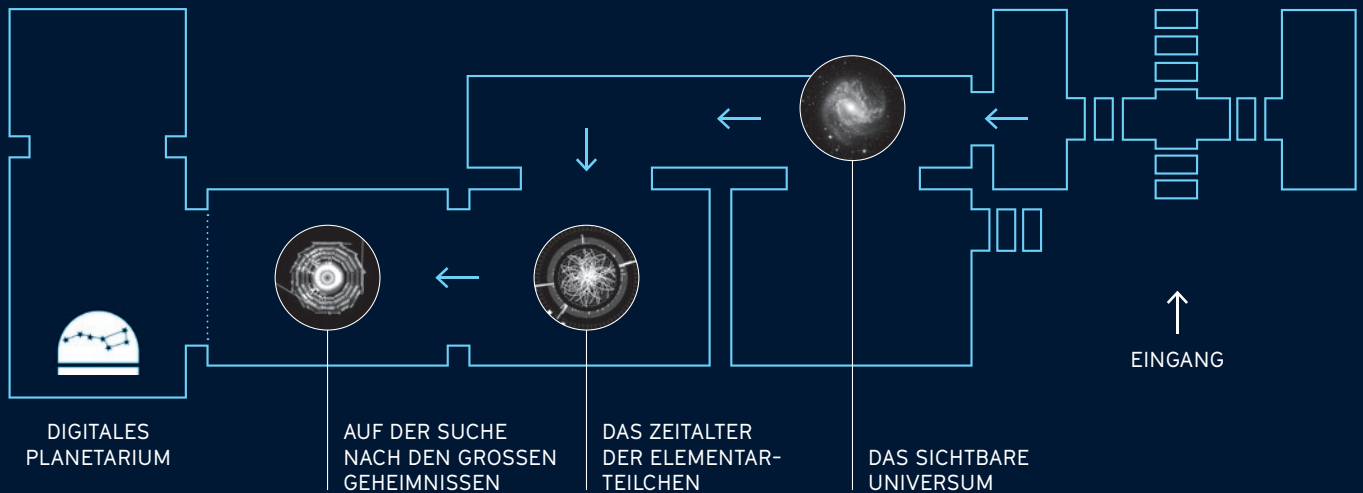


WIE ALLES BEGANN VON GALAXIEN, QUARKS UND KOLLISIONEN





IMPRESSUM AUSSTELLUNG

Ausstellungsleitung HEPHY
Univ.-Prof. Dipl.-Phys. Dr. Jochen Schieck

Projektmanagement & Redaktion HEPHY
Mag.^a Brigitte De Monte, HEPHY

Koordination
Mag. Bertram Schütz, Science Communications

Kuratierung und Konzeption Teilchenphysik
DI Dr. Marko Dragicevic, HEPHY
DI Dr. Helmut Eberl, HEPHY
Univ.-Doz. Dr. Wolfgang Lucha, HEPHY
Dr. Josef Pradler, HEPHY

Kurator Astronomie
Univ.-Prof. Dr. Franz Kerschbaum, Univ. Wien

Kuratorin Kunst
Dr.^a Sárolta Schredl

Ausstellungsarchitektur & Gestaltung
Mag. arch. Martin Kohlbauer
DI Carl Auböck

Ausstellungsleitung NHM Wien
Univ.-Prof. Dr. Christian Köberl

Ausstellungskonzeption, Szenografie & Produktion
Dr. Reinhard Golebiowski, NHM Wien

Ausstellungstexte & Vermittlung
Mag.^a Agnes Mair, NHM Wien

Lektorat & Übersetzung
Mag.^a Brigitta Schmid MSc, NHM Wien

Sekretariat
Carina Österreicher, NHM Wien

Grafik
Kriemhild Repp, NHM Wien
Josef Muhsil-Schamall, NHM Wien

Ausstellungs-, Licht- und Medientechnik
Ing. Walter Hamp, NHM Wien
Michael Reynier, NHM Wien

Ausstellungsbau
Fritz Österreicher, NHM Wien
Leopold Österreicher, NHM Wien
Oliver Altenburger, NHM Wien
Thomas Maier, NHM Wien

Presse- & Öffentlichkeitsarbeit
Mag.^a Irina Kubadinow, NHM Wien
Mag.^a Verena Randolf, NHM Wien
Kurt Kracher, NHM Wien

Künstlerische Beiträge
Kurt Hofstetter (Installation „SUSyS Fingerprint“)
Brigitte Kowanz (Lichtintervention „Der Nullpunkt von Raum und Zeit“)
Eva Schlegel, Barbara Imhof & Damjan Minovski (Rauminstallation „Nebel im Kosmos“)
Manfred Wakolbinger (Video- und Soundinstallation „Galaxies“)

Beiträge Art@CMS
Michael Hoch (Fotocollagen „The Godparticle Huntingmaschine“)
Chris Henschke (Video- und Soundinstallation „Nature of the Apparatus“)

IMPRESSUM PUBLIKATION

Diese Publikation erscheint anlässlich der Ausstellung „WIE ALLES BEGANN. Von Galaxien, Quarks und Kollisionen“.

Konzept & Redaktion
Mag.^a Brigitte De Monte, HEPHY
Mag. Bertram Schütz, Science Communications

Grafik Design
Dipl.-Des.ⁱⁿ Juliane Sonntag

Illustrationen (soweit nicht anders angegeben)
Kriemhild Repp, NHM Wien

Herausgeber
Verlag des Naturhistorischen Museums Wien und Institut für Hochenergiephysik der ÖAW

© 2016 Naturhistorisches Museum Wien und Institut für Hochenergiephysik

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten.

ISBN 978-3-903096-12-7

VORWORT



Univ.-Prof. Dr. Christian Köberl
Generaldirektor Naturhistorisches
Museum Wien



Univ.-Prof. Dr. Jochen Schieck
Direktor Institut für Hochenergie-
physik der ÖAW

Wir leben in einer faszinierenden Zeit! Neue Entdeckungen und Erkenntnisse haben unser Verständnis vom Ursprung und der Beschaffenheit des Universums grundlegend verändert und erweitert. Beispielsweise haben der experimentelle Nachweis des Higgs-Teilchens am CERN (2012) oder die Entdeckung der Gravitationswellen (2015) – die Bestätigung Einsteins großer Theorie – eine neue Ära sowohl in der Teilchenphysik als auch in der Astrophysik eingeleitet. Die Suche nach weiteren entscheidenden Bausteinen, die erklären, woraus unser Universum besteht und wohin es sich entwickeln wird, geht weiter.

Für das Naturhistorische Museum Wien (NHM Wien) sind die wissenschaftlichen Durchbrüche der letzten Jahre ein erfreulicher Anlass, gemeinsam mit dem Institut für Hochenergiephysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, das heuer sein 50-jähriges Bestehen feiert, eine Ausstellung zur Entstehung und Entwicklung des Universums zu gestalten. Damit setzt das NHM Wien seinen erfolgreichen Weg fort, das klassische Ausstellungsspektrum durch aktuelle naturwissenschaftliche Themen zu ergänzen.

Mit faszinierenden Bildern, spannenden Wissenschaftsexponaten, interaktiven Stationen und begehbaren Kunstinstallationen unternimmt die Ausstellung „Wie alles begann. Von Galaxien, Quarks und Kollisionen“ eine einzigartige Reise vom Anfang bis zum vermeintlichen Ende unseres Universums.

Dabei werden jene Fragen thematisiert und teilweise beantwortet, die die Menschheit seit Jahrhunderten beschäftigen und die uns oft an die Grenzen unseres Wissens und unseres Vorstellungsvermögens führen. Neueste wissenschaftliche Erkenntnisse der Teilchenphysik, der Astronomie und der Kosmologie werden in der Ausstellung anhand von faszinierenden Aufnahmen, beeindruckenden Grafiken und spannenden Exponaten veranschaulicht.

Unterstützt wurden wir dabei von renommierten Kollegen aus der Astrophysik und der Teilchenphysik, die als wissenschaftliche Kuratoren den aktuellen Forschungsstand in die Ausstellung eingebracht haben.

Es freut uns auch sehr, dass wir für die Mitwirkung herausragende österreichische Künstlerinnen und Künstlern gewinnen konnten, die ihre Sichtweisen und Positionen zu diesem Thema eingebracht haben. Gezeigt werden die Installationen „Galaxies“ von Manfred Wakolbinger und „Nebel im Kosmos“ von Eva Schlegel, Barbara Imhof & Damian Minovski, eine Lichtinstallation zum „Urknall“ von Brigitte Kowanz sowie eine Interpretation der Supersymmetrie von Kurt Hofstetter. Daneben werden auch künstlerische Arbeiten von Michael Hoch und Chris Hentschke präsentiert, die inspiriert vom CMS-Experiment am CERN entstanden sind.

Unser Dank gilt natürlich auch allen Kooperationspartnern und Partnerinnen, die wesentlich zur Realisierung dieser Ausstellung beigetragen haben.

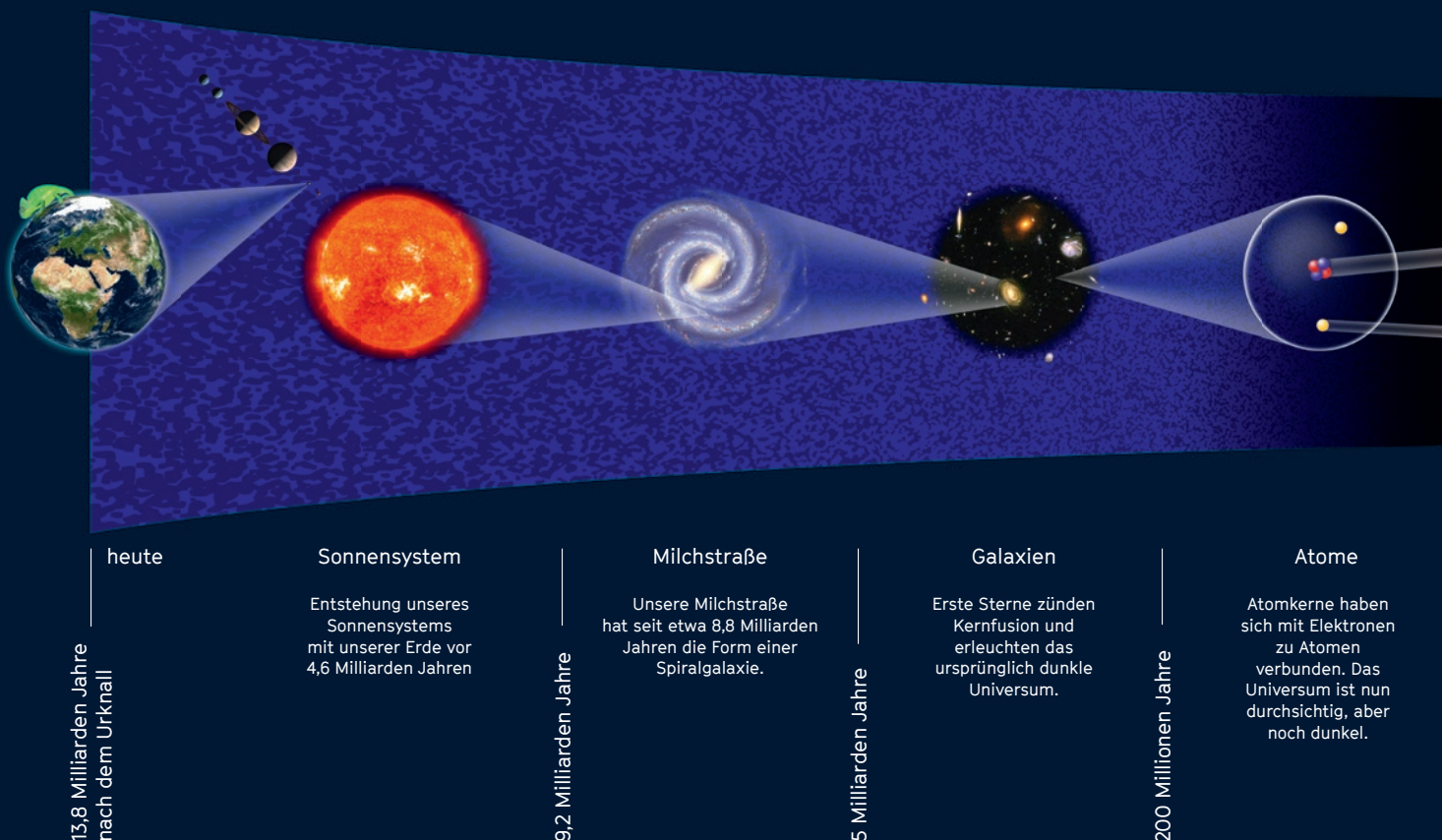
Wir wünschen Ihnen einen spannenden und informativen Ausstellungsbesuch. In der Zwischenzeit geht die Suche nach neuen Erkenntnissen weiter!

EINE REISE ZUM URSPRUNG DES UNIVERSUMS

Die Ausstellung „Wie alles begann. Von Galaxien, Quarks und Kollisionen“ lädt ein zu einer Spurensuche, die über 13 Milliarden Jahre zurück in die Vergangenheit, zum Ursprung des Universums, führt. Entstanden als Zusammenarbeit zwischen dem Naturhistorischen Museum Wien und dem Institut für Hochenergiephysik (HEPHY) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW), thematisiert die Ausstellung Fragen, die die Menschen seit Jahrhunderten beschäftigen und uns an die Grenzen nicht nur unseres Wissens, sondern auch unseres Vorstellungsvermögens führen: *Woraus besteht unser Universum? Was ist dunkle Materie? Hat das Universum einen Anfang und ein Ende? Was war vor dem Urknall?* Antworten darauf bieten die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse aus der Teilchenphysik und der Kosmologie. Zeitgenössische Werke von Kunstschaffenden machen die Unendlichkeit des Weltalls, die gigantischen Zeithorizonte und die Erforschung des Urknalls auf völlig konträre, sinnliche Weise erfahrbar.

Die letzten Jahrhunderte astronomischer Forschung waren geprägt durch immer leistungsfähigere Teleskope, die den Horizont des beobachtbaren Universums mehr und mehr hinausgeschoben haben. Ausgehend von unserem Sonnensystem haben wir die Welt der Galaxien bis an den Rand des Universums erforscht. Die Grenze des beobachtbaren Universums ist die 380.000 Jahre nach dem Urknall entstandene kosmische Hintergrundstrahlung. Davor verbirgt sich das Zeitalter der Elementarteilchen, das mit Teleskopen nicht direkt beobachtet werden kann. Die Teilchenphysik ist der Schlüssel zum Verständnis der allerersten Augenblicke des Universums.

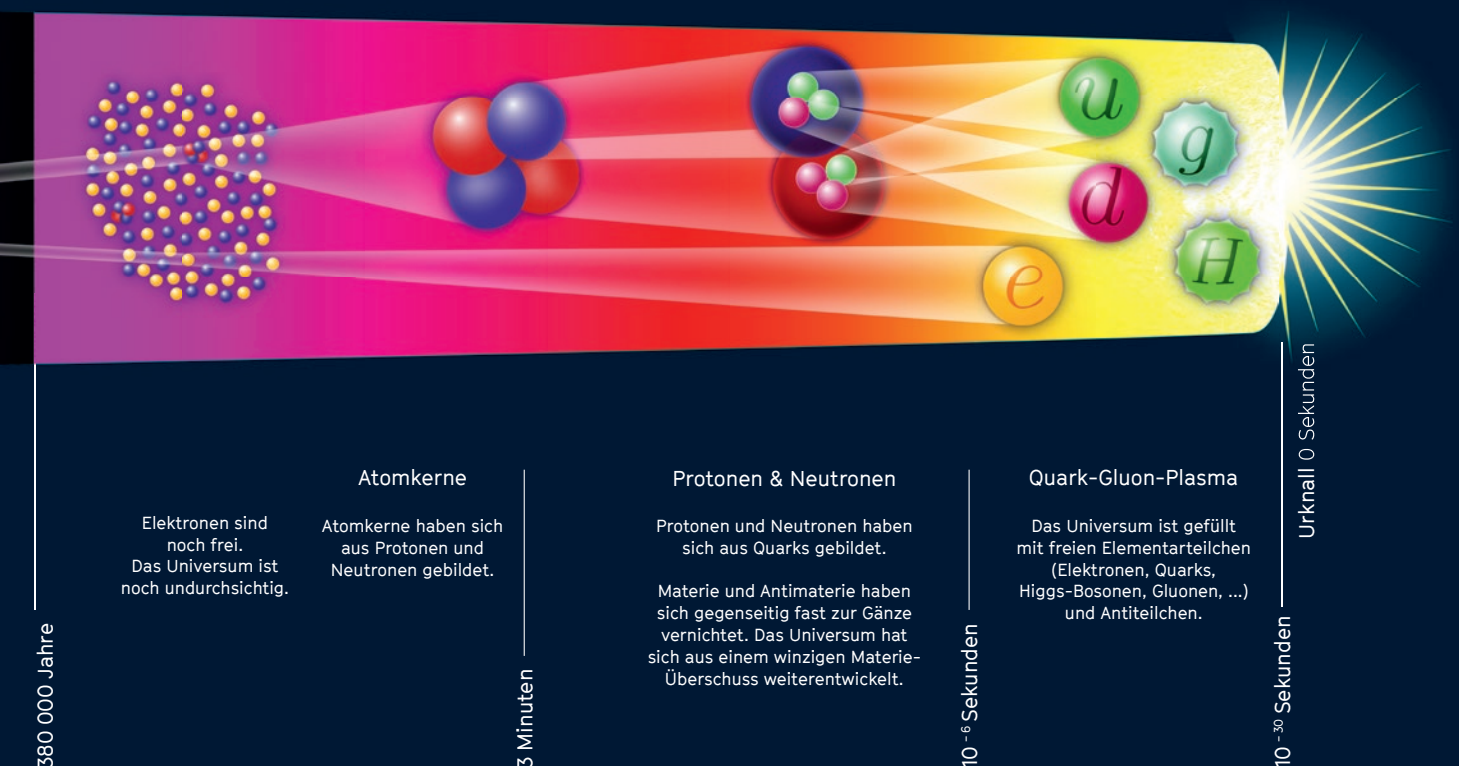
Der Urknall, noch vor wenigen Jahrzehnten eine umstrittene Hypothese, ist heute eine unbestrittene Tatsache in der Wissenschaft. Auch wenn es noch keine gesicherte Theorie zum „Wie“ des Ursprungs gibt, wissen wir, dass das Universum sich einst in einem Zustand



hoher Dichte und Temperatur befand. Es war so heiß, dass eine Milliardstel Sekunde nach dem Urknall sämtliche bekannten Teilchen in ihrer elementaren Form vorhanden waren. Erst nach ca. 380.000 Jahren war das Universum auf etwa 2.700 Grad Celsius abgekühlt. Es konnten sich die ersten stabilen Wasserstoffatome bilden. Die Photonen konnten sich als kosmische Hintergrundstrahlung ungehindert fortbewegen. Erst ab diesem Zeitpunkt können wir das Universum beobachten.

