

Erkenntnisse aus erster Hand

Masterclasses ermöglichen Schülerinnen und Schülern authentische Erfahrungen in Astroteilchen- und Teilchenphysik.

Michael Kobel

Seit dem Jahr 2005 werden Schülerinnen und Schüler bei den International Masterclasses Forscher für einen Tag. Einführungsvorträge bereiten sie auf die Datenanalyse vor und vermitteln das notwendige Hintergrundwissen. Als krönenden Abschluss nehmen die Jugendlichen an einer Videokonferenz mit Forschern vom CERN teil, um mit ihnen über ihre Ergebnisse zu diskutieren. Dieser Blick in den Forscheralltag soll bei den Schülerinnen und Schülern Begeisterung für die moderne Physik wecken.

Niemals zuvor bekam aktuelle Forschung in den Medien so schnelle und so breite Aufmerksamkeit wie in den letzten Jahren. Besonders zu faszinieren scheinen dabei die großen Fragen nach dem Wie, Woher und Wohin des Universums – Fragen, die sich die Menschheit wohl seit Jahrtausenden immer wieder stellt und gestellt hat und deren Beantwortung sich besonders die Physik auf die Fahnen geschrieben hat. Bei all der wiederholten Anerkennung dieser Forschung durch Nobelpreise in den letzten 15 Jahren und dem Medienecho der Entdeckung eines Higgs-Teilchens am CERN bzw. des möglichen Nachweises von Quantenfluktuationen der Gravitation durch BICEP2 sollte man meinen, sich keine Sorgen um die Anerkennung und öffentliche Akzeptanz dieser Wissenschaft machen zu müssen. Auf der anderen Seite behauptete Harald Lesch unmittelbar nach der Bekanntgabe der Entdeckung von Kandidaten für das Higgs-Teilchen am CERN im Juli 2012 in einem Interview der Süddeutschen Zeitung: „Diese Sache ist für 99,9 Prozent aller Menschen nicht mehr nachvollziehbar.“ Ist die öffentliche Begeisterung vielleicht nur eine medienge-machte Blase ohne echtes Interesse an den Resultaten, da diese sowieso nicht zu verstehen sind? Was kann oder sollte die Wissenschaft in ihrem Dialog mit der Öffentlichkeit erreichen? Der Soziologe Peter Weingart schreibt dazu, dass sich die Wissenschaft über die Schaffung von Transparenz und Vertrauen legitimieren müsse, und betont zudem, dass über einen „wirklichen Dialog“ zwischen Wissenschaft und Schülerinnen und Schülern „Neugier in Begeisterung für die Wissenschaft umgewandelt werden muss“ [1].

Um diese Begeisterung zu erreichen, sollte sich Forschungstransfer in die Gesellschaft nicht nur auf den Technologietransfer der angewandten Forschung beschränken, sondern auch den Wissenstransfer um-



Bei den Masterclasses setzen sich Schülerinnen und Schüler mit echten Messergebnissen der vier LHC-Experimente auseinander und werten sie aus.

fassen, der die grundlegenden Erkenntnisse über unser Universum als Kulturgut in die Öffentlichkeit trägt. Pionier eines solchen Dialogs mit der Öffentlichkeit ist das Feld der Astroteilchen- und Teilchenphysik, das jungen Menschen unter Begleitung von Wissenschaftlern die Möglichkeit gibt, aktuelle Forschung selbst nachzuvollziehen. Der Zugang zu den wissenschaftlichen Originaldaten und der Umgang mit den Forschungsmethoden und -werkzeugen schafft dabei eine faszinierende Atmosphäre authentischer Erfahrung, die der persönliche Dialog mit den Forschern noch verstärkt. Da jedoch die moderne Astroteilchen- und Teilchenphysik kaum fester Bestandteil der Schulcurricula ist, besteht die Herausforderung, mit Fragen umzugehen, die man sich in dieser Form meist noch nie gestellt hat, die zahlreichen ungewohnten Konzepte

KOMPAKT

- Die Masterclasses der Teilchenphysik eröffnen Jugendlichen die Möglichkeit, fast ohne Zeitverzögerung Zugang zu aktuellen Daten aus dem CERN zu erhalten und diese selbst auszuwerten.
- Verschiedene Organisationsformate erlauben deren Durchführung jederzeit lokal am eigenen Standort, international im Frühjahr an nahegelegenen Forschungseinrichtungen sowie weitergehende Vertiefungen bis hin zu eigenen Forschungsarbeiten.
- Auch Kernphysik, Astroteilchenphysik oder Astronomie beginnen, dieses Format zu übernehmen, das in authentischer Weise erlebbar macht, wie die Erkenntnisse der modernen Physik überprüft und erweitert werden.

