

CERN – UND DER SINN FÜR SCHÖNHEIT

0000 KINOKULTUR
IN DER SCHULE

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

KINOKULTUR IN DER SCHULE
Untere Steingrubenstrasse 19
4500 Solothurn
Tel. 032 623 57 07 | 077 410 32 94
info@kinokultur.ch | www.kinokultur.ch

DAS DOSSIER WURDE ERARBEITET VON KINOKULTUR IN DER SCHULE

Redaktion: Ruth Köppl, Heinz Urben

**UNTERRICHTSMATERIAL zu vielen
weiteren Filmen** kann auf der Webseite www.kinokultur.ch unter «Die Filme» kostenlos heruntergeladen werden.

INFORMATIONEN ZUM GANZEN ANGEBOT
finden Sie unter www.kinokultur.ch

ANMELDUNG für Kinobesuche von Schul- klassen und Filmgespräche:

KINOKULTUR IN DER SCHULE
Tel. 032 623 57 07, info@kinokultur.ch

KINOKULTUR IN DER SCHULE wird finanziell unterstützt von: Bundesamt für Kultur, ProCinema, Schweizerische Kulturstiftung für Audiovision, Ernst Göhner Stiftung, Egon-und Ingrid-Hug-Stiftung, Swisslos, Kanton Aargau, Kanton Zürich, Kanton Basel-Stadt, Kanton Thurgau, Kanton Appenzell AR, Kanton St. Gallen, Kanton Solothurn, Kanton Schaffhausen, Kanton Zug, Kanton Graubünden

PARTNERINSTITUTIONEN

Seminar für Filmwissenschaft der Universität Zürich (Filmbildung), Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (Evaluation), Kinomagie Aargau, «Kultur macht Schule» (ein Programm der Fachstelle Kulturvermittlung, Departement Bildung, Kultur und Sport, Kanton Aargau), Schule & Kultur Kanton Zürich, Solothurner Filmtage

Regie Valerio Jalongo
Kamera Alessandro Pesci, Leandro Monti
Montage Massimo Fiocchi
Ton Christoph Giovannoni, Masaki Hatsui
Musik Maria Bonzanigo, Carlo Crivelli, Orchestra della Svizzera Italiana
Original Version Italienisch/Englisch mit deutschen Untertiteln
Gattung Dokumentarfilm, Farbe, 75 Min.
Produktion AMKA Films in Koproduktion mit RSI Schweiz und Ameuropa, RAI Cinema Italien
Produzentin Tiziana Soudani
Distribution First Hand Films, Nicole Biermaier, nicole.biermaier@firsthandfilms.com, 044 312 20 60, verleih@firsthandfilms.ch



Valerio Jalongo ist 1960 in Rom geboren. Abschluss in Philosophie. Er ist ein italienischer Filmregisseur und Drehbuchautor.

Filmografie (Auswahl):

2017 Il senso della bellezza (Dokumentarfilm) / 2010 La scuola è finita / 2009 Di me cosa ne sai (Dokumentarfilm) / 2003 Sulla mia pelle / 1999 Torniamo a casa (TV Movie) / 1996 Messaggi quasi segreti / 1988 La città dei nostri sogni / 1985 Juke box

Vier Jahre nach der sensationellen Entdeckung des Higgs-Teilchen steht das CERN am Anfang eines neuen, aussergewöhnlichen Experiments. Das Experiment ist eine Reise durch die ferne Zeit und auf der kleinsten Skala, die wir uns vorstellen können: nämlich die Erforschung der Materie um eine Millionstel Sekunde nach dem Urknall, der unser Universum erzeugt hat. Während das neue Experiment am CERN in seiner Erforschung der mysteriösen Energie, die das Universum belebt, voranschreitet, führen uns Wissenschaftler und Künstler an die Grenze, wo Wissenschaft und Kunst auf unterschiedliche Weise Wahrheit und Schönheit verfolgen. Einige Protagonistinnen und Protagonisten glauben an Gott, während andere nur an Experimente und Zweifel glauben. Aber auf der Suche nach der Wahrheit sind sie alle auf einen schwer fassbaren sechsten oder siebten Sinn aufmerksam ... den Sinn für Schönheit.

DIDAKTISCHE HINWEISE

Das Unterrichtsmaterial ist ein **Fundus zur Auswahl**.

Mit den **Aufgaben und Fragen zur Vorbereitung des Films** kann der Kinobesuch thematisch vorbereitet werden.

Aufgaben und Fragen für den Kinobesuch beinhalten Beobachtungsaufträge, zu denen die Schülerinnen und Schüler während oder unmittelbar nach dem Besuch Notizen machen.

Für eine kürzere Auseinandersetzung im Unterricht können die **Aufgaben und Fragen zur Nachbereitung des Films** oder eine Auswahl davon besprochen werden.

Die Materialien sind **fächerübergreifend** sowie **handlungs- und situationsorientiert** konzipiert.

Sie eignen sich für die **Sekundarstufe 1 und 2 (ab 8. Klasse)**

INHALTSÜBERSICHT

Aufgaben und Fragen zur Vorbereitung des Films	3
Aufgaben und Fragen für den Kinobesuch	6
Aufgaben und Fragen zur Nachbereitung des Films	7



*Antony Gormley, HUMAN, Forte di Belvedere, Florence, Italy, 2015
Courtesy Galleria Continua and White Cube - © The artist*

AUFGABEN UND FRAGEN ZUR VORBEREITUNG DES FILMS



Quelle: https://www.weltmaschine.de/cern_und_lhc/cern/

1) Lest folgende Informationen zum CERN und streicht an, was ihr nicht versteht.

Das Forschungszentrum CERN wurde 1954 gegründet und liegt an der Grenze zwischen Frankreich und der Schweiz bei Genf. CERN war eines der ersten gemeinsamen europäischen Projekte und hat heute 22 Mitgliedsstaaten und über 3'200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

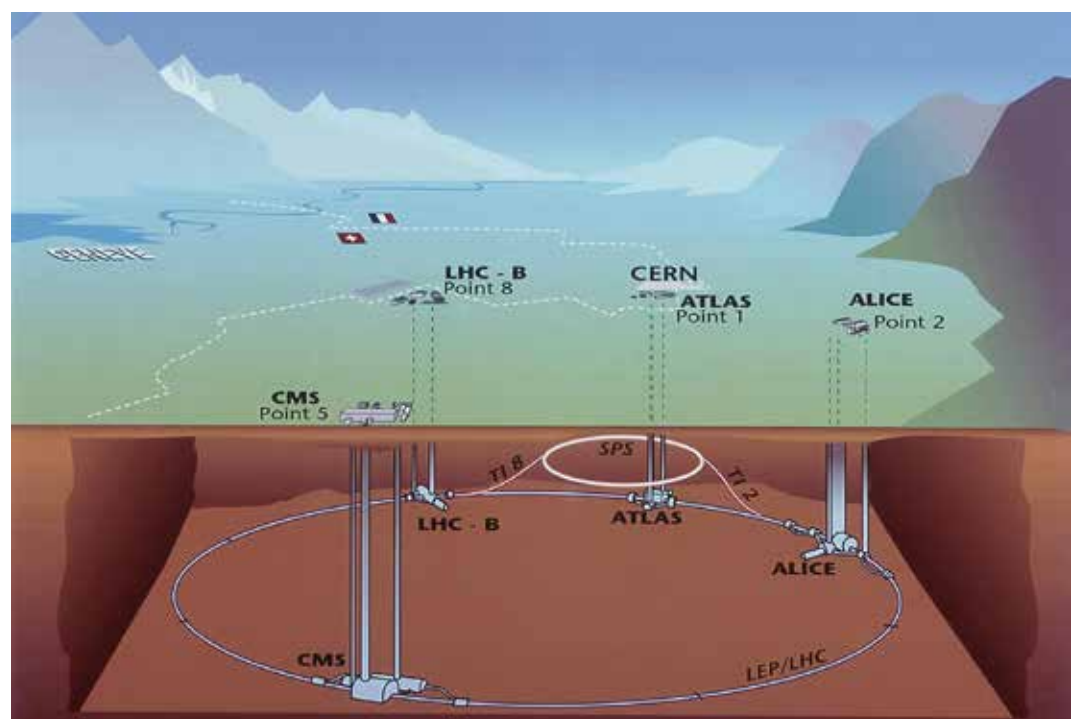
Das CERN in Genf (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) ist das grösste Forschungszentrum für Teilchenphysik der Welt. Wissenschaftler von mehr als 580 Universitäten und Forschungsinstituten aus aller Welt erforschen hier mit Hilfe von Teilchenbeschleunigern, woraus das Universum besteht und befassen sich mit der Frage nach Herkunft und Art der Grundbausteine der Materie sowie nach den sie zusammenhaltenden Kräften. Die Entdeckung des Higgs-Teilchens am CERN wurde mit dem Physiknobelpreis 2013 gekrönt.

