenphysik in Genf (CERN), für das wir einen Teil seines Herzstücks, den ‚Pixeldetektor‘, hier in Siegen gebaut haben. Dieses Experiment wird am LHC, dem neuen Protonenbeschleuniger, durchgeführt werden. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Inhalte unserer Arbeit ein sehr breites Spektrum abdecken, von der reinen Software-Entwicklung über die Hardware-Entwicklung bis zum aktiven Bau der Detektor-Komponenten.

**Extrakte:** Wie kommt man auf die Idee, Teilchenphysiker werden zu wollen? Klingt eher nach einem ungewöhnlichen Berufswunsch.

**Buchholz:** Bei mir ist der Berufsstart leider schon etwas länger her, aber die Faszination ist noch die alte. Für mich spielen dabei zwei Faktoren die wichtigste Rolle. Einmal die Tatsache, dass es in meinen Augen keinen anderen Bereich der

Wissenschaft gibt, der fundamentalen Fragen nachgeht und trotzdem eine ganz erstaunliche Breite aufweist, zum anderen ist es die gelebte Internationalität, die seit Beginn die Teilchenphysik auszeichnet. Die Größe der Projekte zwang und zwingt zu wirklicher internationaler Zusammenarbeit, in schwierigen Zeiten auch über politische Vorbehalte hinweg. Für mich war und ist der funktionierende weltweite Austausch unter Wissenschaftlern faszinierend.

**Extrakte:** Der Titel, unter den die aktuelle Ausgabe von ‚Extrakte‘ gestellt ist, lautet: ‚Vom Allergrößten zum Allerkleinsten‘. Was bedeutet dieser Titel in Hinsicht auf Ihr Arbeitsgebiet? Erhebt die Physik den Anspruch, das ganze Universum erklären zu können?

**Fleck:** Das Universum, das wir heute als das Allergrößte bezeichnen, ist aus dem Urknall hervorgegangen. Bei diesem wurden die allerkleinsten Teilchen erzeugt, allerdings in einer unvorstellbar großen Anzahl. Diese allerkleinsten Teilchen, auch als ‚Elementarteilchen‘ bezeichnet, haben sich dann nach nur kurzer Zeit zu Atomen zusammengefunden. Beim Urknall wurden aber auch andere Teilchen erzeugt als jene, die die Atome formen. Diese sind jedoch weitestgehend zerfallen. Ein Teil des Urknalls ist aber heute immer noch in Form der Photonen in der kosmischen Hintergrundstrahlung beobachtbar. Es hat dann sehr lange gedauert, bis sich aus den einzelnen Atomen zunächst Staub, dann größere Materieansammlungen und

später Sterne und Planeten gebildet haben. Die ersten Sterne sind in der Zwischenzeit schon verglüht und haben dabei die schweren Atome erzeugt.

Das gesamte Universum stammt also von den Elementarteilchen, die beim Urknall erzeugt wurden. Um den Urknall zu verstehen, wird in den Beschleunigern am CERN eine Situation erzeugt, die den Bedingungen des Urknalls ähnelt, allerdings auf einer viel kleineren Skala. Somit können Teilchen sichtbar gemacht werden, die es seit dem Urknall nicht mehr gegeben hat.

Das ganze Universum basiert auf Physik. Auch Prozesse z.B. in der Chemie folgen physikalischen Gesetzen. Allerdings sind die Prozesse heutzutage noch nicht mit den fundamentalen Gesetzen der Physik zu beschreiben, da die Anzahl der teilnehmenden Teilchen zu groß ist. Die Physik ist am besten geeignet, um das ganz Kleine oder das ganz Große zu beschreiben.

**Extrakte:** Herr Fleck, Sie beschäftigen sich in ihrer Arbeit also mit dem Allergrößten? Heißt das, sie haben das Universum als Ganzes im Blick? Wie kann man sich das vorstellen?

**Fleck:** Das Universum ist so groß, dass es einer alleine nicht im Blick haben kann. Auch besteht das Universum aus unzähligen Einzelob-



jekten. Diese sind es, die die Aufmerksamkeit der Physiker auf sich ziehen. Sei es ein Pulsar, ein Doppelsternsystem, ein schwarzes Loch; alle diese Objekte haben unterschiedliche Eigenschaften, die es zu studieren gilt. In der Astroteilchenphysik untersucht man die Signale dieser Objekte, die auf der Erde ankommen; allerdings nicht mit Teleskopen im optisch sichtbaren Licht, sondern mit großen Detektoren, die Neutrinos, Protonenschauer oder ultrahochenergetische Photonen beobachten können.



