

# CERN-Impressionen

Maximilian Ruep

Etwas müde, doch voller Erwartungen und Vorfreude betrete ich um ca. neun Uhr früh das Gebäude 33, die Rezeption, auf dem CERN-Gelände in Meyrin, sehr nahe der französisch-schweizerischen Grenze. Es ist ein Wahnsinnsegefühl.

Ich werfe noch einen Blick zurück. Draußen sieht man den *Globe*, die riesige Holzkugel, die man schon von weitem erkennen kann. Sie wird gerade renoviert, bekommt einen neuen Anstrich. Vor dem *Globe* steht ein blaues, 15 m langes Rohr mit zwei schwarzen, fassähnlichen Kappen am Ende. In weißen Lettern steht darauf geschrieben: „*Cern Aimant Dipole Supraconducteur LHC*“. Es handelt sich um einen der 1232 supraleitenden Dipolmagnete, deren Aufgabe es ist, den Teilchenstrahl des Large *Hadron Colliders* auf seiner kreisförmigen, fast 27 km langen Bahn 100 Meter unterhalb des Erdbodens zu halten.

Ich kann es immer noch nicht fassen. Ich befinde mich auf dem Gelände der *europäischen Organisation für Kernforschung*, dort wo die größte Maschine der Welt überwacht,

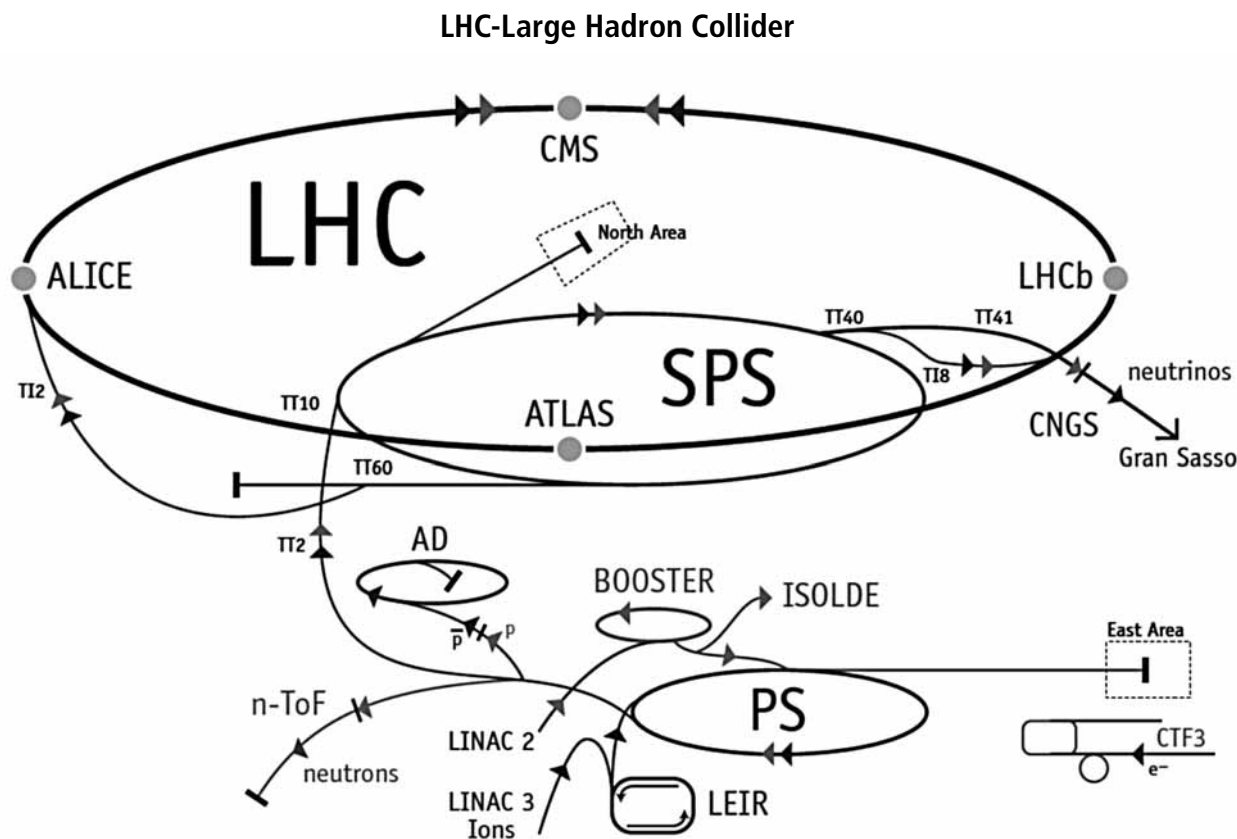
gesteuert, repariert, überprüft, getestet und schließlich in Betrieb genommen wird. Wo sich 1800 Physiker aus aller Welt Antworten auf ihre Fragen erhoffen. Und ich mitten drin.