Teilchenphysikexperimente haben das Ziel, die Prozesse kurz nach dem Urknall zu erforschen. Um jenen Zustand von Materie herzustellen, wie er kurz nach dem Urknall geherrscht hat, braucht es große Teilchenbeschleuniger. Diese erzeugen aus bekannten Teilchen neue, uns oft noch völlig unbekannte Teilchen. Dafür werden Teilchen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und zur Kollision gebracht. Gigantische Detektoren weisen die neu entstandenen Teilchen nach und vermessen sie. Das derzeit größte Forschungszentrum für Teilchenphysik ist CERN nahe Genf. CERN entwickelt und baut komplexe Forschungsinfrastruktur wie den Large Hadron Collider (LHC) und stellt diese für wissenschaftliche Experimente zur Verfügung. Seit 1959 ist Österreich Mitgliedsland des CERN und das HEPHY liefert seit seiner Gründung vor 50 Jahren entscheidende Beiträge zu den Methoden, Modellen und Experimenten aber auch zur Entwicklung von neuen Detektoren. So hilft die Teilchenphysik, die Geburt unseres Universums besser zu verstehen, und liefert Antworten auf grundlegende Fragen, die vielleicht zu einer gänzlich neuen Beschreibung der Natur führen werden.

Das NHM Wien und das HEPHY wünschen den Besucherinnen und Besuchern eine interessante Entdeckungsreise zum Ursprung unseres Universums und einen unterhaltsamen Aufenthalt in der Ausstellung.



Sind wir allein
im Universum?

Was war vor
dem Urknall?

Was ist Dunkle
Materie?

Wo hat der Urknall
stattgefunden?

Woraus besteht
unser Universum?

Was ist
nichts?

Hat das Universum
einen Anfang
und ein Ende?

Wie sieht ein Higgs-
Teilchen aus?

Was ist Zeit?

Ist das Universum
überall gleich alt?

Wie kam das Leben
auf die Erde?

Wie groß ist das
Universum?

DAS SICHTBARE UNIVERSUM

Die letzten Jahrhunderte astronomischer Forschung waren geprägt durch immer leistungsfähigere Teleskope, die den Horizont des sichtbaren Universums mehr und mehr hinausgeschoben haben. Gleichzeitig haben neue physikalische Theorien zu einem besseren Verständnis der komplexen Abläufe im Kosmos geführt. Ausgehend von unserer kosmischen Heimat, der Erde, und unserem Sonnensystem, haben wir die Milchstraße mit ihren hunderten Milliarden von Sternen immer besser kennengelernt und die Welt der Galaxien bis an den sprichwörtlichen Rand des Universums erforscht.

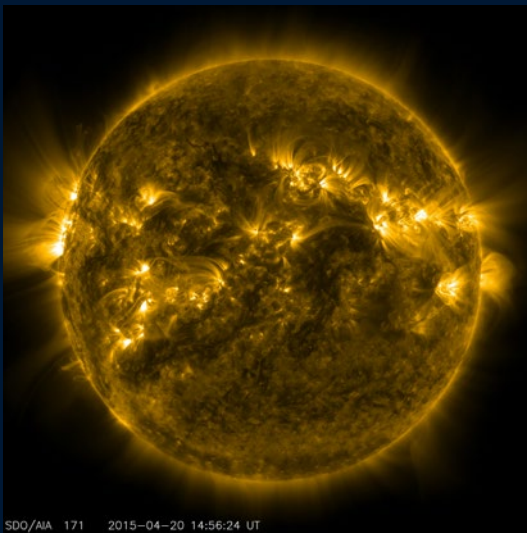
Der Blick hinaus in den Kosmos ist zugleich ein Weg zurück in die Vergangenheit. Daher können wir mit unseren Teleskopen die 13,8 Milliarden Jahre dauernde Geschichte des Universums erforschen. Die Grenze des sichtbaren Universums, die kosmische Hintergrundstrahlung, zeugt von der Zeit, als das Universum nur 380.000 Jahre alt war. Dahinter verbirgt sich die Welt der Elementarteilchen knapp nach dem Urknall. Diese können wir mit Teleskopen nicht direkt beobachten.

WISSENSCHAFTLICHE KURATIERUNG

Ao. Univ.-Prof. Dr. Franz Kerschbaum
Institut für Astrophysik der Universität Wien
Forschungsschwerpunkte: Spätstadien der
Sternentwicklung und astronomische Instrumenten-
entwicklung für Weltraumexperimente

UNSERE AKTIVE SONNE

Unser eigener Stern, die Sonne, ist heute in ihrer ruhigsten Lebensphase, knapp in der Mitte ihres ca. 12 Milliarden Jahre dauernden Sternenlebens. Am Anfang, vor knapp 4,6 Milliarden Jahren, sandte sie bedeutend mehr lebensfeindliche Ultraviolettstrahlung aus als heute. Gegen Ende ihres Lebens, in etwa 6 Milliarden Jahren, wird sie als aufgeblähter Riesenstern die inneren Planeten verschlingen. Als kleiner, durchschnittlicher Stern hat die Sonne dem Leben auf der Erde eine gute, relativ lange Chance gegeben.



Credit: NASA/SDO

SDO/AIA 171 2015-04-20 14:56:24 UT

DER JUNGE STERNHAUFEN NGC 3293

Sterne werden nicht einzeln, sondern zu Tausenden aus Gas- und Staubwolken geboren. Bei dem jungen, nur 10 Millionen Jahre alten Sternhaufen NGC 3293 sind sogar noch letzte Reste der ursprünglichen Gas- und Staubwolke vorhanden. Obwohl die „Sternengeschwister“ gleichzeitig geboren wurden, unterscheiden sie sich sehr stark in ihrer Masse. Schwere, kurzlebige Sterne teilen sich den Geburtsort mit kleinen, langlebigen Sternen wie unserer Sonne.

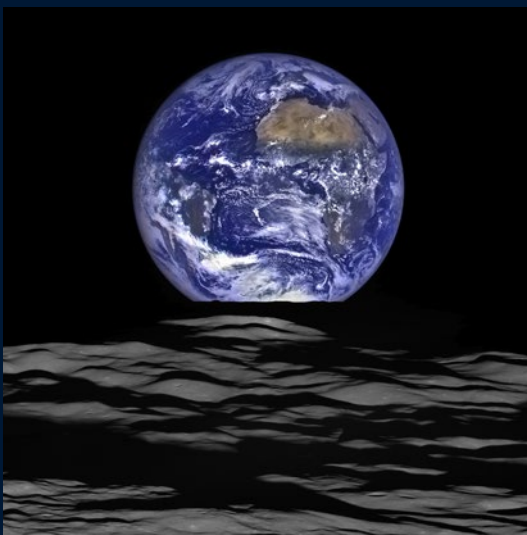


Credit: ESO

HEUTE

13,8 Milliarden Jahre nach dem Urknall

9,25 Milliarden Jahre



Credit: NASA/GSFC/Arizona State University

ERDE ÜBER DEM MONDHORIZONT

Erst seit wenigen Jahrzehnten können wir unsere Erde in ihrer Schönheit, aber auch Einsamkeit aus der Ferne betrachten. 134 Kilometer über der Mondoberfläche kreisend, hält die Mondsonde Lunar Reconnaissance Orbiter einen „Erduntergang“ fest. Bestimmt durch die Entwicklung unserer Sonne, gibt es irdisches Leben seit gut 3 Milliarden Jahren. Eine weitere Milliarde Jahre wird vergehen, bis die ansteigende Leuchtkraft der Sonne diesem ein feuriges Ende bereiten wird.



Credit: ESO

DER ALTE STERNHAUFEN M7

Sternhaufen lösen sich langsam auf, während sie um das Zentrum der Milchstraße kreisen. Der ca. 200 Millionen Jahre alte Sternhaufen M7 hat schon einen Milchstraßen-umlauf hinter sich. Nach kosmischen Maßstäben wird er nicht mehr lang existieren, sondern die Sterne bald einzeln auf ihren Lebensweg entlassen. Auch unsere Sonne war vor 4,6 Milliarden Jahren Teil eines Sternhaufens. Derzeit sucht die Weltraummission Gaia nach Sternen mit exakt gleichem Alter und chemischer Zusammensetzung wie unsere Sonne. Vielleicht schaffen wir eine „Familienzusammenführung“ der Sonnengeschwister?

STERNENTSTEHUNG IM ADLERNEBEL

Sterne entstehen aus riesigen Gas- und Staubwolken, die sich durch ihre Schwerkraft zusammenziehen und in kleinere Fragmente aufteilen. In den dichtesten Regionen kollabieren Protosterne und erhitzen sich dabei. Schließlich wird die Kernfusion von Wasserstoff zu Helium gezündet. Diese Fusion ist die wesentliche Energiequelle der Sterne. Sternengeburten finden meist im Verborgenen von dichten Staubwolken statt, zum Beispiel in den dunklen „Säulen der Schöpfung“ im Adlernebel.



Credit: NASA, ESA

9,1 Milliarden Jahre

PLANETARISCHER NEBEL MESSIER 57

Nichts währt ewig, auch Sterne nicht. Geht der Fusions-treibstoff Wasserstoff im Sterninneren zu Ende, kann die Bildung von schwereren chemischen Elementen das Sternenleben noch etwas verlängern. Letztlich wird der Stern aber instabil, bläht sich riesenhaft auf, beginnt zu pulsieren und gibt einen Großteil seiner Masse an die Umgebung ab. Ein wunderschöner Planetarischer Nebel wie hier Messier 57 leuchtet für kurze Zeit auf und vergeht innerhalb weniger 10.000 Jahre. Übrig bleibt ein langsam auskühlender Weißer Zwerg.



Credit: NASA, ESA

8,5 Milliarden Jahre



Credit: ESO

STERNENBRUTSTÄTTE ETA CARINA

Ca. 7500 Lichtjahre von der Erde entfernt liegt eines der aktivsten Sternentstehungsgebiete unserer Milchstraße. Manche Sterne sind noch tief in ihren anfänglichen Staubhüllen verborgen. Andere, besonders massereiche, haben ihre Umgebung bereits freigeblasen und leuchten aus jungen Sternhaufen hervor. Der Stern Eta Carina geht so verschwenderisch mit seinem beschränkten Fusions-treibstoff um, dass er vielleicht bald als strahlende Supernova explodieren wird!



Credit: NASA, ESO

PLANETARISCHER NEBEL NGC 6302

Das „Sterben“ von massearmen Sternen kann ruhig und gleichmäßig, aber auch turbulent wie bei NGC 6302 verlaufen. In der letzten Lebensphase eines solchen Sterns entstehen Sauerstoff und Kohlenstoff. Sie sind die Grundlage für die Entstehung von Planeten oder vielleicht sogar von Leben in Sternensystemen der nächsten Generation. Ende und Neuanfang sind so im kosmischen Materiekreislauf eng verbunden.

KREBSNEBEL: SUPERNOVA-EXPLOSIONSWOLKE MESSIER 1

Die spektakulärste Form des Sterbentodes ist die Explosion als Supernova. Im Jahr 1054 leuchtete eine Supernova für mehrere Wochen so hell wie alle Sterne unserer Milchstraße zusammen. Die prächtige Explosionswolke Messier 1 zeugt noch heute von diesem gewaltigen Ereignis. Nur manche Doppelsternsysteme und Sterne, die viel schwerer sind als unsere Sonne, enden als Supernova. Von ihnen bleibt letztlich nur ein ultradichter Neutronenstern oder gar ein Schwarzes Loch übrig.



Credit: NASA, ESA

8 Milliarden Jahre nach dem Urknall

SPIRALGALAXIE MESSIER 83, EIN ZWILLING UNSERER MILCHSTRASSE

Galaxien sind die mittelgroßen Bausteine unseres Universums. Sie bestehen oft aus vielen hundert Milliarden von Sternen und weisen eine Vielzahl an Erscheinungsformen auf. Die Milchstraße ist wie Messier 83 eine Balkenspiralgalaxie. Fotografien zeigen nur leuchtende Materie wie Sterne, Gas- und Staubnebel. Ein großer Teil der Galaxienmasse bleibt darauf unsichtbar – die sogenannte „Dunkle Materie“.



Credit: ESO

5 Milliarden Jahre



Credit: NASA, ESA

CIRRUSNEBEL: SUPERNOVA-ÜBERREST NGC 6960

Vor etwa 8000 Jahren explodierte im Sternbild des Schwans ein Riesenstern als Supernova. Dabei entstanden die bunten Schleier von NGC 6960, auch Cirrus- oder Schleiernebel genannt. Supernova-Explosionen verdichten Gaswolken in ihrer Umgebung und reichern sie mit schweren chemischen Elementen an. So entstand vermutlich auch unser Sonnensystem. Die definierte Leuchtkraft von Supernovae ermöglicht Entfernungsmessungen im Kosmos. Dies war entscheidend für den Nachweis der beschleunigten Expansion des Universums.



Credit: ESA, NASA

WENN ZWEI GALAXIEN AUF EINANDERTREFFEN

Galaxien sind keine isolierten Gebilde, sondern meist in Haufen organisiert, deren Mitglieder sich manchmal recht nahe kommen. Die beiden Galaxien NGC 4038 und 4039 durchdringen einander gerade. Die Abstände zwischen den Sternen sind so groß, dass diese nicht zusammenstoßen, doch in den verdichteten Gas- und Staubwolken wird intensive Sternentstehung ausgelöst. Langfristig werden die beiden Spiralgalaxien verschmelzen und eine riesige elliptische Galaxie bilden.



Credit: ESA, NASA

1,8 Milliarden Jahre

GALAXIENHAUFEN MACSJ0717 ALS VERGRÖSSERUNGSGLAS

Die größten Bausteine des Universums sind Galaxienhaufen. Ihre Verteilung im Universum hängt eng mit der Verteilung der Materie kurz nach dem Urknall zusammen. Schwere Massen können Licht ablenken. Massereiche Galaxienhaufen wie MACSJ0717 können Lichtstrahlen von Objekten, die hinter ihnen liegen, bündeln und wirken für uns somit wie ein Vergrößerungsglas. Diese sogenannten Gravitationslinsen lassen uns auf noch viel weiter entfernte Galaxien blicken, deren Licht bereits 12 Milliarden Jahre lang zu uns unterwegs ist. Die länglichen Bögen und Striche im Teleskopbild sind die stark vergrößerten und verzerrten Bilder solcher Galaxien.



Credit: ESA, NASA

800 Millionen Jahre

380.000 Jahre

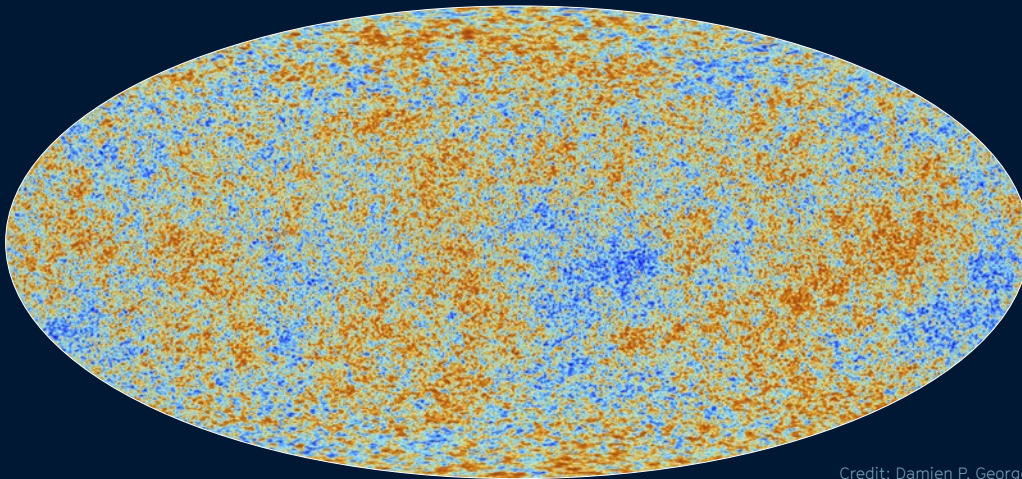
TIEFER BLICK ZURÜCK IN DIE VERGANGENHEIT

Einer der tiefsten Blicke hinaus ins Weltall und damit zurück in der Zeit ist das Hubble Ultra Deep Field – eine Himmelsregion, aufgenommen vom Hubble-Teleskop. Die kleinen roten Pünktchen sind einige der am weitesten entfernten Galaxien. Sie sind bereits 800 Millionen Jahre nach dem Urknall entstanden; ihr Licht ist seit etwa 13 Milliarden Jahren zu uns unterwegs. Die ältesten beobachteten „roten Pünktchen“ und somit Galaxien unseres Universums sind etwa 13,4 Milliarden Jahre alt. Vor der Entstehung dieser ersten Sterne und Galaxien herrschte hunderte Millionen Jahre lang Finsternis.