**Extrakte:** Herr Schumacher, warum baut man mit 2000 Wissenschaftlern in zwanzigjähriger Kleinarbeit eine gigantische Maschine, nur um ein Teilchen zu finden?

**Schumacher:** Ich nehme an, Sie meinen das Higgs-Teilchen. Die Frage nach dem Ursprung der Masse der elementaren Teilchen beschäftigt uns, die Teilchenphysiker, nun schon seit fast 40 Jahren. Mit dem LHC sollte es uns endlich gelingen, dieses Rätsel zu lösen. Der favorisierte Kandidat zur Lösung des Massenproblems ist das Higgs-Teilchen. Seine Entdeckung würde eine 30-jährige Suche endlich beenden. Die Suche nach dem Higgs-Teilchen ist eine zentrale, aber nur eine unter vielen Fragen, die wir mit dem LHC beantworten wollen. Zum einen soll Bekanntes wie z.B. das Top-Quark und das W-Boson genauer untersucht werden, dann soll Vermutetes wie z.B. das Higgs-Boson entdeckt und studiert werden und weiterhin wollen wir offen für neue Physik z.B. wie ‚Supersymmetrie‘ oder ‚zusätzliche Raumdimensionen‘ – um nur einige Modelle zu nennen – sein.

**Extrakte:** Sie leiten die 200 Kopf starke internationale Arbeitsgruppe, die nach Inbetriebnahme des LHC die Suche nach dem Higgs-Boson bestreitet. Wie kann man sich diese Suche vorstellen?

**Schumacher:** Das Higgs-Boson ist die Nadel im Heuhaufen der ATLAS-Daten. Für jedes produzierte Higgs-Boson werden 100.000.000.000 für uns – die Higgs-Jäger – uninteressante Kollisionen stattfinden. Ziel ist es, leistungsstarke und stabile Selektionsalgorithmen zu entwickeln, die das genannte Signal-zu-Untergrund-Verhältnis auf ein Niveau von etwa eins zu eins anrei-

chern. Zurzeit basieren unsere Studien noch auf Simulationen. Da wir völliges ‚Neuland‘ mit dem LHC betreten, ist es wichtig, Methoden zu entwickeln, wie wir den Untergrund aus Daten selbst bestimmen können und wie die Simulation validiert werden kann.

Etwa 200 Leute arbeiten derzeit in der Higgs-Arbeitsgruppe. In monatlichen Treffen am CERN und intermediären Telefonkonferenzen werden die neuesten Ergebnisse verglichen und diskutiert, und die Strategie für die nächsten Monate wird vereinbart.

Für das Gelingen der Higgs-Suche sind allerdings alle etwa 2000 Kollegen bei ATLAS wichtig: sowohl diejenigen, die den Detektor gebaut haben und bald in Betrieb nehmen, die Leute, die die aufwändige Software geschrieben haben und nun optimieren, als auch schließlich die Higgs-Arbeitsgruppe.

**Extrakte:** Der LHC wird subatomare Teilchen produzieren, die in insgesamt vier Detektoren vermessen werden. Was versuchen die Detektoren zu finden, wie funktionieren sie?

**Buchholz:** Detektoren weisen den Durchgang von Teilchen durch Materie nach. Teilchen, die durch einen Detektor fliegen, wechselwirken dabei mit den Bausteinen der Materie, aus der der Detektor gemacht ist. Die Auswirkungen dieser Wechselwirkungen können so verschieden sein wie z.B. freigesetzte Ladungen oder auch Licht. Durch die Messung dieser Effekte kann man dann das Teilchen, seine Richtung und seine Energie bestimmen.

**Extrakte:** Sie haben bei der Detektorentwicklung mitgewirkt. Sie waren bei der Konzeption und der Realisierung des Herzstücks des AT-



LAS-Detektors beteiligt, dem so genannten ‚Pixeldetektor‘. Er ist das letzte Teilstück vor Vollendung von ATLAS. Wann wird der Pixeldetektor wo in ATLAS platziert. Und was passiert dann?