Der LHC – Die Weltmaschine Large Hadron Collider

Im Jahr 2008 ging der Large Hadron Collider LHC am CERN in Betrieb. LHC ist ein gigantischer ringförmiger Teilchenbeschleuniger mit 27 Kilometer Umfang, der sich in etwa 100 Meter Tiefe im Grenzgebiet der Schweiz und Frankreichs nahe Genf befindet. Physiker nutzen den LHC, um grundlegende Erkenntnisse über den Ursprung und die Bausteine der Welt zu gewinnen.

Im LHC kreisen zwei Strahlen aus Teilchen – Protonen oder Ionen. Wenn die beiden gegenläufigen Teilchenstrahlen bei sehr hoher Energie aufeinanderprallen, werden Zustände wie unmittelbar nach dem Urknall erreicht. Physiker aus aller Welt analysieren diese Teilchenkollisionen, indem sie die dabei entstehenden Teilchen beobachten. Dafür haben sie spezielle Detektoren entwickelt, die in unterirdischen Hallen an vier Stellen entlang des Tunnels installiert sind.

In den vergangenen Jahrzehnten haben Physiker die Elementarteilchen, aus denen das Universum besteht, und die zwischen ihnen bestehenden Wechselwirkungen immer detaillierter beschrieben.



Quelle: <https://www.quantumdiaries.org/2011/04/24/lumi-leveling-what-why-and-how/>

Dieses Wissen ist im Standardmodell der Teilchenphysik zusammengefasst. Das Standardmodell kann allerdings nicht alles erklären.

Der LHC erlaubt es erstmals, unter Laborbedingungen in neue sehr hohe Energiebereiche vorzustoßen, die man vorher nicht direkt beobachten konnte. Die dabei gewonnenen Daten sollen helfen, diese offenen Fragen zu klären und zwischen verschiedenen theoretischen Ansätzen zu unterscheiden.

Die gesamte Steuerung der Beschleuniger ist im CERN-Kontrollzentrum untergebracht. Von dort aus werden die Teilchenbündel im LHC an vier Stellen des Beschleunigerrings zur Kollision gebracht: genau dort, wo sich die Detektoren befinden.

Die Teilchen fliegen als Strahlen gebündelt in gegenläufiger Richtung in zwei getrennten Strahlrohren, in denen ein ultrahohes Vakuum herrscht. Mehr als tausend Magnete unterschiedlichster Art und Größe führen die Teilchenstrahlen auf der Kreisbahn des Beschleunigers. Bevor die Teilchen bei maximaler Energie aufeinanderprallen, sorgen Magnete dafür, dass der Teilchenstrahl regelrecht zusammengedrückt wird. Damit wird die Wahrscheinlichkeit einer Kollision erhöht.

Die Spulen der Elektromagnete sind aus supraleitenden Kabeln gewickelt, durch die der Strom ohne Widerstand und damit ohne Energieverlust fließt. Dafür müssen die Magnete auf etwa -271°C heruntergekühlt werden – das ist kälter als im Weltall! Um eine stabile Kühlung zu gewährleisten, ist der Beschleuniger an ein Verteilersystem von flüssigem Helium angeschlossen.

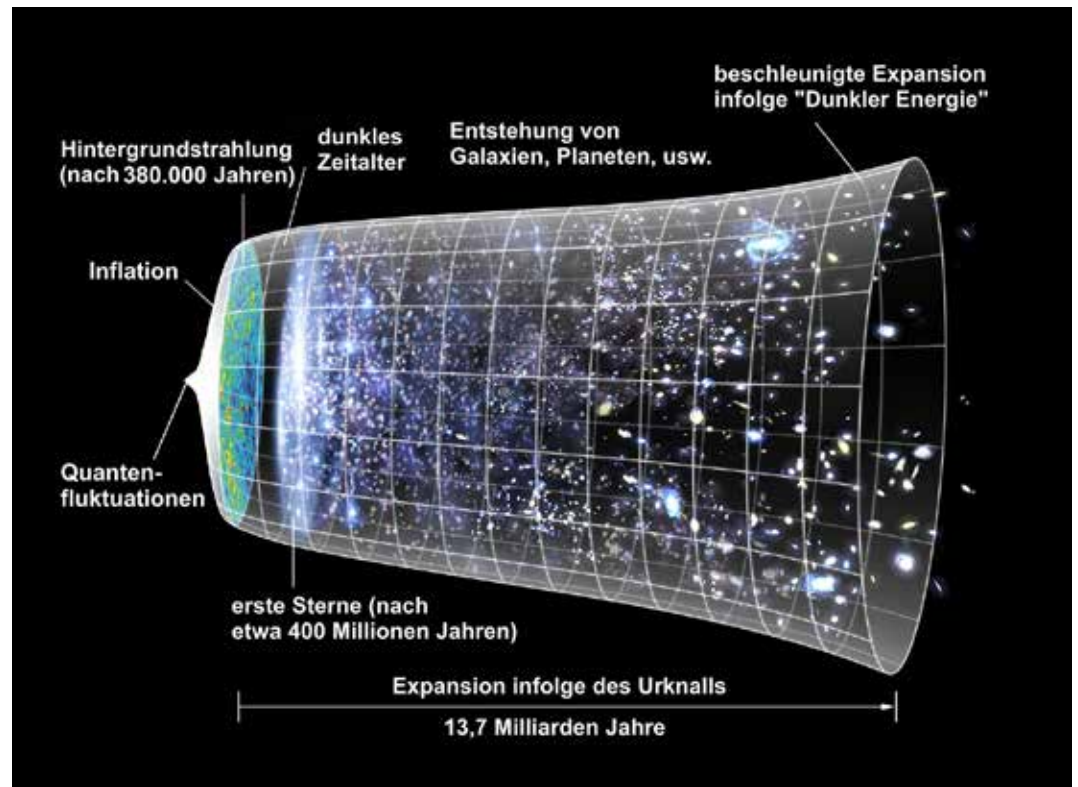
Woraus die Welt besteht und was sie zusammenhält

Egal wie gross etwas ist: Alles in unserer Welt besteht aus kleinen Teilchen, die wiederum aus noch kleineren Bausteinen bestehen. Wenn wir etwa einen Menschen einige Millionen Mal vergrösserten, sähen wir Abermilliarden von Molekülen. Diese bestehen wiederum aus Atomen. Atome haben in der Mitte einen Kern, um den herum Elektronen kreisen. Der Atomkern ist aus Protonen und Neutronen zusammengesetzt. In jedem davon stecken wiederum drei Quarks. Von diesen kleinsten Bausteinen, die bis heute entdeckt wurden, gibt es insgesamt sechs verschiedene Arten. Sie tragen seltsame Namen wie Up oder Down. Manchmal unterscheiden die Forscher sie auch einfach durch Symbole wie Dreiecke oder Herzen.