DIE KOSMISCHE HINTERGRUNDSTRAHLUNG

Die Kosmische Hintergrundstrahlung ist die älteste Strahlung des Universums. Sie entstand 380.000 Jahre nach dem Urknall und ist seit 13,7 Milliarden Jahren zur Erde unterwegs. Sie stammt aus der Zeit, als das Universum fast perfekt homogen war – ähnlich der Oberfläche eines Sees bei Windstille. Die hellen und dunklen Bereiche zeigen geringfügige Schwankungen im Bereich von +/- 50 Millionstel um den Mittelwert. Aus diesen Schwankungen entstanden die heutigen Sterne und Galaxien. Die kosmische Hintergrundstrahlung ist daher ein direkter Beweis für die Richtigkeit der Urknalltheorie.

Aus der kosmischen Hintergrundstrahlung lassen sich alle wesentlichen Eigenschaften unseres Universums, wie Alter, zeitliche Entwicklung und Dichte, ableiten.



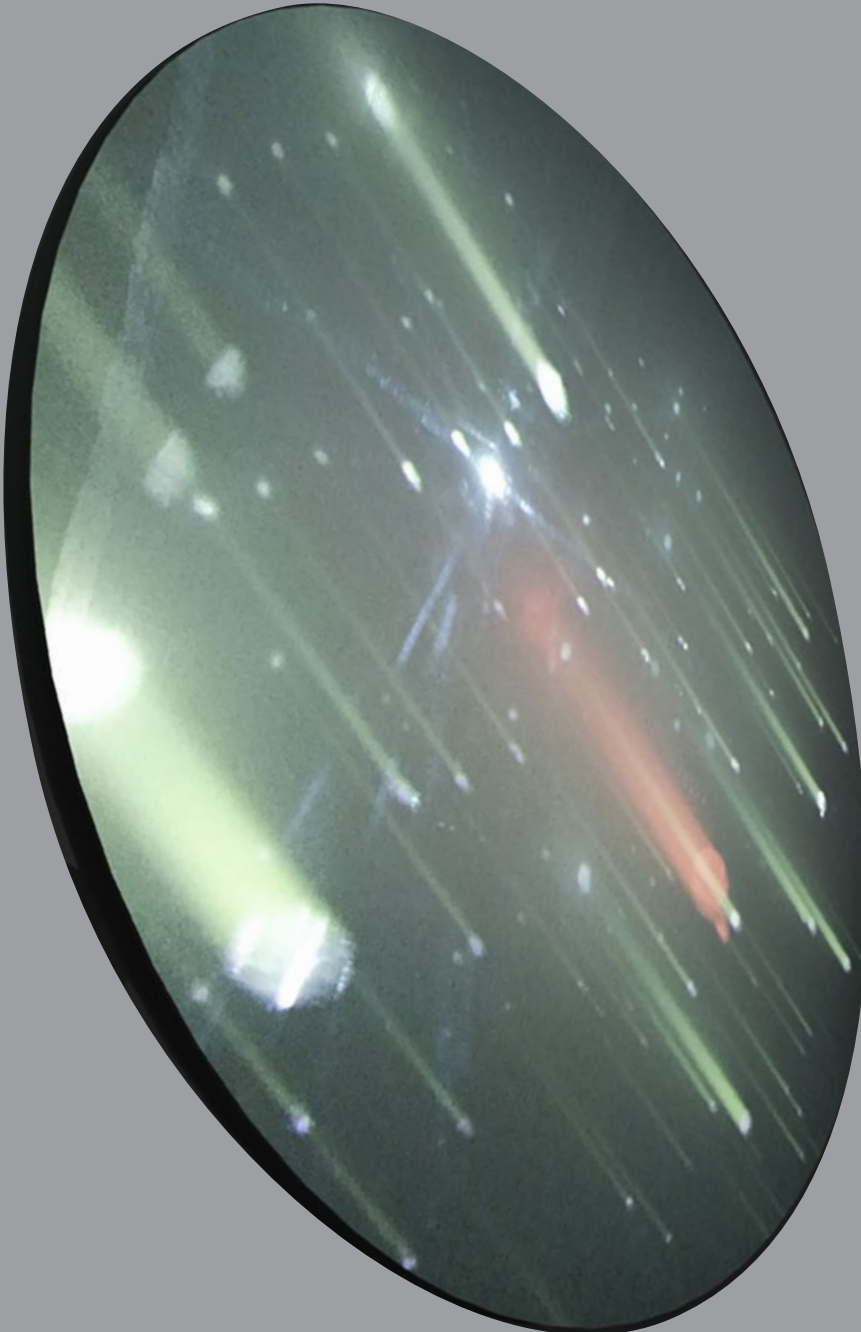
Credit: Damien P. George

ASTRONOMIE – WICHTIGE ENTDECKUNGEN

300 v. Chr.	Aristoteles beweist die Kugelform der Erde.
265 v. Chr.	Aristarch von Samos entwirft das erste heliozentrische System.
220 v. Chr.	Eratosthenes berechnet den Erdumfang.
140 v. Chr.	Entdeckung der Kreiselbewegung der Erdatmosphäre
1543 n. Chr.	Nikolaus Kopernikus publiziert das heliozentrische Weltsystem.
1609	Johannes Kepler beschreibt die Planetenbewegung.
1610	Galileo Galilei entdeckt die vier Jupitermonde, Mondkrater und Venusphasen.
1687	Isaac Newton erstellt die universellen Gesetze von Bewegung und Schwerkraft.
1781	Entdeckung des Planeten Uranus
1814	Joseph von Fraunhofer entdeckt dunkle Linien im Spektrum der Sonne.
1838	Bestimmung von Entfernungen zu Sternen außerhalb unseres Sonnensystems
1846	Entdeckung des Planeten Neptun
1912	Nachweis der kosmischen Strahlung
1915	Albert Einstein formuliert die Allgemeine Relativitätstheorie.
1923	Edwin Hubble erkennt Galaxien als Sternensysteme gleich unserer Milchstraße.
1927	Georges Lemaître postuliert die Expansion des Universums.
1939	Oppenheimer u. a. berechnen, dass beim Kollaps eines großen Sterns ein Schwarzes Loch entstehen würde.
1960	Einführung des Begriffs „Dunkle Materie“
1965	Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung
1995	Entdeckung von Planeten außerhalb unseres Sonnensystems
1999	Der Begriff „Dunkle Energie“ wird geboren
2016	Erstmalige Registrierung von Gravitationswellen am LIGO-Observatorium

NEBEL IM KOSMOS

Barbara Imhof
Damjan Minovski
Eva Schlegel



Für die Ausstellung „Wie alles begann“ im Naturhistorischen Museum Wien entwickelten Künstlerin Eva Schlegel, Architekt Damjan Minovski und Weltraumarchitektin und Forscherin Barbara Imhof eine begehbare Rauminstallation, die das sonst Unsichtbare visuell erfahrbar macht. Auf einer schwebenden Projektionsfläche werden mittels Animation Ereignisse im Weltall erlebbar gemacht. In den Weltraum zu schauen bedeutet, von unserer Gegenwart in die Vergangenheit zu blicken und dabei vielleicht Hinweise auf die Zukunft der Veränderungen im All zu erhalten. Neben diesen drei Zeitebenen, die uns gegenwärtig werden, befinden wir uns zudem in einem sich immer weiter ausdehnenden Raum, dessen extreme Dimension unsere Vorstellungsfähigkeit von Maßstäben sprengt. Daten über Bewegungen von Planeten, Monden, Asteroiden und Nebel sind nur über Bildformen erkennbar, die von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern interpretiert werden müssen. Was wir sehen, ist eine Simulation von realen Geschehnissen in der Vergangenheit.

Dank an Vladimir Romanyuk und sein Team für die Entwicklung der Space Engine, Grundlage unseres Videos „Nebel im Kosmos“.
<http://en.spaceengine.org>

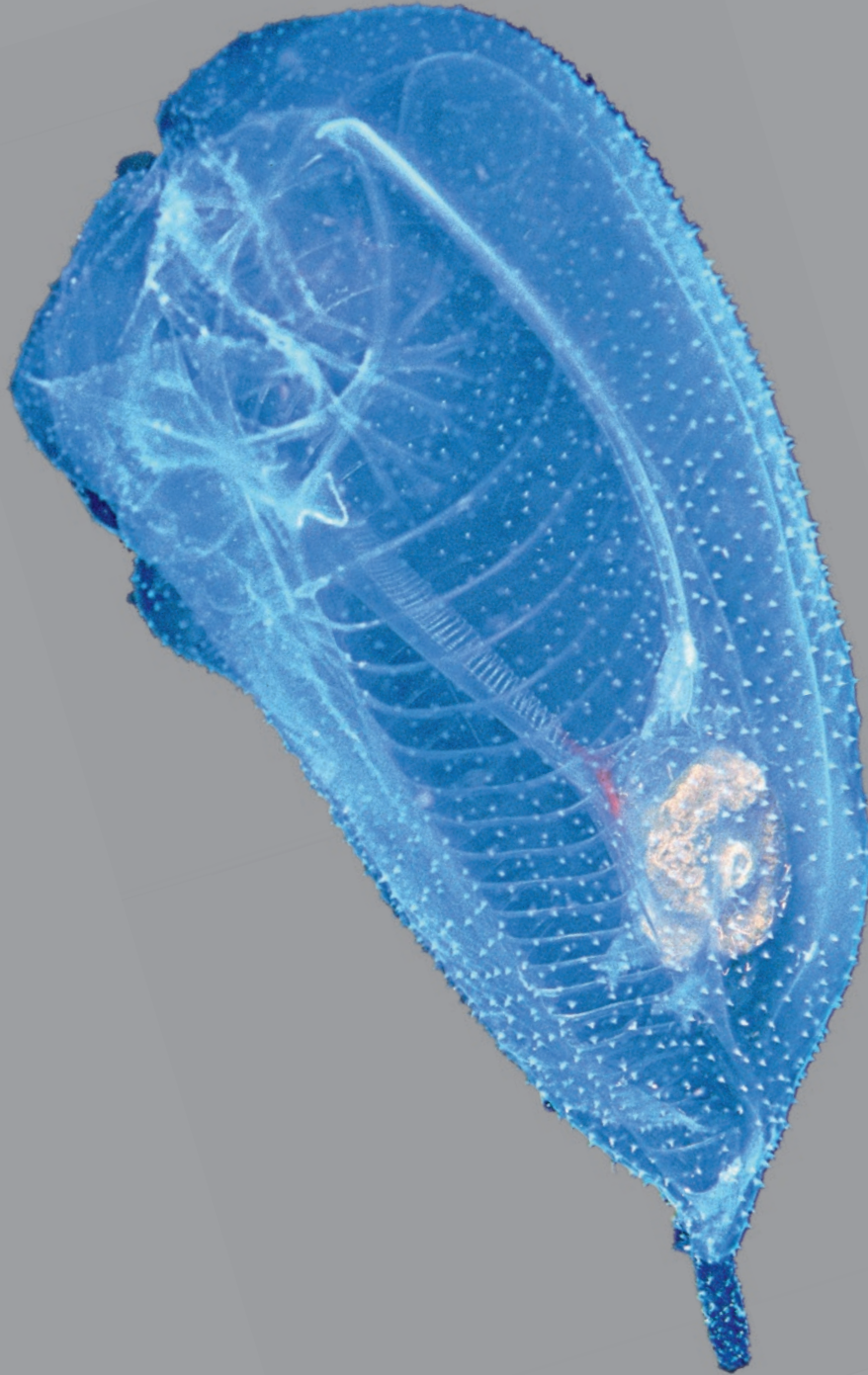
Eva Schlegels Werk umfasst fotografische, objekthafte und installative Arbeiten, die sie experimentell unter Verwendung verschiedener Medien wie der Fotografie auf Blei, Spiegel oder Glas auch räumlich umsetzt. Sie thematisiert dabei Grenzbereiche der Wahrnehmung, stellt Sehgewohnheiten in Frage. Seit 1985 zeigt sie ihre Arbeiten in Museen und Galerien im In- und Ausland, ihre Arbeiten finden sich in vielen Sammlungen, weiters hat Eva Schlegel zahlreiche Projekte im öffentlichen Raum im In- und Ausland realisiert.
www.evaschlegel.com

Damjan Minovski arbeitet als Architekt unter anderem mit der Architekturplattform SEMF, die sich auf Mapping und Fertigung konzentriert. Seit 2015 lehrt er an der TU in Innsbruck bei Marjan Colletti am Institut für experimentelle Architektur.

Barbara Imhof ist Weltraumarchitektin und Mitbegründerin der interdisziplinären LIQUIFER Systems Group, die im Bereich Weltraumexploration forscht und Technologien hierzu entwickelt. Die Projekte behandeln Raumschiffparameter wie den Umgang mit limitierten Ressourcen, das Design von Minimalräumen, transformierbare Habitate und architektonische Auswirkungen von sozio-psychologischen Faktoren.

GALAXIES

Manfred Wakolbinger



Das Meer vor Sulawesi. Tief, still, weit – und schwarz. Manfred Wakolbinger sieht auf seinem nächtlichen Tauchgang zunächst nichts als Plankton und undurchdringliche Dunkelheit. Doch plötzlich erscheint ein leuchtendes Gebilde vor ihm, wie eine Galaxie in den unendlichen Weiten des Weltalls. Wakolbingers Faszination für den Weltraum ist seit seiner Kindheit ungebrochen – und nun entdeckt er dessen Abbild in den endlichen Tiefen der Weltmeere?!

Später stellt sich heraus, dass es sich bei den leuchtenden „Galaxien“ um Salpen handelt: ca. 8 cm große Chordatiere, die – einzeln, zu Kolonien oder bis zu 40 m langen Ketten zusammengeschlossen – zur Nahrungsaufnahme aus der Tiefsee nach oben steigen, um sich im Endeffekt, von Fischen angebissen, aufzulösen. Aus Fotografien von diesen Begegnungen entstanden in der Folge die Filme Galaxies 1–4.

Auf Sulawesi lebt das Volk der Toraja. Ihrem Glauben nach entstammen sie dem Weltall und verbringen nur einen Abschnitt ihres Seins auf der Erde. Nach ihrem Tod werden sie zu einem bestimmten Zeitpunkt wieder zurück „nach Hause“ geholt. Ihnen hat Manfred Wakolbinger seine „Galaxies“ gewidmet.

Manfred Wakolbinger beschäftigt sich in seiner künstlerischen Arbeit mit Skulptur, Fotografie und Film. Schwerpunkte bildeten in den letzten Jahren zahlreiche Ausstellungen im In- und Ausland und eine Vielzahl von Skulpturen im öffentlichen Raum. Er lebt und arbeitet in Niederösterreich und Wien.

DAS ZEITALTER DER ELEMENTARTEILCHEN

Der Urknall, noch vor wenigen Jahrzehnten eine umstrittene Hypothese, ist heute eine unbestrittene Tatsache in der Wissenschaft. Auch wenn es noch keine gesicherte Theorie zum „Wie“ des Ursprungs gibt, wissen wir, dass das Universum sich einst in einem Zustand hoher Dichte und Temperatur befand.

Es war so heiß, dass eine Milliardstel Sekunde nach dem Urknall sämtliche bekannten Teilchen in ihrer elementaren Form vorhanden waren. Nach einer Millionstel Sekunde hatte sich das Universum so weit ausgedehnt und abgekühlt, dass sich Quarks zu Protonen und Neutronen verbinden konnten. Nach 3 Minuten verbanden sich Protonen und Neutronen zu Atomkernen. Erst nach ca. 380.000 Jahren war das Universum auf etwa 2.700 Grad Celsius abgekühlt. Nun konnten sich die ersten stabilen Wasserstoffatome bilden. Das Universum wurde durchsichtig, und Lichtteilchen, die Photonen, konnten entweichen. Erst ab diesem Zeitpunkt können wir das Universum beobachten.

Die Teilchenphysik ist der Schlüssel zum Verständnis der allerersten Augenblicke des Universums. Mit einem Teilchenbeschleuniger lässt sich jener Zustand von Materie herstellen, wie er kurz nach dem Urknall geherrscht hat. So hilft die Teilchenphysik, die Geburt unseres Universums besser zu verstehen.

