



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Weltmaschine

Die kleinsten Teilchen und größten Rätsel des Universums



## Impressum

### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF  
Referat Europäische Forschungsunion  
53170 Bonn

### Bestellungen

schriftlich an den Herausgeber  
Postfach 30 02 35  
53182 Bonn  
oder per  
Tel.: 01805 – 262 302  
Fax: 01805 – 262 303  
(0,14 Euro/Min. aus dem deutschen Festnetz)

E-Mail: [books@bmbf.bund.de](mailto:books@bmbf.bund.de)  
Internet: <http://www.bmbf.de>

### Redaktion

K. Voß, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg  
B. Warmbein, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg

### Fachbeirat

German Executive LHC Outreach Group GELOG:  
U. Behrens, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Zeuthen  
Dr. A. Geiser, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg  
Dr. M. Hauschild, Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire CERN, Genf  
Prof. Dr. M. Kobel, Technische Universität Dresden  
Prof. Dr. H. Lenske, Justus-Liebig-Universität Gießen  
Dr. S. Hansmann-Menzemer, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg  
C. Mrotzek, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg  
M. Nagel, Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF  
Prof. Dr. T. Naumann (Koordinator), Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Zeuthen  
Dr. R. Schicker, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg  
Dr. J. Schieck, Max-Planck-Institut für Physik, München  
Dr. R. Simon, Gesellschaft für Schwerionenforschung GSI, Darmstadt  
Prof. Dr. T. Trefzger, Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
Dr. W. Wagner, Universität Karlsruhe (TH)  
S. Zollinger, Max-Planck-Institut für Physik, München  
Dr. T. Zoufal, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg

### Gestaltung

Scholz & Friends Agenda

### Druckerei

Druckhaus Schöneweide

### Bildnachweis/Nähere Informationen

Fotos: Peter Ginter, Babcock Noell GmbH, CERN, Fermilab (R. Hahn), Scholz & Friends  
Titelmotiv: Techniker arbeiten an einem der 9 300 Magnete,  
die den 27 Kilometer langen Ring des Large Hadron Collider LHC bilden.

### Bonn, Berlin 2008

### Weitere Informationen unter:

[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)  
[www.weltmaschine.de](http://www.weltmaschine.de)  
[www.cern.ch](http://www.cern.ch)

Wenn wir in dieser Broschüre von Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern sprechen,  
meinen wir damit selbstverständlich auch alle Wissenschaftlerinnen, Ingenieurinnen und Technikerinnen.



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Weltmaschine

**Die kleinsten Teilchen und größten Rätsel des Universums**





Die Suche nach den Anfängen des Universums ist eines der eindrucksvollsten Beispiele für die Faszination, die von der Forschung ausgeht. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler suchen mit immer größeren Geräten nach immer kleineren Teilchen. Der Large Hadron Collider LHC, der weltweit stärkste Teilchenbeschleuniger, führt diese Suche zu einem neuen Höhepunkt.

Damit wird die mehr als 50-jährige Erfolgsgeschichte des CERN fortgeschrieben, die beispielhaft wissenschaftliche Spitzenleistungen und Völkerverständigung miteinander verbindet. Am CERN arbeiten 2 500 Menschen aus ganz Europa und mehr als 8 000 Gastwissenschaftler von 580 Forschungseinrichtungen aus der ganzen Welt. Etwa tausend Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stammen aus Deutschland.

Von den Experimenten am LHC erwarten die Forscherinnen und Forscher völlig neue Erkenntnisse über die Bausteine der Materie und die Kräfte, die sie zusammenhalten. Das CERN liefert aber nicht nur bahnbrechende Ergebnisse in der Grundlagenforschung. Viele der dort entwickelten Technologien und Prozesse – beispielsweise das World Wide Web – bereichern inzwischen unseren Alltag.

Wissen, das am CERN gewonnen wurde, kommt auch in medizinischen Therapien und Untersuchungen zum Einsatz, etwa bei bildgebenden Verfahren. Deutschland ist ein wichtiger Partner in diesem Projekt. Das CERN ist ein gutes Beispiel für die Internationalität der Forschung.

Die Broschüre Weltmaschine eröffnet spannende Einblicke in die faszinierende Welt der Grundlagenforschung. Sie geben darüber hinaus eine Vorstellung von der Arbeit der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am CERN und davon, wie die Internationalisierung der Wissenschaft an diesem Ort der Spitzenforschung gelebt wird.

A handwritten signature in black ink, which reads "Annette Schavan". The signature is written in a cursive, flowing style.

Dr. Annette Schavan, MdB  
Bundesministerin für Bildung und Forschung



# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Weltmaschine LHC</b>                              | <b>3</b>  |
| <b>Die großen Fragen der Physik</b>                  | <b>7</b>  |
| <b>Die Detektoren – Kathedralen der Wissenschaft</b> | <b>12</b> |
| ATLAS: der Riese                                     | 12        |
| CMS: der Schwere                                     | 14        |
| LHCb: auf der Suche nach dem kleinen Unterschied     | 16        |
| ALICE: die Plasmaschmiede                            | 18        |
| <b>Grid – das Computernetzwerk der Zukunft</b>       | <b>21</b> |
| <b>Deutschland – ein starker Partner</b>             | <b>23</b> |



# Weltmaschine LHC

Was geschah beim Urknall? Woraus besteht das Universum? Woher kommt die Masse? Wo ist die Antimaterie? Wissenschaftler aus der ganzen Welt – viele davon aus Deutschland – gehen diesen fundamentalen Fragen mit Hilfe des Teilchenbeschleunigers Large Hadron Collider LHC nach. Der LHC gehört zum europäischen Kernforschungszentrum CERN in Genf und ist der leistungsstärkste Teilchenbeschleuniger der Welt. Der 27 Kilometer lange ringförmige Beschleuniger, den internationale Teams aus Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern in den vergangenen 14 Jahren gebaut haben, liegt in etwa 100 Meter Tiefe im Grenzgebiet zwischen Frankreich und der Schweiz.

