

Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs

Begleitmaterial für Mittel- und Oberstufe



Die Entdeckung des Higgs Boson - Fotorechte CERN

Autoren Aufbau und Inhalt der Themen 1 - 7 & Annex1

Dr. Alan Friedman, Arthur Eisenkraft, Cary Sneider
Deutsche Übersetzung Clara Nigratschka
(Filmzitate ausgenommen)

Autor Thema 8

Angie J. Koch

Redaktionelle Bearbeitung und inhaltliche Ergänzung

Angie J. Koch

Was *Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs* so ansprechend für die Schulklasse macht, ist, dass der Film den Fokus auf die Menschen und das „Ausführen“ von Wissenschaft legt und nicht nur tiefgreifende und komplexe Ideen erklärt.



c/o neuzeitmedia, Film- und Medienagentur, Martin-May-Str. 7, 60594 Frankfurt/Main
www.kinoreal.de www.neuzeitmedia.de

Inhaltsverzeichnis

Überblick	3
Der Überblick bietet ihnen Vorschläge für den Gebrauch von „Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs“ (<i>Particle Fever</i>) im Klassenzimmer und gibt einen Einblick in die Inhalte des Films.	
Die Physiker im Film	8
Die Fotos und Kurzbeschreibungen der Hauptakteure in <i>Particle Fever</i> können beim diskutieren der jeweiligen Standpunkte und Kommentare hilfreich sein.	
Thema 1: Große Wissenschaft	10
Ein kurzer Einblick in die Geschichte der Teilchenphysik gibt Hintergrundinformationen, die den Schülern helfen sollen, die Entwicklung eines solchen Meilensteins der Wissenschaft wie den LHC besser zu verstehen.	
Thema 2: Wissenschaftler heutzutage	14
Thema 2 gibt Vorschläge, wie die Studenten Bilder von Wissenschaftlern in verschiedenen Filmen mit denen in <i>Particle Fever</i> vergleichen und kontrastieren können.	
Thema 3: Das Experiment	17
<i>Particle Fever</i> beschäftigt sich mit einem einzelnen Experiment, das 19 Jahre, 10.000 Menschen und ca. 10 Milliarden Euro gebraucht hat, um fertiggestellt zu werden. Was ist das genau für ein Experiment? Und wie ist es ausgegangen?	
Thema 4: Modelle entwickeln und testen	21
Dieser Absatz beschäftigt sich mit allerlei Modellen – wie das Standardmodell der Teilchenphysik von den Wissenschaftlern im Film benutzt wird und wie wir alle solche Modelle im Alltag benutzen.	
Thema 5: Die Beziehung zwischen Wissenschaft und Technik	26
Das große Experiment in <i>Particle Fever</i> wäre nicht zustande gekommen ohne die Ingenieure, die den extrem komplexen LHC designed, gebaut und gewartet haben.	
Thema 6: Die menschliche Seite der Wissenschaft	28
<i>Particle Fever</i> portraitiert die Hoffnungen und Ängste der Wissenschaftler, nicht nur ihre Ideen und Ziele. Thema 6 gibt Anstöße dazu, sich mit den Vorstellungen und Wahrnehmungen der Wissenschaftler auseinanderzusetzen.	
Thema 7: Wissenschaft und Kunst	30
Im Film finden sich einige Bezüge zu Musik und Kunst. Es gibt gute Gründe dafür, denn Wissenschaft und Technik sind auch kreative Prozesse.	
Thema 8: Unterschied TV- und Kinoproduktion	35
Versucht den Unterschied einer dokumentarischen TV Produktion und Kinoproduktion herauszuarbeiten und erläutert, welche Anforderungen heute an eine Kinoproduktion gestellt werden und skizziert die aktuelle Mediensituation.	

1. ANNEX zu dem Thema „The Scale/ Maßstäbe“ in englischer Sprache.

Geeignet für Physiklehrer und Physikdozenten.....37

Im Film werden riesige Unterschiede in den Maßstäben der Zeit, der Strecke, der Geschwindigkeit und des Geldes diskutiert. Das Thema versucht, diese Ideen den Schülern der Physik näher zu bringen. Autoren sind auf dem Deckblatt genannt.

Glossar..... letzte Seite

Überblick

Particle Fever ist ein featureartiger Dokumentarfilm über Menschen, die sich mit Naturwissenschaft beschäftigen. Obwohl viel über die Naturwissenschaft im Film aufgedeckt wird, geht es in erster Linie darum, Wissenschaft zu *machen*, sie zu genießen und um die Menschen, die ihre Karriere der Wissenschaft hingeben. Der Film begleitet sieben Wissenschaftler und Ingenieure für bis zu sechs Jahre, bis hin zur dramatischen Entdeckung des lang gesuchten Higgs Bosons in 2012, von dem schon fast 50 Jahre zuvor vermutet wurde, dass es existiert.

Was *Particle Fever* so besonders geeignet für den Schulgebrauch macht, ist, dass der Film den Fokus auf die Menschen und den Prozess von wissenschaftlichen Vorgängen legt und nicht nur komplexe Ideen erklären will. Schüler der Mittel- und Oberstufe haben wahrscheinlich noch nie einen arbeitenden Wissenschaftler getroffen, doch sie werden bestimmt ein Bild von Wissenschaftlern aus verschiedenen Science-Fiction- oder Horrorfilmen haben. In denen werden diese jedoch oftmals als gedankenlose Bösewichte oder Einzelkämpfer dargestellt, die gefährliche Experimente durchführen, ohne über die Konsequenzen nachzudenken. Stereotypische Bilder von Wissenschaftlern (wie sie in diesem Begleitmaterial behandelt werden) sind überall verbreitet und meist negativ. *Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs* entwirft ein faszinierendes und aufregendes Gegenbild zu diesen negativen Darstellungen.

Das Begleitmaterial behandelt 7 Themen, die im Film von Bedeutung sind sowie das Thema „The Scale/Maßstäbe“ (Annex 1), das in englischer Sprache vorliegt und speziell für Physiklehrer und Physikdozenten geeignet ist. Das Thema 8 befasst sich mit dem Unterschied einer TV- und Kinoproduktion und gibt einen Einblick in die komplexe Marktsituation.

Es gibt keine spezielle Ordnung der Themen, die Anordnung und Gewichtung der jeweiligen Themen soll den Lehrern überlassen werden. Für die meisten Themen werden im Begleitmaterial Beispielstellen aus dem Film gegeben, in denen die jeweiligen Themen vorkommen, sowie Zitate, die einige der Grundideen erklären und Fragen, um die Schüler zum Diskutieren zu bringen. Die Fragen sind so konzipiert, dass sie sowohl als Hausaufgabe als auch als unterrichtsinterne Diskussionen verwendet werden können.

Das Begleitmaterial kann auf verschiedene Weise verwendet werden. Eine Möglichkeit ist, es einfach durchzugehen und Fragen zu notieren, die den Schülern helfen, sich auf die wichtigsten Ideen und Denkweisen zu konzentrieren. Eine andere ist, Teile des Begleitmaterials zu kopieren und sie den Schülern zum Lesen mitzugeben, entweder bevor sie den Film sehen oder um es im Nachhinein zu reflektieren. Außerdem können Sie einzelne passende Illustrationen aus dem PDF per Beamer an die Wand projizieren. Wir empfehlen Ihnen, sich nicht nur auf ein Thema zu konzentrieren, sondern den Schülern einen Überblick über alle Themen zu gewährleisten. Das muss nicht auf einmal geschehen, sondern kann über die gesamte Dauer eines Physik- oder anderen Kurses verteilt werden,

um die Schüler immer wieder an den Film und seine wissenschaftlichen oder medialen Aspekte zu erinnern.

Die wissenschaftlichen Konzepte in *Particle Fever* – das Standardmodell der Materie und die Hochenergie-Teilchenphysik – gehen weit über das hinaus, was Schüler in der Oberstufe lernen. Doch die wissenschaftliche und technische Arbeit sowie bahnbrechende Konzepte werden im Film ebenfalls sehr gut dargestellt. Damit können Lehrer ihren Schülern sowohl diese Themen übermitteln, als auch die Wissenschaft als einen immer weiter fortschreitenden Betrieb erklären. Im Folgenden werden überblicksartig die pädagogischen Ideen jedes Themas erklärt.