WISSENSCHAFTLICHE KURATIERUNG

DI Dr. Helmut Eberl
Institut für Hochenergiephysik der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften
Forschungsschwerpunkt: Theorie der Supersymmetrie

Univ.-Doz. Dr. Wolfgang Lucha
Institut für Hochenergiephysik der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften
Forschungsschwerpunkt: Theorie der starken Wechselwirkung

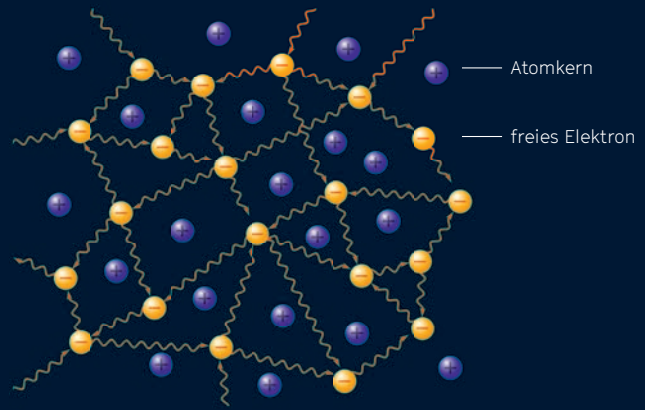
Dr. Josef Pradler
Institut für Hochenergiephysik der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften
Forschungsschwerpunkte: Theorie der Dunklen Materie
sowie die Physik des frühen Universums

DAS UNIVERSUM WIRD DURCHSICHTIG

Das Universum ist 380.000 Jahre alt und hat eine Temperatur von 2.700 Grad Celsius.

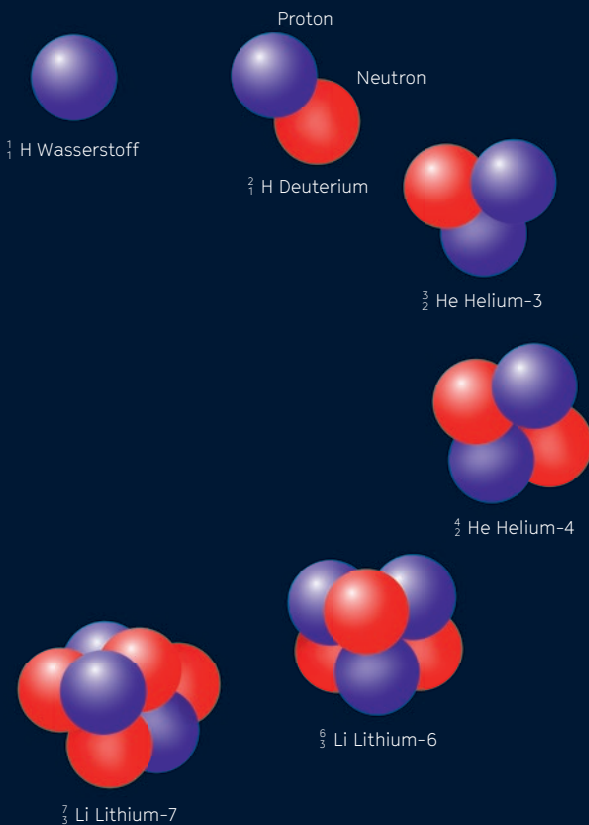
Kurz vor diesem Zeitpunkt war das Universum ein riesiger Feuerball, der vor allem aus geladenen Atomkernen und freien Elektronen bestand, die in Myriaden von Lichtteilchen, die Photonen, eingebettet waren. Die Temperatur war so hoch, dass sich keine neutralen Atome bilden konnten. Die umherflitzenden Photonen wurden absorbiert und konnten das Universum nicht durchdringen.

Erst als die Temperatur auf 2.700 Grad Celsius gesunken war, waren alle Atomkerne und Elektronen in Atomen gebunden. Die Photonen wurden nicht mehr absorbiert, sondern konnten die nun „neutrale“ Materie passieren. 380.000 Jahre nach dem Urknall wurde das Universum „durchsichtig“. Die kosmische Hintergrundstrahlung, die wir heute noch beobachten können, besteht aus diesen ersten Photonen, die das Universum durchdrangen.



380.000 Jahre nach dem Urknall

3 Minuten



DIE GEBURTSTUNDE DER CHEMIE

Das Universum ist 3 Minuten alt und hat etwa 1 Milliarde Grad Celsius.

Wenige Sekunden nach dem Urknall war das Universum bereits von unermesslich hoher Temperatur auf wenige Milliarden Grad Celsius abgekühlt. Diese „kühleren“ Bedingungen ließen es zu, dass in den folgenden drei Minuten aus Protonen und Neutronen die ersten stabilen Atomkerne entstanden. Und zwar die Kerne der drei leichtesten Elemente: Wasserstoff, Helium und Spuren von Lithium. Die Atomkerne der schwereren Elemente bildeten sich erst später durch Kernfusion im Inneren von Sternen.

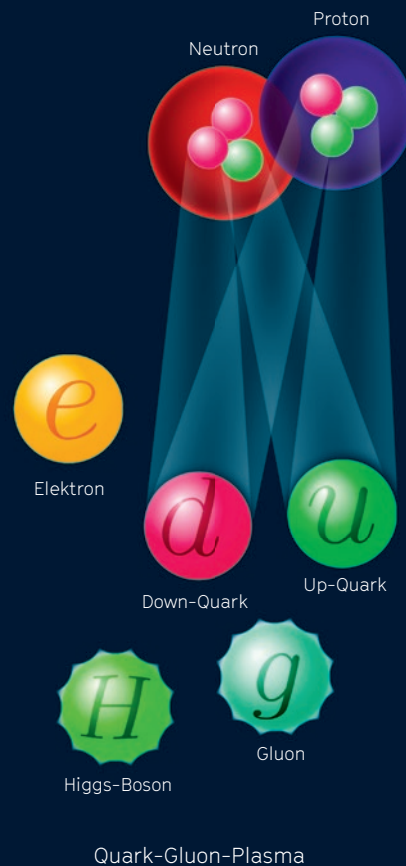
Bei technisch aufwändigen Versuchen im Labor werden diese ersten Kern-Entstehungsprozesse nachvollzogen. So können Aussagen zur Häufigkeit der leichten Elemente nach dem Urknall gemacht werden. Diese Daten stimmen mit astronomischen Messungen überein und waren ein wichtiger Schritt zur Akzeptanz der Urknall-Hypothese.

DIE ENTSTEHUNG VON PROTONEN UND NEUTRONEN

Das Universum ist eine Millionstel Sekunde alt und hat 1.000 Milliarden Grad Celsius.

In der ersten Millionstel Sekunde nach dem Urknall hatte das Universum eine Dichte von 100 kg/cm^3 und war gefüllt mit subatomaren Teilchen, die wir heute nicht mehr „frei“ beobachten können: Quarks und Gluonen. Sie können aber in großen Teilchenbeschleunigern durch hochenergetische Kollisionen erzeugt werden. Man erforscht damit einen Aggregatzustand, wie er zuletzt unmittelbar nach dem Urknall vorhanden war.

Bei der weiteren Abkühlung des Universums kondensierten die Quarks und Gluonen – ähnlich wie Wasserperlen auf einer kalten Oberfläche – zu den Bausteinen der Atomkerne, den Protonen und Neutronen.



0,000001 Sekunden

0,0000000001 Sekunden

URKNALL



Zerfall eines Higgs-Teilchens in zwei Photonen, gemessen im CMS-Experiment am CERN (Credit: CERN, L. Taylor, T. McCauley)

DIE SUCHE NACH DEM HIGGS-TEILCHEN

Das Universum ist eine Zehnmilliardstel Sekunde alt und hat eine Temperatur von einer Billiarde Grad Celsius.

Die Materie, wie wir sie aus dem Alltag kennen, besteht aus drei Elementarteilchen: Up-Quarks, Down-Quarks und Elektronen. Alle haben Masse. Aber woher kommt diese Masse? Als Erklärung entwickelten Teilchenphysiker schon in den 1960er Jahren eine bahnbrechende Theorie, den Brout-Englert-Higgs-Mechanismus: Danach ist das Universum mit einer Art „Sirup“ gefüllt, dem Higgs-Feld. Dieses Feld bremst die durchfliegenden Teilchen, und dadurch erhalten die Teilchen ihre Masse. Je stärker die Teilchen mit dem Higgs-Feld reagieren, desto mehr Masse erhalten sie.

Peter Higgs erkannte dabei weiters, dass auch mit diesem Feld Teilchen verbunden sein müssen. 2012 war es dann soweit: In den Teilchenbeschleunigern des Forschungsinstituts CERN gelang der Nachweis dieses Higgs-Teilchens. Das war ein wichtiger Meilenstein zum Verständnis des Universums.

DER URKNALL – DIE GEBURT DES UNIVERSUMS

Zeitpunkt 0, unermesslich hohe Temperatur

Der Urknall, früher nur eine philosophische Hypothese, ist heute eine unbestrittene Tatsache in der Wissenschaft. Selbst wenn es noch keine gesicherte Theorie zum „Wie“ des Ursprungs gibt, wissen wir, dass sich das Universum einst in einem Zustand extremer Dichte und Temperatur befand.

Astronomische Beobachtungen von entfernten Galaxien zeigen, dass sich das Universum immer weiter ausdehnt: Objekte im Universum entfernen sich umso schneller voneinander, je größer ihre Abstände sind. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass das Universum früher kleiner war und vor endlicher Zeit entstand, nach unseren Berechnungen vor 13,8 Milliarden Jahren.

Man nimmt an, dass damals der Raum explosionsartig entstand und sich das Universum mit Teilchen aller Art füllte.

TEILCHENPHYSIK – WICHTIGE ENTDECKUNGEN

1897	Entdeckung des Elektrons durch Sir Joseph John Thomson
1909	Entdeckung des Atomkerns durch Lord Ernest Rutherford
1932	Entdeckung des Neutrons durch James Chadwick
1932	Entdeckung des Positrons (Anti-Elektrons) durch Carl David Anderson
1956	Entdeckung des Neutrinos durch Clyde L. Cowan und Frederick Reines
1957	Entdeckung der Paritätsverletzung – die schwache Kraft unterscheidet zwischen rechts und links
1967	Formulierung der Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung durch Muhammad Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow und Steven Weinberg
1969	Nachweis der Quarks am Teilchenphysikzentrum SLAC in den USA
1973	Formulierung der Theorie der starken Wechselwirkung durch Harald Fritzsch, Murray Gell-Mann und Heinrich Leutwyler
1973	Entdeckung der Neutralen Ströme als indirektem Nachweis des Z-Bosons am Forschungszentrum CERN in Genf
1983	Entdeckung des W-Bosons am CERN
1995	Entdeckung des Top-Quarks am Forschungszentrum Fermilab bei Chicago
1998	Das Super-Kamiokande-Experiment in Japan bestätigt: Neutrinos haben eine Masse
2012	Entdeckung des Higgs-Bosons am Teilchenbeschleuniger LHC am CERN

DER NULLPUNKT VON RAUM UND ZEIT

Brigitte Kowanz

Brigitte Kowanz ist eine österreichische Künstlerin und seit 1997 Professorin für Transmediale Kunst an der Universität für angewandte Kunst Wien.

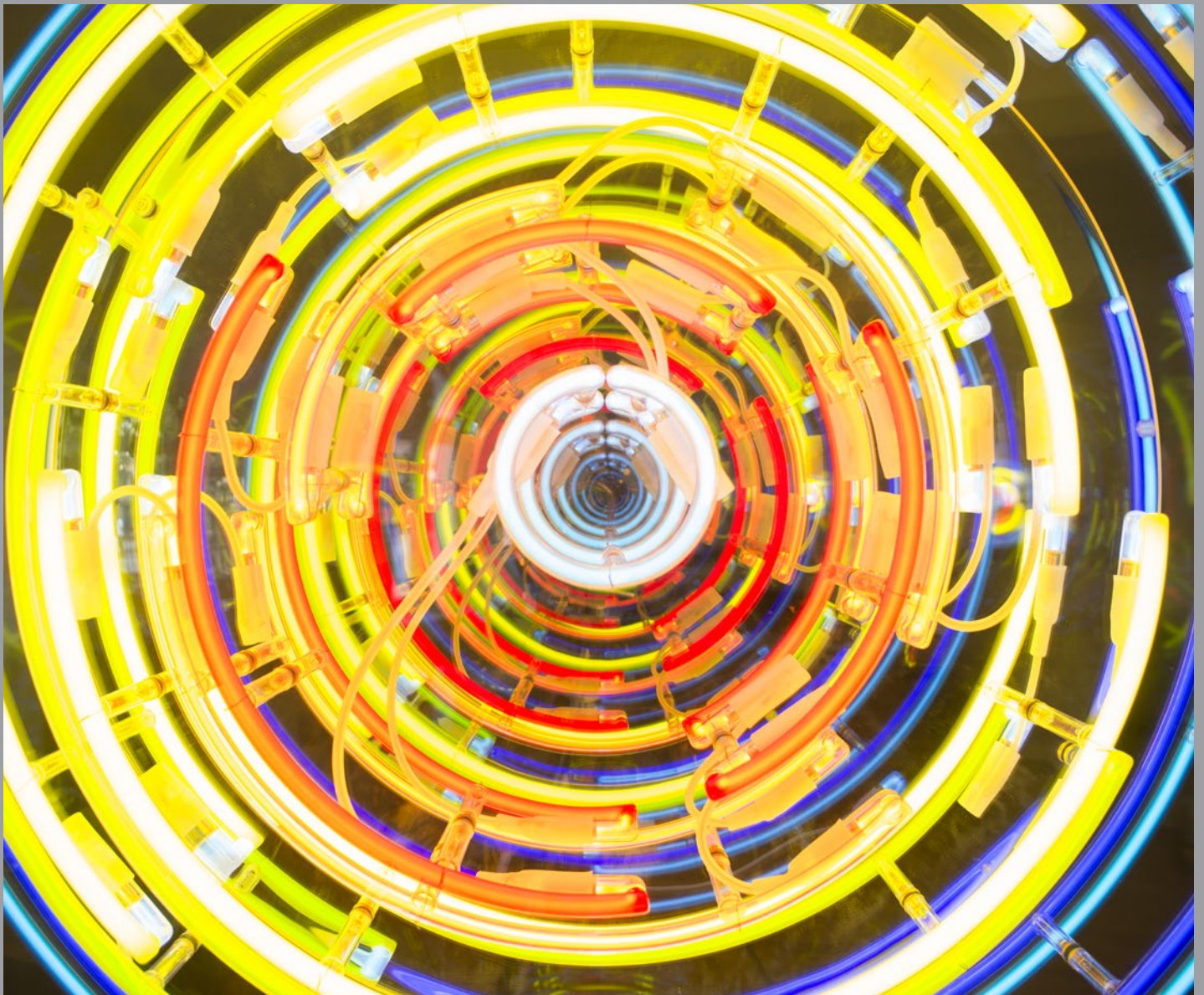
Im Zentrum ihrer Arbeit steht seit den 1980er Jahren die Untersuchung von Raum und Licht. Brigitte Kowanz wird bei der Kunstbiennale 2017 in Venedig gemeinsam mit Erwin Wurm den Österreichischen Pavillon bespielen.

Ein wunderbarer Fluchteffekt mit dem Ursprung im Zentrum: der Nullpunkt von Raum und Zeit.

Der „Nullpunkt von Raum und Zeit“ thematisiert den Urknall als komplexe Ausdehnung von Raum und Zeit. Spiegel und Zweiwegspiegel sowie Neon-, Argon- und Xenon-Röhren bilden in ihrem Wechselspiel eine sich öffnende virtuelle Unendlichkeit. Realer und fiktiver Raum verschränken sich und gehen ineinander über.

Problematische Wirklichkeit. Kunst ist direkte Widerspiegelung der Erfahrungswelt, ist Übersetzungsleistung in andere Medien, ist Transformation gefundener Wirklichkeiten. Symbole können abstrakt oder gegenständig erscheinen, Codes lesbar oder

verschlüsselt sein. Kunst macht es einfach in der Form als Formulierung – und schwierig in der Aussage als Inhalt. Bei Brigitte Kowanz geht es um Lichtinstallationen, die als Raumbilder operieren, und um Interventionen im architektonischen Zusammenhang, in denen eine graduelle Wider-Spiegelsichtung von Bedeutung mit einer chiffrierten Codierung abstrahiert ist. Zugleich sind ihre zahlreichen Werke mit Spiegeln oder im weitesten Sinne spiegelnden Elementen eine darauf sicher mittelbare Bezogenheit, die in ihrer Unbewusstheit oder eindeutigen Reflexion des Realen den Raum als Handlungsrahmen in den Mittelpunkt ihres Schaffens stellt. Die innere und äußere, also unsichtbare (molekulare) und sichtbare (spiegelnde) Wirklichkeit. (Gregor Jansen, Klarheit ganz bei sich, 2011)

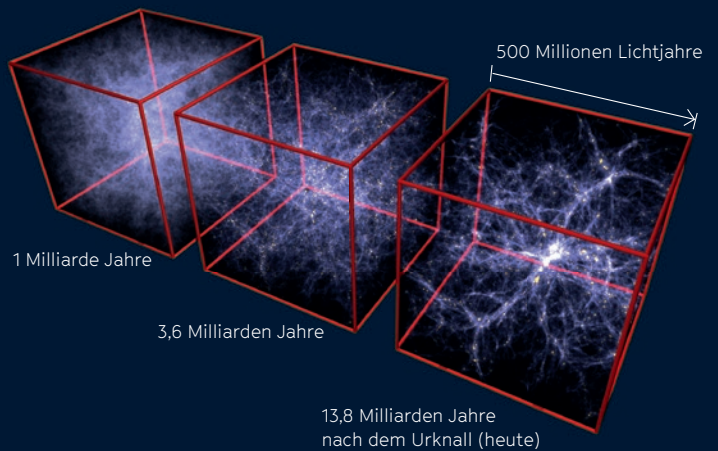


GEHEIMNISVOLLE DUNKLE MATERIE

Rund 26 Prozent des Universums werden von einer Materieform bestimmt, die wir bisher noch nie direkt gesehen haben.

