

ÖSTERREICHISCHE BEITRÄGE

Das Institut für Hochenergiephysik (HEPHY) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften ist maßgeblich an zwei internationalen Großexperimenten beteiligt: Am Compact Muon Solenoid (CMS) Experiment am CERN (Schweiz) und am Belle II-Experiment am KEK (Japan).

DAS CMS-EXPERIMENT AM CERN

Das CMS Experiment wurde so konstruiert, dass er neue physikalische Phänomene in Teilchenkollisionen entdecken kann. Dazu erzeugt der Detektor bis zu 40 Millionen mal pro Sekunde ein präzises 3D Bild aller entstandenen Teilchen.

UNSERE BEITRÄGE

- › Führende Beiträge zur Gewinnung von Physikresultaten
- › Entwicklung, Bau und Betrieb essentieller Teile des Triggersystems
- › Entwicklung und Design von Siliziumsensoren
- › Qualitätssicherung der Produktion der Siliziumsensoren
- › Bau und Test von Streifendetektor-Modulen
- › Ausleseelektronik für Pixel- und Streifendetektoren
- › Rechenzentrum zur Speicherung und Analyse von Daten
- › Programme zur Erkennung und Rekonstruktion von Teilchenspuren

DAS BELLE II-EXPERIMENT AM KEK

Das Experiment Belle II wurde unter anderem für die Klärung der Frage, weshalb es deutlich mehr Materie als Antimaterie in unserem Universum gibt, gebaut.

UNSERE BEITRÄGE

- › Entwicklung und Gesamtverantwortung für den Bau des Silizium-Streifendetektors SVD
- › Bau von Detektormodulen im hauseigenen Reinraum
- › Entwicklung und Bau der SVD Ausleseelektronik
- › Führende Beiträge zur physikalischen Belle II-Datenanalyse (Suche nach Produktion von Dunkler Materie, Überprüfung des Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Mechanismus, Seltene B Meson-Zerfälle)



1



2



4



3

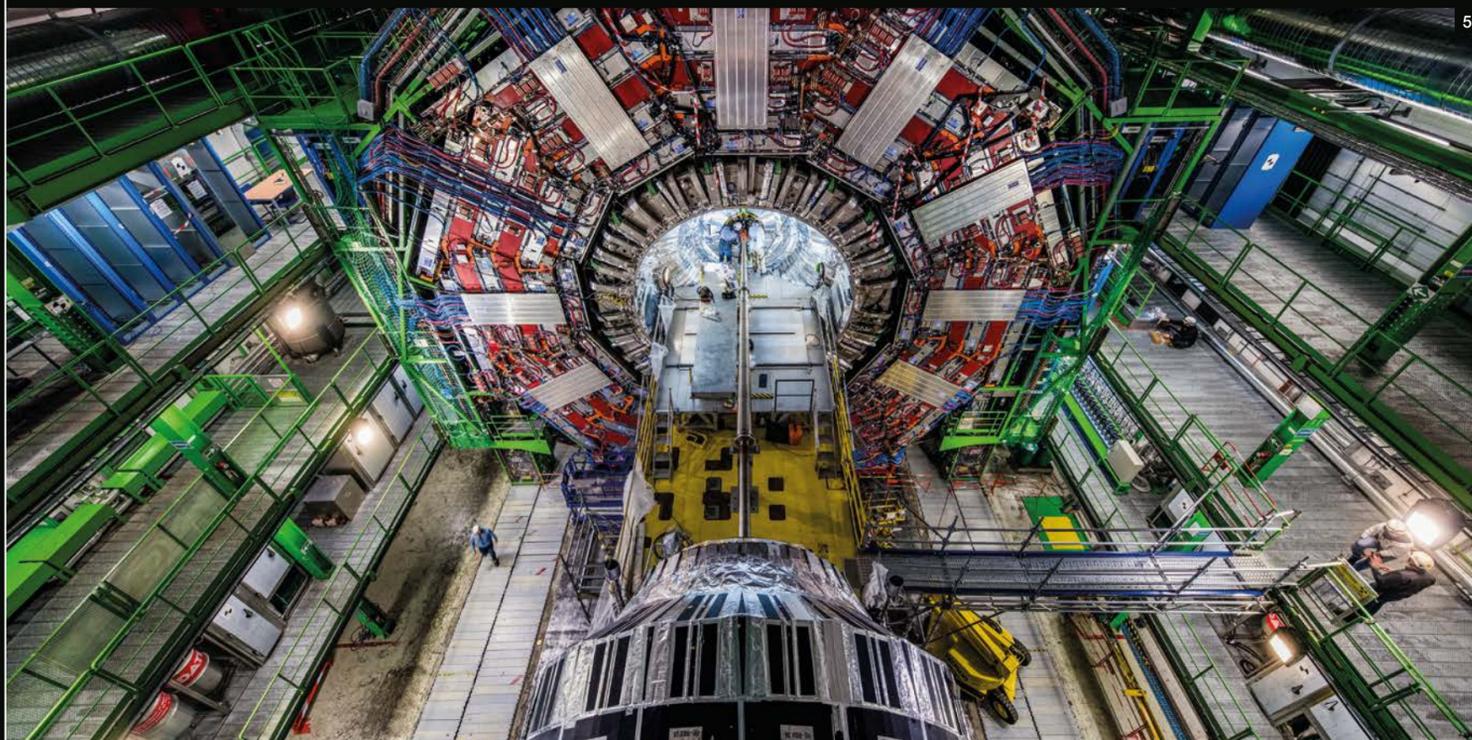
1 Ein Wissenschaftler am HEPHY bereitet die elektrische Charakterisierung eines Siliziumsensoren vor.