Prof. Dr. Michael Kobel, Institut für Kern- und Teilchenphysik, TU Dresden, Zellescher Weg 19, 01069 Dresden – Preisträgerartikel anlässlich der Verleihung des Georg-Kerschens-teiner-Preises 2014 auf der DPG-Jahrestagung in Berlin

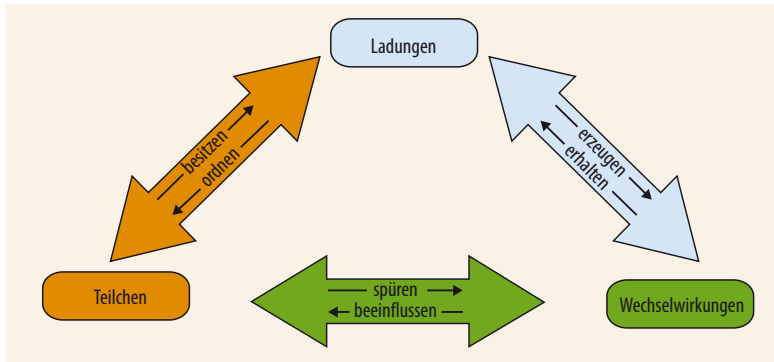


Abb. 1 Das Standardmodell verbindet untrennbar die drei Begriffe Ladungen, Wechselwirkungen und Teilchen, die

wichtig sind, um die Entstehung von Materie in unserem Universum zu verstehen.

und Vorstellungen einzuführen und den Bezug zur Erfahrungswelt herzustellen.

Das Konzept der Masterclasses

Als erfolgreiches Rezept, all diese Schwierigkeiten zu überwinden, haben sich die Masterclasses der Teilchenphysik erwiesen. Ähnlich wie in einem Meisterkurs der Musik oder Kunst teilen hier Wissenschaftler in der Rolle der Experten über die Analyse der Originaldaten der Teilchenphysikexperimente ihre Faszination in direktem Kontakt mit den teilnehmenden Jugendlichen. Die ursprüngliche Idee stammt aus dem Vereinigten Königreich, wo Roger Barlow aus Manchester und Ken Long vom Imperial College im Jahr 1997 zum 100. Jahrestag der Entdeckung des Elektrons eine Serie von eintägigen Veranstaltungen für 16- bis 19-jährige Schülerinnen und Schüler konzipierten. Institute im ganzen Land gaben dabei einführende Vorträge und Einblick in die aktuelle Forschung. Zudem boten sie „hands-on“-Erfahrungen der Datenauswertung anhand von interaktiven Grafiken von Teilchenkollisionen.

INTERNATIONALE MASTERCLASSES

Im Einsteinjahr 2005 rief die „International Particle Physics Outreach Group“ (IPPOG)¹⁾ die International Masterclasses der Teilchenphysik ins Leben – damals bereits mit einer Beteiligung von 58 Instituten aus 18 Ländern. 2014 nahmen 195 Institute aus 40 Ländern teil. Bei diesem Programm analysieren jedes Jahr im März zeitgleich Jugendliche aus mehreren Ländern Daten verschiedener Experimente. Charakteristisch ist die weltweite Videokonferenz in englischer Sprache unter Leitung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am CERN zum Abschluss des Tages. Diese macht die Jugendlichen zu einer Art internationale Forscherkollaboration, die ihre Ergebnisse vergleicht, verifiziert, kombiniert und diskutiert. Hier werden Jugendliche zu „Forschern für einen Tag“.

In Kooperation mit IPPOG steuert eine internationale Leitungsgruppe die Masterclasses inhaltlich und organisatorisch. Die TU Dresden leitet das Programm in Europa, Afrika und im nahen Osten, während die Ko-Leitung des amerikanischen Netzwerks Quarknet vom Fermilab aus Nord- und Südamerika, Australien und Ozeanien sowie den fernen Osten koordiniert.

1) Damals hieß die IPPOG noch European Particle Physics Outreach Group.