Die Dame an der Rezeption ruft Herrn DI Dr. Michael Hoch für uns an. Er wird uns heute eine Zeit lang begleiten, uns das „Hauptquartier“ in Meyrin zeigen und Wissenswertes über das gesamte Projekt erläutern. Nach wenigen Minuten des Wartens erscheint ein braun gebrannter Physiker in der kleinen Halle der Rezeption, der Anfang der Führung.

Der *LHC* ist ein Teilchenbeschleuniger. DER Teilchenbeschleuniger! Der größte, und leistungsstärkste Teilchenbeschleuniger der Welt.

Aber wozu braucht man bitte einen Teilchenbeschleuniger? Was kann man damit machen?

**Die Antwort:** Verstehen. Lernen. Begreifen. Entwickeln. Entdecken.



Maximilian Ruep, Schüler einer 4. Klasse am BRG Wels/Wallererstraße, erlebte mit den Eltern im Sommer 2009 eine sehr persönliche CERN-Führung

Mit einem Teilchenbeschleuniger bekommt man einen Einblick in die Geheimnisse des Universums. Aber warum bekommt man einen Einblick, indem man Teilchen, die man sowieso schon kennt zusammenprallen lässt?

Weil bei der Kollision neue Teilchen entstehen! Diese Tatsache ist in Einsteins Formel der speziellen Relativitätstheorie  $E=mc^2$  festgelegt. Sie besagt, dass Masse und Energie äquivalent sind, dass man Masse in Energie umwandeln kann, und Energie in Masse. Genau das geschieht am *LHC*. Ein Teil der kinetischen Energie der Teilchen (Bewegungsenergie) wird beim Zusammenprall in neue Materie umgewandelt. Dieser Prozess findet bei allen Teilchenbeschleunigern statt und ist nichts Neues, aber die verfügbare Energie, die in Masse umgewandelt werden kann, war noch nie so groß wie beim *LHC*. In den zwei unterirdischen Röhren werden Teilchenpakete auf 99,999999% der Lichtgeschwindigkeit (299 792 km/s) beschleunigt. Die umkreisenden Protonen erreichen dabei eine Energie von 14 Tera-Elektronenvolt (TeV), die Bleitionen (Schwerionen, Bleikerne) erreichen sogar eine Energie von 1146 TeV. (Zum Vergleich: 1 TeV entspricht ungefähr der Bewegungsenergie eine Mücke.)

Mit Einsteins Formel wurden schon viele Teilchen auf diese Weise gefunden, doch das Standardmodell prognostiziert ein Teilchen, das zuvor noch von keinem Detektor aufgezeichnet wurde: das Higgs-Boson. Es soll der Ursprung der Masse sein. Wissenschaftler aus aller Welt fiebern der Entdeckung dieses Teilchen am Large *Hadron Collider* entgegen. Doch der Weg, bis die Teilchen zu Paketen zusammengeballt, fast bis zur Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und zusammengeprallt sind, und die Ergebnisse ausgewertet werden, ist aufwendig, lange und voller neuester Technologie.

## Von der Quelle zur Kollision

Der erste Schritt ist die Gewinnung von Protonen. Dies erfolgt direkt am Startpunkt des Vorbeschleunigers *Linac 2*. Als Grundlage für die Protonen dient Wasserstoffgas. Wenn man von einem Wasserstoffatom das Elektron mittels elektrischer Spannung entfernt, bleibt nur noch ein Proton übrig, das dann den *Linac 2* durchläuft und beschleunigt wird. Die Beschleunigung der positiv geladenen Protonen erfolgt durch ein starkes Magnetfeld, das genau im richtigen Zeitpunkt eingeschaltet wird. Es stößt die positiv geladenen Protonen von sich weg. Um ein Proton durch das Magnetfeld in die richtige Richtung zu beschleunigen, müssen die Magnetfelder mit ständig neuen Frequenzen ein- und ausgeschaltet werden. Alleine das ist eine technische Meisterleistung, denn mit der Höchstgeschwindigkeit durchläuft ein Proton den 26,659 km langen LHC-Ring ca. 11245 mal pro Sekunde!