2 Überprüfung der Produktionsqualität von Halbleitersensoren mittels Teststrukturen in einer vom HEPHY gebauten halbautomatischen Testanlage

3 Belle II Siliziumvertex-Detektor

4 Test von neuartigen Teilchensensoren

5 CMS Detektor am CERN



5

RARE EVENT SEARCHES-EXPERIMENTE

Die Experimente zur Suche nach seltenen Ereignissen spielen eine wichtige Rolle bei der Suche nach neuer Physik, von der Dunklen Materie bis zur Neutrinophysik.

Bei Experimenten zur direkten Suche nach Dunkler Materie wird nach Wechselwirkungen von Teilchen der Dunklen Materie mit dem Detektormaterial gesucht. Die meisten dieser Experimente suchen nach elastischer Streuung von Dunkle-Materie-Teilchen an Atomkernen und befinden sich in tiefen Untergrundlaboren, um sie gegen die kosmische Strahlung abzuschirmen.

Für Präzisionsstudien von Neutrinoeigenschaften und für neue Physik jenseits des Standardmodells wird ebenfalls die elastische Streuung an Atomkernen vermessen, allerdings nicht von Teilchen der Dunklen Materie, sondern von Neutrinos.

Für die direkte Suche nach Dunkler Materie werden auch Silizium-Halbleiter verwendet. In diesen wird nach Wechselwirkungen mit den Elektronen gesucht. Dies erlaubt, sehr leichte Teilchen der Dunklen Materie zu erforschen.



STECKBRIEF EXPERIMENTE

- › CRESST: Bau 1996; Upgrade 2024/2025
- › COSINUS: Bau 2021 – 2024
- › NUCLEUS: Bau 2021 – 2024
- › DANAE: Prototypenentwicklung



- 1 Montage der CRESST-Detektoren in das Detektorkarussell
- 2 NUCLEUS Collaboration vor dem Atomkraftwerk Chooz
- 3 Offenes Detektormodul des COSINUS-Experiments
- 4 Montage eines COSINUS Detektormoduls in einer Glovebox
- 5 Blick in die Halle A am LNGS, Container mit dem CRESST-Experiment



DAS UNSICHTBARE SICHTBAR MACHEN

DIE TECHNIK FÜR ZUKÜNFTIGE EXPERIMENTE

Am HEPHY konzentrieren wir uns auf Teilchendetektoren auf Basis von sogenannten Halbleitern, die ähnlich zu elektronischen Bauteilen bzw. Mikrochips sind. Diese Detektoren simulieren wir in Computern, um das optimale Design zu ermitteln, aus welchem von speziellen Firmen oder Instituten die eigentlichen Detektoren gefertigt werden. So haben wir fast ein Jahrzehnt mit dem Europäischen Halbleiterhersteller Infineon zusammengearbeitet, um Silizium-Detektoren für LHC-Experimente zu entwickeln.