Jeder Masterclass-Tag hat einen typischen Ablauf:

- 8:30: Registrierung & Begrüßung
- 9:00: Einführungsvortrag
- 10:30: 2. Vortrag oder Besichtigungen
- 12:00: Mittagspause
- 13:00: Messung mit Daten und Auswertung
- 15:30: Weitere lokale Diskussionen
- 16:00: Videokonferenz mit Quiz (nur bei den IPPOG

International Masterclasses, siehe Kasten)

Die Einführungsvorträge führen Schüler so in die Welt der Teilchen und in die Mustererkennung ihrer Spuren im Detektor ein, dass Vorkenntnisse oder eine Vorbereitung der Veranstaltung durch die Lehrer zwar hilfreich, aber nicht unbedingt notwendig sind. In den Vorträgen erfahren die Jugendlichen, dass alle Vorgänge im Universum und damit auch die Entstehung von Strukturen, Atomkernen, Molekülen, Sternen, Planeten und Leben auf vier Wechselwirkungen zurückzuführen sind. Außer der Gravitation lassen sich alle Wechselwirkungen im Standardmodell aus von Ladungen erzeugten Symmetrien herleiten. Diese Ladungen wiederum dienen als Ordnungsschema der Elementarteilchen (Abb. 1). In den Masterclasses lernen die Jugendlichen, diese Grunderkenntnis des Standardmodells nachzuvollziehen. Haben verschiedene Teilchen gleiche Ladungen, so sollten sie bei den von dieser Ladungsart erzeugten Wechselwirkungen auch gleich häufig auftreten („Universalität“ von Teilchen derselben Familie).

In den allerersten Masterclasses identifizierten die Teilnehmer die Zerfallsprodukte des Z-Teilchens, das sich über die schwache Wechselwirkung umwandelt und am Large Electron Positron Collider (LEP) millionenfach erzeugt wurde. Damit konnten sie die Universalität der elektrisch geladenen Leptonen (Elektron, Myon, Tauon) bezüglich ihrer schwachen Ladung zeigen. Genau wie heute beim Large Hadron Collider (LHC) ermöglichten charakteristische Signalmuster in den verschiedenen Detektorschichten es, die Teilchen zu identifizieren (Abb. 2).

Mithilfe von tausend Ereignisbildern von Z-Zerfällen können bereits 20 Zweiergruppen von Schülern die Universalität der Leptonarten mit etwa 15- bis 20-prozentiger relativer Genauigkeit testen. Dabei lässt sich feststellen, dass Teilchenbündel („Jets“), die aus Quarks entstehen, in den Zerfällen des Z rund 15-mal häufiger auftreten, als es aufgrund ihrer schwachen Ladungen zu erwarten wäre. Dies ist auf die Existenz von fünf Quarksorten im entsprechenden Massebereich mit je drei starken Farbladungen zurückzuführen.

Auch Stärken von Wechselwirkungen lassen sich durch Häufigkeitsverhältnisse zweier Prozesse bestimmen, in denen die zu untersuchende Wechselwirkung unterschiedlich oft vorkommt. So leitet sich die Kopplungsstärke α_s der starken Wechselwirkung aus dem Verhältnis der Häufigkeiten von Ereignissen mit drei bzw. zwei erzeugten Teilchenbündeln ab.

Die Masterclass-Teilnehmer vollziehen mit den echten Daten der OPAL- und DELPHI-Experimente in wenigen Stunden die – natürlich mit wesentlich höherer Genauigkeit – 2006 veröffentlichten LEP-Messungen

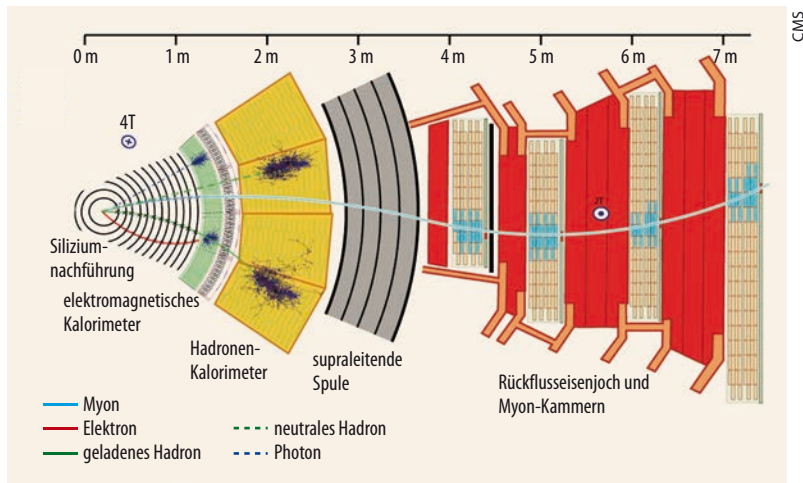


Abb. 2 Diese Simulation des Teilchendurchgangs im CMS-Detektor dient in den Einführungsvorträgen dazu, die Signalmuster verschiedener Teilchensorten (e^+ , μ^- , π^- , n , γ) in den Detektorschichten zu erklären.