Nachdem die Protonen den *Linac 2*, den *Booster* und den *PS (Proton Synchrotron)* hinter sich gelassen haben, machen sie eine kurze Pause im *SPS (Super Proton Synchrotron)*. In diesem Vorbeschleuniger müssen die Protonen warten, bis sie zu Pakete „verschnürt“ werden. Insgesamt durchlaufen nach diesem Prozess fast 6 000 Teilchenpakete den *LHC*, mit je ungefähr 100 Milliarden Teilchen. Diese Teilchenpakete teilen sich auf zwei Strahlen auf, die in entgegen ge-

setzten Richtungen den Ring durchlaufen und schließlich an 4 Stellen kollidieren, **den Experimenten**.

Durch die hohe Endgeschwindigkeit kreuzen sich die Teilchenstrahlen etwa 30 Millionen mal pro Sekunde. Trotzdem ist eine Kollision sehr unwahrscheinlich, denn die Protonen sind sehr klein. So kommt es bei einem Aufeinandertreffen von 2 Paketen (200 Milliarden Teilchen) nur zu 20 Kollisionen. Im gesamten *LHC* kommt es so zu „nur“ 600 Millionen Kollisionen pro Sekunde.

## Die Detektoren

Die Auffindung und die Zuordnung der neuen Teilchen ist eine schwierige Aufgabe. Extra hierfür wurden die Detektoren entwickelt. Diese sind riesige Apparaturen, deren Entwicklung mehrere Jahre in Anspruch genommen hat. Sie haben das Ziel, unsere fundamentalen Fragen zu beantworten, wobei jeder der 4 großen Detektoren auf einen eigenen Teilbereich spezialisiert ist, um möglichst vielen Geheimnissen des Universums auf die Spur zu kommen.

### Diese Experimente heißen:

#### Alice – A Large Ion Collider Experiment

Der Detektor *Alice* hat eine Länge von knapp 26 Metern, ist 16 Meter breit, hat ein Gewicht von 10000 Tonnen, und befindet sich in St Genis-Pouilly, Frankreich. Die Hauptaufgabe besteht darin, die Materie kurz nach dem Urknall zu erzeugen. Zu diesem Zeitpunkt war das Universum sehr dicht und heiß, ein sogenanntes Quark-Gluon-Plasma. Diese Situation möchte man nachstellen. Durch die Kollision von Bleikernen möchte man dieses Plasma kurzzeitig erzeugen. Dabei entstehen Temperaturen 100 000 mal heißer als im Inneren der Sonne!

#### LHCb-Large Hadron Collider beauty

*LHCb* ist 21 Meter lang, 10 Meter hoch, 13 Meter breit, und hat ein Gewicht von 5 600 Tonnen. Der Detektor befindet sich in Ferney-Voltaire, Frankreich. Er geht dem Geheimnis auf die Spur, warum das Universum hauptsächlich aus Materie entsteht. Wo ist also die Antimaterie hin? Beim Urknall müsste eigentlich genau soviel Materie wie Antimaterie entstanden sein, die sich dann gegenseitig auslöschen hätte müssen. Um eine Antwort auf diese Frage zu erhalten untersucht *LHCb* die beauty- oder b-quarks.

#### ATLAS-A Toroidal LHC Apparatus

Atlas ist mit seinen 46 Metern Länge, 25 Metern Breite, und 25 Metern Höhe der größte Teilchendetektor der jemals gebaut wurde. Er ist halb so groß wie die Notre-Dame de Paris, und wiegt „nur“ 7.000 Tonnen. Atlas macht sich auf die Suche nach dem Higgs-Boson, Teilchen, aus denen Dunkle Materie besteht, und neuen Dimensionen. Trotz der Unterschiede zu *CMS*, wie etwa dem anders geformten Magnetfeld, gehen die beiden teilweise denselben Fragen nach und können so ihre Ergebnisse gegenseitig überprüfen.