Thema 1: Große Naturwissenschaft

Diskussionen über die Geschichte von wissenschaftlichen und technischen Ideen, von individuellen Beiträgen und deren Verwendung sind wichtige Komponenten eines physikalischen Lehrplans. Für viele Schüler sind diese Aspekte besonders wichtig, da sie ihr Interesse an diesem Gebiet wecken und ihre Identität als engagierte und fähige Schüler von Wissenschaft und Technik prägen.

Die Fähigkeit, die Kreisläufe von Materie und Energie zu erforschen, zu charakterisieren und zu modellieren ist ein wichtiges Werkzeug, das Schüler in nahezu allen Feldern der Physik anwenden können. Die Interaktionen zwischen Materie und Energie zu erforschen unterstützt Schüler dabei, anspruchsvolle Konzepte zu entwickeln, die sich auf alle physikalischen Systeme beziehen lassen. Um diese Entwicklung jedoch anzukurbeln, bedarf es einer verständlichen Sprache, die die Themen Materie und Energie erklärt.

Thema 2: Wissenschaftler heutzutage

Wir wissen nun, dass aus Gründen der Fairness in der Bildung auf die speziellen Anforderungen verschiedener demografischer Gruppen eingegangen werden muss. Soweit angemessen und relevant für die vorliegenden wissenschaftlichen Themen sollten standardisierte Werke explizit auf die bestimmten kulturellen Bedingungen einer Lerngruppe eingehen (z. B. auf die Kultur bezogene Beispiele, Erwartungen der jeweiligen Gruppe etc.). Gleichzeitig sollte jedoch auch versucht werden, bedeutende Beiträge von Frauen und von Menschen verschiedener Kulturen und Ethnien mit einzubeziehen.

Thema 3: Das Experiment

Wissenschaftler und Techniker untersuchen und erforschen die Welt mit zwei grundlegenden Zielen: 1. Um die Welt systematisch zu beschreiben und 2. um Theorien und Erklärungen, wie die Welt funktioniert, zu entwickeln und zu testen. Beim ersten führen vorsichtige Beobachtungen und Beschreibungen oft zur Entdeckung von Phänomenen, die es zu erklären gilt oder Fragen, die erforscht werden müssen. Beim zweiten Ziel geht es um Nachforschungen, die die exemplarischen Modelle der Welt testen sowie die Vorhersage der Ausgänge betrachten und ob die Zusammenhänge dieser Modelle sich wissenschaftliche belegen lassen.

Thema 4: Modelle entwickeln und testen

Modelle können aufbereitet und ausgewertet werden, indem man ihre Vorhersagen mit den Bedingungen der realen Welt vergleicht und sie diesen dann angleicht, wobei man erkenntnisreiche Einblicke in das modellierte Phänomen erhält.

Weil die Wissenschaft versucht, das menschliche Verständnis der Welt zu erweitern, werden wissenschaftliche Theorien entwickelt, die darauf abzielen, Erklärungen zu geben, die bestimmte Phänomene beleuchten, Ereignisse in der Zukunft vorhersagen oder Bezüge zu vergangenen Geschehnissen herstellen. Obwohl ihre Rolle oft missverstanden wird – das

Wort Theorie meint eigentlich eine Vermutung – sind wissenschaftliche Theorien Konstrukte, die auf Wissen und Beweisen basieren, anhand der neuesten Erkenntnisse überarbeitet werden und dem prüfenden Blick der wissenschaftlichen Öffentlichkeit standhalten müssen, bevor sie weitreichend akzeptiert und angewendet werden. Theorien sind jedoch nicht bloß Vermutungen und sie sind besonders von Bedeutung, weil sie Erklärungen für eine Vielzahl an Vorgängen liefern.

Thema 5: Die Beziehung zwischen Wissenschaft und Technik

Die Forschungsfelder der Wissenschaft und der Technik unterstützen sich gegenseitig und Wissenschaftler und Techniker arbeiten oft zusammen, vor allem in Grenzbereichen zwischen Wissenschaft und Technik. Fortschritte in der Wissenschaft bieten neue Potenziale, neue Materialien oder ein neues Verständnis von Vorgängen, die durch die Technik angewendet werden können, um Fortschritte in den Technologien zu bewirken. Fortschritte in der Technik helfen im Gegenzug Wissenschaftlern dabei, die natürliche Welt in größerem oder kleinerem Umfang neu zu erforschen; Daten zu sammeln, zu verwalten und zu analysieren; und jedes immer komplexere System immer präziser darzustellen. Zusätzlich werfen die Bemühungen der Techniker, Technologien zu entwickeln und zu verbessern, neue Fragen für wissenschaftliche Arbeiten auf.

Wissenschaft und Technik ergänzen sich gegenseitig in einem Kreislauf, bekannt als Forschung und Entwicklung (F&E). Viele F&E Projekte beziehen Wissenschaftler, Techniker und Experten anderer Gebiete mit ein. Zum Beispiel braucht man für die Suche nach einer sicheren und verlässlichen Endlagerung für Nuklearmüll die Beteiligung von Ingenieuren mit speziellen Kenntnissen in Nukleartechnologie, Transport, Konstruktion und Sicherheit; es ist außerdem üblich, Wissenschaftler und andere Experten aus den Feldern der Physik, Ökonomie, Psychologie und Soziologie zu Rate zu ziehen.

Thema 6: Die menschliche Seite der Wissenschaft

Wissenschaft und Technik wirken sich nicht nur auf die Gesellschaft aus, sondern gesellschaftliche Entscheidungen (obgleich getroffen durch marktwirtschaftlichen Druck oder politische Prozesse) beeinflussen auch die Arbeit von Wissenschaftlern und Technikern. Die Berücksichtigung von historischen, sozialen, kulturellen und ethischen Aspekten der Wissenschaft und ihrer Anwendungsbereiche, sowie derer der Ingenieurwissenschaft und der Technik, die sie entwickelt, brauchen einen festen Platz im naturwissenschaftlichen Lehrplan. Das Grundgerüst ist darauf ausgelegt, den Schülern ein Verständnis dafür zu geben, dass die wissenschaftlichen und technischen Disziplinen nicht nur miteinander verknüpft sind, sondern dass sie auch menschliche Bestrebungen darstellen. Als solche können sie Fragen aufwerfen, die nicht allein mit wissenschaftlichen und technischen Methoden gelöst werden können.

Thema 7: Wissenschaft und Kunst

Der kreative Prozess der Entwicklung neuer Entwürfe, die zur Lösung eines Problems beitragen sollen, ist ein wesentlicher Bestandteil der Ingenieurwissenschaft.

Thema 8: Unterschied TV- und Kinoproduktion

Thema 8 versucht den Unterschied einer dokumentarischen TV- und Kinoproduktion herauszuarbeiten und erläutert, welche Anforderungen heute an eine Kinoproduktion gestellt werden und skizziert die aktuelle Mediensituation.

ANNEX 1: THE SCALE / Die Maßstäbe – Text ist in englischer Sprache

Wenn man wissenschaftlich über Systeme und Prozesse nachdenkt ist es wichtig zu beachten, dass sie sich in Größe (z. B. Zellen, Wale, Galaxien), Zeitspanne

(z.B. Nanosekunden, Stunden, Jahrtausende), in der Energie, die durch sie fließt (z.B. Glühlampen, Hochspannungsnetze, die Sonne) und in der Beziehung zwischen diesen Maßstäben bedeutend unterscheiden. Das Verständnis der relativen Menge ist hier nur ein Startpunkt.

Ein angemessenes Verständnis von Maßstäben und ihrer Relation zueinander ist wichtig auch für ein technisches Verständnis – keine Konstruktion könnte erdacht, geschweige denn umgesetzt werden, ohne den präzisen Sinn des Technikers für die verschiedenen Maßstäbe.