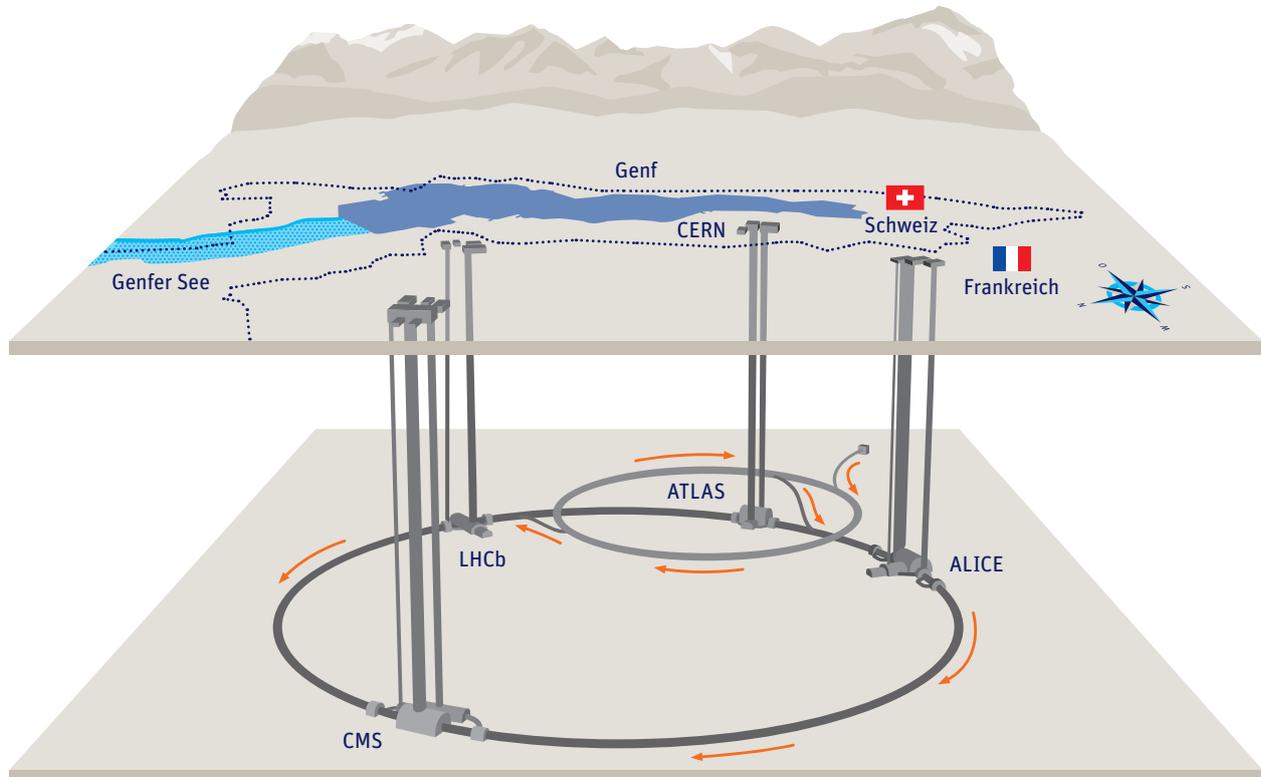
Im LHC rasen zwei gegenläufige Teilchenstrahlen mit nahezu Lichtgeschwindigkeit rund 11 000-mal pro Sekunde durch den Beschleunigerring. Starke Magnetfelder halten die Teilchenstrahlen auf der Kreisbahn des Beschleunigers. Die Spulen der mehr als tausend Magnete sind aus supraleitenden Kabeln gewickelt, durch die der Strom ohne Widerstand und damit ohne Energieverlust fließt. Dafür müssen die Magnete mit flüssigem Helium auf minus 271 Grad Celsius heruntergekühlt werden. Diese Temperatur ist niedriger als die im Weltall und macht das Kühlsystem des LHC zum größten Kühlschranks der Welt.

An vier Stellen im LHC prallen die Teilchenstrahlen aufeinander. So erzeugen Physiker Zustände wie unmittelbar nach dem Urknall. Bei den Zusammenstößen entstehen enorm viele neue Teilchen. Sie fliegen in alle Richtungen auseinander und werden mit Hilfe spezieller Nachweisgeräte, so genannter Detektoren, vermessen. Aus den Spuren, die die Teilchen in den Detektoren hinterlassen, schließen die Wissenschaftler, was bei diesen Zusammenstößen geschieht.

## CERN auf einen Blick

CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), die Europäische Organisation für Kernforschung in Genf, ist das größte Zentrum für physikalische Grundlagenforschung der Welt.

- **Gründungsjahr: 1954**
- **20 Mitgliedsstaaten, Deutschland ist Gründungsmitglied**
- **Gesamtbudget 2007: rund 650 Millionen Euro, davon 20 Prozent aus Deutschland**
- **Wissenschaftler am CERN: mehr als 8 000 aus 85 Nationen**
- **Beschleuniger: Large Hadron Collider LHC, fast 1 000 deutsche Wissenschaftler forschen hier**
- **Generaldirektor: bis 31.12.2008: Dr. Robert Aymar (Frankreich), ab 1.1.2009: Prof. Dr. Rolf-Dieter Heuer (Deutschland)**



Im LHC kreisen zwei Teilchenstrahlen in gegenläufiger Richtung bei nahezu Lichtgeschwindigkeit und prallen an vier Stellen aufeinander. Um die Spuren dieser Zusammenstöße zu analysieren, haben Wissenschaftler Messgeräte entwickelt: die Detektoren ATLAS, CMS, LHCb und ALICE.

## DIE DETEKTORZWIEBEL

Die hausgroßen und mit modernster Technik gespickten Detektoren am LHC bestehen aus mehreren Komponenten, die wie die Schalen einer Zwiebel um den Kollisionspunkt der Teilchen herum angeordnet sind.