Physiker interessieren sich auch für die Kräfte, die unsere Welt zusammenhalten. Bis heute haben sie vier gefunden: Die Gravitation sorgt dafür, dass sich Körper anziehen. Sie lässt uns auf den Boden zurückfallen, wenn wir in die Luft springen. Die elektromagnetische Kraft wirkt nur auf geladene Teilchen. Sie ist etwa die Ursache dafür, dass sich in einem Atom negativ geladene Elektronen und der positiv geladene Kern anziehen.

Dadurch bekommen Dinge ihre Festigkeit. Die schwache Kernkraft lässt Atomkerne zerfallen - dieses Phänomen nennt man Radioaktivität. Die vierte Kraft ist die starke Kernkraft oder Farbkraft. Man kann sie sich als Klebstoff vorstellen, der Quarks zusammenhält. Ohne sie würden sich die Winzlinge nie zu Protonen und Neutronen verbinden.

Bis heute haben Wissenschaftler einen ganzen Zoo solcher Miniteilchen entdeckt. Sie tragen komische Namen wie Up-Quark (gesprochen: App-Kwork), Neutrino oder Myon. Aber noch immer glauben Forscher, dass sich viele Teilchen verstecken. Etwa die «Dunkle Materie», die überall im Weltall umherwabern und die Galaxien zusammenhalten soll wie unsichtbarer Klebstoff.



Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8d/Expansion_des_Universums.png

Woraus besteht das Universum?

Alles, was wir im Universum sehen, von der Ameise bis zur Galaxie, besteht aus gewöhnlichen Teilchen. Diese gewöhnliche Materie macht allerdings nur knapp fünf Prozent des Universums aus. Wissenschaftler nehmen an, dass der grosse Rest aus Dunkler Materie und Dunkler Energie besteht. Jedoch ist es sehr schwer, diese nachzuweisen und zu untersuchen. Die Erforschung der Eigenschaften von Dunkler Materie und Dunkler Energie ist gegenwärtig eine der grössten Herausforderungen für Teilchenphysik und Kosmologie. Die Experimente am LHC suchen nach so genannten supersymmetrischen Teilchen, den derzeit besten Kandidaten für die Dunkle Materie.

2) Besprecht alles, was ihr nicht verstanden habt mit eurem Physiklehrer oder eurer Physiklehrerin.

3) Diskutiert

Der Titel des Films heisst CERN und der Sinn für Schönheit?

- Was könnte Wissenschaft mit Schönheit zu tun haben?
- Was könnte mit der Redewendung: «Schönheit liegt im Auge des Betrachters» gemeint sein?
- Gibt es Gesetze oder Regeln für Schönheit zum Beispiel in der Architektur, Malerei oder Musik?

AUFGABEN UND FRAGEN FÜR DEN KINOBESUCH

Mache dir während oder kurz nach dem Film zu folgenden Fragen Notizen:

- 1) Was sind die drei zentralen Aufgaben des CERN, die in einer internationalen Konvention festgelegt wurden?

- 2) Wonach suchen die Physiker im CERN?

- 3) Welche Aussagen zu den Zusammenhängen zwischen Wissenschaft und Schönheit werden im Film gemacht?

- 4) Was verbindet Wissenschaftler und Künstler/innen?

- 5) Mit welchen Mitteln versuchen die Wissenschaftler die für uns nicht sichtbaren Dinge in der Natur darzustellen?

- 6) Wann ist für einen Wissenschaftler oder eine Wissenschaftlerin eine Gleichung oder ein Naturgesetz schön?

- 7) Haben die Forscherinnen und Forscher im CERN bei ihrem Experiment etwas Neues entdeckt?

AUFGABEN UND FRAGEN ZUR NACHBEREITUNG DES FILMS

- 1) Im Film werden verschiedene Aussagen darüber gemacht, was Schönheit ist. Erkläre mit wenigen Sätzen, welche Parallelen in diesen Aussagen zwischen Wissenschaft und Schönheit bestehen:**

* **transzendent:** Als transzendent gilt, was ausserhalb oder jenseits eines Bereiches möglicher Erfahrung, insbesondere des Bereiches der normalen Sinneswahrnehmung liegt.

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Transzendenz>

- Schönheit ist Zusammenhänge zu verstehen
- Schönheit ist gebrochene Symmetrie
- Schönheit ist Einfachheit
- Schönheit ist etwas Transzendentes*

Im Film sagt ein Wissenschaftler: «Die Natur orientiert sich bei den physikalischen Gesetzen immer an einer ästhetischen Einfachheit. Die Natur hat einen sehr ähnlichen Geschmack wie wir. Unsere Vorstellung ist ein Teil der Natur und hat die gleichen ästhetischen Kriterien, die auch die Gesetze der Physik bestimmen.»

- 2) Diskutiert: Warum empfinden wir die Natur als schön?**

- 3) Die Wissenschaftler im Film sagen, dass schöne mathematische Formeln oder Gesetze wahr oder richtig sind. Lest dazu die Artikel auf folgenden Seiten.**

- 4) Diskutiert:**

- Wie wird der Zusammenhang zwischen Wahrheit und Schönheit in den beiden Artikeln begründet?
- Welche Argumente könnten dieser Annahme entgegengesetzt werden?
- Wie versuchen Wissenschaftlerinnen, Wissenschaftler und Künstlerinnen, Künstler, die im CERN arbeiten, das Nicht-Sichtbare der Natur erfahrbar zu machen?

Ein Künstler sagt im Film: «Der Punkt, wo sich Kunst und Wissenschaft kreuzen, ist eine Art Offenbarung.»

- Gibt es noch andere Gemeinsamkeiten, die die Arbeit eines Wissenschaftlers und Künstlers verbindet?
- Worin unterscheiden sich Wissenschaft und Kunst?
- Warum ist der Mensch seit jeher bestrebt alles über die Natur und das Universum herauszufinden?

- 4) Wähle eine physikalische Entdeckung in der Menschheitsgeschichte und stelle sie den anderen vor.**

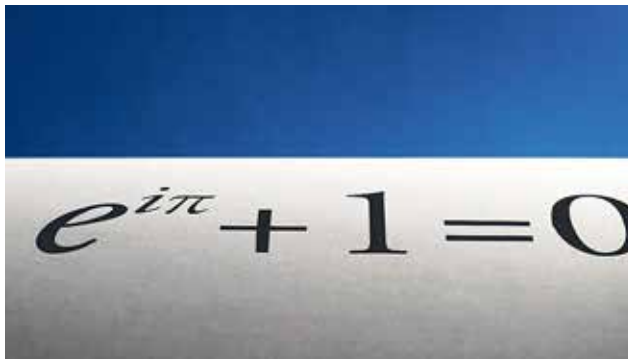
- Lege auch dar, welche Vorteile oder allenfalls Probleme sie den Menschen gebracht hat.

Siehe Seite 13 bis 16 «Physik, Zeittafel zur Geschichte» mit den wichtigsten Entdeckungen.