Dieser Teil ist für den reinen Physikunterricht von Bedeutung und wurde von den englischsprachigen Autoren, wie auf dem Deckblatt genannt, erstellt.

Film auf DVD oder Blu-ray

(Optional dt. Voice Over oder in Englisch mit deutschen Untertiteln)

Schulen können den Film (Format: DVD/Blu-ray) nach dem Kinobesuch bei KINOREAL lizenzieren - für den Einsatz im Unterricht oder die Schulbibliothek. Geeignet für Lehrer, die den Film in einzelnen Teilen, passend zum jeweiligen Stundenthema, zeigen möchten. Der Film bietet die Möglichkeit, diesen in vier Abschnitte zu unterteilen, um etwas über das Experiment zu lernen, über die Menschen und Theorien, über Rückschläge und Erfolg oder ergänzend, über die Machart des Films zu sprechen und zu reflektieren. Die DVD bietet die Option an, einzelne Kapitel, in Form von Kreisen, anzuwählen.

Beispiel:

Teil 1: Das Experiment im Film – 23 Minuten – ca. 0:00 bis 22:43

Teil 2: Die Menschen im Film – 23 Minuten - ca. 22:40 bis 45:10

Teil 3: Die behandelte Theorie im Film – 14 Minuten – ca. 45:10 bis 101:55/57

Teil 4: Der Erfolg im Film – 37 Minuten – ca. 1:01:58 bis 1:39:00

Teil 1: Das Experiment führt die Hauptakteure ein, zeigt den Unterschied zwischen theoretischen und Experimentalphysikern, lokalisiert das CERN in der Schweiz und erklärt die wichtigsten Teile und Funktionen des Large Hadron Collider (LHC).

Die Geschichte des LHC wird kurz zusammengefasst und außerdem erklärt, dass das Experiment schon zuvor in den USA durchgeführt werden sollte, jedoch es keine Zustimmung vom Parlament gab. Das Standardmodell der Teilchenphysik wird kurz in einem historischen Zusammenhang vorgestellt, der schließlich zur Vorhersage des Higgs Bosons führt. Die Einführung endet mit einer kurzen Diskussion über den Sinn des Experiments.

Teil 2: Die Menschen im Film zeigen die Hauptwissenschaftler. Die Schüler könnten etwas über den Unterschied zwischen theoretischer und experimentaler Physik lernen und Einblicke in ihre Persönlichkeiten, Interaktionen und Passionen bekommen. In dem Film sehen wir ihnen bei der Arbeit und beim Spiel zu. Wir lernen etwas über ihre Hintergründe, wie ihr Interesse an der Wissenschaft geweckt wurde und wie sie sich fühlen bei dem, was sie machen. Außerdem könnte ein Blick darauf gelenkt werden, wie das Experiment von der Presse angenommen wird, inklusive der Vermutung, das LHC könnte die Erde zerstören, sobald es angeschaltet würde. Dieser Abschnitt beinhaltet das katastrophale Versagen einiger der Magneten, die das Projekt um einige Monate nach hinten werfen. So könnte ein Lernabschnitt mit einigen Gedanken darüber enden, warum wir so neugierig sind.

Teil 3: Die Theorie beginnt mit der Idee, Muster in etwas zu erkennen, das anfangs nach ungeordnetem Chaos aussieht und dringt schließlich immer tiefer in die Fragen und Ideen ein, die das Vorhaben des LHC motivierten, vom unmessbar Kleinen zum unfassbar Großen. Die Haupttheorien umfassen die Ausdehnung des Universums, Probleme mit aktuellen Theorien, und die Idee, dass unser Universum nur eines von vielen weiteren in einem Multiversum ist. Dieser Lehrinhalt könnte sich mit der Herausforderung der Reparatur des Schadens am LHC befassen und den Wissenschaftlern, die sich überlegen, wie sie einen Presseaufmarsch beim Start des LHC verhindern können, um eine öffentliche Schmähung durch ein eventuelles Versagen zu vermeiden. Das Prinzip, nicht aufzugeben, wenn es nicht funktioniert oder Hindernisse auftauchen.

Teil 4: Erfolg. Dieser Teil wird sich mit den theoretischen Aspekten sowie die Auswirkungen des Fundes des Higgs-Teilchen befassen: Falls das Teilchen nahe 115 GeV liegt, sind das gute Neuigkeiten für die Physiker, weil damit ihre Theorien bestätigt werden und neue interessante physikalische Ideen entstehen können. Befindet es sich jedoch näher an 140 GeV, bedeutet das wahrscheinlich, dass unser Universum eines von vielen in einem Multiversum ist und somit weitere Informationen für uns nicht mehr greifbar sein könnten. Die Endergebnisse werden von den beiden Teams einzeln vorgestellt (da es ihnen verboten wurde, ihre Ergebnisse schon zuvor miteinander zu diskutieren). Der Film endet mit den Reaktionen der Wissenschaftler sowie einem emotionalen Auftritt von Peter Higgs und den Plänen für die Zukunft.

Zu zwei der im Lehrmaterial vorgestellten Themen gibt es im Film erklärende Sequenzen, die dabei helfen können, die Diskussion mit den Schülern zu strukturieren, nachdem sie den Film in voller Länge – im Kino oder auf DVD - gesehen haben. Sie können den Film nach jeder dieser Sequenzen kurz anhalten, um eine kurze Diskussion anzusteuern oder zuerst den ganzen Film noch einmal zeigen und die Diskussion am Ende halten.

Die Physiker im Film



Savas Dimopoulos

Als griechischer Immigrant, der inzwischen eine Stiftungsprofessur an der Stanford University innehat, befindet sich Savas seit mehr als 30 Jahren auf einer Odyssee, die wahren Theorien hinter der Natur zu finden. Viele halten ihn für denjenigen, der am ehesten eine seiner Theorien durch das LHC bestätigt sehen und sogar den Nobelpreis gewinnen könnte. Zwar ist Savas Mentor für viele, die auf diesem Gebiet arbeiten, jedoch durch sein inzwischen fortgeschrittenes Alter ist es jedoch fraglich, ob er bei der nächsten Revolution überhaupt noch aktiv mitwirken kann.



Nima Arkani-Hamed

Nima ist ein ernster, offener junger Theoretiker, dessen Vater schon Physiker war und sich offen gegen die Iranische Revolutionsgarde nach der Revolution 1979 aussprach. Aus Angst um ihr Leben floh die Familie mit Pferden in die Türkei. Für Nima hat die Physik heute eine ähnliche lebenswichtige Bedeutung. Nima erhielt schon vor seinem 30. Lebensjahr eine Vollzeitprofessur an der Harvard University und wechselte 2008 an das Institute for Advanced Studies in Princeton. Mit vielen Ideen im Gepäck, bereit, um am LHC getestet zu werden, hofft Nima, den Einfluss zu bekommen, den viele seiner Kollegen ihm zutrauen. Er wettete viele Jahresgehälter darauf, dass das schwer fassbare Higgs Boson am LHC entdeckt wird.



Fabiola Gianotti

1982 erhielt Fabiola ein Klavierdiplom am Konservatorium Giuseppe Verdi in Mailand, Italien. 1989 erhielt sie ihren Ph. D. (Dr.) der Teilchenphysik von der Universität Mailand. Sie hat sich die letzten 20 Jahre der Entwicklung des ATLAS Detektors gewidmet, des größten Detektors am LHC. Sie wurde für die Inbetriebnahme des LHC Leiterin des Experiments und beaufsichtigte damit etwa 3000 Physiker und Mechaniker auf der ganzen Welt. Wie ihr italienischer Vorfahre Columbus ist Fabiolas glühender Traum, durch den LHC eine völlig unerwartete "Neue Welt" zu finden. Von 2009 bis 2014 war sie Sprecherin der ATLAS-Kollaboration am Large Hadron Collider. Ab 2016 wird/ist Fabiola Gianotti die Chefin des CERN.