Diese sogenannte Dunkle Materie kann im Gegensatz zur sichtbaren Materie weder Licht ausstrahlen noch Licht absorbieren und ist daher für uns unsichtbar. Man kann sie nur durch ihre Gravitationswirkung auf die sichtbare Materie indirekt nachweisen.

Forscherinnen und Forscher vermuten, dass die Dunkle Materie nicht immer „unsichtbar“ war. Bruchteile einer Sekunde nach dem Urknall trat sie mit der uns bekannten Materie in rege Wechselwirkung. Bei Zusammenstößen von Teilchen der uns bekannten Materie entstanden neue Teilchen von Dunkler Materie. Bei der weiteren Abkühlung des Universums blieb ein Rest der Dunklen Materie bestehen.



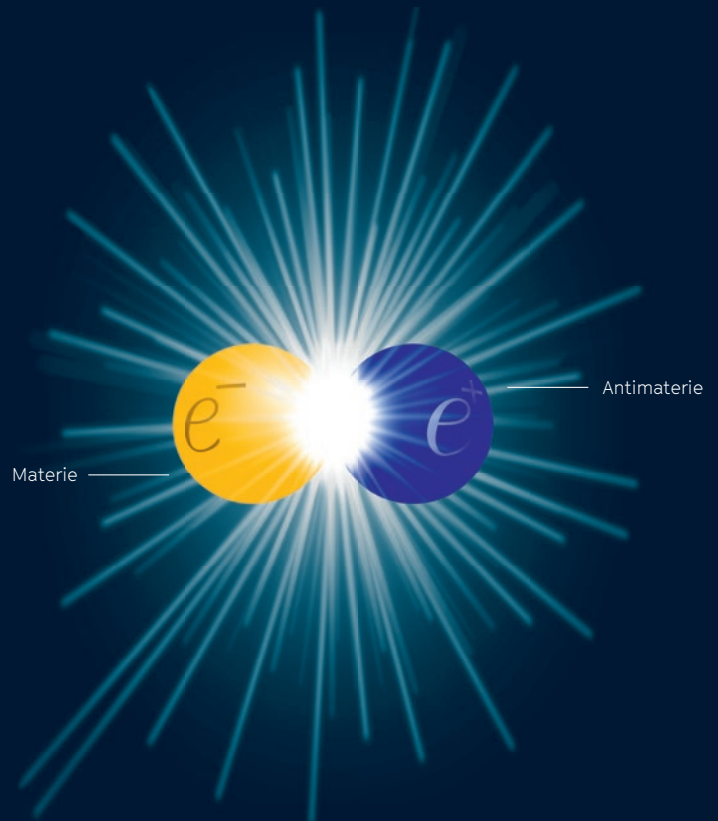
Die heutige Anordnung der Galaxien spiegelt die Verteilung der Dunklen Materie wider. (Credit: mpa, Garching)

MATERIE UND ANTIMATERIE

Elementarteilchen wie Quarks, Gluonen und Elektronen sind die kleinsten bekannten Bausteine des Universums.

Jedes Elementarteilchen wird durch grundlegende, unveränderliche Eigenschaften charakterisiert: Masse (Eigenenergie), Spin (Eigendrehimpuls) und Größen wie die elektrische Ladung. Zu jedem Teilchen gibt es ein Antiteilchen mit gleicher Masse und gleichem Spin, aber entgegengesetzten ladungsartigen Größen. Wie Atome aus Protonen, Neutronen und Elektronen bestehen, bilden deren Antiteilchen Antiatome – also Antimaterie.

Beim Urknall entstanden Materie und Antimaterie in gleicher Menge. Mit der Abkühlung des Universums begann ein Vernichtungsprozess. Teilchen und Antiteilchen wandelten sich beim Zusammenstoß in Photonen, also in Strahlung, um. Am Ende dieses Prozesses blieb ein winziger Materieüberschuss, aus dem alle Galaxien, Sterne und Planeten entstanden sind.

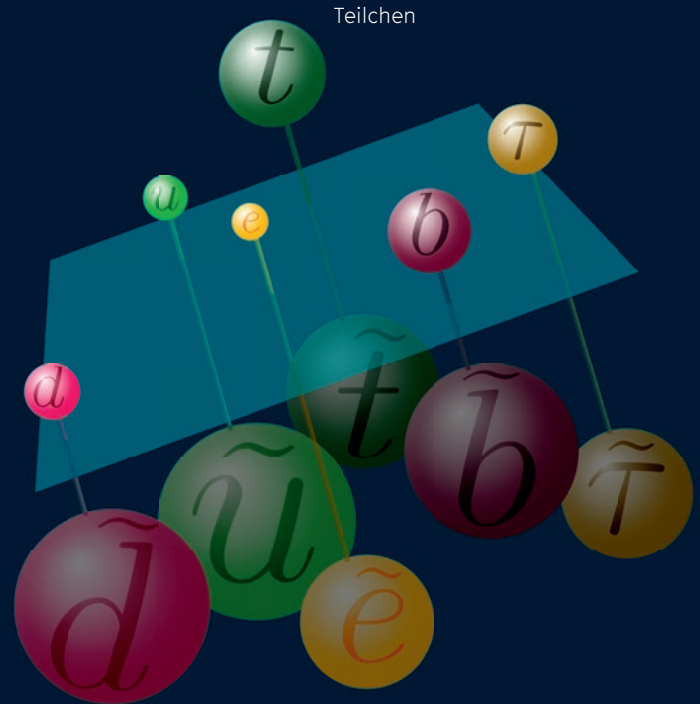


IST DIE WELT SUPERSYMMETRISCH?

Symmetrien spielen in der Physik – wie in der Kunst – eine zentrale Rolle, da sich in ihnen die Grundprinzipien der Natur manifestieren.

Die Physik ist auf der Suche nach der größtmöglichen Symmetrie und nennt diese „Supersymmetrie“. Nach der supersymmetrischen Theorie hat jedes bekannte Teilchen ein supersymmetrisches Partnerteilchen: jedes Elektron ein Selektron und jedes Photon ein Photino. Dies würde bedeuten, dass Kräfte und Materie nur zwei Aspekte der gleichen Sache sind, wie die Vorder- und Rückseite einer Münze.

Bisher ist die Supersymmetrie nur eine Theorie. Bei Experimenten am Teilchenbeschleuniger LHC des Forschungszentrums CERN wird derzeit fieberhaft nach realen supersymmetrischen Partnerteilchen gesucht.



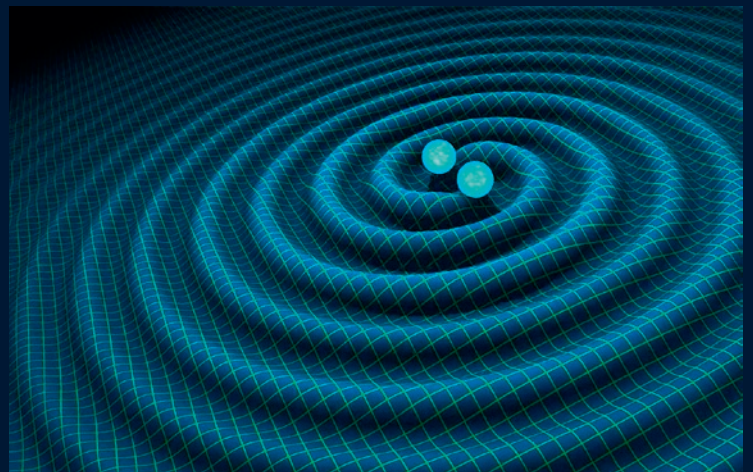
Supersymmetrische Partnerteilchen

GRAVITATIONSWELLEN: EINSTEINS SPÄTER TRIUMPH

Das Universum dehnt sich nicht nur aus – der Raum selbst schwingt dabei.

Vor 100 Jahren sagte Einstein etwas vorher, das lange Zeit nicht direkt beobachtet werden konnte: Beschleunigte Massen lösen Wellen aus. Einstein nannte sie Gravitationswellen. Sie verursachen Stauchungen und Streckungen von Abständen und verändern somit den Raum selbst. Im Jahr 2016 gelang es nach 40 Jahren Forschung, Gravitationswellen mit Detektoren direkt nachzuweisen. Diese aufgezeichneten Wellen stammen aus der Kollision zweier Schwarzer Löcher, die bereits eine Milliarde Jahre zurückliegt.

Man vermutet, dass unser Universum mit Gravitationswellen gefüllt ist, die beim Urknall entstanden sind. Der Nachweis dieser Wellen würde uns ein Fenster zur direkten Beobachtung des Urknalls öffnen.



Gravitationswellen, die von zwei sich umkreisenden Schwarzen Löchern ausgelöst wurden, werden in dieser Computersimulation dargestellt. (Credit: R. Hurt/Caltech-JPL)

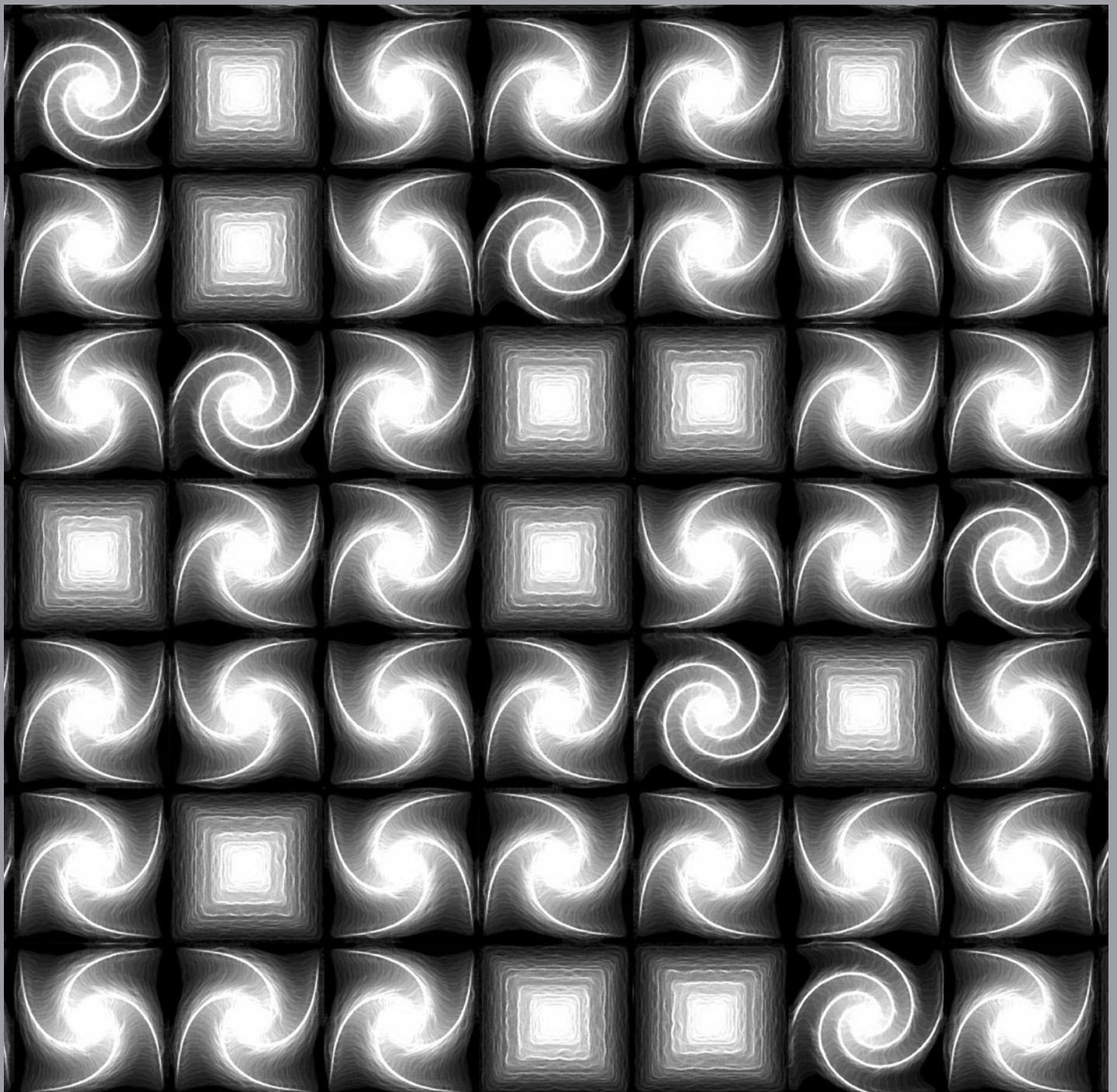
SUSYs FINGERPRINT

Ein lentikulares Objekt von Hofstetter Kurt

Hofstetter Kurt ist Künstler und Komponist und lebt und arbeitet in Wien. Künstlerische Schwerpunkte: Konzepte, Computer-, Licht- und Internet-Arbeiten, Medienkunstinstallationen im öffentlichen Raum, akusmatische Musik- und Klangarbeiten.

Hofstetter Kurt's einfache Regel seiner Methode der Induktiven Rotation besagt, dass um den östlichsten Punkt einer Figur drei Kopien dieser Figur sukzessive um 90, 180 und 270 Grad Celsius gedreht und jeweils nach hinten positioniert werden. Die sich daraus ergebende Figur wird zur Ausgangsfigur der nächst folgenden Anwendung dieser Regel usw. Durch die wiederholte Anwendung dieser Regel auf die quadratische Ausgangsfigur von vier Elementarteilchen werden automatisch zwei aperiodische und asymmetrische Musterebenen von Elementarteilchen generiert, die sich exakt

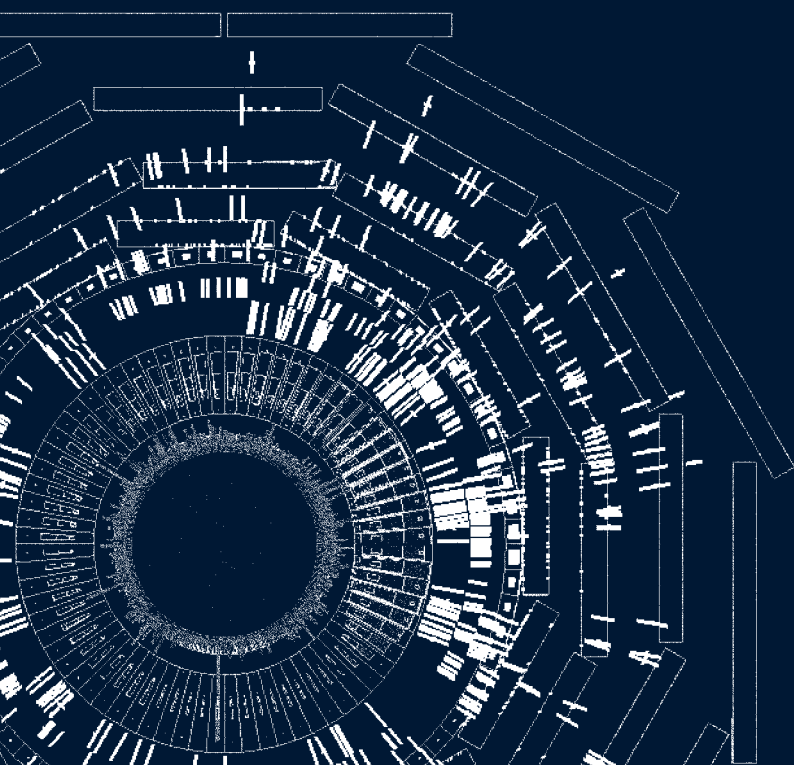
überlagern und einander bedingen. Sie stehen in supersymmetrischer Beziehung, da hinter jedem sichtbaren Elementarteilchen der Vordergrundebene genau sein unsichtbares supersymmetrisches Partnerteilchen liegt. SUSYs FINGERPRINT gewährt visuellen Zugang zu beiden Musterebenen – von links zur asymmetrischen Vordergrundebene, von rechts zur asymmetrischen Hintergrundebene. Bei frontaler Betrachtung ist die transparente Überlagerung beider Ebenen vollkommen symmetrisch wahrnehmbar.



AUF DER SUCHE NACH DEN GROSSEN GEHEIMNISSEN

Die Wissenschaft wird geprägt von den Forscherinnen und Forschern in den verschiedenen wissenschaftlichen Einrichtungen. Eine der wichtigsten Komponenten ist die Neugierige des Menschen – der Wunsch zu erforschen.

Die Teilchenphysik beschäftigt sich mit den kleinsten Bausteinen der Materie und deren Wechselwirkungen. Ein einheitliches physikalisches Bild von diesem Mikrokosmos ist Voraussetzung für ein grundlegendes Verständnis aller Naturvorgänge. Um diese kleinsten Bausteine zu erforschen, braucht man große Teilchenbeschleuniger. Sie erzeugen aus bekannten Teilchen neue, uns noch unbekannte Teilchen. Diese werden von gigantischen Detektoren nachgewiesen und exakt vermessen. Jede Sekunde müssen die Eigenschaften von Milliarden von Teilchen bestimmt werden, obwohl diese oft nur für Bruchteile von Sekunden existieren. Dazu brauchen wir modernste Technologien, die meist neu entwickelt werden müssen. So können wir unser Wissen über die kleinsten Bausteine des Universums erweitern. Das dabei erworbene Know-how kann auch in anderen Bereichen eingesetzt werden, zum Beispiel in der Medizin für neue Therapiemöglichkeiten.