nach. Dabei lernen sie Prozesse kennen, die genau so in der ersten Billionstel Sekunde des Universums stattgefunden haben und welche die Grundbegriffe Teilchen, Ladungen und Wechselwirkungen mit Leben erfüllen.

Die jährlich bis zu 10 000 teilnehmenden Jugendlichen beurteilen die Schwierigkeit der Datenauswertung als „genau richtig“ und widerlegen damit Harald Leschs Behauptung, dass diese Forschung für 99,9 Prozent der Menschen nicht mehr nachvollziehbar sei. Eine Evaluation der Veranstaltung zeigte zudem, dass ein guter Eindruck über den Ablauf und die Organisation der teilchenphysikalischen Forschung hoch korreliert war mit dem Wunsch, mehr darüber in der Schule zu erfahren [2].

Seit 2011 gelingt es, die aktuelle Forschung am LHC fast ohne Zeitverzögerung in die Masterclasses zu bringen und echte Daten für die Auswertung zur Verfügung zu stellen. 2013 konnten die Teilnehmer erstmals in einem Datensatz, der einige Hundert echte

Higgs-Kandidatenergebnisse enthielt, nach Higgs-Teilchen suchen (Abb. 3, 4). In diesem Jahr bearbeiteten die Jugendlichen ganz unterschiedliche Messaufgaben von allen vier LHC-Experimenten (Tabelle).

Die Idee der Teilchenphysik-Masterclasses strahlt inzwischen in andere Forschungsgebiete aus: In Liverpool behandeln Kernphysik-Masterclasses Kernfusion und die Bildung schwerer Elemente in Sternen. In Notre Dame (USA) werden stellare Lichtkurven auf der Suche nach Exoplaneten ausgewertet. Im Mai 2014 fanden die ersten Masterclasses des Neutrino-Teleskops IceCube statt, um in den Daten vom Südpol nach höchstenergetischen kosmischen Neutrinos zu suchen.

- 2) www-alice.gsi.de/masterclass
- 3) <http://atlas.physics-masterclasses.org/de>
- 4) <http://cms.physics-masterclasses.org/cms-de.html>
- 5) <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/LHCB-outreach/masterclasses/en>
- 6) www.teilchenwelt.de

Ein Netzwerk in der Teilchenwelt

Das weltweit größte nationale Programm – das deutsche Netzwerk Teilchenwelt⁶⁾ – erweitert das Angebot der Masterclasses in mehrfacher Hinsicht: Im Jahr 2010 haben sich 24 Einrichtungen zusammengetan, um die Forschungsdaten das ganze Jahr über und auch weit weg von den Instituten zugänglich zu machen. Über hundert junge Wissenschaftler, meist Doktoranden der Astroteilchen- und Teilchenphysik, leiten an über hundert Tagen im Jahr Masterclasses mit den Daten der LEP- und LHC-Experimente an Schulen und Schülerlaboren im ganzen Bundesgebiet und sammeln für sich selbst wertvolle Erfahrungen in Präsentation und Kommunikation. Den Teilnehmern ermöglichen sie, in Workshops eigene Daten mit Detektoren für kos-