Monica Dunford

Mit einem renommierten Enrico Fermi Fellowship der University of Chicago ausgezeichnet, hat Monicas übereifriger, abenteuerlicher Geist sie nicht nur an die Grenzen der Wissenschaft gebracht, sondern auch an die Grenzen menschlicher Ausdauer. Ihre "Freizeit-" Aktivitäten Marathon, Radfahren, Rudern und Bergklettern gaben ihr eine nützliche Kondition für die 16-Stunden-Tage, die sie regelmäßig an ihrer Arbeit am ATLAS Detektor verbringt. Als junge amerikanische Post-Doktorin ist sie begeistert, im Zentrum des physikalischen Universums zu sein und bemüht, ein Zeichen, während ihrer Zeit in Genf, zu setzen. Dr. Monica Dunford lebt und lehrt derzeit u. a. in Heidelberg.



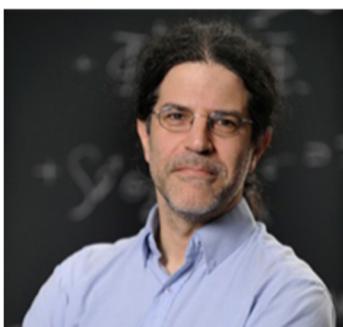
Martin Aleksa

Nachdem Martin Aleksa vor über 12 Jahren aus Österreich übersiedelte, hat Martin nun einen der begehrten permanenten Plätze am CERN. Er war einer der Hauptdesigner eines der zentralen Teile des ATLAS Detektors, dem Liquid Argon Calorimeter. 2011, grade als das LHC begann, erste Ergebnisse zu liefern, wurde er zum ATLAS Run Control Coordinator gewählt und bekam damit die oberste Verantwortung für die Sammlung der Daten des ATLAS Detektors.



Mike Lamont

Als Physiker in England ausgebildet, siedelte Mike zur technischen Seite des eigentlichen Teilchenbeschleunigers nach Genf um. Als Beam Operation Leader fühlt er sich persönlich dafür verantwortlich, "Protonenstrahlen" für das Experiment zu liefern. Sein trockener Humor wurde als willkommene Entlastung bei dem ständig unter Hochdruck arbeitenden, adrenalineladenden Team des CERN Control Centers gesehen.



David Kaplan

David Kaplan ist Professor für theoretische Teilchenphysik an der John Hopkins Universität und beschäftigt sich mit Supersymmetrie, dunkler Materie und den Eigenschaften des Higgs Bosons. Nach dem Erhalt eines Ph. D. der University of Washington in Seattle, hatte David eine Forschungsposition an der University of Chicago und dem Stanford's Linear Accelerator Center inne. Er gewann den Outstanding Junior Investigator Prize des Department of Energy und wurde als ein Nachfolger von Alfred P. Sloan bezeichnet. Er war außerdem Moderator und Berater für verschiedene wissenschaftliche Programme des History Channels und von National Geographic.

Thema 1: Große Wissenschaft

Wie sieht wissenschaftliches oder technisches Arbeiten heute aus? Manchmal scheint es genauso zu sein, wie das klassische Bild, das wir vom wissenschaftlichen Arbeiten haben, wie zum Beispiel der Charakter Dr. Alan Grant aus Jurassic Park: ein Paläontologe, der Dinosaurierknochen ausgräbt, sie wie ein Puzzle zusammensetzt, um erklären zu können, wie Dinosaurier aussahen, wie sie gelebt haben und wie sie in die Evolutionsgeschichte der Erde passen. Eine Person trägt die Verantwortung und wird von ein paar Studenten und Laboranten assistiert. Im Gegensatz zu dem was wir in Filmen sehen, arbeiten jedoch Wissenschaftler, Ingenieure oder Erfinder normalerweise selten allein. Nehmen wir zum Beispiel Thomas Alva Edison, den Erfinder der Glühbirne, des Phonographen (ein Vorläufer des Grammophons, das die Entwicklung einer völlig neuen Musikindustrie zur Folge hatte), des Telegraphen sowie einiger anderer Erfindungen, die das Fundament unserer modernen Welt bildeten.

Edison der Erfinder des Phonographen, der Glühbirne und des Telegraphen:

https://de.wikipedia.org/wiki/Thomas_Alva_Edison#Kultureller_Einfluss_der_Erfindungen_am_Beispiel_des_Phonographen

Obwohl die Populärliteratur Edison als alleinigen Erfinder anpreist, ist dieses Bild nicht komplett korrekt. Am Anfang trug Edison mit seinen Ideen zur rasanten Entwicklung der Telegraphen-Technologie bei, an der jedoch auch viele andere zu der Zeit arbeiteten. Später, als er die Glühbirne erfand, baute er ein Labor, das zwei Häuserblocks umfasste und stellte Dutzende von Menschen ein, die alle in Teams an verschiedenen Erfindungen arbeiteten. Das Modell eines kleinen Teams beschreibt die moderne wissenschaftliche Arbeit sehr gut. Ein hervorragendes Beispiel hierfür ist das Team von Physikern, die ursprünglich das Higgs-Teilchen als Grundelement für das Standardmodell vorhergesagt hatten, sowie die momentane Generation an Physikern, die im Film gezeigt werden und die die Arbeit am LHC anleiten.

Ein ganz anderes Modell wird im Film „Gravity“ dargestellt. Obwohl der Cast eigentlich nur eine kleine Gruppe von Leuten auf der Space Station ist, wissen wir, dass sie von Tausenden Menschen auf der Erde unterstützt werden, zu denen auch Wissenschaftler zählen, die die Experimente im All ausgearbeitet haben, sowie eine noch größere Anzahl an Ingenieuren und Technikern (Die NASA z. B. stellt für jeden Wissenschaftler neun Ingenieure ein). *Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs* ist ein Beispiel für dieses zweite Modell des wissenschaftlichen Arbeitens. Wir sehen ein paar einzelne Personen, die im Film behandelt werden; aber im Hintergrund sehen wir viel mehr, nicht nur Ingenieure und Wissenschaftler, sondern all die Leute, die es braucht, um jedes große Vorhaben umzusetzen, von Managern und Agenten zu Köchen und Klempnern.

Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs zeigt ein Beispiel für „Große Wissenschaft“, die von Tausenden Wissenschaftlern und Ingenieuren ausgeführt wird, die in großen Teams simultan zusammen arbeiten und sich konkurrieren. Die „Große Wissenschaft“ begann in den 1930er Jahren mit Ernest Lawrence, der das Zyklotron erfand, eine Maschine, die erste Studien zu sub-atomaren Teilchen erlaubte, das aber auch ein großes Team an Wissenschaftlern und Technikern benötigte, um gebaut und bedient zu werden.

Andere Beispiele für „Große Wissenschaft“ heute sind das Humangenomprojekt zur Erforschung der menschlichen DNA, die Internationale Weltraumstation ISS sowie das Internationale Projekt zur Erforschung des Ozeans. Eines der größten wissenschaftlichen Forschungsprojekte ist das GLOBE Programm, eines von vielen Projekten, bei denen normale Bürger Daten beitragen können, die die Wissenschaftler nie allein sammeln könnten. Mehr als 1,5 Millionen Kinder und Jugendliche aus 24.000 Schulen in 112 Ländern haben mit der Hilfe ihrer Lehrer Daten zu GLOBE beigetragen, die dabei helfen, verschiedene Systeme auf der Erde zu überwachen.

Die Geburt der „Großen Wissenschaft“

Wir leben in einem Zeitalter der „Großen Wissenschaft“, in dem Projekte wie Satelliten ins All schießen, den Klimawandel überwachen, und Mittel gegen Malaria und Krebs zu entwickeln die Arbeit von Tausenden von Menschen benötigen. Wissenschaft war jedoch nicht immer so. Ein paar Jahrzehnte zuvor war die Arbeit mit einer solch großen Gruppe von Wissenschaftlern völlig unbekannt. Das große Wissenschaftsprojekt, das im Film *Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs* gezeigt wird, begann mit der Idee einer einzelnen Person – eine Idee, die für die Umsetzung ein riesiges Team an Menschen benötigen würde.