DER WAHRHEITSGEHALT SCHÖNER FORMELN

Mathematiker sollten sich bei ihrer Arbeit mehr von ästhetischen Gesichtspunkten leiten lassen. Das empfiehlt ein vielfach ausgezeichnete Mathematiker. Sein Argument: Schöne Formeln seien oft wahr.

von George Szpiro, Heidelberg



In diesem Punkt sind sich fast alle Mathematiker einig. Die Eulersche Identität, die fünf fundamentale Konstanten miteinander verknüpft, gehört zu den schönsten Formeln. (Bild: NZZ)

Dass im Kunstschaffen oft Mathematik anzutreffen ist, wird zum Beispiel durch Symmetrien in islamischer Kunst, Endlosschleifen in Escher-Radierungen, geometrische Abstraktionen bei Kandinsky und Mondrian oder Fraktale in den Gemälden von Jackson Pollock bestätigt. Aber mathematische Schönheit besitzt eine Dimension, die über das Visuelle hinausgeht. Sir Michael Atiyah, einer der profiliertesten Mathematiker der Gegenwart, referierte kürzlich am Heidelberger Laureaten-Forum über ästhetische Kategorien, die sich nur dem mathematisch Geschulten erschliessen.

Über den Tellerrand geschaut

Der 85-jährige, an der Universität von Edinburg wirkende Atiyah ist Träger der beiden prestigereichsten Auszeichnungen, die an Mathematiker vergeben werden, der Fields-Medaille und des Abel-Preises. Der joviale Mathematiker ruht sich jedoch keineswegs auf seinen Lorbeeren aus und ist immer noch in der Forschung aktiv, vor allem auf dem Gebiet der mathematischen Grundlagen der theoretischen Physik. Aber je älter man werde, desto mehr gerate man ins Philosophieren, sagt er, und deshalb gestatte er sich nun, über Themen nachzudenken, die bloss mittelbar mit

der Mathematik zu tun hätten. Zurzeit beschäftigt ihn die Frage, ob Schönheit in der Mathematik ein Wegweiser für die Forschung sein sollte.

Dafür beruft er sich auf Aussagen berühmter Vorgänger. Zum Beispiel war der Analytiker Karl Weierstrass (1815–1897) der Überzeugung, dass niemand ein wahrer Mathematiker sein könne, der nicht die Seele eines Poeten besitze. Und der Zahlentheoretiker Godfrey H. Hardy (1877–1944) meinte, dass unschöne Mathematik keine Daseinsberechtigung habe. Der Physiker Paul Dirac (1902–1984) wiederum behauptete, dass physikalische Gesetze mathematische Schönheit besitzen müssten. Notorisch ist eine Beteuerung des Mathematikers, Physikers und Philosophen Hermann Weyl (1885–1955), der versicherte, dass er – wenn er zwischen Wahrheit und Schönheit wählen müsste –, Letztere vorziehen würde.

Oft werde Wahrheit mit Objektivität gleichgesetzt, während Schönheit als bloss subjektiver Eindruck abgetan werde. Dies sei eine falsche Einstellung, betonte Atiyah in seinem Vortrag vor 200 Nachwuchsforschern; sogar die Beweise vermeintlich wahrer Lehrsätze stellten sich mitunter als fehlerhaft heraus. Atiyah ist überzeugt davon, dass die Berücksichtigung ästhetischer Dimensionen oft verlässlichere Hinweise für die Forschung gebe als vermeintliche Wahrheit. Ohne die Möglichkeit, Vermutungen experimentell zu verifizieren, müsse sich die Mathematik eben an anderen Kriterien messen. Die Schönheit einer Vermutung, die sich in ihrer Eleganz, Klarheit, Überschaubarkeit, Originalität und Tiefgründigkeit ausdrücke, sei der Richtungsweiser, dem Mathematiker unbedingt folgen sollten.

Als Beispiel nennt Atiyah eine mit seinem damaligen Mitarbeiter Raoul Bott ausgearbeitete Formel. Als sie diese 1984 ihren Kollegen an einer Konferenz vorlegten, kamen die Fachleute zum Schluss, die Formel müsse falsch sein, da sie Gegenbeispiele gefunden hatten. In den Augen von Atiyah und Bott war die Gleichung aber zu schön, um einfach verworfen zu werden. Sie arbeiteten weiter, und siehe da, bald stellte sich heraus, dass es die Experten waren, die sich geirrt hatten.

Erregung des Gehirns

$$\frac{1}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}}{9801} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(4k)! (1103 + 26390k)}{(k!)^4 396^{4k}}$$

Diese Formel hingegen wurde allgemein als hässlich eingestuft.

Um festzustellen, ob Mathematiker beim Betrachten von Formeln ähnliche Gefühle empfinden wie Laien bei einem Kunsterlebnis, tat sich Atiyah mit dem Neurobiologen Semir Zeki vom University College in London zusammen. Sie fragten sich, wie das Gehirn eines Mathematikers auf die Schönheit reagiert, die einer intellektuellen, abstrakten Quelle wie der Mathematik entspringt. In einem Experiment wurden 15 Mathematikern 60 Gleichungen vorgelegt, die sie nach ihrer Schönheit klassifizieren sollten. Während dieses Vorgangs waren die Testpersonen an einen Magnetresonanztomografen angeschlossen, der ihre Hirnaktivitäten analysierte. Tatsächlich stellte sich heraus, dass die Betrachtung «schöner» Gleichungen dieselben Hirnregionen anregte wie die Wahrnehmung eines schönen Bildes oder eines schönen Musikstücks.

Für den Alltag eines Mathematikers mag Atiyahs These etwas zu apodiktisch wirken. Denn nicht alles, was glitzert, ist Gold, und nicht jede ästhetisch ansprechende Vermutung ist auch wahr. In kleinerem Kreis relativierte Atiyah seine These denn auch. Auf einem Punkt beharrte er jedoch: Wenn ein Theorem mit «hässlichen» Methoden bewiesen wurde, zum Beispiel durch einen computergestützten Beweis, sollte weiter nach «schöneren» Beweisen gesucht werden. Unweigerlich würden dadurch neue Zusammenhänge aufgedeckt.

Quelle: <https://www.nzz.ch/wissenschaft/physik/der-wahrheitsgehalt-schoener-formeln-1.18394226>

SYMMETRIE UND SCHÖNHEIT – BRÜCKE ZWISCHEN WISSENSCHAFT UND KUNST?

Von Lars Jaeger

Autor, Wissenschaftler, Philosoph

Es gibt einen Begriff, der Naturwissenschaftler und Künstler zugleich bewegt und der wie kein anderer geeignet zu sein scheint, eine seltene diskursive Brücke zwischen ihren beiden Disziplinen zu schlagen. Es handelt sich um den Begriff des Schönen, im engeren Rahmen um den der «Symmetrie». Die meisten antiken und neuzeitlichen Kunstauffassungen erkennen in der Symmetrie ein wesentliches Kriterium von Schönheit. Die theoretische Physik des 20. Jahrhunderts wiederum entdeckte in ihr so etwas wie ein begründendes Prinzip.