**Buchholz:** Der Pixeldetektor umschließt in der Tat im ATLAS-Experiment direkt die Strahlröhre und ist damit das innerste Detektorelement. Er soll spätestens Ende Mai in die Kaverne hinuntergelassen und in ATLAS eingebaut werden. Danach muss er in mühsamer Kleinarbeit verkabelt werden und alle anderen Anschlüsse, wie z.B. die der Kühlung, müssen angeschlossen werden. Danach werden vom Hauptkontrollzentrum des ATLAS-Experiments eine Vielzahl von Tests durchgeführt werden. Einer der ersten ist dabei festzustellen, ob auch alle Kabel an die richtige Stelle gehen. Die dazu notwendigen Software-Programme sind schon vorher entwickelt worden. Da ich gerade ein Forschungsfreisemester habe, kann ich selbst mit drei unserer Studierenden am Einbau und den anschließenden Tests teilnehmen. Hoffentlich klappt alles wie geplant!

**Extrakte:** Welche Funktion hat der Pixeldetektor, was leistet er, in welchem Verhältnis steht er zum Ganzen?

**Buchholz:** Der Pixeldetektor ist dem Wechselwirkungspunkt der beiden Protonenstrahlen am nächsten und damit beim Mini-Urknall in der ersten Reihe. Da alle aus der bei der Protonenkollision freigesetzten Energie erzeugten Teilchen diesem Punkt entspringen, ist die Zahl der Teilchen hier am größten und ihr

das Verständnis sehr wichtige, Teilchen auch noch extrem kurzlebig und legen dadurch nur sehr kurze Distanzen zurück. Alles das erklärt, warum wir nur mit solch einem hoch auflösenden Instrument wie dem Pixeldetektor eine Chance haben, zu verstehen, was alles als Konsequenz des Protonenzusammenpralls passiert ist.

**Extrakte:** Die Astrophysik erforscht den Makrokosmos, die Teilchenphysik den Mikrokosmos. Zwei Paar Schuhe könnte man meinen. Warum arbeiten Sie drei in einer Arbeitsgruppe zusammen.



**Fleck:** In der Astroteilchenphysik wird nicht nur der Makrokosmos studiert. Es werden auch kosmische Objekte z.B. als Teilchenquellen benutzt. So konnten z.B. mit dem ‚Kamiokande Experiment‘ in Japan Neutrinos aus einer Supernovaexplosion nachgewiesen werden und durch einen Zeitvergleich mit der optischen Beobachtung der Explosion eine obere Grenze auf die Masse der Neutrinos extrahiert werden. Genauso sind die Messungen bei AUGER auf die Existenz von ultraschweren Teilchen sensitiv. Der Kosmos kann Teilchen erzeugen, die der Mensch niemals erschaffen könnte. Außerdem werden in der Astroteilchenphysik viele Messmethoden angewandt, die auch in Detektoren der Teilchenphysik benutzt werden. Die Schauer, die bei der Kollision eines Protons kosmischen Ursprungs mit einem Molekül der Erdatmosphäre erzeugt werden, bestehen genau aus den gleichen Teilchen, wie der Schauer eines Jets im Detektor der Teilchenphysik.

**Extrakte:** Schlägt der ‚Large Hadron Collider‘, der größte Teilchenbeschleuniger der Welt, der zum Ende

dieses Jahres in Betrieb genommen wird, ein weiteres, bedeutendes Kapitel in der Geschichte der physikalischen Entdeckungen auf? Was steht uns in den kommenden fünf Jahren physikalischer Forschung zu erwarten?

**Schumacher:** Wir sind uns ziemlich sicher, dass wir am LHC neue Phänomene entdecken und Antworten auf einige Fragen finden werden, die uns teilweise seit Jahrzehnten beschäftigen. Mit dem LHC, der zurzeit am CERN fertig gestellt wird, betreten wir völliges Neuland. Wir dringen zu Energien vor, die in Beschleunigerexperimenten nie zuvor

erreicht worden sind. Solche Energien haben wahrscheinlich etwa  $10^{-12}$  s nach dem Urknall geherrscht. Was wir entdecken werden, wissen wir natürlich – und meiner Meinung nach auch glücklicherweise – nicht. Sonst wäre die Forschung nicht mehr spannend und auch keine Forschung mehr. Es gibt zwar einige theoretisch motivierte Vorurteile, was uns erwarten wird, z.B. Supersymmetrie, zusätzliche Raumdimensionen usw. Als Experimentalphysiker werden wir aber ohne Vorurteile die Daten des ATLAS-Experimentes analysieren.