Ernest Orlando Lawrence

https://de.wikipedia.org/wiki/Ernest_Lawrence

Die „Große Wissenschaft“ an sich begann mit dem Atomphysiker und späteren Nobelpreisträger Ernest Lawrence, der unter anderem maßgeblich an der Entwicklung der Atombombe mitwirkte. Zu Lawrence Lebzeiten versuchten Wissenschaftler*1 rund um die Welt herauszufinden, was sich im winzigen Atomkern eines jeden Atoms befindet. Um das herauszufinden, versuchten sie, Atomkerne aufzubrechen und zu sehen, was herauskam. Die Maschinen, die sie dazu bauten benötigten hohe elektronische Spannungen, um einen geraden Strahl von Teilchen (Elektronen, Protonen) auf ein Ziel mit Atomen zu schießen, die sie erforschen wollten. Aber auch mit immer größeren Versionen dieser Maschine gelang es ihnen nicht, Spannungen zu erzeugen, die hoch genug für einen Teilchenstrahl waren, der hilfreiche Ergebnisse geliefert hätte. Lawrence geniale Idee war es, die Teilchen in Kreisen zu beschleunigen anstatt eines geraden Strahls. Jedes Mal, wenn die Teilchen eine Runde drehten, wurden sie der gleichen Menge an elektrischer Spannung ausgesetzt, was ihre Energie erheblich nach oben trieb. Nach einigen Tausend Umläufen, hatten die Teilchen genug Energie gesammelt, um einen Atomkern aufzubrechen. Lawrence Idee öffnete die Türen für die Erforschung des Inneren eines Atoms. *1 z. B. Robert Oppenheimer, der als Vater der Atombombe gilt, der sich jedoch später – nach Hiroshima und Nagasaki - für eine Kontrolle der Kernenergie und gegen das nukleare Wettrüsten einsetzte.

Das erste Zyklotron (Teilchenbeschleuniger, auch Kreisbeschleuniger genannt – siehe rechts unten) war sehr klein, mit einem Durchmesser von ein paar Zentimetern. Es wurde zusammengehalten durch Siegelwachs. Trotzdem funktionierte es gut genug, um das Prinzip zu demonstrieren.



Quelle/Rechte: Lawrence Berkeley National Laboratory
<https://de.wikipedia.org/wiki/Zyklotron>

Wie wichtig ist ein Team in der Wissenschaft?

Aber das Zyklotron zu erfinden war nicht genug. Die Atomzerstörer mussten groß sein, um die Energie von subatomaren Teilchen so hoch zu treiben, dass sie ins Innere eines Atoms (den Atomkern) eindringen konnten. Größere Maschinen brauchten aber auch ein größeres Team an Physikern, Ingenieuren, Technikern und Handwerksleuten, um sie zu bauen, zu bedienen und zu warten. Lawrence bemerkte, dass diese Teams nicht so arbeiten konnten, wie es in der Wissenschaft bisher üblich gewesen war, nämlich mit ein paar Professoren und einigen Abschlussstudenten, die alle zur gleichen Zeit in angrenzenden Räumen an der gleichen Sache arbeiteten.



1932 Ernest Lawrence und ein kleines Team bauten eine größere Version des Zyklotron. Rechte: Lawrence Berkeley National Laboratory. Fotoquelle: <http://www.lbl.gov/Publications/75th/files/04-lab-history-pt-1.html>

Lawrence begann, große Teams aufzubauen, die viele verschiedene Herausforderungen zur selben Zeit bewältigen konnten. Seine Teams belegten nicht nur mehrere Räume, sondern sogar mehrere Gebäude. Dutzende, später sogar Hunderte von Wissenschaftlern und Technikern arbeiteten für das „Lawrence Radiation Lab“ („The Rad Lab“, heute das Lawrence Berkeley National Laboratory). Lawrence leitete nicht nur die Recherche an, er koordinierte auch die Teams und sammelte Gelder für ihre Bezahlung und die Ausrüstung.



1939 Ernest Lawrence und sein Team posieren vor dem Magnet für das 60" Zyklotron. Rechte: Lawrence Berkeley National Laboratory. Foto entnommen von <http://lbl.webdamdb.com/albums.php?albumId=198646>

Lawrence hatte also als erster die Idee, große Teams mit vielen Forschern und Geldgebern zusammen zu bringen, die sowohl die Ausgaben als auch die Arbeit im Labor teilten und im Gegenzug Zugang zu den großen Maschinen für ihre eigenen Nachforschungen bekamen. Diese neue Art der Wissenschaft, heute bekannt als „Große Wissenschaft“, ist heutzutage weltweit gang und gäbe. Es stellte sich im Nachhinein als ein ebenso wichtiger Beitrag zur modernen Wissenschaft heraus wie die Erfindung des Zyklotrons selbst.



1940 Ernest Lawrence und sein Team posieren in dem Magnet für das 184" Zyklotron. Rechte: Lawrence Berkeley National Laboratory. Entnommen von: <http://lbl.webdamdb.com/albums.php?albumId=198646>

Das neueste und stärkste Instrument zur Erforschung von subatomaren Teilchen ist der Large Hadron Collider an der Grenze zwischen Frankreich und der Schweiz. Es ist ein direkter Nachfahre von Lawrences Atomzerstörern und dem hier abgebildeten Zyklotron (mit einem Durchmesser von etwa 4,6 Metern), misst jedoch ganze 27 km im Durchmesser.

Es ist schwierig zu sagen, wie viele Menschen momentan am LHC arbeiten. Das Bild unten zeigt nur ein paar wenige der 1900 Menschen, die allein im ATLAS Team mitarbeiten. Schätzungsweise 4000 Wissenschaftler und Ingenieure haben an dem gesamten Projekt mitgewirkt und über 10.000 wenn man alle Techniker und anderen unterstützenden Personen mit einrechnet.



Kollaborateure Atlas Team. 2007 arbeiteten über 1900 Wissenschaftler aus 35 Ländern zusammen - alleine für das ATLAS Experiment. Foto von Patrice Loïez <http://cds.cern.ch/record/42134>

1.1 Manche sagen, dass Ernest Lawrence ein Visionär war, der eine Zukunft der „Großen Wissenschaft“ vorhersehen konnte. Meinst du, er konnte damals schon erkennen, wo seine Arbeit mal hinführen würde? Erkläre deine Meinung.

1.2 Kennst Du ein anderes Beispiel in Hinblick auf eine große Firma (Beispiele gibt es nicht nur in der Wissenschaft), die von einer einzigen Idee zu einer großen Firma mit Tausenden von Leuten wuchs, die eng zusammenarbeiten müssen?

1.3 Das Zyklotron arbeitete mit wechselnden elektrischen und magnetischen Feldern. Was für andere Geräte, die du jeden Tag benutzt, arbeiten nach einem solchen Prinzip?

1.4 Das größte Zyklotron, das Lawrence baute, war ein Magnet mit einem Durchmesser von 4,6 Metern. In welchem Verhältnis steht das zur Größe der Magneten im Large Hadron Collider am CERN?

1.5 Wie viele Schüler gibt es an eurer Schule? Wenn jeder an deiner Schule ein Wissenschaftler oder Techniker wäre, wie viele Schulen bräuchte es dann, um den LHC zu betreiben?

1.6 Wissenschaft kann bei der Erforschung verschiedener Phänomene hilfreich sein. Es gibt allerdings auch eine negative Seite, nämlich dann, wenn sie dazu benutzt wird, Waffen oder andere gefährliche Instrumente oder Geräte zu bauen. Lawrence war zum Beispiel neben seiner Entwicklung des Zyklotron auch am Bau der Atombombe beteiligt. Fallen dir andere Beispiele ein, bei denen die Wissenschaft eher zum Schaden der Menschheit dient als zu ihrem Nutzen?

Thema 2: Wissenschaftler heutzutage

Bevor Sie mit ihren Schülern über die weiteren Themen reden, zeigen Sie ihnen zunächst noch einmal den ganzen Film oder wenigstens den ersten Teil, sodass sie die Chance bekommen, einige der Wissenschaftler, die an der Suche nach dem Higgs-Teilchen beteiligt sind, zu sehen und zu hören.