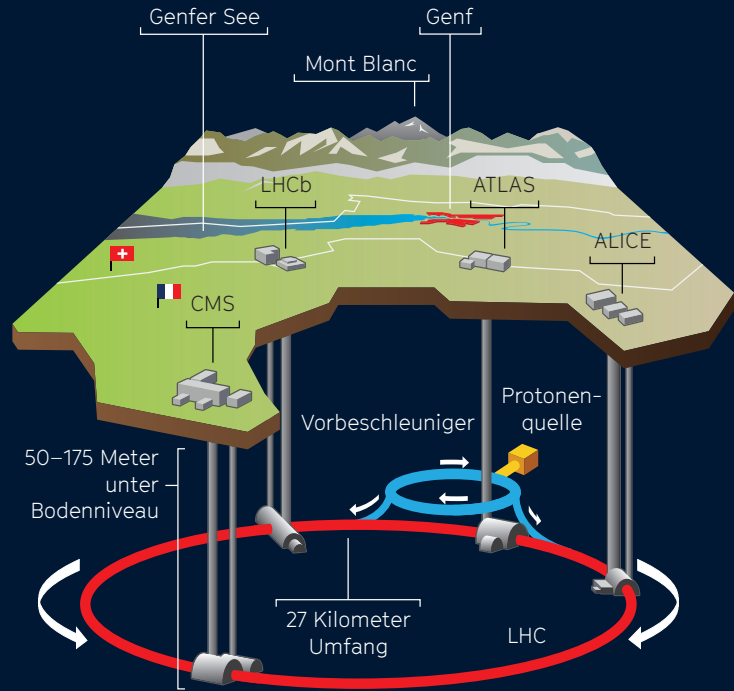
WISSENSCHAFTLICHE KURATIERUNG

DI Dr. Marko Dragicevic
Institut für Hochenergiephysik
der Österreichischen Akademie der Wissenschaften
Forschungsschwerpunkt: Entwicklung von
Teilchendetektoren

TEILCHENBESCHLEUNIGER

Der derzeit größte und leistungsfähigste Teilchenbeschleuniger der Welt ist der Large Hadron Collider (LHC) am CERN.

Der LHC ist ein Kreisbeschleuniger. Hier werden Protonen entlang einer kreisförmigen Bahn auf immer höhere Energie – bis fast auf Lichtgeschwindigkeit – beschleunigt. Starke Magnete halten die Teilchen auf der Kreisbahn. Die Teilchen werden in entgegengesetzte Richtungen beschleunigt und an bestimmten Punkten – den vier großen Experimenten – zur Kollision gebracht. Aufgrund der hohen Energie prallen die Teilchen nicht nur voneinander ab, sondern es finden auch Teilchenumwandlungen statt. Die in der Bewegung gespeicherte Energie kann durch den Zusammenstoß in Masse umgewandelt werden. Laut Einsteins berühmter Formel $E=mc^2$ sind Energie und Masse zwei Seiten einer Medaille. So können neue Teilchen, sogar mit einer höheren Masse als die der Ursprungsteilchen, entstehen.



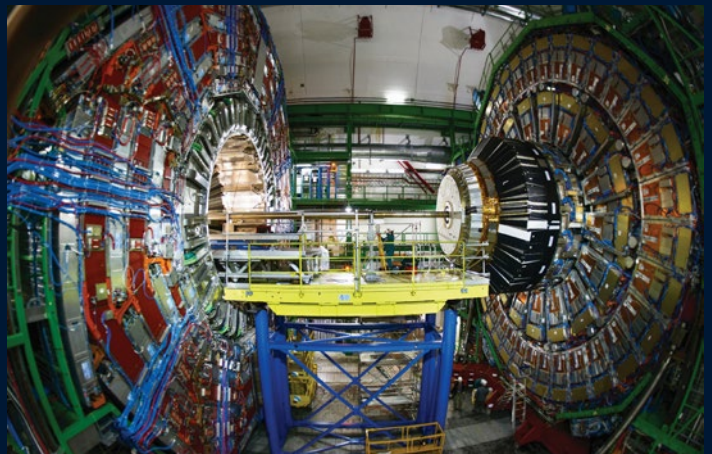
LARGE HADRON COLLIDER (LHC)

Umfang des Beschleuniger-Rings: 27 km
 Lage: 50–175 Meter unter der Erdoberfläche
 Betriebstemperatur der Magnete: $-271,25\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Teilchen-Kollisionen: 40 Millionen pro Sekunde
 Geschwindigkeit der Teilchen: 11.245 Umrundungen pro Sekunde (beinahe Lichtgeschwindigkeit)

Der Large Hadron Collider mit den vier großen Experimenten CMS, LHCb, ATLAS, ALICE
 (Credit: grafische kooperative)



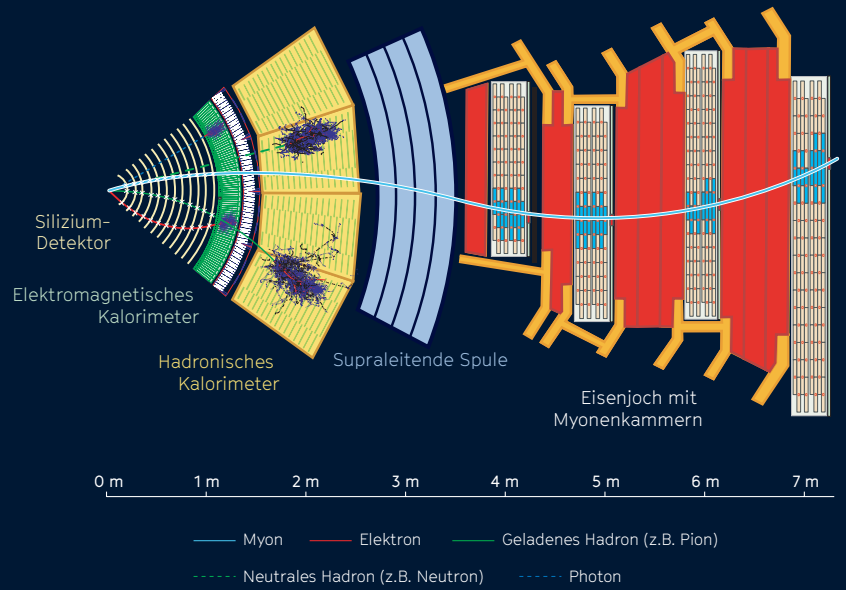
Blick auf den supraleitenden Dipolmagnet mit den beiden Strahlrohren
 (Credit: CERN_Fotograf Daniel Dominguez)



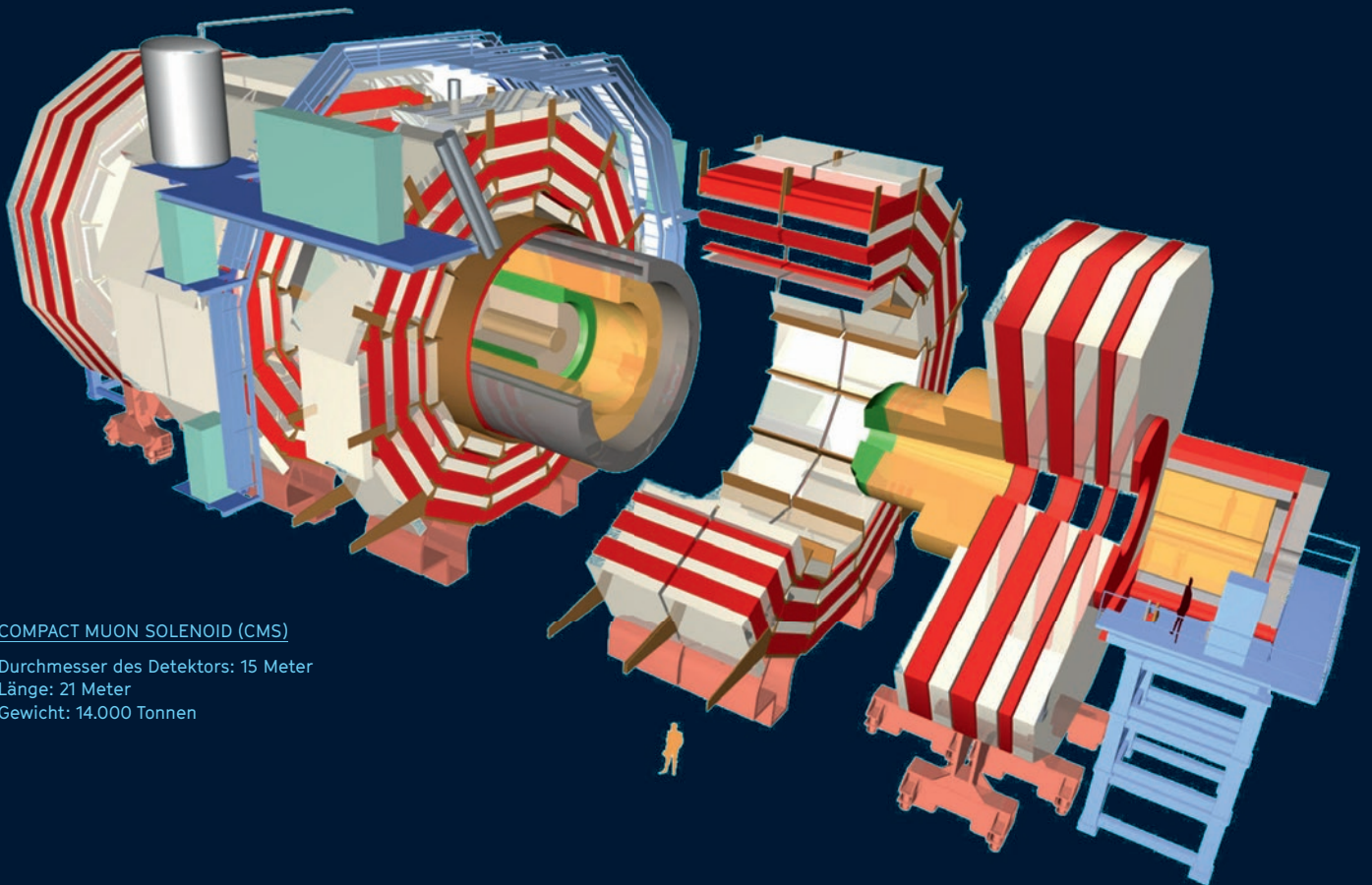
Der geöffnete CMS-Detektor
 (Credit: CERN)

FEINFÜHLIGE GIGANTEN

Ein Teilchendetektor ist ein Gerät zur Vermessung von Teilchen. Am Beschleuniger werden rund um den Kollisionsort der Teilchen riesige Teilchendetektoren aufgebaut. Diese messen die Eigenschaften der neu entstandenen Teilchen. Jede Sekunde müssen etwa eine Milliarde Teilchen von fast 40 Millionen Kollisionen exakt vermessen werden. Dazu verwendet man verschiedene Detektorsysteme, die für die Bestimmung von unterschiedlichen Eigenschaften der Teilchen optimiert sind. Die Detektorsysteme sind wie die Schalen einer Zwiebel angeordnet und zeichnen die auftreffenden Teilchen als Ereignisse auf. Der überwiegende Anteil von neu entstandenen Teilchen ist den Forscherinnen und Forschern bereits sehr gut bekannt. Nur ganz selten entstehen weniger erforschte oder sogar bis dahin unbekannte Teilchen. Daher laufen Experimente wie das CMS-Experiment 24 Stunden pro Tag, ca. 300 Tage pro Jahr.



Spuren verschiedener Teilchen durch den CMS Detektor
 (Credit: CERN)



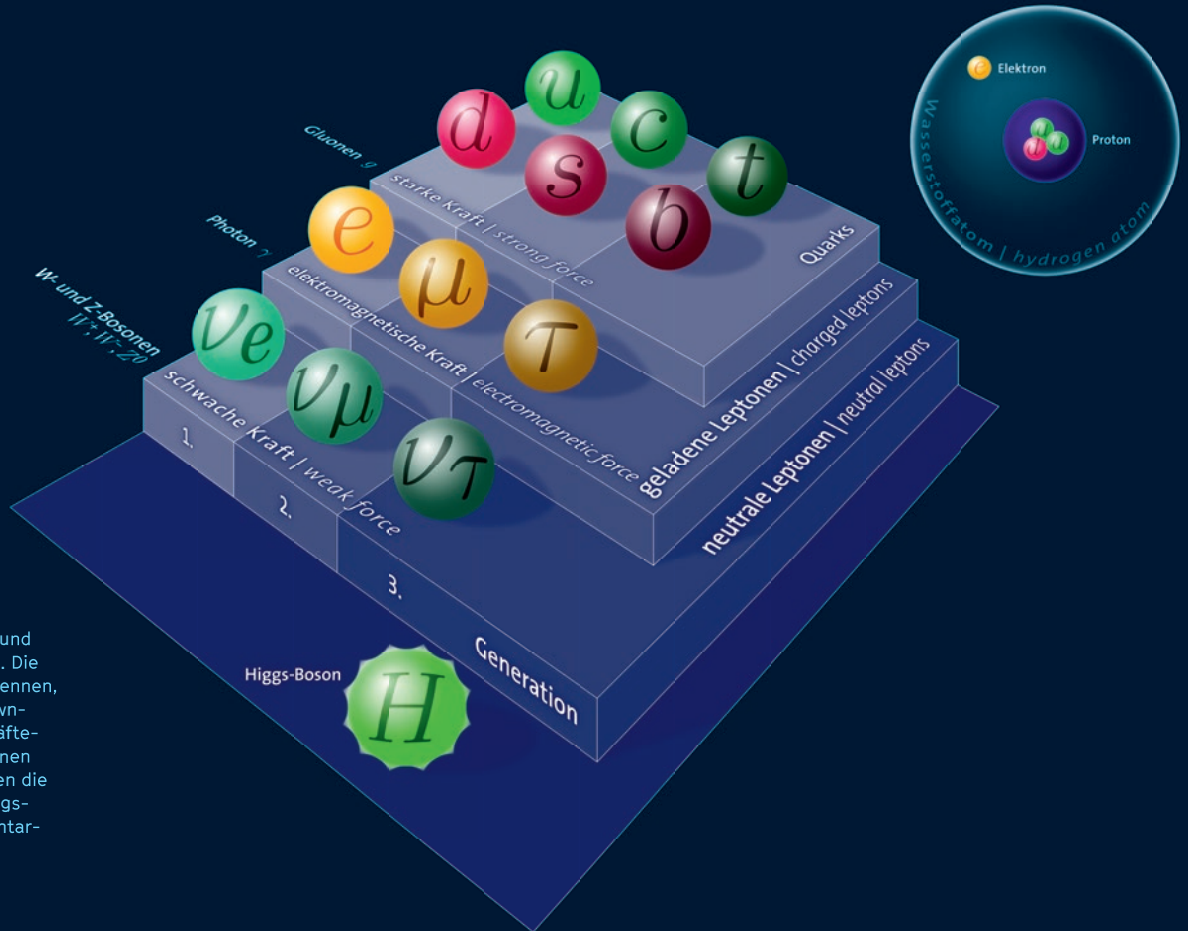
COMPACT MUON SOLENOID (CMS)

Durchmesser des Detektors: 15 Meter
 Länge: 21 Meter
 Gewicht: 14.000 Tonnen

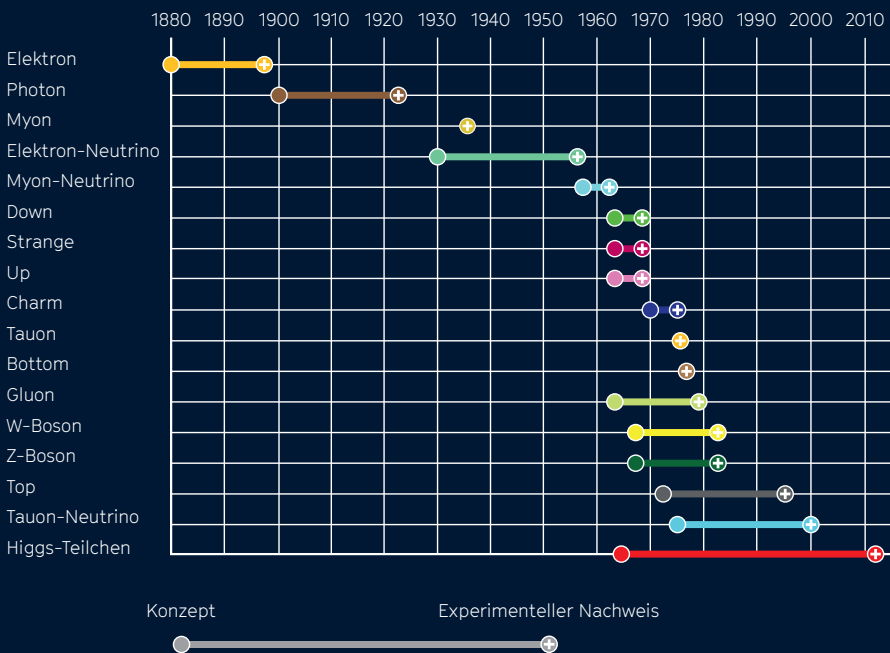
3D-Darstellung des CMS-Experiments
 (Credit: CERN)

BAUKASTEN FÜR DAS UNIVERSUM

In jahrzehntelanger Forschungsarbeit wurde eine Art Baukastensystem für das Universum entwickelt. Es wird als Standardmodell der Teilchenphysik bezeichnet und umfasst unser gesamtes Verständnis von den fundamentalen Teilchen und deren Wechselwirkungen.