- **Im Innern befinden sich die Spurdetektoren. Sie messen die Spuren, die elektrisch geladene Teilchen hinterlassen. Ein Magnetfeld krümmt die Bahnen der geladenen Teilchen, sodass sich ihr Impuls bestimmen lässt.**
- **Bei einigen Detektoren gibt es in der nächsten Lage Komponenten, die die Art der durchfliegenden Teilchen bestimmen.**
- **Kalorimeter bestimmen die Energie, die Art und die Flugrichtung der Teilchen.**
- **Die äußerste Schicht weist Myonen nach. Myonen gleichen den Elektronen bis auf ihre deutlich höhere Masse. Sie durchdringen als einzige geladene Teilchen alle anderen Detektorschichten.**

Die vier Detektoren am LHC heißen ATLAS, CMS, LHCb und ALICE.





# Die großen Fragen der Physik

## Was geschah beim Urknall?

## Woraus besteht das Universum?

## Woher kommt die Masse?

## Wo ist die Antimaterie?

Seit jeher versucht der Mensch, den Ursprung des Universums zu ergründen. Im Laufe der Zeit hat er seine Methoden immer weiter verfeinert und spezialisiert. Mit der Inbetriebnahme des LHC im Jahr 2008 in Genf hat diese Entwicklung einen weiteren Höhepunkt erfahren. Der leistungsstärkste Teilchenbeschleuniger der Welt ermöglicht es, in völlig neue Energiebereiche vorzustoßen. Mit dem LHC werden die Wissenschaftler den Antworten auf die Schlüsselfragen der Physik einen gewaltigen Schritt näher kommen.

In den vergangenen Jahrzehnten haben Physiker die Grundbausteine des Universums und die Kräfte, die zwischen ihnen wirken, immer detaillierter erforscht. Diese Erkenntnisse sind im Standardmodell der Teilchenphysik zusammengefasst, in dem drei grundlegende Symmetrien drei fundamentale Kräfte der Natur erzeugen.

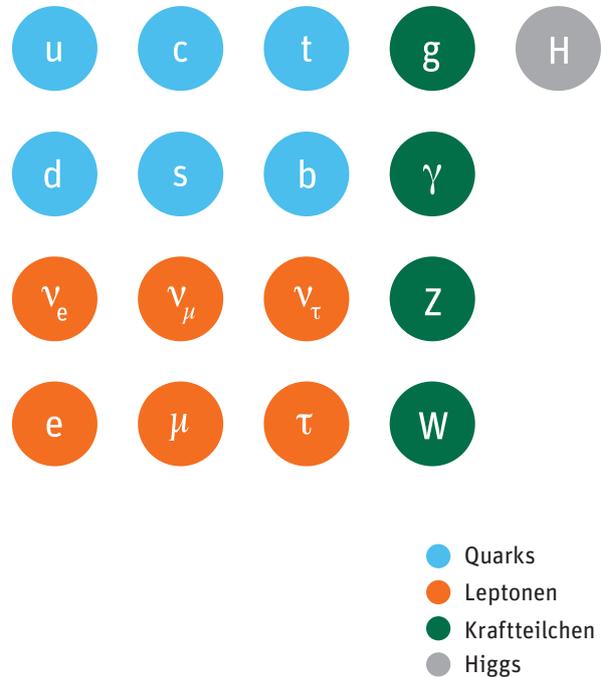
Das Standardmodell ist eine der erfolgreichsten naturwissenschaftlichen Theorien überhaupt. Dennoch lässt es viele Fragen offen. So berücksichtigt es die Schwerkraft nicht. Physiker auf der ganzen Welt haben es deshalb um Ansätze erweitert, die am LHC getestet werden. Eine drängende Frage, die am LHC untersucht werden soll, ist die nach dem Ursprung der Masse. Das Standardmodell der Teilchenphysik funktioniert nur, wenn die Teilchen keine Masse haben. Wie die Teilchen ihre Masse erhalten, ist jedoch bisher ungeklärt. Eine Antwort könnte der so genannte Higgs-Mechanismus geben, der 1964 vom britischen Physiker Peter Higgs eingeführt wurde. Wissenschaftler am LHC werden gezielt nach diesem letzten noch fehlenden Teil des Standardmodells suchen.

Alles Sichtbare im Universum, von der Ameise bis hin zur Galaxie, besteht aus gewöhnlichen Teilchen. Diese Materie macht allerdings nur fünf Prozent des Universums aus. Das Universum besteht zu 25 Prozent aus Dunkler Materie und zu 70 Prozent aus Dunkler Energie. Beide sind jedoch sehr schwer nachzuweisen. Am LHC suchen Wissenschaftler nach so genannten supersymmetrischen Teilchen. Diese könnten Bestandteil der Dunklen Materie sein und gleichzeitig die Welt der Materieteilchen und der Kraftteilchen des Standardmodells miteinander verbinden.

Zu jedem Elementarteilchen gibt es ein so genanntes Antiteilchen. Es hat genau dieselbe Masse, nur sind seine Ladungen entgegengesetzt. Wenn Teilchen und Antiteilchen aufeinandertreffen, vernichten sie sich gegenseitig. In der frühesten Phase unseres Universums entstand zunächst die gleiche Anzahl Teilchen und Antiteilchen. Demnach müssten Materie und Antimaterie einander komplett vernichtet haben. Nun besteht aber unser Universum aus Materie. Es muss also einen Prozess gegeben haben, bei dem etwas mehr Materie als Antimaterie übrig geblieben ist. Mit Hilfe des LHC werden Wissenschaftler versuchen, dieses Ungleichgewicht zu erklären.



Materie besteht aus Atomen mit einem Kern aus Protonen und Neutronen. Diese Kernbausteine wiederum bestehen aus Quarks, die von Gluonen zusammengehalten werden. Die Bindung zwischen Quarks und Gluonen ist so stark, dass man es nicht schafft, Quarks aus dem Proton zu befreien. Unmittelbar nach dem Urknall war das anders. In den ersten Mikrosekunden war das Universum ein heißer und dichter Feuerball aus Quarks und Gluonen, ein so genanntes Quark-Gluon-Plasma. Temperatur und Druck waren so hoch, dass die Quarks nicht durch Gluonen in Kernbausteinen gebunden waren, sondern sich in einer Art Ursuppe frei bewegen konnten. Dieser Zustand war jedoch nicht von Dauer. Das Quark-Gluon-Plasma kühlte sich ab, und es bildeten sich erste gebundene Teilchen wie Protonen und Neutronen. Um die Natur der starken Kraft zu verstehen, soll am LHC in Zusammenstößen von Blei-Ionen für Bruchteile von Sekunden diese Ursuppe erzeugt und ihre Eigenschaften untersucht werden.