## CMS-Compact Muon Solenoid

Nach diesem sehr interessanten Überblick über die Physik am *LHC* und die Funktionsweise des Beschleunigers im Allgemeinen, zeigt uns Herr DI Dr. Hoch den ersten der beiden Kontrollräume des wohl wichtigsten Experiments für Österreich. Der Kontrollraum des *CMS* in Meyrin. An diesem Detektor ist das *Institut für Hochenergiephysik (Hephy)* in Wien beteiligt und trägt einen entscheidenden Beitrag zu den verschiedenen Detektorschichten bei.

Wenn man mit der Karte des *LHCs* vergleicht (das Hauptgelände in Meyrin ist das untere mit den Vorbeschleunigern), dann erkennt man, dass der Detektor am weitesten vom Hauptgelände entfernt ist. Genau am anderen Ende des Beschleunigers. Deshalb hat er zwei Kontrollräume. Einer befindet sich auf dem Gelände in Meyrin. Dieser Kontrollraum befindet sich in unmittelbarer Nähe zum *Linac 2*. Er ist in direkter Verbindung mit dem zweiten Kontrollraum und vielen anderen Einrichtungen.

Natürlich ist diese Steuerzentrale ausgestattet mit der neuesten Technologie. Auf den Bildschirmen sah man einen Querschnitt durch den Detektor, alle paar Sekunden flitzte ein Teilchen durch und wurde von den einzelnen Bestandteilen erkannt. Ein Testdurchlauf mit kosmischen Myonen, was sehr praktisch ist, denn so kann man vor einer Kollision des *LHCs* herausfinden, ob alles so funktioniert, wie es soll, und muss dann nicht ewig warten, bis man eine Reparatur vornehmen kann, denn wenn der *LHC* erst einmal in Betrieb ist, kann kein Experiment sagen, dass man den Teilchenstrom umleiten möge, das ist unmöglich. Deshalb muss alles getestet werden, damit man während eines Durchlaufes keine bösen Überraschungen erlebt.

Der zweite Kontrollraum befindet sich ca. 20 Autominuten von Meyrin entfernt am *Point 5* in Cessy/Frankreich 100 Meter direkt über dem Detektor. Gemeinsam mit Herrn DI Dr. Hoch fahren wir dort hin, wo er uns an seinen Kollegen Herrn Doz. Dr. Manfred Jeitler übergibt. Dieser

Kontrollraum hier ist mindestens genauso interessant wie der in Meyrin, denn hier ist mehr los. Es gibt mehr Computer, mehr Elektronik und natürlich einen Stahlkoloss in der Nähe, und genau zu diesem Stahlkoloss fahren wir in einem Lift hinunter. 100 Meter! Doch leider ist die Halle, in der der Detektor steht, nicht mehr zugänglich. Der riesige Solenoid-Magnet ist eingeschaltet, und auch der Tunnel, in dem die Teilchenpakete herum rasen, ist nicht mehr offen. Die Magnete werden bereits mit flüssigem Helium gekühlt, und der Zugang ist nur speziell Berechtigten gestattet.