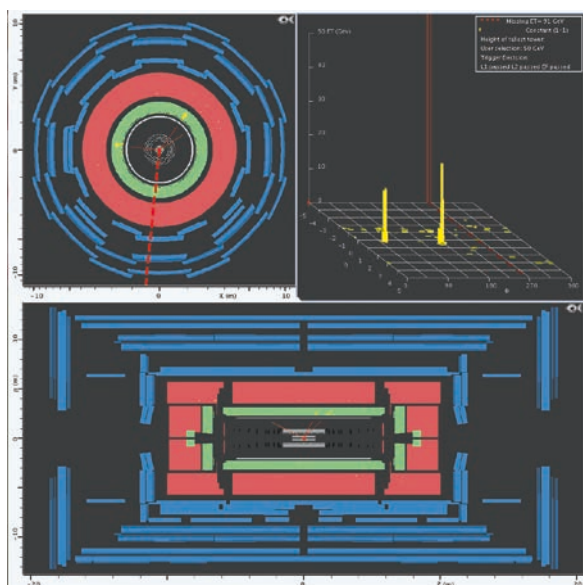


Abb. 3 In pp-Kollisionen am LHC findet sich dieses Beispiel für W^+W^- -Erzeugung beim ATLAS-Experiment. Die gelben Türme (rechts oben) bezeichnen die Energiedepositionen der aus den W -Zerfällen stammenden e^+ - und e^- -Leptonen, die rote Linie die Summe der von den entstandenen Neutrinos weggetragenen „fehlenden transversalen Energie“.

| Verteilung der Masterclass-Aufgaben 2014 | | | |
|--|------------------------|----------------------------|---|
| Experiment | Zahl der Masterclasses | Zahl der Video-konferenzen | Messaufgabe |
| ALICE ²⁾ | 16 | 4 | Häufigkeit von Strange-Teilchen Nuklearer Modifikationsfaktor R_{AA} |
| ATLAS ³⁾ | 132 | 33 | Proton-Zusammensetzung über W^+/W^- Suche nach Higgs in W^+W^- Invariante Massen von Z, H, Z' |
| CMS ⁴⁾ | 93 | 23 | Datenqualität mit J/ψ -Messung W, Z, H -Messung |
| LHCb ⁵⁾ | 21 | 7 | Lebensdauer von Charm-Teilchen |

Tabelle Im März/April 2014 wurden in mehr als 260 Masterclasses Messaufgaben der vier LHC-Experimente bearbeitet.

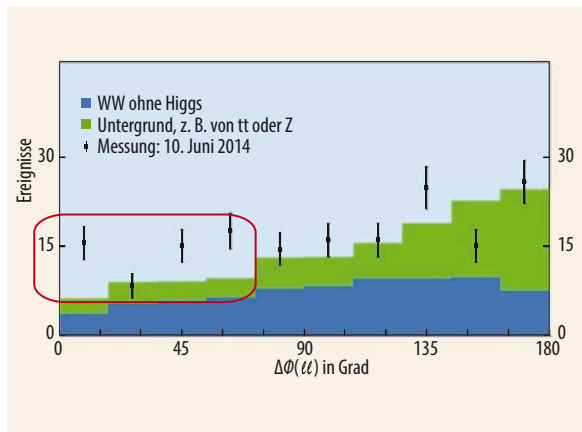
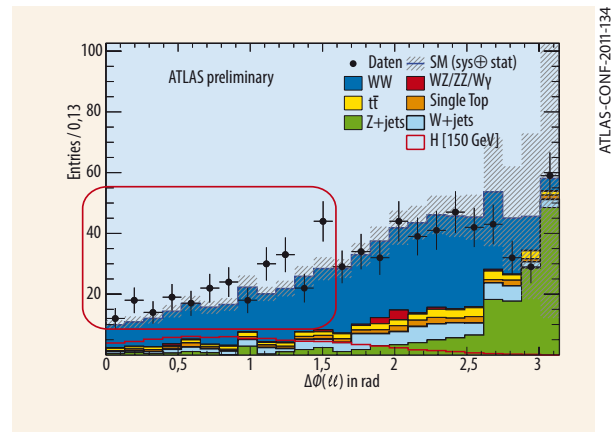


Abb. 4 Teilnehmer der Masterclasses extrahierten Kandidaten für Ereignisse mit zwei W-Bosonen aus den ATLAS-Daten und ermittelten die Verteilung des Winkels $\Delta\Phi(\ell\ell)$ zwischen den beiden im Zerfall entstehenden Leptonen (links). Bei kleinen Winkeln ist der Ereignisüberschuss (roter Kasten) ähnlich wie in ei-



ner der ersten vorläufigen ATLAS-Veröffentlichungen (rechts) von August 2011. Ein solcher Ereignisüberschuss bei kleinen Winkeln ist aus zusätzlichen Higgs-Ereignissen wegen der Spinkorrelationen von Zerfällen des Higgs-Bosons in W^+W^- zu erwarten.