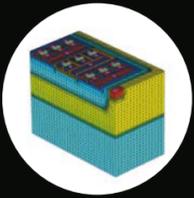
Die produzierten Detektoren werden dann in den Reinräumen und Werkstätten des HEPHY getestet, charakterisiert, bzw. zu größeren Systemen integriert. Dies geschieht für Prototypen für zukünftige Experimente genauso wie für tausende Komponenten der Experimente, an denen wir beteiligt sind (CMS, Belle-II). Im ersten Fall wird die Performance der Detektoren und ihre Alterung unter ständigem Teilchenbeschuss studiert, um Verbesserungen in zukünftige Versionen zu implementieren. Bei der Serienproduktion für HEP-Experimente müssen wir sicherstellen, dass nur perfekt funktionierende Detektoren in die Experimente verbaut werden, um für zehnjährigen Betrieb hochwertige Daten liefern zu können.

Detektoren für HEP-Experimente eignen sich auch sehr gut für die Vermessung von Teilchenstrahlen außerhalb der Hochenergiephysik. Daher arbeiten wir mit MedAustron zusammen, um deren Teilchenstrahl in allen Anwendungsfällen präzise detektieren zu können. Dies reicht von einzelnen Teilchen bis zu höchsten Raten, welche bei der sogenannten FLASH-Therapie zum Einsatz kommen wird.



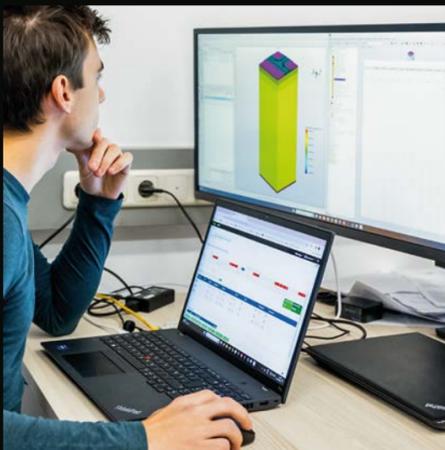
Blick in den HEPHY-Reinraum mit verschiedenen Messapparaturen zur elektrischen Charakterisierung von Siliziumdetektoren.

ENTWICKLUNGSSCHRITTE



GRUNDLAGENFORSCHUNG

- › Idee: Wie kann ich einen physikalischen Effekt zum Detektieren von Teilchen verwenden ?
- › Konzeptentwicklung mittels Computersimulation



COMPUTERSIMULATION SENSOR



STRATEGISCHE WEITERENTWICKLUNG

- › Technologieentwicklung
- › Demonstration der Technologie in einem größeren Rahmen



BAU PROTOTYPEN



EINSATZ IN EXPERIMENTEN

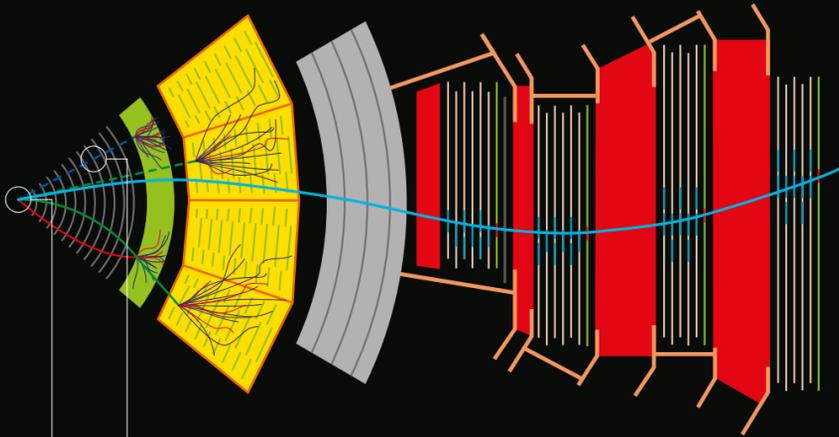
- › Bau eines großen Systems (Tausende bis Millionen Detektorkanälen)
- › Nutzung des Systems in einem realistischen Einsatzumfeld