Materieteilchen, wie Quarks und Leptonen, bilden die Materie. Die stabile Materie, wie wir sie kennen, besteht nur aus Up- und Down-Quarks sowie Elektronen. Kräfte-Teilchen, wie Gluonen, Photonen und W- und Z-Bosonen, halten die Materie zusammen. Vom Higgs-Teilchen erhalten alle Elementarteilchen ihre Masse.



Der experimentelle Nachweis von Teilchen kann oft mehrere Jahrzehnte dauern. Nach dem Higgs-Teilchen wurde fast 50 Jahre lang gesucht. (Credit: grafische kooperative)

CERN – FORSCHUNG ALS VÖLKERVERBINDENDES ZUKUNFTSPROJEKT

Die Europäische Organisation für Kernforschung CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) ist das weltgrößte und bedeutendste Zentrum für Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Teilchenphysik.

Das Forschungszentrum liegt an der Grenze zwischen Frankreich und der Schweiz, nahe der Stadt Genf, und ist eine Internationale Organisation ähnlich der UNO.

Seine Aufgabe ist die Erforschung der grundlegenden Gesetze des Universums. CERN entwickelt und baut komplexe Forschungsinfrastruktur wie den LHC-Beschleuniger und stellt diese für wissenschaftliche Experimente zur Verfügung. CERN bietet Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftern jeder Nationalität die Gelegenheit, bei der Gewinnung neuer Erkenntnisse mitzuwirken und sich darüber auszutauschen.



- Finnland (1991)
- Schweden (1953)
- Norwegen (1953)
- Dänemark (1953)
- Vereinigtes Königreich (1953)
- Niederlande (1953)
- Polen (1991)
- Belgien (1953)
- Deutschland (1953)
- Tschechische Republik (1993)
- Slowakische Republik (1993)
- Ungarn (1992)
- Österreich (1959)
- Schweiz (1953)
- Frankreich (1953)
- Bulgarien (1999)
- Italien (1953)
- Griechenland (1953)
- Spanien (1961-68 und ab 1983)
- Portugal (1986)
- Rumänien (2016)
- Israel (2013)

CERN

Gründung: 1954
 Beitritt Österreichs: 1959
 Mitgliedsstaaten: 22
 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter: ca. 2.500
 Mehr als 11.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus über 100 Nationen forschen am CERN



DIE 22 MITGLIEDSLÄNDER DES CERN

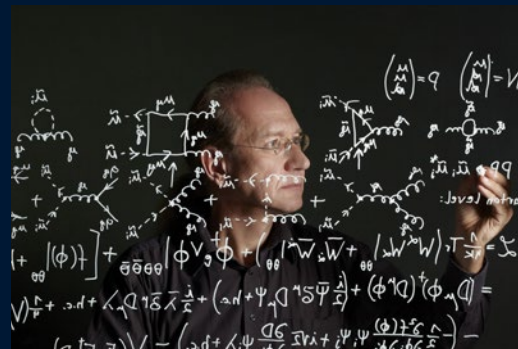
Stand: 2016

Gegründet wurde CERN von 12 europäischen Staaten, wenige Jahre nach dem 2. Weltkrieg. Als eines der ersten großen Projekte eines gemeinsamen Europas ist CERN auch ein Ort der Völkerverständigung. (Credit: grafische kooperative)

HEPHY – ÖSTERREICHS GRÖSSTES ZENTRUM FÜR TEILCHENPHYSIK

Das 1966 gegründete Institut für Hochenergiephysik (HEPHY) ist ein Institut der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Über 70 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter betreiben dort Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Teilchenphysik.

Das HEPHY liefert Schlüsselbeiträge zu den derzeit größten Teilchenphysikexperimenten, wie dem CMS-Experiment am CERN, dem Belle-II-Experiment in Japan sowie dem CRESST-Experiment in Italien. Das Wiener Institut bringt seine Expertise bei der Entwicklung von Detektoren, Elektronik und Software in diese Großforschungsprojekte ein. Es liefert neue theoretische Methoden und Vorhersagen, um unser Verständnis des Universums zu vertiefen.



Das HEPHY widmet sich der Ausbildung der nächsten Generation (Credit: HEPHY; Fotograf Markus Tordik)



Entwicklung neuer Sensoren im HEPHY-Reinraum (Credit: HEPHY)

WAS HABE ICH DAVON?

Die Erforschung grundlegender Zusammenhänge der Natur ist eine Investition in die Zukunft.

Physik trifft Medizin

Teilchenbeschleuniger werden auch in der Medizin im Rahmen einer speziellen Form der Strahlentherapie zur Bekämpfung von Krebserkrankungen eingesetzt. Mit einem Teilchenbeschleuniger können Tumore präzise mit unterschiedlichen Ionenarten und Energien bestrahlt werden. Im Einsatz ist ein solcher Teilchenbeschleuniger zum Beispiel im Therapiezentrum MedAustron in Wiener Neustadt, wo bis zu 1.200 Patientinnen und Patienten jährlich damit behandelt werden. Dieser Teilchenbeschleuniger wurde in Kooperation mit dem CERN entwickelt und wird auch für nicht-klinische Forschungszwecke verwendet.



Das Synchrotron – ein kreisförmiger Beschleuniger mit ca. 80 m Umfang – stellt das Herzstück des MedAustron-Beschleunigers dar. (Credit: MedAustron)

Die Geburtsstätte des World Wide Web

Der Grundstein für das World Wide Web wurde 1989 am CERN gelegt. Der CERN-Mitarbeiter Sir Tim Berners-Lee entwickelte es, um den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern den Informationsaustausch zu erleichtern.



Sir Tim Berners-Lee präsentiert 1989 sein Konzept für das World Wide Web (Credit: CERN)

Made in Austria

Weltweit neuartige Sensoren, entwickelt und gebaut vom Institut für Hochenergiephysik (HEPHY) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und von Infineon Technologies Austria.



Teilchensensor einer neuen Generation (Credit: HEPHY; Fotograf Gregor Schweinester)

TEILCHENDETEKTOREN UND -BESCHLEUNIGER – WICHTIGE ENTWICKLUNGSSCHRITTE

- 1909 — Ernest Rutherford, Hans W. Geiger und Ernest Marsden zeigen im Rutherford'schen Streuversuch, dass positive Ladung und ein Großteil der Masse eines Atoms in seinem kleinen Kern vereinigt sind. Als Teilchendetektor dient eine Zinksulfid-Fotoplatte.
- 1928 — Erfindung des Geigerzählers, eines mit Gas gefüllten Teilchendetektors, durch Hans W. Geiger und Walter Müller
- 1930 — Erfindung des Zyklotrons durch Ernest O. Lawrence und Niels E. Edlefsen
- 1947 — Entwicklung des Szintillationszählers durch Hartmut Kallmann und Immanuel Broser
- 1952 — Erfindung des Prinzips der Blasenkammer durch Donald Arthur Glaser
- 1957 — Der erste Beschleuniger des CERN, das Synchrozyklotron, geht in Betrieb.
- 1968 — Entwicklung der Vieldraht-Proportionalkammer durch Georges Charpak. Dieser Teilchendetektor ermöglicht eine schnelle elektronische Auswertbarkeit der Daten.
- 1983 — Der erste Siliciumdetektor wird am NA11-Experiment am CERN installiert.
- 1987 — Das Tevatron am Fermilab, der zu dem Zeitpunkt energiereichste Beschleuniger der Welt, geht in Betrieb.
- 1989 — Der Beschleuniger SLC, der Stanford Linear Collider, geht am Forschungszentrum SLAC in Betrieb.
- 1989 — Am CERN nimmt der Beschleuniger LEP (Large Electron-Positron Collider) den Forschungsbetrieb auf.
- 2008 — Der größte Teilchenbeschleuniger, der Large Hadron Collider am CERN, geht in Betrieb.

DIE ZUKUNFT DER TEILCHENPHYSIK

Nur etwa fünf Prozent unseres Universums bestehen aus der uns bekannten Materie, wie sie im Standardmodell beschrieben ist. Der Rest, so wird vermutet, ist Dunkle Materie und Dunkle Energie. Die Dunkle Materie kann im Gegensatz zur sichtbaren Materie weder Licht ausstrahlen noch absorbieren und ist daher für uns unsichtbar. Mit einer ganzen Reihe von Experimenten wird derzeit versucht, Dunkle Materie im Labor zu produzieren oder diese direkt zu beobachten.

Ein großes Rätsel ist auch die Asymmetrie in der Anzahl der Materie- und Antimaterieteilchen. Teilchen können in zweifacher Form auftreten, als Materie und Antimaterie. Diese zwei Formen weisen gegensätzliche Ladung auf und sind beim Urknall in gleicher Menge entstanden. Während der ersten Sekunden in der Entwicklung des Kosmos ist die Antimaterie jedoch auf geheimnisvolle Weise verschwunden.

Auch die Frage, ob die Welt supersymmetrisch ist, muss noch geklärt werden. Nach der supersymmetrischen Theorie müsste es zu jedem derzeit bekannten Elementarteilchen ein supersymmetrisches Partnerteilchen geben. Diese werden derzeit noch fieberhaft gesucht.

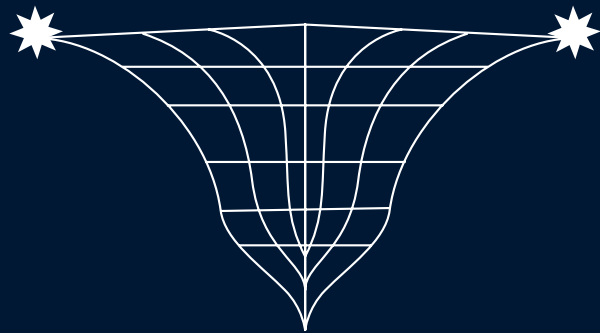
WIE ENDET DAS UNIVERSUM?



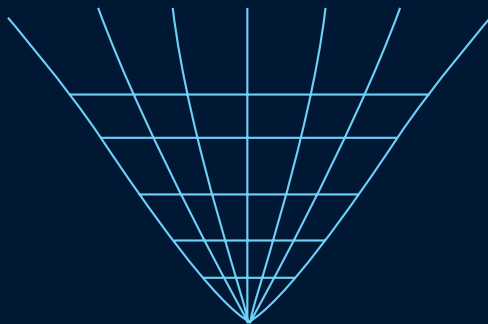
Big Crunch

Die Entwicklung des Universums kehrt sich um: Nachdem das Universum eine maximale Ausdehnung erreicht hat, zieht es sich wieder auf einen Punkt zusammen. Es wird zu einem Schwarzen Loch. Während dieses Kollapses heizt sich das Universum beständig auf.

Die Ausdehnungsgeschwindigkeit des Universums nimmt immer mehr zu und wird schließlich beliebig hoch. Nach langer, aber endlicher Zeit – am „Cosmic Doomsday“ – überwindet die Ausdehnung sämtliche bindenden Kräfte und zerreißt alles – von den Galaxienhaufen bis zu den Atomen.



Big Rip



Big Freeze

Die Ausdehnung des Universums setzt sich für alle Zeiten fort. Das Universum wird zunehmend kühler und dunkler, und die Materie sammelt sich in Schwarzen Löchern. Die Temperatur nähert sich dem absoluten Nullpunkt.

Aufgrund der präzisen Vermessung der Energiedichte im Universum und aufgrund der Eigenschaften der Dunklen Energie geht man heute davon aus, dass das Universum zunehmend kühler und dunkler wird – das sogenannte „Big Freeze“-Szenario gilt am wahrscheinlichsten.

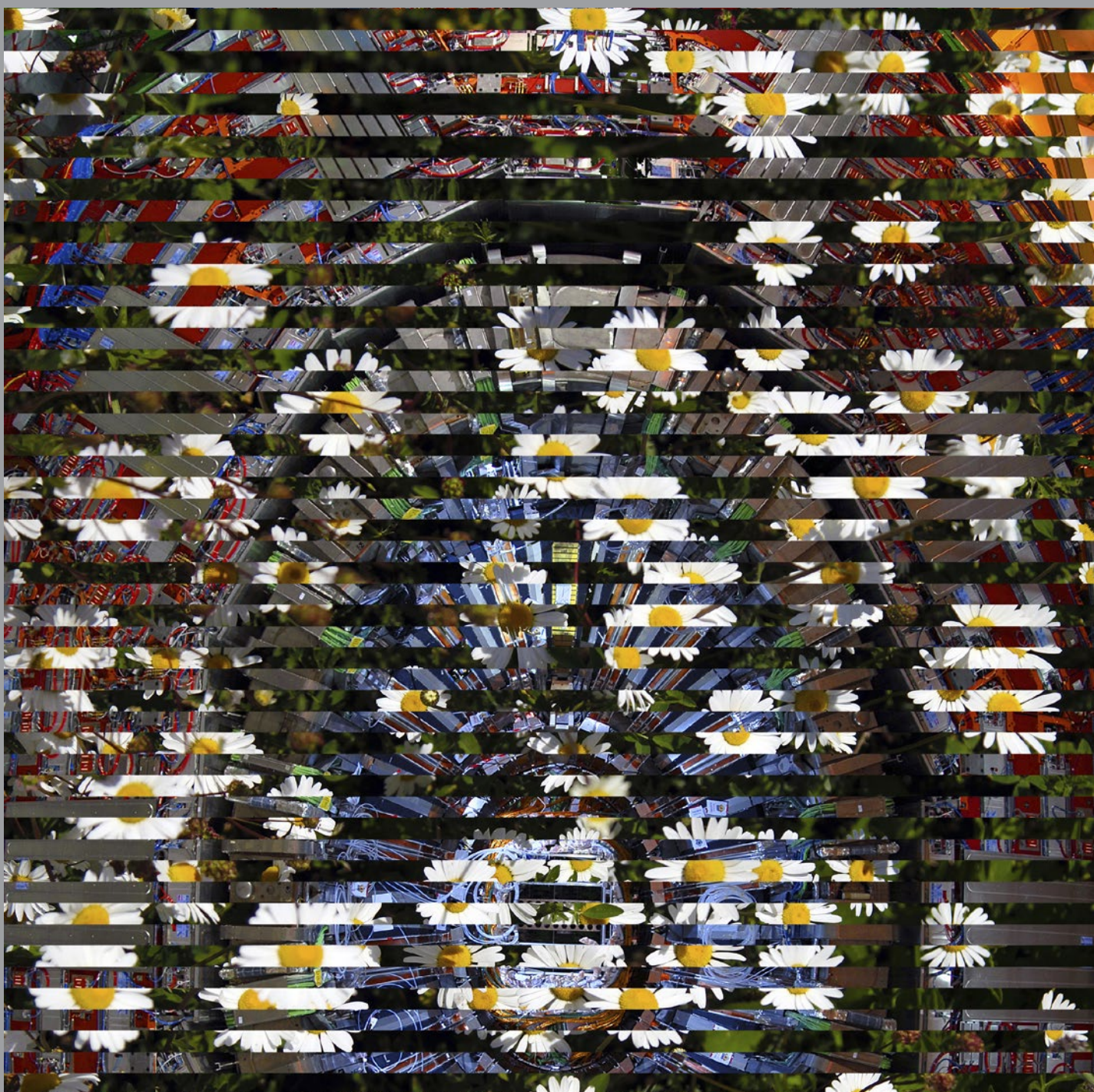
THE GODPARTICLE- HUNTINGMACHINE

Michael Hoch

Michael Hoch ist österreichischer Physiker am CERN, Fotograf, Künstler und Gründer des art@CMS Projektes (<https://artcms.web.cern.ch/>), der es sich zum Ziel gesetzt hat, einen aktiven Dialog zwischen der Wissenschaftsgemeinschaft, Künstlern, Kunstinstitutionen, Schulen und einem allgemeinen Publikum zu generieren. Er verarbeitet seine Fotografien in Form von Kollagen und ermöglicht dem Publikum eine wundersame Betrachtung moderner Wissenschaft und Technologie.

Das CMS-Experiment steht im Mittelpunkt der Fotocollagen der Serie „The GodParticleHuntingMachine“ des österreichischen Physikers und Künstlers Michael Hoch. Er zeigt den CMS-Detektor, nicht nur als Wunderwerk moderner Ingenieurskunst und Technologie, sondern auch als ungemein spektakuläres ästhetisches Objekt. In seinen Collagen

verschmilzt die Maschine mit unterschiedlichen Blüten, die als Sinnbilder der Natur verstanden werden können. Michael Hoch präsentiert in seinen Arbeiten die Eindrücke und Perspektiven eines Künstlers, der als Wissenschaftler an diesem Wissenschaftsapparat beteiligt und von der gigantischen Wissenschaftsarchitektur fasziniert war.