**Extrakte:** In der Geisteswissenschaft gibt es eine Vielzahl von Theorien und Modellen. In der Teilchenphysik nur ein einziges, das so genannte ‚Standardmodell‘. Das Standardmodell ist das Destillat von vierzig Jahren weltweiter Forschungsarbeit in der Teilchenphysik. Wie fest sitzt das Standardmodell im Sattel? Erwarten Sie mit der Inbetriebnahme des LHC Erschütterungen? Möglicherweise ein Umschwenken auf die wenigen Alternativtheorien, die auf Fehler im Standardmodell lauern?



Abstand voneinander am kleinsten. Zu allem Überfluss sind einige, für



**Schumacher:** Das Standardmodell beschreibt zurzeit alle Ergebnisse der Teilchenphysik mit höchster Genauigkeit und alle Versuche, es in den letzten Dekaden zu falsifizieren, sind fehlgeschlagen. Des weiteren zeichnet es sich durch eine minimale Anzahl von Parametern und eine große konzeptionelle Eleganz aus, die auf abstrakten Symmetrien beruht. Es wird auch weiterhin, zumindest für niedrige Energien, die wir bisher erforscht haben, eine sehr gute Basis unserer Naturbeschreibung bleiben. So wie die Mechanik Newtons für die Physik unseres Alltags ausreicht und man die Relativitätstheorie Einsteins und die Quantenmechanik nur für solche Bedingungen anwenden muss, in denen entweder die Geschwindigkeiten in den Bereich der Lichtgeschwindigkeit kommen oder man Situationen der atomaren Welt beschreiben will. Allerdings glauben wir schon lange nicht mehr, dass das Standardmodell unsere letztgültige Beschreibung bleiben wird. Dafür lässt es zu viel Fragen offen. Wir hoffen, vom LHC erste Antworten zu erhalten, in welche Richtung wir das erfolgreiche Standardmodell erweitern müssen. Es kann aber sehr gut sein, dass unser Bild der Natur eine völlig unerwartete Änderung erfährt. Wie revolutionär diese sein wird, bleibt abzuwarten.

**Extrakte:** Was fasziniert Sie persönlich am meisten an der Teilchenphysik? Trägt einen die Faszination auch nach vieljähriger, kleinteiliger Forschungsarbeit noch?

**Schumacher:** Die Möglichkeit, sich mit fundamentalen Fragen der materiellen Welt zu beschäftigen: was ist Masse, was ist die Struktur des Raumes und der Zeit, gibt es eine Urkraft? Die Verbindung zwischen Teilchenphysik und Kosmolo-

gie. Neue Erkenntnisse zu gewinnen, die unser Weltbild möglicherweise verändern.

Darüber hinaus die einzigartige Möglichkeit, mit hunderten von gleich gesinnten Kollegen aus aller Welt zusammen zu forschen und dabei ihre Kultur und Mentalität kennen zu lernen.

**Extrakte:** Welche Vorteile hat es, Teilchenphysik an einer kleinen Universität wie Siegen zu studieren? Ist man hier nicht etwas abgeschnitten vom interessanten Geschehen?

**Fleck:** Der Vorteil des Studiums an einer kleinen Universität und insbesondere hier in Siegen ist, dass man schon frühzeitig im Studium in die aktuelle Forschung einbezogen wird. Man kann schon während

des Grundstudiums in unserer Arbeitsgruppe mitarbeiten. Bei größeren Universitäten ist aufgrund der großen Anzahl von Studierenden diese Möglichkeit nicht gegeben.

Auch in den Vorlesungen ist das Betreuungsverhältnis viel besser als an den großen Universitäten und es herrscht keine Scheu vor einer Diskussion zwischen Dozenten und Studierenden.

Die Teilchenphysik ist international und dadurch daran gewöhnt, Informationen über das Web auszutauschen und Meetings mit Videokonferenzen abzuhalten. Daher ist es egal, an welchem Ort der Welt man sich aufhält, sofern man einen Anschluss an das Computernetzwerk hat.



Texte, Bilder und Zusatzmaterial  
[www.extrakte.uni-siegen.de](http://www.extrakte.uni-siegen.de)

Siegener Arbeitsgruppe:  
<http://www.hep.physik.uni-siegen.de/>

## andere Meldungen aus der Forschung

### **ExpertFinding: Experten auffinden in großen Organisationen**

Die Mitarbeiter bilden das eigentliche ‚Kapital‘ von Unternehmen. Sie definieren – mehr als andere Unternehmensressourcen – was das Unternehmen kann und was es ist. Ein häufig in mitarbeiterstarken oder verteilten Unternehmen auftretendes Problem ist die fehlende Transparenz des in der Organisation vorhandenen Expertenwissens. Das Suchen nach qualifizierten Mitarbeitern kostet Zeit und Geld. Vorhandenes Expertenwissen bleibt unsichtbar mit der Folge, dass Geschäftschancen oftmals nicht genutzt werden können.