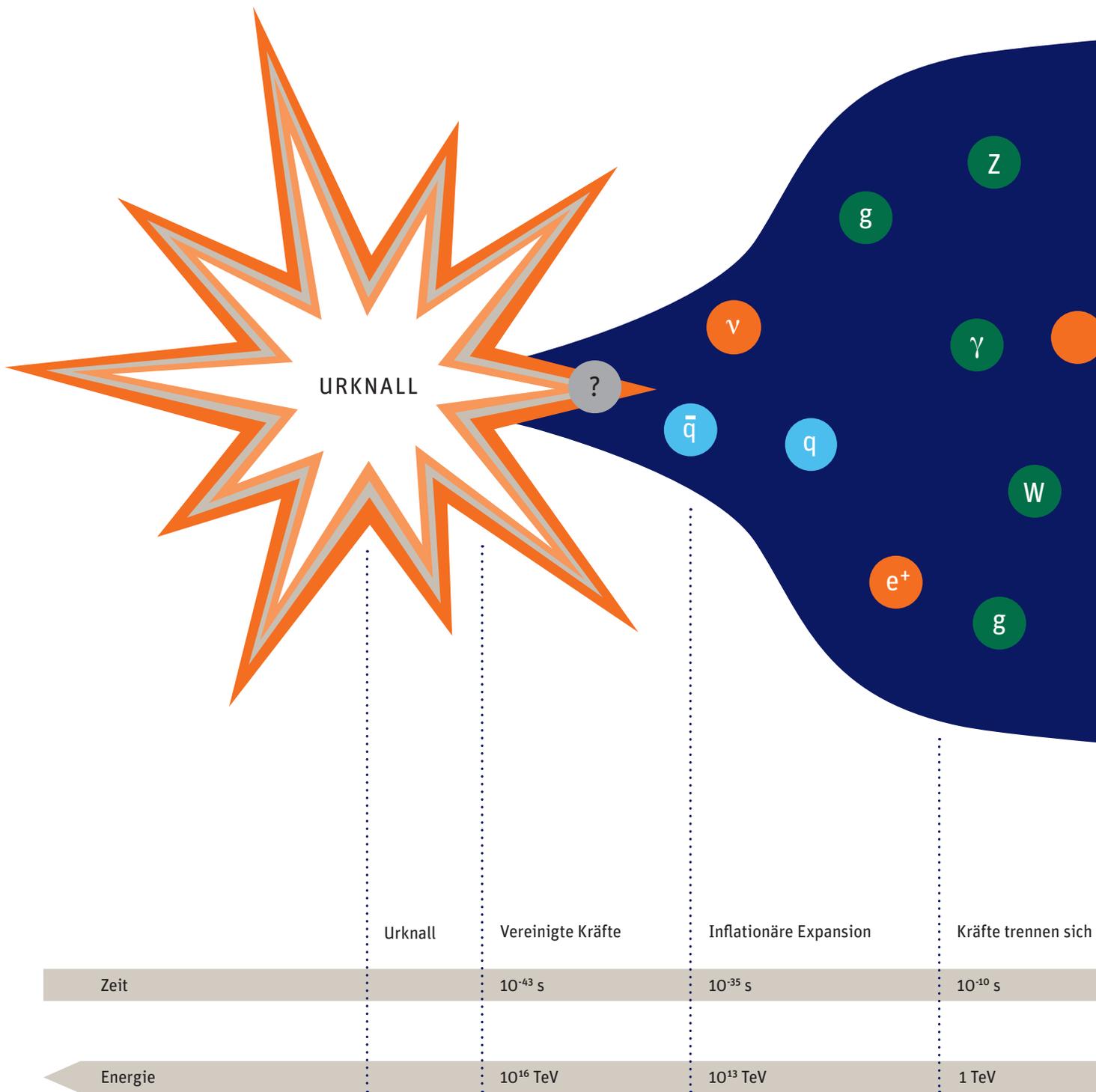
## Die Bausteine der Materie

Es gibt zwölf fundamentale, das heißt unteilbare Teilchen. Sie bilden zwei Klassen: die Quarks, aus denen Protonen und Neutronen bestehen, und die Leptonen. Das bekannteste Lepton ist das Elektron. Jedes dieser Teilchen besitzt ein Antiteilchen, einen aus Antimaterie bestehenden Partner. Zwischen den Teilchen wirken fundamentale Kräfte. Jede Kraft wird durch den Austausch eines Kraftteilchens übertragen. Man unterscheidet:

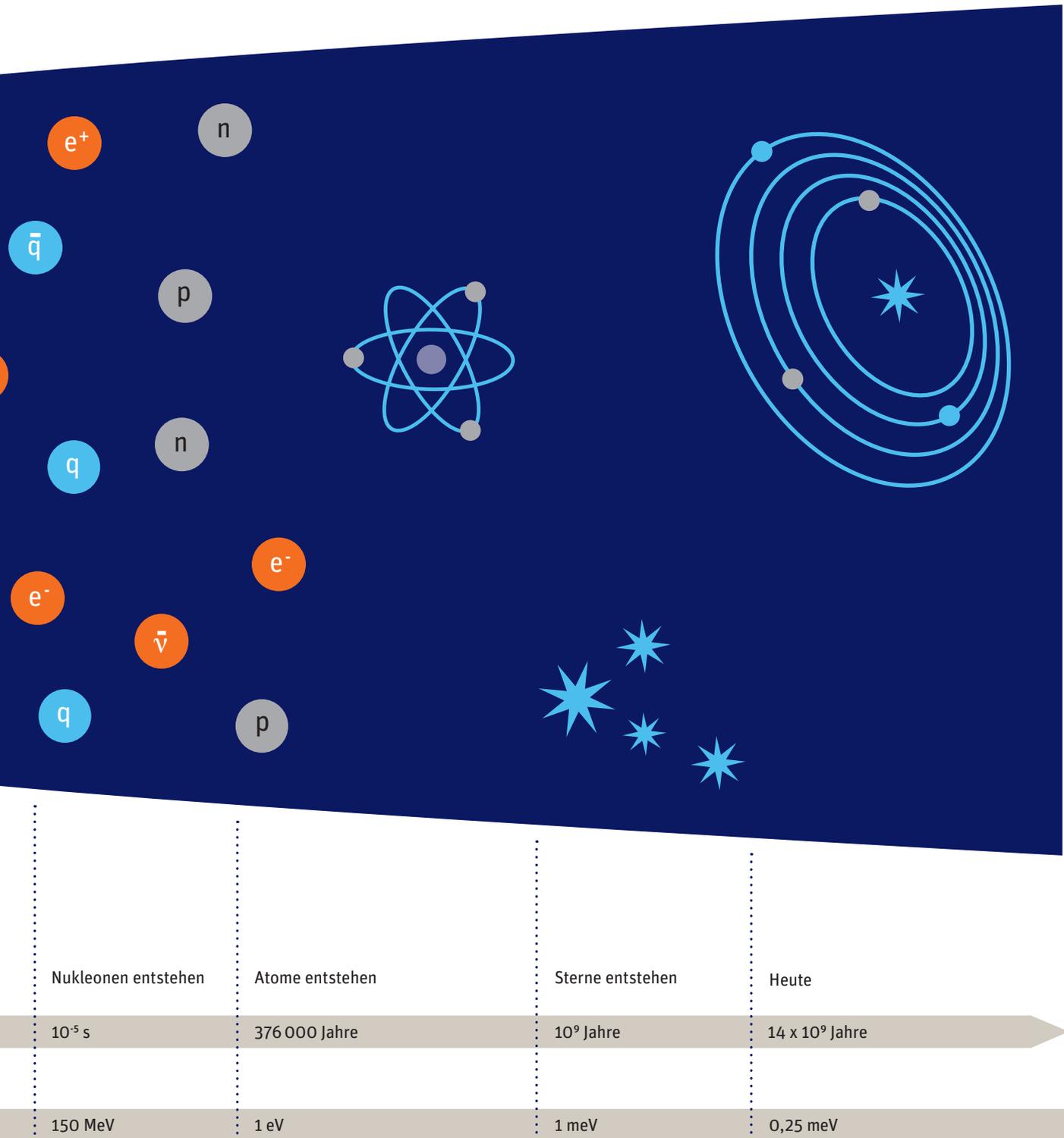
- **Die starke Kraft: Sie wirkt zwischen den Quarks und hält die Atomkerne zusammen. Die Kraftteilchen dieser Kraft heißen Gluonen.**
- **Die elektromagnetische Kraft: Sie hält Atome und Moleküle zusammen und verursacht alle elektrischen und magnetischen Erscheinungen, von der Glühbirne bis zum Fernsehbild, aber auch alle chemischen und biologischen Vorgänge. Ihr Kraftteilchen ist das Lichtteilchen, das Photon.**
- **Die schwache Kraft: Sie ist die entscheidende Voraussetzung dafür, dass die Sonne leuchtet. Ihre Kraftteilchen heißen W- und Z-Teilchen.**
- **Die Schwerkraft oder Gravitation sorgt dafür, dass die Planeten um die Sonne kreisen und wir den Boden unter den Füßen nicht verlieren. Trotz aller Anstrengungen ist es bisher nicht gelungen, die Gravitation in das Standardmodell einzubeziehen.**

Eine weitere wichtige Komponente des Standardmodells ist der so genannte Higgs-Mechanismus. Ohne ihn ist das Standardmodell nicht stimmig. Er sorgt dafür, dass jedes Teilchen seine charakteristische Masse erhält. Allerdings konnte das damit zusammenhängende Higgs-Teilchen experimentell noch nicht nachgewiesen werden.

## Vom Urknall bis heute



Während das Universum sich abkühlte, durchlief es verschiedene Zeitalter. Dabei bildeten sich die Teilchen, aus denen unsere heutige Welt besteht.