Die meisten Menschen haben ein eindeutiges Bild von Wissenschaftlern – meistens ein älterer Mann, mit einer Haarmähne wie Einstein, einem Laborkittel und keinen Interessen außer seiner Wissenschaft.

Zu dieser Einstellung gegenüber Wissenschaftlern hat die berühmte Anthropologin Margaret Mead und ihre Kollegin Rhonda Métraux 1957 eine Studie durchgeführt (veröffentlicht in *Science*, Ausgabe 126, S. 384-390).

Unter den Teenagern, die sie befragten, war ein repräsentatives negatives Bild das Folgende:

Er ist ein Genie, er ist so vertieft in seine Arbeit, dass er nicht merkt, was in der Welt sonst so vor sich geht. Er hat keine anderen Interessen und vernachlässigt seinen Körper für seinen Geist. Er kann nur wissenschaftlich reden, wissenschaftlich essen, wissenschaftlich atmen und schlafen. Er vernachlässigt seine Familie, schenkt seiner Frau keine Aufmerksamkeit, spielt nie mit seinen Kindern. Er hat kein Sozialleben, keine anderen intellektuellen Interessen, keine Hobbies oder ähnliches. Er langweilt seine Frau, seine Kinder und dessen Freunde. Er selbst hat keine Freunde oder kennt nur andere Wissenschaftler – er redet nur wirres Zeug, das keiner versteht; oder es interessiert ihn einfach nicht oder er hat Geheimnisse, die er nicht preisgeben darf. Er ist nie zuhause. Er liest immerzu Bücher. Er bringt Arbeit mit nach Hause oder auch Ungeziefer oder andere gruselige Dinge. Er rennt immer nur in seinem Labor herum. Manchmal zwingt er seine Kinder, auch Wissenschaftler zu werden.

2.1 In welcher Weise entsprechen die Charaktere in *Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs* diesem Bild? Wie unterscheiden sie sich davon?

2.2 Welche Szenen im Film unterstützen oder widerlegen dieses Bild eines Wissenschaftlers?

2.3 Wo denkst du kommen diese negativen Bilder, die Mead und Métraux gesammelt haben, her?

In *Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs* folgen wir 7 Persönlichkeiten und lernen einige andere kurz kennen. Alle sind extrem begabt und hart am Arbeiten, aber haben ansonsten kaum andere Gemeinsamkeiten. Einige sind jung, einige sind alt, einige Amerikaner, andere sind Griechen, Iraner, Italiener, Österreicher, Schweizer, Deutsche. Sie haben verschiedene Interessen neben ihrem gemeinsamen Interesse an der Physik wie zum Beispiel Musik, Kunst, Familie, Sport, Geschichte oder andere. Und nicht alle sind Wissenschaftler, einige arbeiten als Ingenieure Vollzeit oder nur halb (Mike Lamont ist Chefingenieur am LHC, während Monica Dunford und Martin Aleska nur einen Teil ihrer Zeit als Ingenieure arbeiten). Andere sind Architekten, Techniker, Pförtner, Sicherheitsbeauftragte, Cateringmitarbeiter, in der Öffentlichkeitsarbeit tätig usw.

2.4 Wie lässt sich die Vielfalt der Charaktere in *Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs* mit dem Stereotypen eines Wissenschaftlers vereinbaren?

2.5 Überlege dir einen anderen Film, fiktional oder dokumentarisch, den du gesehen hast und vergleiche die Wissenschaftler und Ingenieure in diesem Film mit denen in *Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs*.

2.6 In *Particle Fever – Die Jagd nach dem Higgs* kommen nur ein paar Minderheiten vor. Warum glaubst du ist das so?

Minderheiten unterscheiden sich von Nationen und Kulturen teilweise sehr. Könnte es im Film Minderheiten geben, die vom deutschen Publikum gar nicht als solche erkannt werden? Savas Dimopoulos' Familie musste von Zypern fliehen und Nima Arkani-Hameds Familie kam aus dem Iran, weil sie in ihrem Heimatland Teil politischer oder ethnischer Minderheiten waren. Im Moment erfahren Europa und speziell Deutschland einen sehr großen Zulauf von Flüchtlingen; darunter sind bestimmt hochgebildete Menschen und viele Jugendliche, die ein hohes Lernpotential mitbringen. Das verkörpern Savas und Nima. Hierzu können eigene Fragen für den Unterricht entwickelt werden.

2.7 Welche Art von Training, Zeit und Geld braucht es, um ein Elite-Wissenschaftler oder -Ingenieur zu werden wie die in *Particle Fever* – *Die Jagd nach dem Higgs*?

Obwohl die Ideen in *Particle Fever*, an denen die Wissenschaftler seit Jahrzehnten arbeiten, sich durch den LHC als falsch herausstellen könnten, haben die Wissenschaftler generell eine optimistische Einstellung. Savas Dimopoulos sagt:

„Jumping from failure to failure, with undiminished enthusiasm, is the big secret to success“.

2.9 Wen kennst du, hast du im Fernsehen gesehen oder in einem Buch gelesen, der auch eine solche Einstellung hat?

Zwei der Wissenschaftler, denen wir folgen, sind Frauen: Fabiola Gianotti und Monica Dunford.

2.10 Wie unterscheiden sich die beiden Frauen voneinander? Inwieweit ähneln sie sich?

2.11 Was haben sie mit weiblichen Wissenschaftlerinnen gemeinsam, die du in Filmen oder Büchern kennen gelernt hast?

David Kaplan, dem wir den ganzen Film über folgen, gibt uns sein abschließendes Urteil kurz vor Ende des Films:

01:32:27 – 01:32:33 Man war das aufregend. Wenn es stimmt, hat das Higgs etwa 125 GeV. Das bedeutet, tja, damit sind fast alle meine Modelle von Tisch... wir haben was zu tun.

Obwohl David eigentlich enttäuscht sein müsste, weil alle seine Modelle damit zunichte gemacht werden, scheint er trotzdem fröhlich, dass sie wenigstens „etwas zu tun haben“.

2.12 Wenn David zum Beispiel ein Börsenmakler wäre, was würdest du, als sein Arbeitgeber nach einem solchen Ausgang der Ereignisse sagen?

Thema 3: Das Experiment

Folgende Themen sollten am besten diskutiert werden, wenn die Schüler zumindest einen groben Überblick über das Experiment und das zugrunde liegende Modell, das getestet werden soll, bekommen haben. Wenn Ihre Schüler bereit sind, zu reflektieren worum es in dem Film geht, dann könnten Sie z. B. auf der DVD die Filmsequenz, in dem das „Das Experiment“ gezeigt wird, noch einmal vorführen.

Am Anfang des Films lernen wir, dass die Einsätze unglaublich hoch sind. Nicht nur hat das Experiment bisher 19 Jahre, 10 Milliarden Dollar und die Mitarbeit von 10.000 Menschen gebraucht, sondern das Ergebnis wird auch extrem wichtig für die Zukunft der Wissenschaft sein. David Kaplan, einer der Wissenschaftler im Film, drückt die zugrunde liegende Idee so aus:

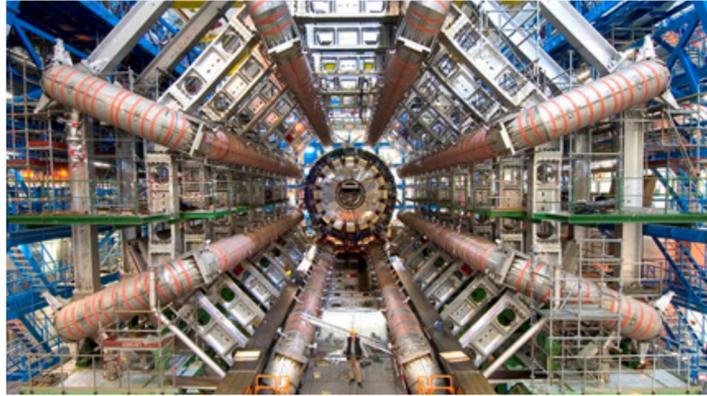


03:15 – 04:09... *Seit ich mich mit Physik befasse, reden alle von dieser Maschine: vom Large Hadron Collider LHC. Die größte Maschine, die von Menschen je gebaut wurde. Jetzt wird sie endlich eingeschaltet, nach so vielen Jahren des Wartens und Brütens darüber wie Materie entstanden ist und über der grundlegenden Theorie der Natur. - Jetzt können wir diese Theorien endlich prüfen. Und wir werden etwas herausfinden. Wir wissen noch nicht, was das sein wird, aber wir werden es wissen! Und das wird alles verändern... Wenn der LHC neue Teilchen entdeckt, sind wir auf der richtigen Spur. Wenn nicht, haben wir nicht nur etwas übersehen. Wir wüssten dann gar nicht mehr, wie es weitergehen soll. Wir befinden uns an einem Scheideweg: entweder geht's in eine goldene Ära, oder es wird ziemlich ernüchternd. So was gab's wohl noch nie in der Wissenschaftsgeschichte: dass ein ein ganzes Forschungsgebiet von einem einzigen Ereignis abhängt. — David Kaplan*