Der Begriff leitet sich aus dem altgriechischen *symmetria* ab, eine Verbindung von *syn* (zusammen) und *métron* (das rechte Mass). Symmetrie bedeutet also Eben- oder Gleichmass. In der antiken Kunstauffassung beschrieb Symmetrie die idealen Proportionen von Längen- und Abstandsverhältnissen in Skulpturen (Bildhauerei), Bildern (Malerei) oder Gebäuden (Architektur). Ganz wie die perfekten Harmonien in der Musik sollten sich diese in entsprechenden Zahlenverhältnissen ausdrücken. Als Vorbild galt dabei der menschliche Körper. So beträgt beispielsweise das Verhältnis der Länge des Arms zum gesamten Körper ein Viertel. Und bei ausgestreckten Armen und Beinen beschreiben ihre Enden genau ein Quadrat bzw. einen Kreis mit dem Bauchnabel als Zentrum. Nicht zufällig betonte diese Erkenntnis in der Renaissance genau der Gelehrte, der bis heute als einer der grössten Künstler und Wissenschaftler in einer Person gilt: Leonardo da Vinci. Neben idealen Proportionen kannte die antike Kunst bereits zwei weitere Konzepte für Symmetrie: die Spiegelsymmetrie, wie sie in der Beziehung von linker und rechter Körperhälfte ihren Ausdruck findet, und das Gleichgewicht von Gegensätzen, wie es sich beispielsweise in der griechischen Medizin und ihrer Lehre von den Körpersäften artikulierte.

Das wesentliche Bestreben der Naturwissenschaftler hingegen ist, aus der verwirrenden Komplexität der Naturphänomene einfache Vorgänge und Strukturen herauszuarbeiten. So hegen die meisten theoretischen Physiker den tiefen Glauben, dass sich die Natur trotz der Vielfältigkeit ihrer Erscheinungen in ihrer Struktur auf fundamentaler Ebene als einfach erweist. Und in dieser Einfachheit, die ihre Entsprechung in den mathematischen Strukturen der sie beschreibenden physikalischen Theorien findet, wollen sie die wahre Schönheit der Natur erkennen. Dass dabei die Schönheit ihren Ausdruck gerade durch die Disziplin gibt, deren Grammatik viele Künstler seit je her weder beson-

ders schätzen noch beherrschen, mag ironisch erscheinen. «Einfach» ist für einen Physiker so ziemlich alles, was mathematisch exakt dargestellt werden kann. Nicht das also ist einfach, was uns die Natur unmittelbar darbietet, sondern erst müssen die Wissenschaftler das bunte Gemisch der Phänomene trennen, das Wichtige von allem unnötigen Beiwerk (wie z. B. die Reibung beim freien Fall) befreien, bis sich die «einfachen» Vorgänge zeigen. Erst dieses Einfache kann dann als «schön» erscheinen.

Am einfachsten fällt diese Trennung des «unnötigen Beiwerks» in der Astronomie (im Weltall gibt es keine Reibung), weshalb diese auch den Ausgangspunkt der wissenschaftlichen Revolution darstellte. Johannes Kepler war so begeistert von der Schönheit und Einfachheit der Himmelsbewegungen, die sich für ihn zuletzt in seinen Gesetzen von der Planetenbewegung offenbarte, dass er in ihnen höchste göttliche Prinzipien sah. Und Newton verschaffte der Physik nicht nur die Mathematik, mit der sich die Planetenbewegung konkret berechnen lässt, sondern er gab auch der von Galilei noch recht wagemutig ausgesprochenen Ansicht, dass «das Buch der Natur in der Sprache der Mathematik geschrieben ist», erst ihre eigentliche Berechtigung (und der Wissenschaft damit den Anspruch, alles Naturgeschehen ableiten und berechnen zu können, ein Anspruch, den sie bis heute in der einen oder anderen Form aufrecht erhält und der sie zur einflussreichsten gesellschaftlichen und intellektuellen Kraft der Moderne machen sollte). Nicht weniger war Einstein bewegt von der in der mathematischen Struktur der Naturgesetze zum Ausdruck kommenden Stringenz und Erhabenheit. Seine allgemeine Relativitätstheorie, die das Phänomen der Gravitation in eine wunderbare geometrische Formulierung brachte, gilt bis heute als eine der erhebensten und schönsten Theorien der Natur. In das gleiche Horn stösst Heisenberg: «Die endgültige Theorie der Materie wird ähnlich wie bei Platon durch eine Reihe von wichtigen Symmetrieforderungen charakterisiert sein.» Doch sind diese Symmetrien nun nicht mehr unbedingt anschaulich, wie er weiter ausführt: «Diese Symmetrien kann man nicht mehr einfach durch Figuren und Bilder erläutern, so wie es bei platonischen Körpern möglich war, wohl aber durch Gleichungen.»

Wie Heisenberg uns bereits andeutet, ist der Symmetriebegriff der Naturwissenschaften ein anderer als in der Kunst. Hier geht es weniger um Proportionen oder Gleichgewichte als vielmehr um Ordnung und Struktur. In der mathema-

tischen Erfassung der Natur beschreibt Symmetrie einen wichtigen Aspekt bei der Charakterisierung der Struktur und Dynamik von natürlichen Objekten. Ein Beispiel ist die Klassifikation von Kristallen, wie sie im 18. Jahrhundert ihren Anfang und im 19. Jahrhundert ihren Abschluss fand. Die Symmetrien von Kristallformen zeigen sich darin, dass Drehungen um bestimmte Winkel (und Achsen) ihre Erscheinung nicht verändern. So sind, wie bereits Kepler feststellte, Schneekristalle bei aller ihrer Individualität immer symmetrisch wie ein Sechseck (der Grund ist die besondere Form des Wassermoleküls). Der Einfluss der Kristallographie war auch deutlich erkennbar, als im 19. Jahrhundert ein verallgemeinerter mathematischer Begriff von Symmetrie entwickelt wurde: Invarianz gegenüber Transformationen. Darin wird eine Struktur als symmetrisch angesehen, wenn bestimmte Drehungen sie wieder in die gleiche Form überführen.

Ganz wie die Drehungen von Körpern lassen sich auch algebraische Gleichungen, Differenzialgleichungen und allgemeine geometrische Strukturen durch Transformationen charakterisieren, die sie invariant lassen. Daraus entwickelten die Mathematiker im 19. Jahrhundert unter Führung des Franzosen Évariste Galois (für algebraische Gleichungen) und des Norwegers Sophus Lie (für Differenzialgleichungen und allgemeine geometrische Strukturen) eine ganz neue mathematische Disziplin, die dem Schema der Kristallographie folgte (und nachweisbar von ihr beeinflusst war): die Gruppentheorie. Es war die Übertragung von einer konkreten geometrischen auf eine abstrakte algebraische Struktur, die Symmetrie zu einem ‚Urprinzip‘ der Physik machen sollte.

Die wohl beeindruckendste Mathematikerin des 20. Jahrhunderts sollte dem Streben der Physiker nach Symmetrie schliesslich eine stringente mathematische Form geben: Im Jahr 1918 formulierte Emmy Noether ein Theorem, das als «Noether Theorem» bekannt werden sollte. Es verknüpft elementare physikalische Grössen (wie Energie, Impuls, Drehimpuls, Ladung, Spin) mit algebraisch-geometrischen Symmetrien, nämlich der Invarianz physikalischer Grundgleichungen unter bestimmten (Symmetrie-)Transformationen. So beruht beispielsweise der Satz von der Energieerhaltung auf der Eigenschaft des Newton'schen Gesetzes der klassischen Mechanik (wie auch der Schrödinger-Gleichung der Quantenmechanik und allen anderen heute akzeptierten physikalischen Gleichungen), bei einer Verschiebung auf den Zeitachse ihre Form nicht zu verändern. Mit anderen Worten: Aus der Tatsache, dass sich die Naturgesetze von heute auf morgen nicht verändern, ergibt sich der Gesetz von der Energieerhaltung. Umgekehrt muss

bei Vorliegen einer Erhaltungsgrösse die zugrunde liegende Theorie eine bestimmte Symmetrie aufweisen. Ein erstaunlicher Zusammenhang. Dabei können in der modernen theoretischen Physik Symmetrietransformationen sehr viel abstrakter ausfallen als einfache zeitliche Verschiebungen. So ergeben sich aus nur sehr wenig anschaulichen Symmetrien in den abstrakten Räumen der Quantenfeldtheorien Dinge wie die acht Gluonen der starken Kernkraft oder auch die Existenz von zwei fundamental verschiedenen Sorten von Quantenteilchen (Bosonen und Fermionen). Das Noether-Theorem wurde im Verlauf des 20. Jahrhunderts zu einer der wichtigsten Grundlagen der theoretischen Physik.