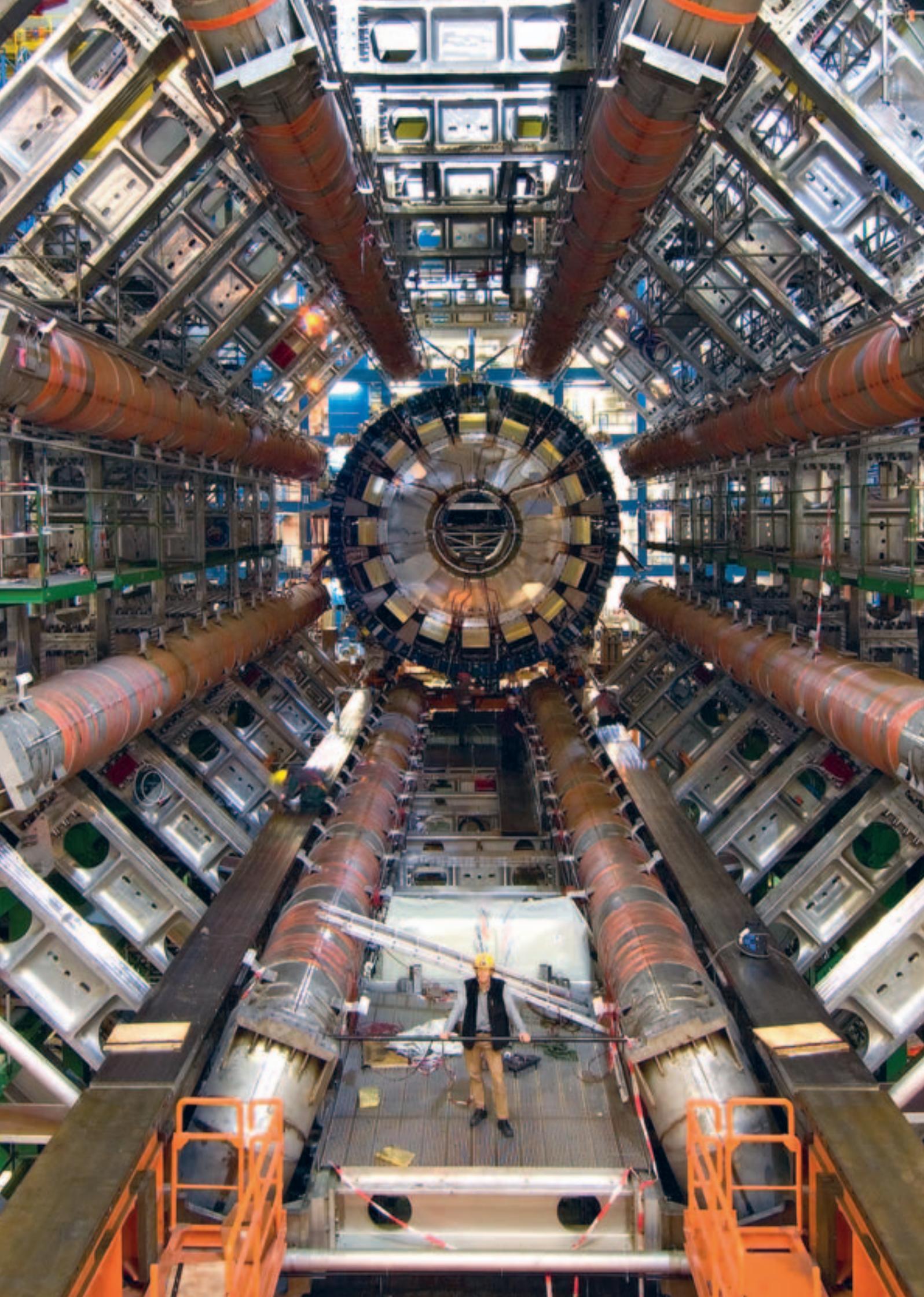
# Die Detektoren – Kathedralen der Wissenschaft

## ATLAS: der Riese

ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) ist mit 46 Metern Länge und 25 Metern Durchmesser der größte Teilchendetektor, der jemals gebaut wurde. Er ist etwa so groß wie ein fünfstöckiges Haus. ATLAS wird nach neuen physikalischen Phänomenen fahnden, beispielsweise nach dem Higgs-Teilchen, nach Teilchenkandidaten für die Dunkle Materie oder nach zusätzlichen Raumdimensionen. Hauptmerkmal des ATLAS-Detektors ist sein Magnetsystem. Es besteht aus acht 25 Meter langen supraleitenden Magnetspulen, die zylinderförmig um das Strahlrohr angeordnet sind. Das Magnetfeld krümmt die Spuren der Teilchen, sodass ihr Impuls gemessen werden kann.

### ATLAS auf einen Blick

- **Vielzweckdetektor für Proton-Proton-Kollisionen**
- **46 Meter Länge, 25 Meter Durchmesser, 7 000 Tonnen Gewicht**
- **Größter Teilchendetektor, der jemals an einem Beschleuniger gebaut wurde**
- **Standort: Meyrin, Schweiz**
- **Internationale Zusammenarbeit:  
mehr als 2 200 Wissenschaftler, Techniker und Ingenieure aus 37 Ländern**
- **Deutsche Beteiligung: Humboldt-Universität zu Berlin, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Technische Universität Dortmund, Technische Universität Dresden, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Georg-August-Universität Göttingen, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Ludwig-Maximilians-Universität München, Max-Planck-Institut für Physik München, Universität Siegen, Bergische Universität Wuppertal, Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Justus-Liebig-Universität Gießen, Julius-Maximilians-Universität Würzburg**



## CMS: der Schwere

CMS (Compact Muon Solenoid) ist mit einem Gewicht von 12 500 Tonnen der schwerste Teilchendetektor, der jemals gebaut wurde. Wie ATLAS ist er ein Vielzweckdetektor und verfolgt ein breites Spektrum physikalischer Fragestellungen. So sucht auch CMS nach dem Higgs-Teilchen, nach Teilchenkandidaten für die Dunkle Materie oder nach zusätzlichen Raumdimensionen. Hauptbestandteil des CMS-Detektors ist ein Magnet, dessen Feld etwa 100 000-mal stärker ist als das der Erde. Das Stahljoch, das das Magnetfeld begrenzt, ist für das enorme Gewicht des Detektors verantwortlich. Es ist in drei Lagen unterteilt, deren Zwischenräume mit gasgefüllten Kammern ausgestattet sind, den so genannten Myon-Kammern. In diesen Kammern hinterlassen hochenergetische Myonen, die schwereren Geschwister der Elektronen, charakteristische Signale. Der Nachweis von Myonen hat bei CMS eine zentrale Bedeutung.