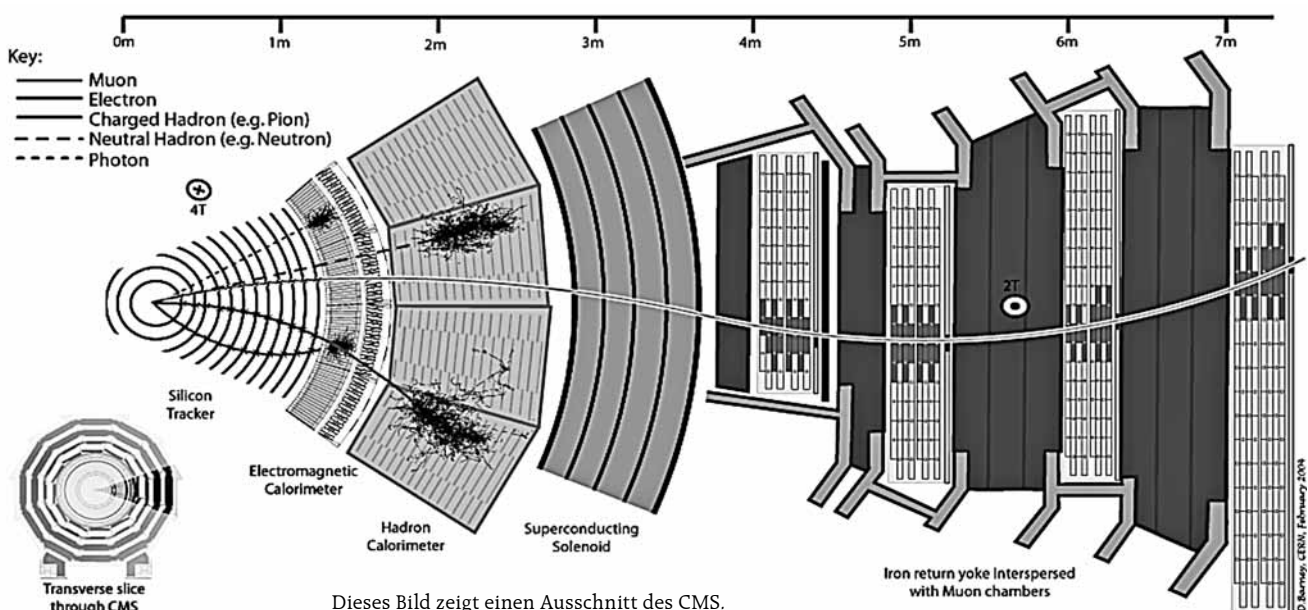
Dafür bekommen wir einen Raum voller Computer zu Gesicht. Er ist durch eine dicke Wand vom Detektor getrennt, damit das Magnetfeld die Leistung nicht beeinträchtigt. Es gibt auch einen guten Grund, warum die Computer hier 100 Meter unter der Erde stehen, denn man möchte die Kabel möglichst kurz halten. Kabel verursachen möglicherweise Fehler in den gesendeten Daten, darum werden die ausgewerteten Informationen mit Licht und Glasfaserkabeln nach Meyrin geschickt.

## CMS – Der Aufbau

Der Detektor ist etwa 21 Meter lang und hat einen Durchmesser von ca. 15 Metern. Er wiegt 12 500 Tonnen. Der Name beschreibt die drei wichtigsten Eigenschaften des Experiments.

1. **Compact:** der Detektor wiegt etwas mehr als der Eiffelturm, hat aber verhältnismäßig kleine Ausmaße.
2. **Muon:** das Myon ist ein Elementarteilchen, vergleichbar mit einem Elektron, aber 200 mal schwerer. Muon weist darauf hin, dass die Myonenkammern einen wichtigen Beitrag zum Trigger liefern.
3. **Solenoid:** weist auf die stärkste und größte supraleitende Magnetspule der Welt hin.

Die Kreise bzw. die Kreisabschnitte auf der linken Seite der Abbildung zeigen die Silizium-Tracker, die Spurdetektoren. Es gibt zwei Arten von Spurdetektoren: Pixel- und Streifen-



Dieses Bild zeigt einen Ausschnitt des CMS.

detektoren. Ihre Aufgabe ist es, herauszufinden, wohin die entstandenen Teilchen geflogen sind, doch das ist nicht alles. Durch die Krümmung ihrer Bahn kann man Rückschlüsse ziehen, welche Ladung und welchen Impuls (Impuls = Masse mal Geschwindigkeit) das Teilchen hatte. Die Spurdetektoren, besonders die Streifendetektoren, gehören zu den Aufgaben des Hefhy in Wien.

### Funktionsweise eines Streifendetektors

Der Tracker besteht aus einer Silizium-Platte, in die feine Streifen geätzt wurden. Diese Streifen funktionieren wie Dioden. Wenn ein Teilchen durch einen Streifen hindurch fliegt, gibt es auf einmal einen Ladungsträger und es fließt Strom. Dieses Signal wird von einem Computer erfasst und gespeichert. So kann man feststellen, wo sich das Teilchen befand und welche Flugbahn es hatte.

Die Kalorimeter sollen die Energie der durchfliegenden Teilchen bestimmen, indem sie diese abbremsen. Mithilfe von Energie und Impuls kann man Masse und Geschwindigkeit des Teilchens berechnen. Jedoch werden nicht alle Teilchen abgebremst. Das Myon ist so reaktionsschwach, dass es beinahe nie in Wechselwirkungen mit den Kalorimetern tritt, deshalb fliegt es ungebremst weiter.