Der «Glaube» der Wissenschaftler ist ein tiefes Vertrauen in das Schöne in der Natur im Allgemeinen und die Symmetrie ihrer Gesetze im Besondern. Damit erweisen sie sich als ästhetisch empfindsame Menschen. Auch wenn der Begriff von «einfach» in der modernen theoretischen Physik ein etwas anderer als der umgangssprachliche und die ihr zugrunde liegende Mathematik hochgradig abstrakt ist, so zeichnen sich ihre Theorien und Gesetze nichtsdestotrotz durch eine wunderschöne Konsistenz und Symmetrie aus. Symmetrie ist damit nichts weniger als die *conditio sine qua non* einer jeden physikalischen Theorie. Als erster und wohl am radikalsten artikulierte diesen Glauben der theoretische Physiker Paul Dirac (und ungewollt wohl auch die damit zusammenhängende Problematik): «Es ist wichtiger, Schönheit in seinen Gleichungen zu haben als Übereinstimmung mit dem Experiment». Gerade die von ihm auf der Basis rein theoretischer Symmetrieüberlegungen hergeleitete Vereinigung von Quantenmechanik und spezieller Relativitätstheorie in der so genannten «Dirac-Gleichung» gilt bis heute als eines der beeindruckendsten Beispiele von mathematischer Eleganz und Schönheit in der Physik. Aus ihr folgen zahlreiche erstaunliche und unterdessen ausnahmslos empirisch validierte Vorhersagen, wie beispielsweise die Existenz von Antimaterie. Und auch die Existenz des bekannten Higgs-Teilchens wurde von den Physikern auf der Grundlage von Symmetrie-Überlegungen bereits in der 1960er Jahren postuliert. Sie waren sich ihrer Theorie und damit der Existenz dieses ominösen Teilchens sogar derart sicher, dass sie bereit waren, ein halbes Jahrhundert Jahre auf seiner experimentellen Detektion zu warten (die schliesslich am 4. Juli 2012 verkündet wurde).

Doch besitzt das Verlangen der Physiker nach Symmetrie nicht vielleicht auch wahrnehmungs- oder motivationspsychologische Ursprünge? Physikern wie Dirac ist sicher nicht entgangen, dass sie Symmetrie zu etwas nahezu Metaphysischem stilisieren, in philosophischer Terminologie: zu einem «Prinzip des wahren Seienden». Sie stützen

sich dabei auf ein Argumentationsgefüge, das durchaus Ähnlichkeiten mit dem der mittelalterlichen Scholastik besitzt: Symmetrie ist wahr, weil sie das Prinzip des Seienden ist, und dies einfach, weil sie schön ist. Hier stellt sich unwillkürlich die Frage, ob eine solche «epistemische Einfachheit», wie sie in der Symmetrieforderung der nach Erkenntnis strebenden Physiker ihren Ausdruck findet, das alleinige Gütekriterium einer wissenschaftlichen Theorie oder gar Ideal der Wissenschaft sein kann. So offenbart sich die ganze Problematik einer Haltung, wie sie in Diracs Worten ihren Ausdruck findet: Sie erklärt «schöne» Theorien a priori als immun und appelliert, an ihnen trotz möglicher experimenteller Widerlegung festzuhalten, alleine aufgrund ihrer Einfachheit und Symmetrie. In der heutigen Diskussion unter theoretischen Physiker um die Supersymmetrie (SUSY) und supersymmetrische Quantenfeldtheorien findet diese Frage eine sehr aktuelle Brisanz. Denn trotz grösster Bemühungen und Aufwendungen haben die Physiker bis heute nicht das geringste Zeichen eines experimentellen Nachweises für die mit ihr verbundenen, so genannten SUSY-Teilchen gefunden. Sie müssen mit immer neuen Erklärungen aufwarten, um diese Nullergebnisse mit ihrer Theorie zu vereinbaren. Das Ganze erinnert doch eher an die immer weitergehende Flickschusterei im Ptolemäischen Weltbild im Mittelalter, um dieses mit den mit der Zeit immer zahlreicher gewordenen widersprechenden Beobachtungen in Einklang zu bringen.

Doch wer einmal erfasst hat, wie elegant und nahezu wunderbar sich eine mathematische Struktur bei der Erfassung der Natur darstellen kann, der kommt aus dem Staunen kaum mehr heraus. Was anderes als das Gefühl unbeschreiblicher Hochstimmung muss Einstein gefühlt haben, als er zuletzt merkte, dass seine Gleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie die richtigen mathematischen Eigenschaften (die «Kovarianz») hatten und zugleich alle die Gravitation betreffenden Phänomene, inkl. der bisher unerklärten wie der Perihel-Drehung des Merkurs, exakt beschreiben. Ein solches Gefühl beschreibt auch Heisenberg in seiner Autobiographie «Der Teil und das Ganze». Er beschrieb sein Empfinden just in dem Moment, als sich ihm mit einem Male in den Zeichen auf dem Blatt Papier Bedeutung offenbarte und er die Grundgesetze der Atome erkannte:

Im ersten Augenblick war ich zutiefst erschrocken. Ich hatte das Gefühl, durch die Oberfläche der atomaren Erscheinungen hindurch auf einen tief darunter liegenden Grund von merkwürdiger innerer Schönheit zu schauen, und es wurde mir fast schwindelig bei dem Gedanken, dass ich nun dieser Fülle von mathematischen Strukturen nachge-

hen sollte, die die Natur dort unten vor mir ausgebreitet hatte.

Doch schon Kant zeigte auf, dass in der Befriedigung menschlicher ästhetischer Bedürfnisse ein grundlegender Unterscheid zu unseren Erkenntnisbedürfnissen liegt, wie sie in der Wissenschaft ihren Ausdruck finden. Die Frage, ob die mathematischen Strukturen der Naturgesetze mit ihren Symmetrien einen von uns unabhängigen ontologischen Status besitzen, oder ob diese Symmetrien nur die Bedingung der Möglichkeit unserer Erfahrung darstellen, bestimmt die gesamte (späte) Kantische Philosophie. Sie hat bis heute nichts an Relevanz und Brisanz verloren.

Inwiefern lässt sich dann das Streben der modernen Wissenschaft (insbesondere der Physik) nach Symmetrie noch mit der Suche nach Schönheit in der Kunst vergleichen? In der bildenden Kunst mangelt es eher an mathematischen Symmetrieelementen. Sie dienen hier kaum als Kriterium für Schönheit oder gar als ästhetisches Ideal. So gelten regelmässige geometrische Körper in Bildern und Skulpturen eher als uninteressant. Vielmehr begreifen Künstler ihre Werke in ihrer Einzigartigkeit erst durch Symmetrie- und Ordnungsbrüche. Das ästhetische Empfinden der Wissenschaftler ist also durch ein extremes Bedürfnis nach Ordnung und Einfachheit bestimmt, wie es in der Kunst kaum eine Entsprechung findet. Wie steht es dann aber mit den Verbindungen zwischen Kunst und Wissenschaft? Wenn es in der Wissenschaft bei Symmetrien eher um epistemische Motivation als um ontologische Substanzhaftigkeit geht, dann stellt Schönheit im Sinne der mathematischen Symmetrie zwar ein wichtiges wissenschaftliches Wahrheitskriterium dar, ist aber eben hauptsächlich eine wichtige Antriebsquelle und ein heuristisches Mittel der wissenschaftlichen Forschung. Als solches muss sie sich zuletzt eben doch am Experiment und der Erfahrung messen lassen. Daher sind sowohl Kunst als auch Wissenschaft als kreative menschliche Tätigkeiten jeweils auf ihre eigene Art auf das Streben nach Schönheit angewiesen. Zumindest dies sollte eine gewisse Brücke zwischen ihnen darstellen.