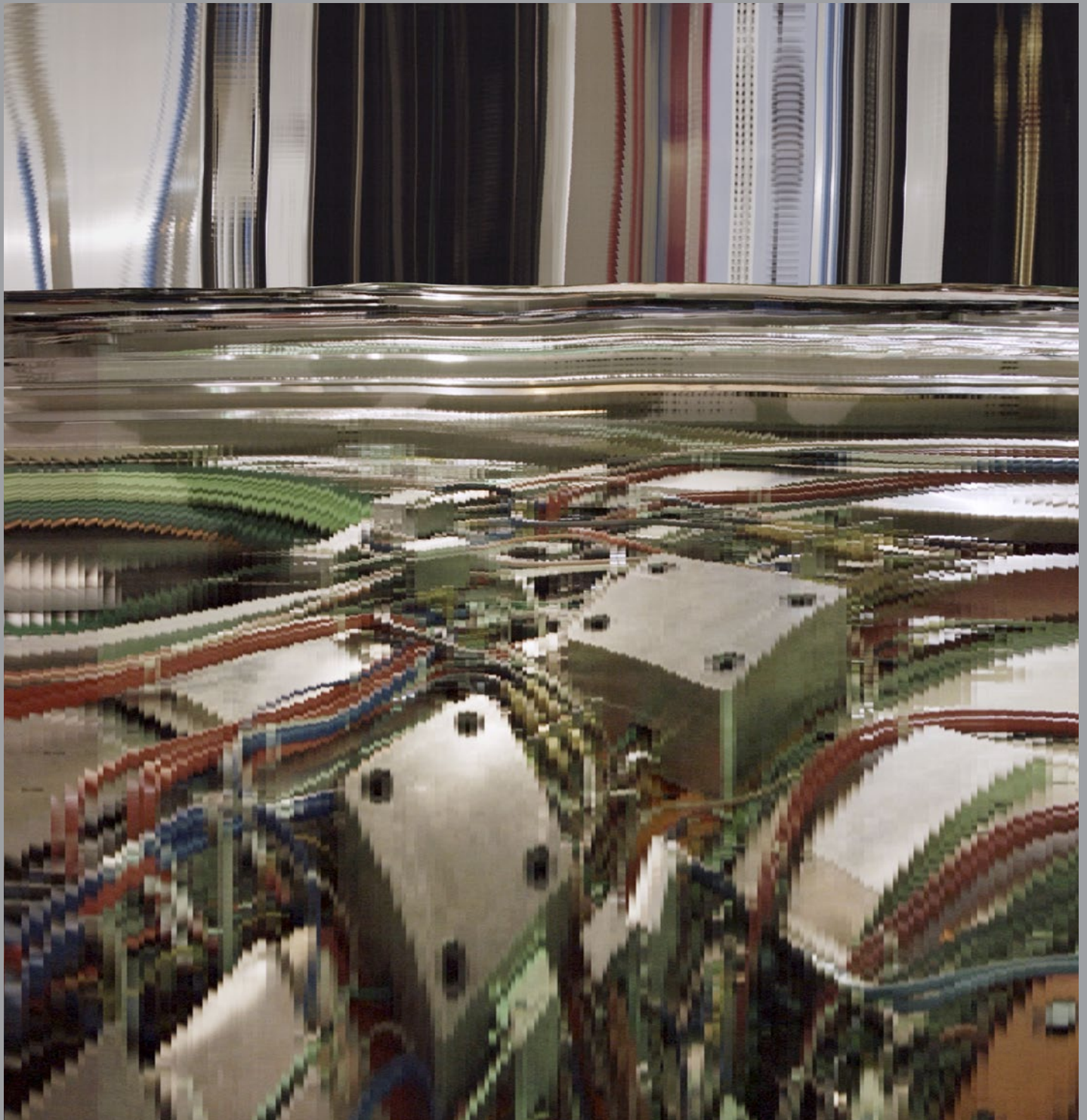
NATURE OF THE APPARATUS

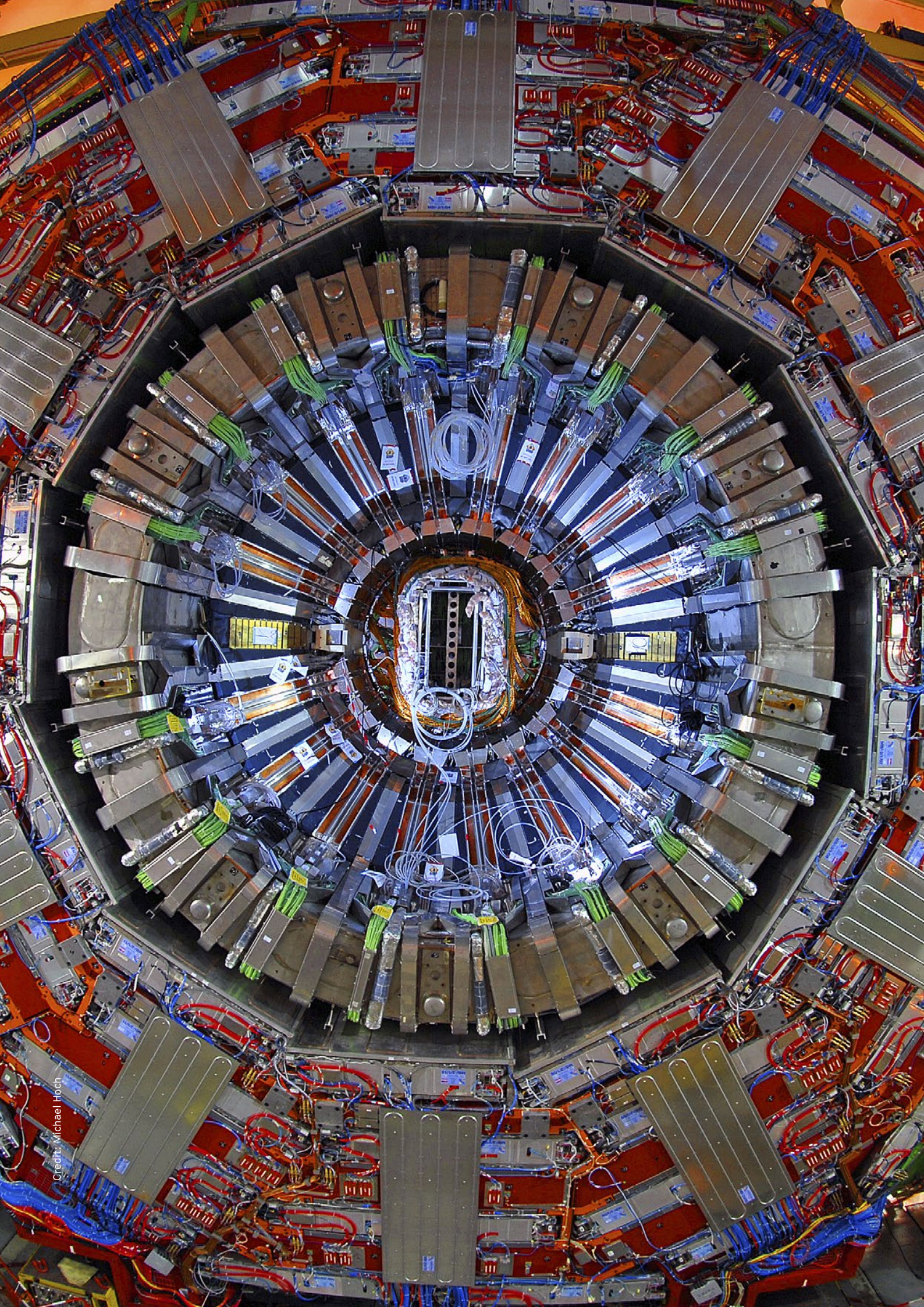
Chris Henschke

Der in Melbourne lebende Künstler Chris Henschke beschäftigt sich seit mehr als 20 Jahren mit digitalen Medien. Chris Henschke bewegt sich an den Schnittstellen von wissenschaftlicher Interdisziplinarität und Kunst. Schwerpunkte seines Schaffens bilden die experimentelle Verbindung von Ton und Bild sowie von Raum und Zeit. Seine Arbeiten werden seit Anfang 2000 in zahlreichen Ausstellungen und Installationen sowohl in Australien als auch international präsentiert.

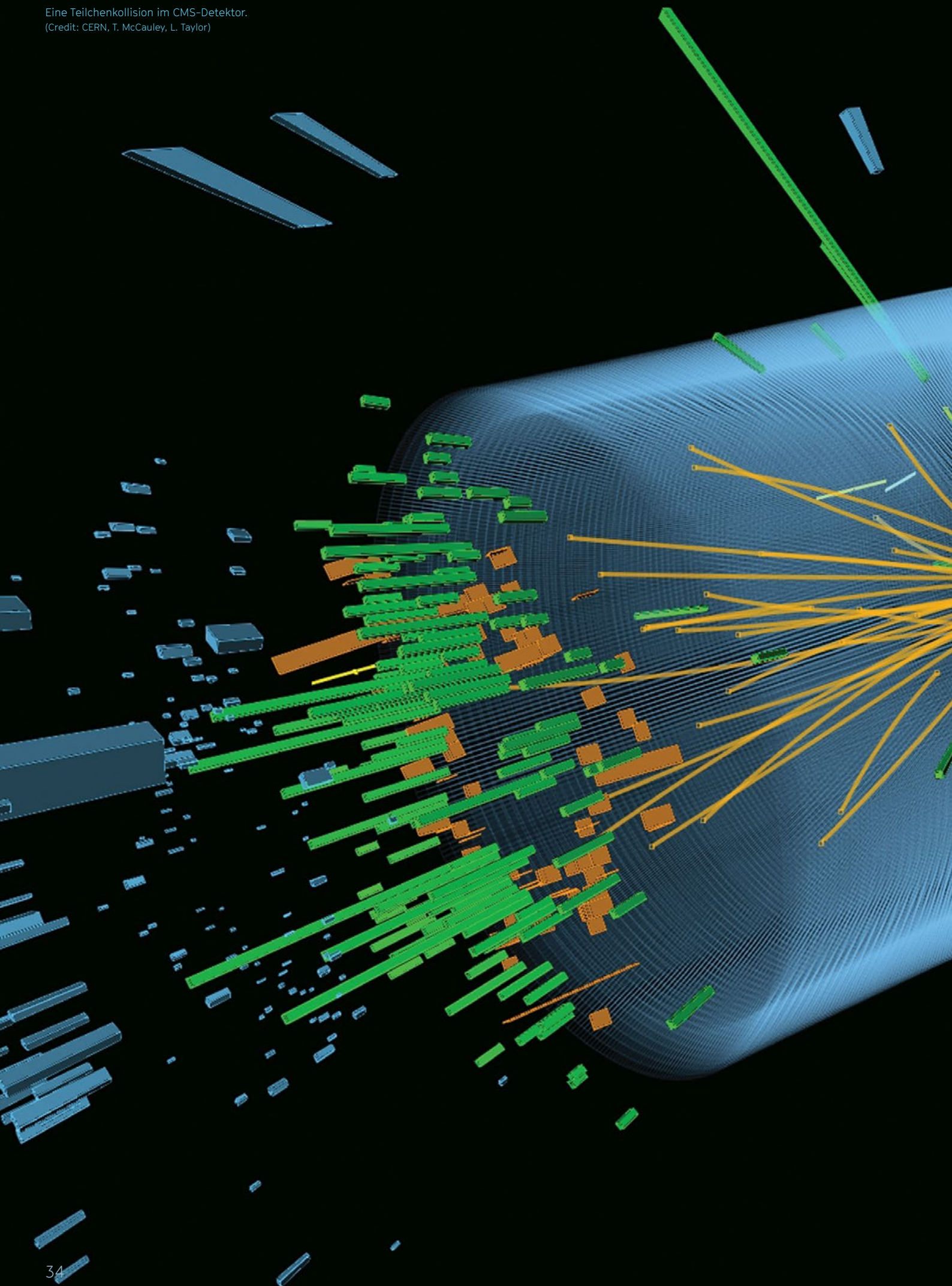
Das LHC-Video wurde algorithmisch manipuliert, sodass die Klänge des Beschleunigerstrahls und des Detektors den Ablauf des Films steuern. Das Projekt zeigt nicht nur die ungeheuren Größenskalen und Energien im LHC auf, sondern bemüht sich auch, den Zusammenhang

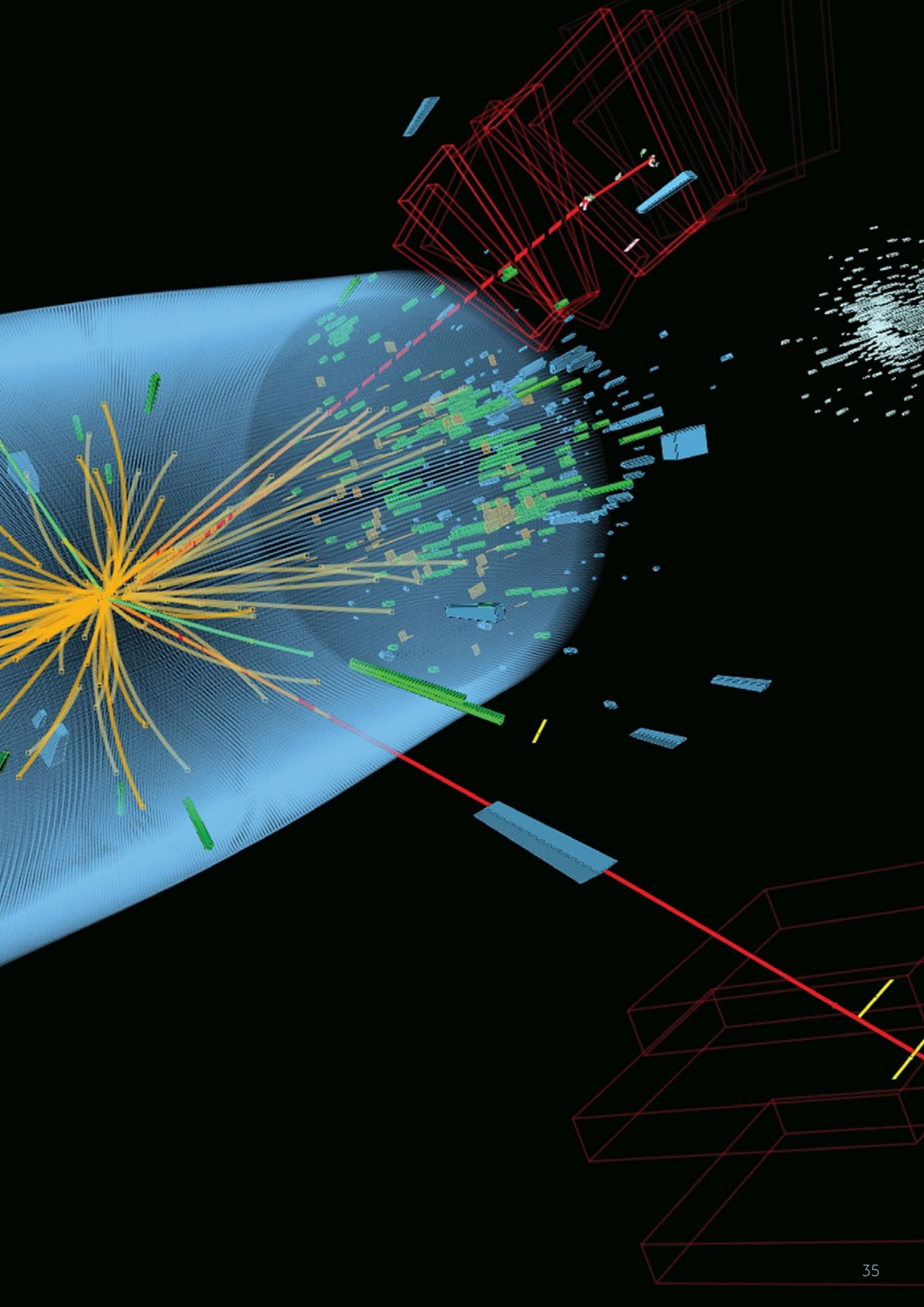
zwischen Apparat und physikalischen Erscheinungen zum Ausdruck zu bringen. Inspiriert von Niels Bohrs Einsichten in die Teilchenphysik faltet das Kunstwerk im Wesentlichen die Energie in das Gerät zurück, von dem sie produziert wird.





Credit: Michael Hoch





EINE REISE ZUM URSPRUNG DES UNIVERSUMS

Die Ausstellung „Wie alles begann. Von Galaxien, Quarks und Kollisionen“ lädt ein zu einer Spurensuche, die über 13 Milliarden Jahre zurück in die Vergangenheit, zum Ursprung des Universums, führt. Entstanden als Zusammenarbeit zwischen dem Naturhistorischen Museum Wien und dem Institut für Hochenergiephysik (HEPHY) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW), thematisiert die Ausstellung Fragen, die die Menschen seit Jahrhunderten beschäftigen und uns an die Grenzen nicht nur unseres Wissens, sondern auch unseres Vorstellungsvermögens führen: *Woraus besteht unser Universum? Was ist dunkle Materie? Hat das Universum einen Anfang und ein Ende? Was war vor dem Urknall?* Antworten darauf bieten die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse aus der Teilchenphysik und der Kosmologie. Zeitgenössische Werke von Kunstschaffenden machen die Unendlichkeit des Weltalls, die gigantischen Zeithorizonte und die Erforschung des Urknalls auf völlig konträre, sinnliche Weise erfahrbar.



Herausgeber: Naturhistorisches Museum Wien
und Institut für Hochenergiephysik der ÖAW
ISBN 978-3-903096-12-7