Die nächste „Schale“ bildet der supraleitende Solenoid-Magnet. Sein Magnetfeld ist dafür verantwortlich, dass die Bahn der Teilchen je nach Ladung gekrümmt wird. Wenn man sich die Bahn eines Myons ansieht, erkennt man, dass sich die Bahn des Teilchens nach Passieren des Magneten in die andere Richtung krümmt. Das liegt daran, dass das Magnetfeld auf der Außenseite in die andere Richtung geht als auf der Innenseite. Die nächste Schicht besteht aus zwei Komponenten. Dem eisernen Rückführjoch (rot), und den Myonenkammern (hellrot bzw. blau). Das Rückführjoch

ist für die Formung des Magnetfeldes zuständig. Die Myonenkammern sind ein wichtiger Bestandteil des Triggers und ebenfalls ein Aufgabengebiet des HEPHY. Der Trigger ist ein wichtiger Bestandteil der Elektronik, die die Kollisionen auswertet, vielleicht der wichtigste Teil des ganzen Experiments. Der Trigger ist ein Computerprogramm, das mit komplizierten mathematischen Verfahren bestimmt, welche Kollisionen im CMS gespeichert werden, und welche nicht aufgezeichnet werden und somit für immer verloren gehen. Denn nicht alle Kollisionen, die sich ereignen, sind auch wirklich interessant und auch wenn sie es wären, wäre es unmöglich, alle Kollisionen abzuspeichern. So reduziert dieses Programm die 600 Millionen Kollisionen pro Sekunde auf wenige Hunderte. Die Informationen liefern verschiedene Daten beispielsweise aus den Myonenkammern.

### Dies und Das...

Für alle, die noch ein paar interessante Dinge über den *LHC* erfahren möchten:

Der *Large Hadron Collider* besteht aus insgesamt 9300 supraleitenden Magneten, die alle mit flüssigem Helium gekühlt werden. Für diese Menge beanspruchte der LHC mehrere Jahre lang das gesamte Helium, das weltweit produziert wurde.

Eigentlich sollte der Teilchenbeschleuniger schon 2008 in Betrieb genommen werden. Er funktionierte auch - aber nur kurz. Grund für die Verzögerung war eine Art Explosion. Durch die gewaltige Stromstärke, die die supraleitenden Magnete betreibt, reichte ein winziger Widerstand an einer Schweißnaht von ca. 12 Milli-Ohm, um eine Katastrophe auszulösen: Durch die gewaltige Hitzeentwicklung schmolz im Umkreis alles weg. Durch diese Hitze und den Druckverlust begann das Helium zu kochen, dehnte sich aus und beschädigte die umliegenden Magnete sehr schwer.

---

## Science on Stage 2011

# Intel prämiert den Kinderplanetenweg Lichtenberg

Bereits zum zweiten Mal (nach Grenoble 2007) zählte die Volksschule Lichtenberg beim internationalen Festival für Lehrer/innen „Science on Stage“ zu den Gewinnern. Unter dem Motto „Science Teaching – Winning Hearts and Minds“ präsentierten rund 250 Lehrer/innen aus ganz Europa und Kanada (davon 6 aus Österreich) vom 16. bis 19. April 2011 in Kopenhagen innovative Unterrichtsideen. Ziel war der Austausch von Ideen und damit die Chance, Schüler/innen für naturwissenschaftliche Berufe zu begeistern.

Der Chip-Hersteller Intel Corporation verlieh einen Hauptpreis und vier zweite Preise, die mit einer Einladung zur Teilnahme an einer von Intel organisierten internationalen Science Teaching Konferenz im nächsten Jahr verbunden sind. Drei weitere Gewinner wurden zu je einem Trainingskurs in europäische Forschungszentren eingeladen.

Ein zweiter Preis ging an das von **IDA REGL**, der Direktorin der Volksschule Lichtenberg, präsentierte Projekt des Kinderplanetenweges „Cosmi will's wissen“, [www.cosmi.at](http://www.cosmi.at).

Die Jury honorierte nicht nur den Weg, sondern auch den Experimentier-Rucksack, der mit seinen Versuchen Kindern naturwissenschaftliche Zusammenhänge nahe bringt und dass der Weg in einer breiten Zusammenarbeit vieler Beteiligter innerhalb und außerhalb der Volksschule entstand.

„Dieser Preis freut uns ganz besonders. Er ist eine absolute Anerkennung auf europäischer Ebene für die Schule und für die Gemeinde“, freuten sich Ida Regl und Daniela Durstberger, die Bürgermeisterin von Lichtenberg.

[www.scienceonstage.at](http://www.scienceonstage.at), [www.scienceonstage.eu](http://www.scienceonstage.eu), [www.cosmi.at](http://www.cosmi.at)