Das im Institut ‚Wirtschaftsinformatik und Neue Medien‘ im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Universität Siegen entwickelte System ‚Expert-Finding‘ soll Aktivitäten, Kompetenzen und Interessen der Mitarbeiter sichtbar – und damit verwertbar – machen. Im Unterschied zu ‚Yellow Page‘-Systemen verwendet das System vorhandene Dokumente der Benutzer, die während der Arbeit erzeugt, bearbeitet oder gelesen werden, um aussagekräftige Expertenprofile weitgehend automatisiert zu erstellen und aktuell zu halten. Dabei werden Datenschutzerfordernisse dadurch gewahrt, dass den Benutzern die vollständige Kontrolle über ihre Expertenprofile obliegt. Die Evaluation des Systems in einem Industrieverband zeigte vielversprechende Ergebnisse.

---

#### Informationen

Tim Reichling  
Wirtschaftsinformatik und Neue Medien  
Telefon: ++49 271 740 4002  
Telefax: ++49 271 740 3384  
reichling@fb5.uni-siegen.de  
Homepage:  
[www.expertfinding.de](http://www.expertfinding.de)

### **BMBF-Forschungsschwerpunkte: Siegener Teilchenphysik als exzellent ausgezeichnet**

Das BMBF hat eine neue Institution zur Förderung wissenschaftlicher Exzellenz geschaffen. Mit der Einrichtung von so genannten ‚Forschungsschwerpunkten‘ (FSP) finanziert das BMBF die Entwicklung, den Bau, den Betrieb und die Nutzung von Großgeräten der physikalischen Grundlagenforschung. Mit den FSPs sollen die Kräfte von mehreren Universitäten und Forschungseinrichtungen mit der Absicht gebündelt werden, die Voraussetzung zur Realisierung von aufwendigen Forschungsprojekten von internationaler Bedeutung zu schaffen. Die Siegener Forscher der Teilchenphysik gehören zu den Gewinnern der ersten Wettbewerbsrunde; aus ihr sind drei Netzwerke an den Experimenten ALICE, ATLAS und CMS als Sieger hervorgegangen. Diese Experimente werden derzeit am weltgrößten Teilchenbeschleuniger, dem ‚Large Hadron Collider‘ (LHC) installiert. Bis 2009 werden die drei Forschungsschwerpunkte mit mehr als 32 Millionen Euro gefördert.

---

#### Informationen

Prof. Dr. Peter Buchholz  
Experimentelle Teilchen-/Astroteilchenphysik  
Telefon: ++49 271 740 3718  
Telefax: ++49 271 740 3886  
[buchholz@hep.physik.uni-siegen.de](mailto:buchholz@hep.physik.uni-siegen.de)

ATLAS FSP: <http://www.fsp101-atlas.de/>

## andere Meldungen aus der Forschung

### **29. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Sprachwissenschaft (DGfS)**

Unter dem Titel ‚System und Variation‘ findet vom 28. Februar bis zum 2. März 2007 an der Universität Siegen die 29. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Sprachwissenschaft (DGfS) statt. Etwa 500 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem In- und Ausland werden in 175 Vorträgen kontroverse Forschungsfragen diskutieren und vor diesem Hintergrund auch zu aktuellen gesellschaftlichen Problemen Stellung nehmen.

#### **Vielfalt als Norm: Sprachen sind keine Monokulturen**

Wer schreibt oder (öffentlich) spricht, wird sich in der Regel darum bemühen, dem allgemeinen Standard zu entsprechen, wie er in Grammatiken und Wörterbüchern mehr oder weniger verbindlich geregelt ist. Daneben wird unser sprachliches Verhalten aber auch durch Normen reguliert, die nur für bestimmte Regionen oder Bevölkerungsgruppen, Textarten oder Situationen Gültigkeit beanspruchen. Insgesamt

existieren derart stets verschiedene systematisch miteinander in Beziehung stehende Ausdrucksmöglichkeiten nebeneinander. Eine Ausdrucksmöglichkeit, die einer bestimmten Norm folgt, kann durchaus dem allgemeinen Standard entsprechen – sie muss es aber nicht und kann in einem solchen Fall dennoch u. U. angemessener und so für den Sprecher vorteilhafter als die standardgemäße Ausdrucksweise sein. Darüber hinaus ist die Standardsprache historisch veränderlich, z. B. indem umgangssprachliche Formen Eingang in die Grammatiken und Wörterbücher finden.