Quelle: https://www.huffingtonpost.de/lars-jaeger/symmetrie-und-schonheit_b_15196718.html

PHYSIK: ZEITAFEL ZUR GESCHICHTE

V. CHR.

- um 600 v. Chr. Eigenschaften des geriebenen Bernsteins bekannt (Thales von Milet)
- um 500 v. Chr. Saitenlängen stehen bei harmonischen Intervallen in einem rationalen Verhältnis (Pythagoras)
- um 400 v. Chr. Körper bestehen aus Atomen (Demokrit)
- 250 v. Chr. Mechanische Maschinen und Hebelgesetz (Archimedes)

N. CHR.

- 1589 Begründung der modernen Physik (G. Galilei)
- 1649 Luftpumpe (O. von Guericke)
- 1687 Klassische Mechanik (I. Newton)
- 1690 Wellentheorie des Lichts (Huygens'sches Prinzip; C. Huygens)
- 1789 Entdeckung der Elektrizität (L. Galvani)
- 1796 Theorie des elektrischen Stroms (A. Volta)
- 1808 Wissenschaftliche Atomtheorie (J. Dalton)
- 1815 Entdeckung der Fraunhofer'schen Linien (J. Fraunhofer)
- 1820 Elektromagnetismus (H. C. Oersted); Gesetze für das Aufeinanderwirken zweier Stromkreise (A. M. Ampère)
- 1826 Ohm'sches Gesetz (G. S. Ohm)
- 1831 Elektromagnetische Induktion; Selbstinduktion (1835); Nahwirkungstheorie, Diamagnetismus (1845; M. Faraday)
- 1842 Prinzip von der Erhaltung der Energie (J. R. Mayer)
- 1847 Allgemeingültigkeit des Energieerhaltungssatzes (H. von Helmholtz)
- 1859 Spektralanalyse (R. W. Bunsen u. C. R. Kirchhoff)
- 1862 Elektromagnetische Lichttheorie (J. C. Maxwell)
- 1886 Nachweis der elektromagnetischen Wellen (H. Hertz)
- 1895 Röntgenstrahlen (W. C. Röntgen)
- 1896 Radioaktive Strahlung (H. Becquerel)
- 1897 Elektron (J. J. Thomson)
- 1898 Entdeckung der radioaktiven Elemente Polonium und Radium (P. und M. Curie)
- 1900 Quantentheorie (M. Planck)
- 1905 Spezielle Relativitätstheorie (A. Einstein); Photon (A. Einstein)
- 1906 Dritter Hauptsatz der Thermodynamik vermutet (W. Nernst)
- 1911 Rutherford'sches Atommodell (E. Rutherford); Supraleitung (H. Kammerlingh Onnes)
- 1913 Bohr'sches Atommodell (N. Bohr)
- 1915 Allgemeine Relativitätstheorie (A. Einstein)
- 1919 Erste künstliche Atomumwandlung (E. Rutherford)
- 1924 Theorie von der Wellennatur der Materie (L. V. de Broglie)
- 1925 Quantenmechanik (W. Heisenberg); Ausschließungsprinzip (W. Pauli)
- 1926 Wellenmechanik (E. Schrödinger)
- 1927 Unschärferelation (W. Heisenberg)
- 1928 Quantentheorie der Strahlung (P. Dirac)
- 1929 Zyklotron (O. Lawrence)
- 1932 Entdeckung des Neutrons (J. Chadwick); Nachweis des Positrons (C. D. Anderson); Theorie über den Aufbau der Atomkerne (W. Heisenberg); Entdeckung des Deuteriums (H. C. Urey)
- 1934 Künstliche Herstellung radioaktiver Stoffe (I. Curie und F. Joliot-Curie)
- 1938 Spaltung des Urankerns (U 235) mittels Neutronenbeschuss (O. Hahn u. F. Straßmann)
- 1942 Erster Kernreaktor (E. Fermi)
- 1948 Entdeckung des Transistoreffekts (J. Bardeen, W. Brattain)
- 1949 Schalenmodell des Atomkerns (M. Goeppert-Mayer und H. D. Jensen)
- 1955 Entdeckung des Antiprotons (S. Segrè, O. Chamberlain, C. Wiegand, T. Ypsilantis)
- 1956 Antineutrino (C. Cowan, F. Reines)
- 1957 Theorie der Supraleitung (J. Bardeen, L. Cooper, R. Schrieffer); Verletzung des Satzes von der Erhaltung der Parität (T. Lee, C. Yang)
- 1958 Heisenberg'sche Weltformel; rückstoßfreie Kernresonanz (R. Mößbauer); Maser- und Lasertheorie (C. Townes, N. G. Basow und A. M. Prochorow)

- 1962 Josephson-Effekt (B. Josephson)
- 1964 Omega-minus-Teilchen nachgewiesen (Brookhaven National Laboratory); Quarkhypothese (M. Gell-Mann, G. Zweig)
- 1967 Theoretische Vereinigung der schwachen und elektromagnetischen Wechselwirkung (S. Glashow, S. Weinberg, A. Salam)
- 1973 Z-Teilchen (CERN)
- 1976 Charm-Quark nachgewiesen (DESY)
- 1977 Y-Teilchen (Fermi Laboratorium)
- 1980 Quantisierter Hall-Effekt (K. von Klitzing)
- 1981 Element 107 (Gesellschaft für Schwerionenforschung)
- 1982 Element 109 (Gesellschaft für Schwerionenforschung)
- 1983 Nachweis der Austauschteilchen für die schwache Wechselwirkung (C. Rubbia)
- 1984 Element 108 (Hassium) nachgewiesen (Gesellschaft für Schwerionenforschung)
- 1986 Hochtemperatur-Supraleiter (K. A. Müller und J. G. Bednorz)
- 1989 Existenz von nur drei Quark-Familien nachgewiesen (CERN, SLAC)
- 1994 Nachweis des Top-Quarks (Fermilab)
- 1995 Synthese von Antiwasserstoff (CERN)
- 1996 Element 112 nachgewiesen (Gesellschaft für Schwerionenforschung)
- 1997 Bau des ersten funktionsfähigen Atomlasers (MIT)
- 1998 Experimenteller Hinweis auf Neutrino-Oszillation (Super-Kamiokande-Experiment)
- 1999 Experimenteller Nachweis von Supersymmetrie in Atomkernen
- 2000 Erster direkter Nachweis des Tau-Neutrinos (Fermilab)
- 2002 Erste Beobachtung von Quantenzuständen ultrakalter Neutronen im Gravitationsfeld der Erde (Institut Laue-Langevin)
- 2003 Erster Nachweis eines Pentaquark-Teilchens aus 5 Quarks
- 2004 Erste Beobachtung eines Fermionen-Kondensats (D. Jin u. a.)
- 2006 Erste Messung der Materie-Antimaterie-Oszillation von Bs-Mesonen (Fermilab)
- 2007 Nachweis des Quanten-Hall-Effekts bei Raumtemperatur in sehr starken Magnetfeldern (H. Störmer u. a.)
- 2009 Experimenteller Nachweis einer abstoßenden Casimir-Lifschitz-Kraft (F. Capasso u. a.)
- 2010 Nachweis der Umwandlung vom Myon- zum Tau-Neutrino (CERN)