CMS-TRACKER

HALBLEITERDETEKTOREN

Ein Halbleiterdetektor ist ein Strahlungs- oder Teilchendetektor, bei dem spezielle elektrische Eigenschaften von Halbleitern ausgenutzt werden, um ionisierende Strahlung nachzuweisen. Halbleiterdetektoren werden meistens im Zentrum von Beschleunigerexperimenten als Vertex- und Spurdetektor verbaut, um die Position der Teilchenkollisionen sowie die Bahn der durch die Kollision produzierten Sekundärteilchen zu vermessen. Diese Teilchen erzeugen im Halbleiter freie Ladungsträger, die zu Elektroden aus Metall driften. Dieses Stromsignal wird durch sogenannte Front-End-Elektronik verstärkt und ausgewertet, welche direkt neben oder über dem Detektor platziert ist. Dabei wird aber auch jedes den Detektor durchquerende Teilchen selbst verändert: Durch eine Änderung seiner Flugbahn, bzw. einem gewissen Verlust seiner Bewegungsenergie. Dieser unerwünschte Effekt kann reduziert werden, indem die Detektoren so dünn und leicht wie möglich gebaut werden.

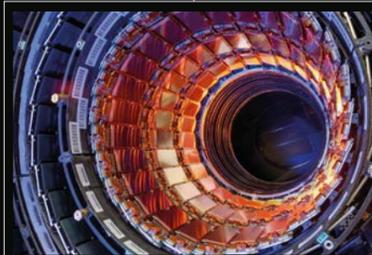


QUERSCHNITT DES CMS-DETEKTORS



CMS PIXEL DETEKTOR

Die innerste Komponente des CMS Experiments ist der sogenannte Pixel Detektor. Wie in einer Digitalkamera werden die Positionen der Teilchenkollisionen vermessen. Er besteht aus hybriden Sensoren.



CMS SPURDETEKTOR

Die Verfolgung der Flugbahn von Teilchen und dessen Biegung in einem Magnetfeld geschieht durch dreißigtausend einzelne Silizium-Streifensensoren, jeder ca. $10 \times 10 \text{ cm}^2$ groß, und in bis zu zehn Lagen in konzentrischen Zylindern angeordnet.

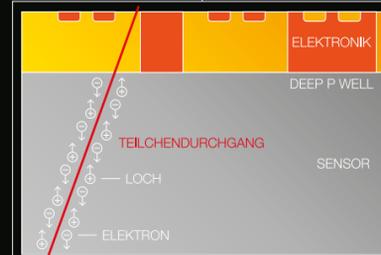
MONOLITISCHE SENSOREN

Sogenannte „Depleted Monolithic Active Pixel Sensoren“ (DMAPS) vereinen den eigentlichen Detektor und CMOS-basierte Front-End-Elektronik zur Signalverstärkung, Digitalisierung und Weiterverarbeitung auf einem Siliziumchip, was mehrere Vorteile mit sich bringt. So ist dadurch keine Verbindungstechnologie zwischen Sensor und Elektronik notwendig, was speziell bei Pixeldetektoren zu einer Vermeidung der teuren und fehleranfälligen flip-chip oder Bump-Bonding-Technologie führt. Weiters können Detektorsysteme damit leichter und dünner gebaut werden, was zu weniger unerwünschter Wechselwirkung mit den zu messenden Teilchen selbst führt. Damit erhöht sich die Genauigkeit der Spurvermessung.



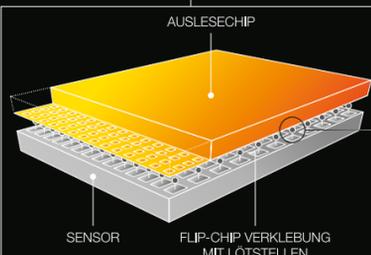
FOTO EINES MONOLITISCHEN SENSORS

Dieser Prototyp wurde am HEPHY entwickelt und nach der Produktion in einer Chipfabrik am Institut nun ersten Tests unterzogen. Man erkennt die mikroskopisch dünnen Verbindungsdrähte zur darunterliegenden Platine (grün).



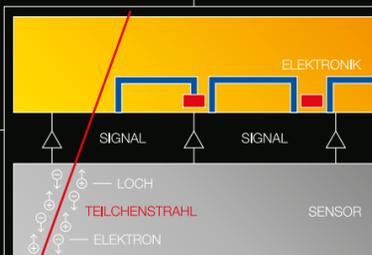
QUERSCHNITT MONOLITHISCHER SENSOR

Der Vorteil eines monolithischen Sensors liegt darin, dass der Sensor und die Elektronik (gelb) in einem Siliziumstück vereint wurden. Daher entfällt der fehlerträchtige Verbindungssteil, und der Detektor wird insgesamt leichter, schneller und einfacher.