Demzufolge liegt in der Variation einerseits die Möglichkeit des generellen Sprachwandels begründet – andererseits kann Sprachvariation aber auch mit Unsicherheiten, Verständigungsproblemen und Kommunikationskonflikten einhergehen. Solche Konfliktpotenziale zu minimieren, dazu kann die Sprachwissenschaft einen entscheidenden Beitrag leisten. Zwei Beispiele aus den Themenfeldern der Siegener Jahrestagung:

- ‚Sprachvariation durch Migration‘
- ‚Sprachvariation im Wechselspiel von Globalität und Lokalität‘

---

#### Informationen

Prof. Dr. Stephan Habscheid  
Germanistik/ Angewandte Sprachwissenschaft  
Telefon: ++49 271 740 4571, -2349  
Telefax: ++49 271 740 3246  
habscheid@sisib.uni-siegen.de

Dr. Sabine Lappe  
Anglistik/ Sprachwissenschaft  
Telefon: ++49 271 740 2753  
Telefax: ++49 271 740 3246  
lappe@anglistik.uni-siegen.de

Homepage  
[www.dgfs2007.uni-siegen.de](http://www.dgfs2007.uni-siegen.de)  
Deutsche Gesellschaft für Sprachwissenschaft  
[www.dgfs.de](http://www.dgfs.de)

*Herausgeber*

Der Rektor der Universität Siegen  
Presse- und Informationsstelle Universität Siegen

*Redaktion*

Dipl. Medienw. Michael Hellermann (verantw.)  
Telefon ++49 271 740 4923  
Telefax ++49 271 740 4911  
hellermann@presse.uni-siegen.de  
extrakte@presse.uni-siegen.de  
www.extrakte.uni-siegen.de  
Herrengarten 3  
57068 Siegen

*Layout, Satz*

Peter Büdenbender  
info@zettb.de

*Die Texte sind frei zum Wiederabdruck*

*Bildnachweis*

Die Bilder sind, wenn nicht anders gekennzeichnet, unter Benennung des Urhebers frei zum Wiederabdruck. Gekennzeichnete Bilder können ebenfalls kostenfrei publiziert werden; allerdings muss vorher jeweils individuell eine Erlaubnis beim Rechteinhaber eingeholt werden. Das Zusatzmaterial unterliegt den gleichen Bestimmungen. Die diesbezüglichen Auszeichnungen entnehmen Sie bitte der Homepage: [www.extrakte.uni-siegen.de](http://www.extrakte.uni-siegen.de)

*Titelblatt*

Oben: Universität Siegen/ Claus Grupen; unten: Spalte 1: CERN copyright\*, Spalte 2: Universität Siegen/ Michael Wagener; Spalte 3 European Space Agency/ Hubble; Spalte 4 Universität Siegen/ Michael Wagener

*Nadel im Heuhaufen – da können wir nur lachen*

S. 2, 3, 4 CERN copyright\*; S. 3, unten rechts: Universität Siegen

*Ein analoges und ein digitales Bild aus der Geschichte der Teilchenphysik*

S. 5 Brookhaven National Laboratory; S. 6 oben links: CERN copyright\*, S. 6 oben rechts: Universität Siegen/ Georg Rademacher

*Das Mysterium der Masse*

S. 7 Universität Siegen/ Michael Wagener; S. 8 Universität Siegen/ Claus Grupen; S. 9 links: Universität Siegen; S.9 unten rechts: CERN copyright\*; S. 10 CERN copyright\*; S. 11 Universität Siegen/ Claus Grupen

*Superenergien aus dem All*

S.14 oben: European Space Agency/ Hubble; S.1 unten: Universität Siegen/ Michael Hellermann; S.15 U.S. Air Force photo/ Senior Airman Joshua Strang; S. 17 unten links: Universität Siegen/ Claus Grupen; S.17 oben rechts: Pierre Auger Observatorium; S.17 unten rechts: European Space Agency/ Hubble

*Chirurgie mit dem Taschenmesser*

S. 19, 20, 21 Universität Siegen/ Michael Wagener;  
S. 21 rechts: Bundesagentur für Arbeit

*Im Gespräch*

S. 23, 24, 25, 26 Universität Siegen/ Michael Wagener

\*Wiederabdruck bitte individuell genehmigen lassen.

Copyright request: <http://cern.ch/cern-copyright>