7) www.physicsmasterclasses.org/index.php?cat=physics

8) www.teilchenwelt.de/material

mische Myonen aufzunehmen und auszuwerten sowie neuerdings Originaldaten von Luftschauern des Auger-Experiments auszuwerten. Dieses Programm schlägt den Bogen zwischen Mikro- und Makrokosmos und zeigt, dass die Natur in der Atmosphäre ähnliche Kollisionen hervorruft wie der LHC tief unter der Erde.

Da die positive Wirkung eintägiger Veranstaltungen sehr schnell nachlässt, bietet das Netzwerk weitergehende Aktivitäten für Jugendliche und Lehrkräfte. Dazu zählen die bis zu einwöchige Mitarbeit über selbst vorgeschlagene Projekte in Forschungsgruppen am CERN, besondere Lernleistungen oder preisgekrönte „Jugend forscht“-Arbeiten.

Die für die Auswertung der Originaldaten aufbereiteten Umgebungen sind in 22 Sprachen auf der Website der International Masterclasses⁷⁾ zugänglich und frei für Lehr- und Bildungszwecke einsetzbar. Begleitend dazu sind im Netzwerk Teilchenwelt ergänzende Materialien zur Vor- und Nachbereitung⁸⁾ entstanden. Neu ist die Zusammenarbeit mit der Joachim Herz Stiftung, um im Physik-Schulportal „LEIFI Physik“ die Materialien über Astroteilchen- und Teilchenphysik auf den neuesten Stand zu bringen und auszubauen. Dieses Projekt findet in enger Zusammenarbeit mit engagierten Lehrkräften aus ganz Deutschland statt und hat in den zwei bisher in Dresden und am CERN stattgefundenen Materialworkshops sehr gute Fortschritte gemacht. Ziel ist es zu zeigen, dass Astroteilchen- und Teilchenphysik sich hervorragend für den normalen Schulunterricht eignen – als eigenständige Lehr- und

Lerneinheit oder über punktuelle Anknüpfung an andere Lehrplanthemen.

Ausblick

Die Masterclasses wurden in den letzten Jahren unter anderem durch die Helmholtz-Allianz „Physik an der Teraskala“, das CERN und Quarknet gefördert. Für die Unterstützung des Netzwerk Teilchenwelt ist insbesondere dem BMBF und der Joachim HerzStiftung sowie der DPG als Schirmherrin zu danken. Die beteiligten Forscherinnen und Forscher teilen gerne ihr Wissen in authentischem Dialog mit der Öffentlichkeit und sehen dies als wichtigen Teil ihrer Arbeit. Der Enthusiasmus der IPPOG-Gruppe, der Organisatoren der teilnehmenden Institute sowie der ausschärfenden jungen Vermittler trägt nun schon seit vielen Jahren all diese Programme, von denen Veranstalter, Vermittler und Teilnehmer gleichermaßen profitieren.

Literatur

- [1] P. Weingart, Die Wissenschaft der Öffentlichkeit, Velbrück Wissenschaft, Weilerswist (2005)
- [2] K. E. Johansson et al., Physics Education **42** (6), 636 (2007)

DER AUTOR

Michael Kobel studierte Physik an der Universität Erlangen-Nürnberg, wo er auch promovierte. Nach der Habilitation war er Professor an der Uni Bonn, bevor er 2006 einen Ruf an die TU Dresden annahm. Dort ist er seit 2008 Direktor des Instituts für Kern- und Teilchenphysik. Mit seiner Forschergruppe wertet Kobel Daten des Teilchendetektors ATLAS am LHC aus. 2003 wurde er Gründungsvorsitzender des Vereins „Science on Stage“. 2005 initiierte Kobel die ersten internationalen Masterclasses, 2010 rief er das „Netzwerk Teilchenwelt“ ins Leben.

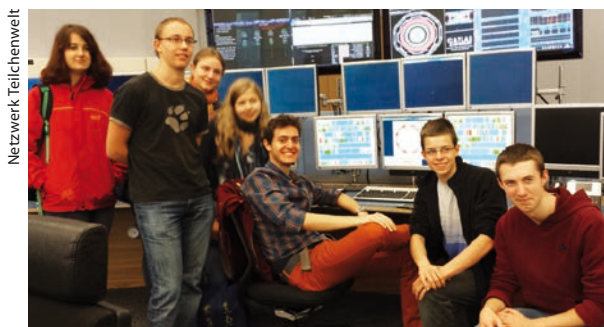


Abb. 5 Jugendliche bei einer Projektwoche am CERN im ATLAS-Kontrollraum