AUFBAU HYBRIDE PIXELSENSOREN

Hybride Sensoren bestehen aus dem eigentlichen Sensor und einem gleich großen Auslesechip. Jeder Pixel wird mittels eines aufwändigen Verfahrens namens „flip chip“ oder „bump bonding“ mit dem Auslesechip verbunden.



SIGNAL HALBLEITERDETEKTOR

In Siliziumsensoren entsteht ein Stromimpuls, welcher der Ladung von 20.000 Elektronen und positiv wirkenden „Löchern“ entspricht. Dieses sehr kleine Signal muss in Elektronik geleitet werden, wo es verstärkt und weiterverarbeitet werden kann.



CERN – FORSCHUNG ALS VÖLKERVERBINDENDES ZUKUNFTSPROJEKT

CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) ist das weltweit größte und renommierteste Zentrum für Grundlagenforschung im Bereich der Teilchenphysik. Das Forschungszentrum liegt an der Grenze zwischen Frankreich und der Schweiz, nahe der Stadt Genf. Aufgabe ist die Erforschung der grundlegenden Gesetze des Universums. Das CERN entwickelt und baut komplexe Forschungsinfrastruktur wie den LHC-Beschleuniger und stellt diese für wissenschaftliche Experimente zur Verfügung.

CERN bietet Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftern jeder Altersgruppe und Nationalität die Gelegenheit, hautnah bei der Gewinnung neuer Erkenntnisse mitzuwirken und sich über all das mit Gleichgesinnten auszutauschen. Es sind jedoch nicht nur die Entdeckungen und der Erkenntnisgewinn, die das Großforschungszentrum so außergewöhnlich machen, es wurden und werden auch neueste Technologien am CERN entwickelt:

Vom World Wide Web und GRID-Computing bis hin zu neuen Techniken für Medizindiagnostik und Krebstherapie. CERN, als eines der ersten Projekte eines gemeinsamen Europas nach dem Zweiten Weltkrieg, ist auch ein Ort der Völkerverständigung. Am CERN sprechen alle Menschen eine gemeinsame Sprache und tragen eine gemeinsame Kultur: die der Wissenschaft!



STECKBRIEF CERN

- › Gründung: 1954
- › Beitritt Österreichs: 1959
- › Derzeit 24 Mitgliedsländer
- › Etwa 2500 CERN-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- › Derzeit sind 9 Teilchenbeschleuniger und über 100 Experimente in Betrieb
- › Am CERN forschen mehr als 17 500 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus über 560 Instituten und Universitäten aus 70 Nationen

1954: ALLER ANFANG

CERN wird am 29. September 1954 durch die Ratifizierung des entsprechenden Staatsvertrags von zwölf europäischen Mitgliedsländern gegründet.



1957

Der erste Beschleuniger des CERN, das Synchrozyklotron, geht in Betrieb.



1959

Österreich tritt dem CERN bei und ist seither ein Teil der dort stattfindenden Forschung.



1959

Die erste große Maschine des CERN, das Protonensynchrotron (PS), wird in Betrieb genommen. Noch heute ist das PS das Herz des Beschleunigerkomplexes am CERN.