3.1 Nachdem Du jetzt den Film gesehen hast, weißt du, wie dieses extrem teure, einsatzreiche Experiment ausgegangen ist. Haben die Resultate deiner Meinung nach „alles geändert“? Oder hängen die Wissenschaftler immer noch an einem Scheideweg fest? Warum denkst du so? Was denkst du, könnte ihnen helfen, einen Fortschritt zu machen?

Die wahrscheinlich einfachste Erklärung, wie das LHC zur Durchführung des Experiments benutzt wurde, kommt wohl von Monica Dunford, einer der Wissenschaftlerinnen im Film.

14:47 – 16:12 *Der LHC ist eigentlich das grundlegendste aller Experimente. Jedes Kind würde das so machen: Du nimmst zwei Sachen und knallst sie gegeneinander. Bei dieser Kollision kommt dann ganz viel...Zeug raus, das man versucht zu verstehen. In diesem Fall schmettern wir winzige Protonen gegeneinander. Alle Atomkerne enthalten solche Protonen. Um die zu beschleunigen, sie so schnell wie möglich zu machen, mussten wir diesen riesigen, fast 27 Kilometer langen Ring bauen. Wir jagen diese Protonen so viele Male durch den Ring, bis sie fast so schnell sind wie das Licht, die einen in die eine, und die anderen in die andere Richtung. Dann lassen wir zwei Teilchenstrahlen kollidieren. An vier Punkten. An jedem dieser vier Punkte gibt es ein Experiment: ATLAS, LHCb, CMS und ALICE. Ich arbeite am Atlas-Experiment. Und Atlas ist wie eine riesige, etwa sieben Stockwerke hohe Kamera, die von jeder Kollision eine Momentaufnahme macht. Und es sind Milliarden von Kollisionen. Wir hoffen, dass wir dieses berühmte Higgs-Teilchen sehen. Aber jedes Mal, wenn wir den neuen Beschleuniger auf eine höhere Energie gestellt haben, wurden wir überrascht. Wie gesagt, die eigentliche Hoffnung ist, das Higgs zu sehen. Aber auch, dass es da noch etwas umwerfend Neues gibt. —Monica Dunford*



Atlas Detektor. Achte auf die Person am Boden. Bildrechte CERN.

3.2 Jedes Experiment braucht ein Ziel, einen Zweck. David Kaplan nennt zwei Gründe, warum dieses Experiment durchgeführt wird. Zeigen Sie die folgende Filmsequenz:

16:13 – 16:36... *Man kann es mit der Mondlandung vergleichen. Auf diesem Niveau gemeinschaftlicher Anstrengung bewegt es sich. Eher noch höher. Eher so wie der Bau der Pyramiden. Wieso haben die Menschen das damals getan? Wieso tun wir das heute? Wir haben zwei Antworten darauf. Die eine ist das, was wir den Leuten sagen. Die andere ist die Wahrheit. Ich verrate Ihnen beide. An der ersten Antwort ist nichts falsch. Sie ist nur nicht das, was uns wirklich antreibt. Sie zeigt nicht, was wir darüber denken. Aber man kann es schnell zu jemandem sagen ohne dass die Person abgelenkt wird, in Ohnmacht fällt, oder in einem Bordmagazin blättert, falls man gerade nebeneinander im Flugzeug sitzt.*

16:58 ... **Antwort Nummer 1:** *Wir reproduzieren die Bedingungen, die kurz nach dem Urknall herrschten. Wir tun das in diesem Teilchenbeschleuniger. Wir bilden es nach, um zu sehen wie es war, als das Universum entstand. Das sagen wir den Leuten. **Antwort Nummer 2:** Wir versuchen, die Grundgesetze der Natur zu verstehen. Das klingt weniger heftig, aber genau darum geht es uns. Das versuchen wir.*

17:26 *Wir studieren Teilchen. Denn direkt nach dem Urknall gab es ja nichts anderes als Teilchen. Und sie trugen Informationen darüber in sich, wie unser Universum angefangen hat, wie es zu dem wurde, was es heute ist und über seine Zukunft. — David Kaplan*

3.3 **Erinnere dich an ein Experiment, das du selbst durchgeführt hast. Es kann eins sein, dass du in der Schule gemacht hast oder eines, das du selbst durchgeführt hast. Was war der Zweck des Experiments? Welche Ausrüstung hast du benutzt? War noch jemand anderes daran beteiligt? Wie lange hat es gedauert? Was war das Ergebnis?**

3.4 **Stelle dir nun das gleiche Experiment vor, aber du hast nicht die Möglichkeit, eine Ausrüstung zu kaufen, also musst du alles von Grund auf selbst bauen. Wie viele Menschen wären dann am Experiment beteiligt gewesen, inklusive den Menschen die Equipment wie Stoppuhren, Maßbänder, aber auch Mikroskope, Becher und Petrischalen gebaut hätten?**

3.5 **Setze dich mit einem deiner Mitschüler zusammen und erzähle ihm die Geschichte deines Experiments. Nachdem ihr euch über eure Geschichten ausgetauscht habt, versucht eine Definition für „Experiment“ zu finden, das zu beiden Geschichten passt. Danach werden die Ergebnisse in der Klasse ausgetauscht und wir werden sehen, ob wir alle eine ähnliche Vorstellung von einem „Experiment“ haben.**

(Geben Sie den Schülern die Zeit, sich über ihre Ideen auszutauschen und Beispiele dafür zu geben. Seien Sie auf einige Beispiele vorbereitet, die evtl. nicht ihrer Definition eines kontrollierten Experiments entsprechen; ermutigen Sie ihre Schüler, darüber zu diskutieren, was ein echtes „Experiment“ ausmacht. Das Ziel ist nicht, dass sie all miteinander übereinstimmen, sondern zu verstehen, dass es viele verschiedene Definitionen des Begriffs gibt und dass das Experiment im Film vielleicht eines der bemerkenswertesten ist, die jemals durchgeführt wurden.)

Denke weiter über das Experiment nach, das du gerade beschrieben hast, während du die folgende Sequenz siehst und Aussagen hörst:

01:06:33... *Erst mal das Wichtigste ... Ich muss einfach nur sagen: Daten. Es ist unglaublich, wie fantastisch Daten sind.*

01:07:02 ... *Man hat diese invariante Masse. Das ist für das Z zum Kanal. Und man hat hier diese Massen-Spitze beim Z...um die Hintergründe zu schätzen...*

01:07:18 *Es ist, als hätte sich plötzlich bei ATLAS, dem LHC, dem CMS und all den Experimenten die Welt verändert. Plötzlich gibt es Daten. Und nach so vielen Jahren ohne Daten, ohne neue Daten, ohne neue Physik, gibt es jetzt einfach so viele Möglichkeiten. Und obwohl wir nur das Standardmodell bestätigen, ist es aufregend. Das Aufregendste an den Daten ist nicht die erste Kollision. Klar, alle lieben die erste Kollision. Das Aufregendste an den Daten ist die einmillionste Kollision, oder die zweimillionste, oder dass es immer weitere Kollisionen gibt. Und je mehr Kollisionen wir haben, desto größer ist die Chance, etwas wirklich Interessantes zu finden. Einfach, weil wir immer mehr Daten haben. — Monica Dunford*

3.6 Wieso war Monica Dunford von den ganzen Daten so begeistert? Wie denkst du, würdest du dich in ihrer Position fühlen?