NOBELPREIS: PHYSIK

Jahr Preisträger

- 1901 W. Röntgen (Deutschland)
- 1902 H. A. Lorentz, P. Zeemann (Niederlande)
- 1903 A. H. Becquerel, P. und M. Curie (Frankreich)
- 1904 Lord J. W. S. Rayleigh (Großbritannien)
- 1905 P. Lenard (Deutschland)
- 1906 J. J. Thomson (Großbritannien)
- 1907 A. A. Michelson (USA)
- 1908 G. Lippmann (Frankreich)
- 1909 G. Marconi (Italien), F. Braun (Deutschland)
- 1910 J. D. van der Waals (Niederlande)
- 1911 W. Wien (Deutschland)
- 1912 G. Dalén (Schweden)
- 1913 H. Kamerlingh-Onnes (Niederlande)
- 1914 M. von Laue (Deutschland)
- 1915 H. W. Bragg, W. L. Bragg (Großbritannien)
- 1916 –
- 1917 C. G. Barkla (Großbritannien)
- 1918 M. Planck (Deutschland)
- 1919 J. Stark (Deutschland)
- 1920 C. E. Guillaume (Frankreich)
- 1921 A. Einstein (Deutschland)
- 1922 N. Bohr (Dänemark)
- 1923 R. A. Millikan (USA)
- 1924 K. M. Siegbahn (Schweden)
- 1925 J. Franck, G. Hertz (Deutschland)

- 1926 J. Perrin (Frankreich)
1927 A. H. Compton (USA), C. T. R. Wilson (Großbritannien)
1928 O. W. Richardson (Großbritannien)
1929 L. V. de Broglie (Frankreich)
1930 C. v. Raman (Indien)
1931 –
1932 W. Heisenberg (Deutschland)
1933 E. Schrödinger (Österreich), P. A. M. Dirac (Großbritannien)
1934 –
1935 J. Chadwick (Großbritannien)
1936 C. C. Anderson (USA), V. F. Heß (Österreich)
1937 C. J. Davisson (USA), G. P. Thomson (Großbritannien)
1938 E. Fermi (Italien)
1939 E. O. Lawrence (USA)
1943 O. Stern (USA)
1944 I. I. Rabi (USA)
1945 W. Pauli (Österreich)
1946 P. W. Bridgman (USA)
1947 E. V. Appleton (Großbritannien)
1948 P. M. S. Blackett (Großbritannien)
1949 H. Yukawa (Japan)
1950 C. F. Powell (Großbritannien)
1951 J. D. Cockcroft (Großbritannien), E. T. F. Walton (Irland)
1952 F. Bloch, E. M. Purcell (USA)
1953 F. Zernike (Niederlande)
1954 M. Born, W. Bothe (BR Deutschland)
1955 W. E. Lamb, P. Kusch (USA)
1956 W. Shockley, J. Bardeen, H. Brattain (USA)
1957 Tsung Dao Lee, Cheng Ning Yang (USA)
1958 P. A. Tscherenkow, I. M. Frank, I. Tamm (UdSSR)
1959 E. Segré, O. Chamberlain (USA)
1960 D. Glaser (USA)
1961 R. Hofstadter (USA), R. L. Mößbauer (BR Deutschland)
1962 L. D. Landau (UdSSR)
1963 E. P. Wigner, M. Goepfert-Mayer (USA), H. D. Jensen (BR Deutschland)
1964 C. H. Townes (USA), N. Bassow, A. Prochorow (UdSSR)
1965 S. Tomonaga (Japan), R. P. Feynman, J. S. Schwinger (USA)
1966 A. Kastler (Frankreich)
1967 H. A. Bethe (USA)
1968 L. W. Alvarez (USA)
1969 M. Gell-Mann (USA)
1970 H. Alfvén (Schweden), L. Néel (Frankreich)
1971 D. Gabor (Großbritannien)
1972 J. Bardeen, L. Cooper, R. Schrieffer (USA)
1973 B. D. Josephson (Großbritannien), L. Esaki, J. Giaever (USA)
1974 M. Ryle, A. Hewish (Großbritannien)
1975 A. Bohr, B. Mottelson (Dänemark), J. Rainwater (USA)
1976 B. Richter, S. Ting (USA)
1977 P. Anderson, J. van Vleck (USA), N. Mott (Großbritannien)
1978 P. Kapiza (UdSSR), A. Penzias, R. Wilson (USA)
1979 H. Glashow, S. Weinberg (USA), A. Salam (Pakistan)
1980 J. W. Cronin, V. L. Fitch (USA)
1981 N. Bloembergen, A. L. Schawlow (USA), K. M. Siegbahn (Schweden)
1982 K. G. Wilson (USA)
1983 S. Chandrasekhar, W. Fowler (USA)
1984 C. Rubbia (Italien), S. van der Meer (Niederlande)

- 1985 K. von Klitzing (BR Deutschland)
1986 R. Ruska, G. Binnig (BR Deutschland), H. Rohrer (Schweiz)
1987 J. G. Bednorz (BR Deutschland), K. A. Müller (Schweiz)
1988 L. Lederman, M. Schwartz, J. Steinberger (USA)
1989 W. Paul (BR Deutschland), H. G. Dehmelt, N. F. Ramsey (USA)
1990 J. I. Friedman, H. W. Kendall (USA), R. E. Taylor (Kanada)
1991 P.-G. de Gennes (Frankreich)
1992 G. Charpak (Frankreich)
1993 J. H. Taylor, R. H. Hulse (USA)
1994 B. Brockhouse (Kanada), C. Shull (USA)
1995 F. Reines, M. L. Perl (USA)
1996 D. M. Lee, R. C. Richardson, D. D. Osheroff (USA)
1997 C. Cohen-Tannoudji (Frankreich), S. Chu, W. D. Phillips (USA)
1998 R. B. Laughlin, D. C. Tsui (USA), H. L. Störmer (Deutschland)
1999 G. van't Hooft, M. Veltman (Niederlande)
2000 S. I. Alferow (Weißrussland), J. Kilby (USA), H. Kroemer (Deutschland)
2001 E. A. Cornell, C. E. Wieman (USA), W. Ketterle (Deutschland)
2002 R. Davis Jr., R. Giacconi (USA), M. Koshiya (Japan)
2003 A. A. Abrikosov (Russland/USA), V. L. Ginzburg (Russland), A. J. Leggett (Grossbritannien/USA)
2004 D. J. Gross, H. D. Politzer, F. A. Wilczek (USA)
2005 R. J. Glauber, J. L. Hall (USA), T. W. Hänsch (Deutschland)
2006 J. C. Mather, G. F. Smoot (USA)
2007 A. Fert (Frankreich), P. Grünberg (Deutschland)
2008 Y. Nambu (USA), M. Kobayashi (Japan), T. Maskawa (Japan)
2009 W. S. Boyle (Kanada/USA), C. Kao (Großbritannien/USA), G. E. Smith (USA)
2010 A. Geim (Niederlande), K. S. Novoselov (Russland/Großbritannien)
2011 S. Perlmutter (USA), B. P. Schmidt (USA/Australien), A. G. Riess (USA)
2012 A. E. Roth (USA), L. S. Shepley (USA)