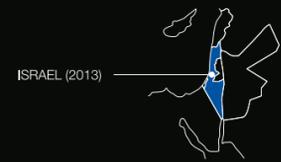
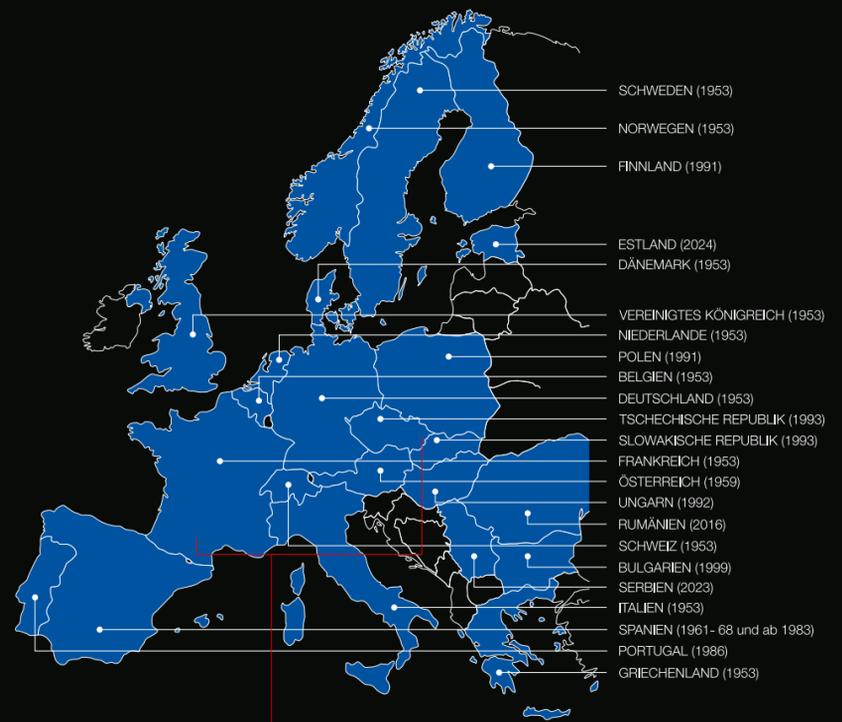
1968

Georges Charpak entwickelt die Vieldraht-Proportionalkammer. Sie misst die Spuren von Teilchen und revolutionierte die Teilchenphysik. Charpak wurde dafür 1992 der Nobelpreis verliehen.