Nachdem das Experiment ein paar Monate gelaufen war, bekamen die Wissenschaftler erste Ergebnisse. Wenigstens einer von ihnen war nicht sehr begeistert davon. Warum und wieso? Schau dir den folgenden Ausschnitt an und rufe dir die große Frage ins Gedächtnis, die dieses Experiment beantworten sollte.

1:10:07 *Die Masse des Higgs-Teilchens, genauer, sein Gewicht, kann uns einen Hinweis darauf geben, in welche Richtung es geht: Wenn die Masse eher gering ist, dann stimmt das mit einigen Standards überein, nach denen wir suchen. Supersymmetrie verlangt, dass das Higgs so leicht ist wie möglich.*

1:10:30...*Ungefähr das 115fache der Masse des Protons. Das sind 115 GeV – Gigaelektronenvolt. Wenn andererseits das Higgs 140 GeV hat – das 140fache des Protons – das wäre furchtbar...weil 140 GeV Theorien stützt, die das Multiversum bevorzugen.*

1:10:53 *ATLAS hat hier einen kleinen Hubbel. Ein kleiner Ausschlag bei 140.*

01:10:59... *Und jetzt? So ein Mist! 140!! Könnte sein, dass die Natur ihre Entscheidung getroffen hat. - David Kaplan*

Es ist jedoch nicht alles vorbei, solange das Experiment noch läuft, und die ersten Ergebnisse stellten sich als falsch heraus. Die zwei getrennten Teams hörten zum ersten Mal die Ergebnisse des jeweils anderen, die wir in der Sequenz nun sehen werden.

Das erste Team maß 125 GeV. Was hat das zweite Team gemessen? Lasst uns sehen:

1:24:20 – 1:25:19... *Danke. Guten Morgen. ATLAS freut sich sehr, Euch die aktualisierten Ergebnisse der Standardmodelle – Higgs-Forschung vorzustellen, denen eine Datenmenge bis zu 10,7 inversen Femtobarn aus den Jahren 2011 und 2012 zugrunde liegt. Es ist eine große Ehre und emotional sehr bewegend für mich, diese fantastische Zusammenarbeit hier vorstellen zu dürfen. Kommen wir zu den Resultaten dieses Kanals. Hier die Ergebnisse von 2011 bis 2012 und die Kombination aus beiden. Der gamma-jet und der jet-jet Hintergrund mit einem oder beiden jet... das erfordert, dass die Energie um das Photon herum niedriger ist ... die Struktur, die sehr gut die Paketraten des LHC wiedergibt, mit einem Paket, gefolgt von einer kleiner Lücke ... korrigieren wir natürlich...*

01:25:21...*wir kennen die Linearität zwischen einigen wenigen GeV und einigen hundert GeV... ist eingeteilt in die neun verschiedenen Kategorien mit einer Exponential-Funktion, die den Hintergrund darstellt, ohne theoretische Voraussage, kein Monte Carlo also.....der Hintergrund wird bestimmt durch die seitlichen Banden des möglichen Signals.....von diesem Spektrum kommen wir zu diesem Plot. Und damit – zur Verknüpfung der Resultate:*
- Fabiola Gianotti

01:25:20 *Jetzt kommt's...* —Nima Arkani-Hamed

01:25:21 *Diese Verteilung ist extrem sauber, bis auf eine große Spitze, hier in dieser Region. Ein Ausschlag mit einer lokalen Signifikanz von 5.0 Sigmas bei einer Masse von 126,5 GeV.*
- Fabiola Gianotti

01:26:34 *Als Leihe würde ich sagen: "Ich glaube, wir haben es."*—Rolf Dieter Huer

01:27:46 *Ich finde, wir alle hier, und all die Leute, die in den verschiedenen Tagungsräumen zuschauen, alle, die an dem Projekt beteiligt waren und sind, können stolz sein auf den heutigen Tag. Genießt ihn!!* - Rolf Dieter Huer

01:28:03 *Wir haben das Higgs!* (alle lachen) - Nima Arkani-Hamed

Jetzt ist Partystimmung im Kontrollraum!



(Fotoquelle / Bildrechte CERN)

3.7 Basierend auf den zwei Zielen, die das Experiment hatte a) die Bedingungen kurz nach dem Urknall zu rekonstruieren und b) die grundlegenden Gesetze der Natur zu verstehen, war dann das Experiment ein Erfolg? Warum bzw. warum nicht?

Wie sicher waren die Wissenschaftler, dass ihre Ergebnisse korrekt waren? Wir haben Fabiola Gianotti sagen gehört: „Excess with a local significance of 5.0 sigma a mass of 126.5 GeV“. Sigma ist ein griechischer Buchstabe, der die Standardabweichung darstellt. Keine individuelle Messung ist perfekt genau, aber indem man sehr viele Messungen durchführt ist es möglich, ein relativ genaues Ergebnis zu bekommen. Ein Sigma von 5.0 bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit, falsch zu liegen, bei 1 aus 3.100.000 liegt. Um ein Gefühl dafür zu bekommen, wie genau das ist, stelle dir vor, du wirfst eine Münze. Die Wahrscheinlichkeit, dass sie auf Kopf/Bild landet, ist 50:50, oder 1 aus 2. Zweimal Kopf/Bild hintereinander zu bekommen wäre die Chance 1 aus 4. Bei dreimal Kopf/Bild hintereinander haben wir die Wahrscheinlichkeit 1 aus 8 und so weiter.

3.8 Wie oft müsste man die Münzen mit dem Kopf/Bild hintereinander werfen, um die Wahrscheinlichkeit 1 aus 3.100.000 zu bekommen?

Wir haben die Gründe der Wissenschaftler erfahren, warum sie an diesem großen Experiment mitarbeiten. Aber, eine weitere Botschaft des Films ist, dass es noch einen viel tieferen Grund gibt. Denke an die Filmsequenz, wie Martin Aleksa zuhause seinen Kindern den Luftdruck erklärt. *Was passiert hier? Ca. TC 43.*

44:27– 44:31 *Das ist es, was Entdeckungsphysik bedeutet. Das ist es, was Entdeckung bedeutet.* —Monica Dunford

Warum sind wir neugierig? Warum kümmern wir uns um entlegene Teile des Universums? Um Dinge, die vor Milliarden Jahren passiert sind, wie der Urknall? Warum finden wir das so interessant? Es wirkt sich doch nicht auf unser tägliches Leben aus. Aber wenn die Neugierde erst einmal geweckt ist, kann man sie nicht mehr kontrollieren. Sie stellt einem Fragen nach dem Universum. Sie stellt Fragen nach Harmoniemustern, die Kunst erschaffen, Musik... schaffen — Savas Dimopoulos

3.9 Was meint Savas Dimopoulos mit „Wenn die Neugierde erst einmal geweckt ist, kann man sie nicht mehr kontrollieren.“? Kannst du dich an eine Situation erinnern, in der die Neugier dein Handeln getrieben hat?

3.10 Wie hat die menschliche Neugier das Leben, wie wir es kennen, verändert?

Thema 4: Modelle entwickeln und testen

Wenn Sie bereit sind, die Diskussion zu leiten, schauen Sie sich die Filmsequenz 48:02 bis 49:20 unter dem Aspekt an: Modelle entwickeln und testen.

Beziehung zwischen einer Theorie und einem Modell. Die Physiker, die wir im Film sehen, testen eine Theorie, die sie und viele andere über Jahrzehnte hinweg entwickelt haben. In diesem Fall ist ihre Theorie, dass alle Materie aus extrem kleinen Teilchen besteht, die wiederum aus noch kleineren Teilchen aufgebaut sind.

In dem Film (48:02 bis 49:20) benutzen sie den Begriff „Supersymmetrie“, um eine Variation der Theorie zu beschreiben, dass es für jede Teilchenart, z. B. für ein Elektron,