### CMS auf einen Blick

- **Vielzweckdetektor für Proton-Proton-Kollisionen**
- **21 Meter Länge, 15 Meter Durchmesser, 12 500 Tonnen Gewicht**
- **Schwerster Teilchendetektor, der jemals an einem Beschleuniger gebaut wurde**
- **Standort: Cessy, Frankreich**
- **Internationale Zusammenarbeit: mehr als 2 000 Wissenschaftler, Techniker und Ingenieure aus 37 Ländern**
- **Deutsche Beteiligung: Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Universität Hamburg, Universität Karlsruhe (TH), Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY**



# LHCb: auf der Suche nach dem kleinen Unterschied

Wissenschaftler gehen am LHCb-Detektor (Large Hadron Collider Beauty) der Frage nach, warum unser Universum hauptsächlich aus Materie und nicht aus Antimaterie besteht. Denn wir nehmen an, dass beim Urknall die gleiche Anzahl Teilchen und Antiteilchen entstanden sein muss – und die hätten sich gegenseitig vernichten müssen. Gibt es also einen Unterschied zwischen Materie und Antimaterie? Die Wissenschaftler untersuchen dies anhand von Teilchen, die ein „Beauty“-Quark enthalten. Diese Unterschiede könnten auch Hinweise auf neue Teilchen sein, die zum Beispiel von supersymmetrischen Modellen vorhergesagt werden. Anders als bei den zwiebelartig aufgebauten ATLAS-, CMS- und ALICE-Detektoren sind bei LHCb die Teildetektoren auf einer Länge von 20 Metern in Richtung einer der beiden Teilchenstrahlen hintereinander angeordnet. Um die gesuchten Teilchen mit „Beauty“-Quarks zu identifizieren, haben die Wissenschaftler am LHCb-Detektor besondere Spurdetektoren entwickelt.

## LHCb auf einen Blick

- **Detektor für Proton-Proton-Kollisionen**
- **21 Meter Länge, 10 Meter Höhe, 13 Meter Breite, 5 600 Tonnen Gewicht**
- **Standort: Ferney-Voltaire, Frankreich**
- **Internationale Zusammenarbeit: etwa 680 Wissenschaftler, Techniker und Ingenieure aus 15 Ländern**
- **Deutsche Beteiligung: Technische Universität Dortmund, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Max-Planck-Institut für Kernphysik Heidelberg**

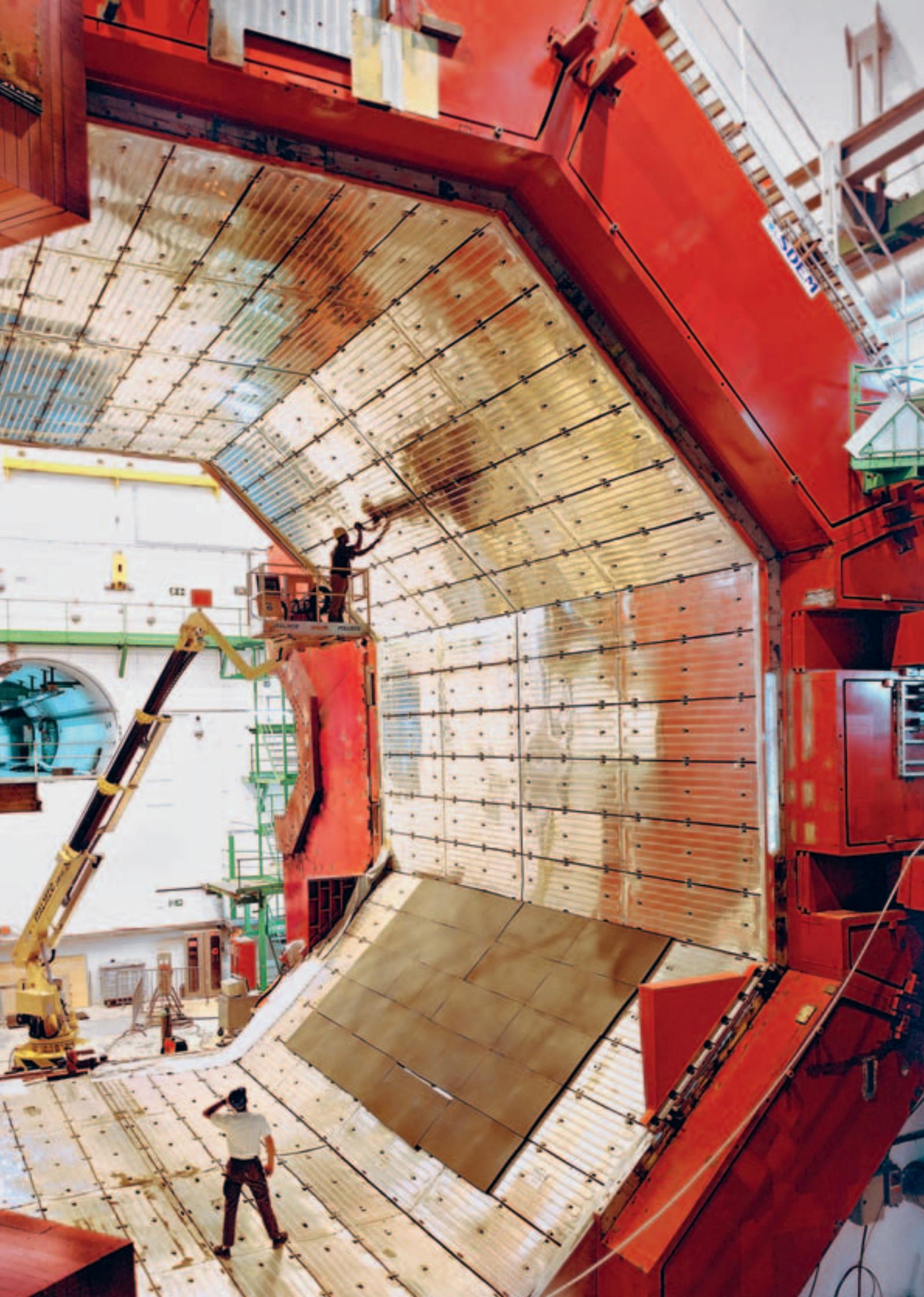


# ALICE: die Plasmaschmiede

Am ALICE-Detektor (A Large Ion Collider Experiment) soll der Urzustand der Materie erzeugt und untersucht werden, wie es ihn wenige millionstel Sekunden nach dem Urknall gab. Anders als bei den anderen drei Detektoren werden am ALICE-Detektor Blei-Atomkerne zur Kollision gebracht. Dabei entstehen Temperaturen, die mehrere 100 000-mal höher sind als die im Innern der Sonne. Wissenschaftler erwarten, dass die Bestandteile der Blei-Atomkerne, die Protonen und Neutronen, in dieser unvorstellbaren Hitze zusammenschmelzen und ihre inneren Bindungen verlieren. So soll die Ursuppe nachgebildet werden, der Plasmazustand aus Quarks und Gluonen, wie er wenige millionstel Sekunden nach dem Urknall existiert haben soll. Am ALICE-Detektor beobachten Wissenschaftler die Ausdehnung und Abkühlung dieser Ursuppe. Sie versprechen sich neue Erkenntnisse über die starke Kraft und darüber, wie sich die Teilchen bildeten, aus denen unser Universum heute besteht.

## ALICE auf einen Blick

- **Detektor für die Kollision von Blei-Ionen**
- **26 Meter Länge, 16 Meter Durchmesser, 10 000 Tonnen Gewicht**
- **Standort: St. Genis-Pouilly, Frankreich**
- **Internationale Zusammenarbeit: mehr als 1 000 Wissenschaftler, Techniker und Ingenieure aus 30 Ländern**
- **Deutsche Beteiligung: Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Technische Universität Darmstadt, Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Fachhochschule Köln, Fachhochschule Worms, Gesellschaft für Schwerionenforschung GSI, Darmstadt**





# Grid – das Computernetzwerk der Zukunft

Der LHC erzeugt jährlich eine Datenmenge von etwa 15 Petabytes (15 Millionen Gigabytes). Das entspricht Hunderttausenden DVDs. Tausende Wissenschaftler wollen weltweit auf diese Daten zugreifen und sie auswerten. Deshalb baut CERN in Zusammenarbeit mit Rechenzentren auf der ganzen Welt ein Computernetz mit verschiedenen Ebenen für die Verarbeitung und die Speicherung der Daten auf: das LHC Computing Grid. Die Daten werden nicht wie bisher am Ort ihrer Entstehung gespeichert und verarbeitet, sondern auf mehrere Zentren verteilt. Das Forschungszentrum Karlsruhe beteiligt sich an diesem Projekt mit dem „Grid-Computing Centre Karlsruhe“, das den mitteleuropäischen Hauptknoten des weltweiten Grid-Projekts bildet. Außer beim LHC kann das Grid aber auch in anderen Wissenschaften angewendet werden, die sehr große Datenmengen sammeln und analysieren.

## Teilchenphysik in Deutschland



Hunderte Wissenschaftler aus ganz Deutschland forschen am LHC.

## Deutschland – ein starker Partner

Mehr als die Hälfte aller Teilchenphysiker der Welt arbeitet an Projekten am CERN. Zusätzlich zu den etwa 2 500 CERN-Angestellten kommen jedes Jahr rund 8 000 Gastwissenschaftler nach Genf, um in Teams an den Detektoren zu arbeiten, an Konferenzen teilzunehmen oder Projekte zu planen. Sie alle repräsentieren 580 Forschungseinrichtungen, 85 Nationalitäten und beinahe ebenso viele Sprachen. Deshalb wird bei der Arbeit am CERN meist Englisch gesprochen. Beinahe tausend Deutsche sind an der wissenschaftlichen Arbeit am CERN beteiligt. Damit stellt Deutschland nach Italien die zweitgrößte Nutzergruppe unter den CERN-Mitgliedsstaaten. Weitere 200 Deutsche sind bei CERN fest angestellt, von der Verwaltung bis hin zum Posten des Generaldirektors. Der deutsche Anteil an der Finanzierung des gesamten CERN-Budgets liegt bei 20 Prozent. Damit ist Deutschland der größte Beitragszahler. Zahlreiche deutsche Firmen haben Teile des LHC und der Detektoren gebaut. Um die Förderung der deutschen Beiträge zu den Detektoren ATLAS, CMS und ALICE zu bündeln, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF Forschungsschwerpunkte eingerichtet. Um das in Deutschland vorhandene Expertenwissen in der Teilchenphysik weiter zu stärken, haben sich alle deutschen Universitäten und Institute, die am LHC mitarbeiten, zur Helmholtz-Allianz „Physik an der Teraskala“ zusammengeschlossen.

### **Grundlagenforschung nutzt auch im Alltag**

Grundlagenforschung strebt nach Erkenntnisgewinn: Forscher wollen herausfinden, was die Welt im Innersten zusammenhält. Auf der Suche nach Antworten auf ihre Fragen machen sie Entdeckungen oder entwickeln neue Technologien, ohne die viele Bereiche unseres Lebens nicht mehr auskommen. Medizin, Kommunikation, Umwelttechnik, Unterhaltungsindustrie – sie alle profitieren von den hoch entwickelten Beschleunigern, Detektoren und Methoden der Teilchenphysik. An den Entwicklungen für die Teilchenphysik sind häufig Firmen beteiligt, die die neuen Technologien in andere Bereiche übertragen und durch diese Innovationen neue Geschäftsfelder erschließen. Deutsche Unternehmen haben an zahlreichen großen Hightech-Projekten am LHC mitgewirkt.

Außerdem werden am CERN ebenso wie an anderen Forschungsinstituten und Universitäten der ganzen Welt jedes Jahr tausende hoch qualifizierte junge Menschen ausgebildet, die mit ihren Kenntnissen und Fähigkeiten aus der Forschung die Wirtschaft und Wissenschaft vorantreiben. Damit Deutschland auch weiterhin eine starke Rolle bei der Grundlagenforschung spielt und von ihren Errungenschaften profitiert, unterstützt das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF die Grundlagenforschung mit großem Engagement. Das BMBF trägt jährlich rund 130 Millionen Euro, das sind etwa 20 Prozent des CERN-Haushalts. Das Ministerium stellt außerdem jährlich 15 Millionen Euro für Projekte an Universitäten und Forschungseinrichtungen in Deutschland bereit, deren Wissenschaftler sich an der Arbeit am CERN beteiligen und die dortigen Forschungsanlagen nutzen.



Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

- ◀ Wenn sich Menschen mit 85 Nationalitäten am CERN treffen, verständigen sie sich bei ihrer Arbeit meist auf Englisch.  
Auch während des Kalten Krieges arbeiteten am CERN russische, amerikanische und europäische Forscher friedlich zusammen.



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