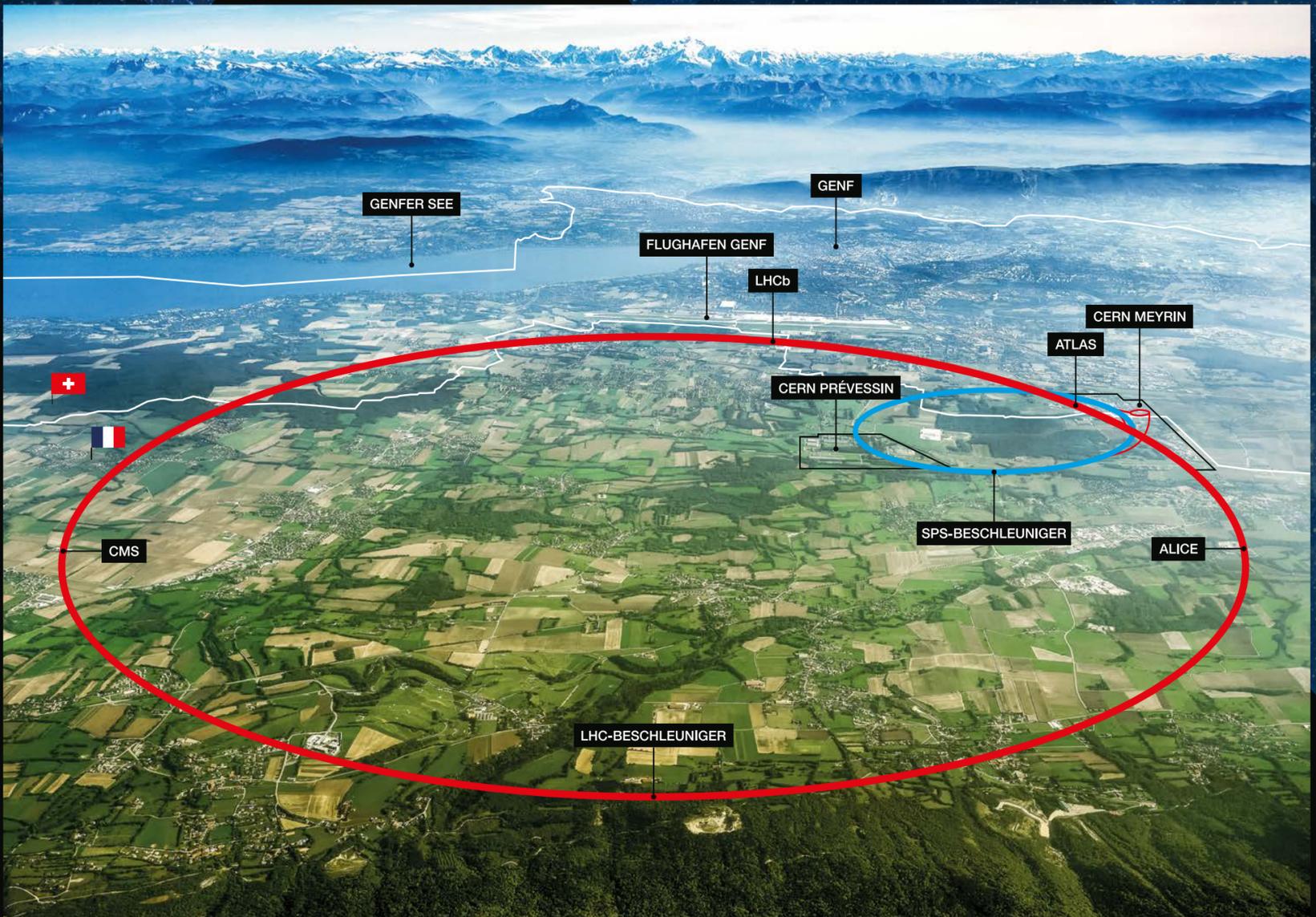
1976

Das 7 km lange Super-Protonensynchrotron (SPS) geht in Betrieb. Dieser ist heute noch ein wichtiges „Arbeitsstier“ und dient als Vorbeschleuniger des LHC.



ISRAEL (2013)

DIE 24 MITGLIEDSLÄNDER DES CERN
Datum des Beitritts ()



1989

Tim Berners-Lee präsentiert sein Konzept für das World Wide Web. Der erste Web-server ist Ende 1990 fertig. Drei Jahre später bietet CERN die entwickelte Software zur freien Verwendung an.



1989

Der Large Electron-Positron Collider (LEP) geht in Betrieb. Er ist der Vorgänger des LHC-Beschleunigers, der im selben 27 km langen Tunnel installiert ist wie der LEP.



1984

Experimente am CERN entdecken 1983 die W- und Z-Teilchen der schwachen Wechselwirkung. Diese Entdeckung führte 1984 zur Verleihung des Nobelpreises an Carlo Rubbia und Simon van der Meer.



1995

Zum ersten Mal wird ein Antwasserstoffatom im PS210-Experiment erzeugt. Dazu wird der Low Energy Antiproton Ring (LEAR) des CERN verwendet.



1999

Der Bau des LHC Beschleunigers beginnt. Das komplexeste wissenschaftliche Instrument wird im 27 km langen Tunnel des LHC-Beschleunigers installiert, der im Jahr 2000 abgeschaltet und abgebaut wird.



2008

Am 10. September 2008 zirkulieren zum ersten Mal Protonen durch den LHC-Beschleuniger.





2012

Am 4. Juli 2012 präsentieren die CMS- und ATLAS-Kollaborationen zum ersten Mal ihre Daten, die auf die Existenz des Higgs-Teilchens hinweisen.

Nach weiterer sorgfältiger Überprüfung der Ergebnisse ist die Entdeckung des Higgs-Teilchens eindeutig nachgewiesen. 2013 wird Peter Higgs und François Englert der Nobelpreis für die theoretische Beschreibung des Higgs-Mechanismus verliehen.



2018

Die Bauarbeiten beginnen für die Erweiterung des LHC zum High-Luminosity LHC (HL- LHC).



2026-2028

Abschaltphase des LHC, um ihn zum HL- LHC umzurüsten. Die Experimente wie CMS müssen ebenso erneuert und mit neuen, noch leistungsfähigeren Detektoren ausgestattet werden.



2029

Start des HL-LHC, der es ermöglichen wird, die grundlegenden Bestandteile der Materie noch detaillierter zu untersuchen.



DIE ZUKUNFT

Auf dem Weg zu einer umfassenden physikalischen Erklärung des Universums als Ganzes ist man auch mit der Entdeckung vieler Teilchen nur einen Schritt weiter. Es gibt noch viele große Herausforderungen für die Teilchenphysik.





FUTURE CIRCLE COLLIDER

ZUKÜNFTIGER TEILCHEN-BESCHLEUNIGER AM CERN

Auf der Suche nach neuen Erkenntnissen über die grundlegende Natur unseres Universums werden derzeit neue Generationen von Teilchenbeschleunigern entwickelt, in denen Teilchenstrahlen immer präziser und mit immer höheren Energien zusammenstoßen.

Eine internationale Zusammenarbeit von mehr als 150 Universitäten, Forschungsinstituten und Industriepartnern aus der ganzen Welt entwickelt Entwürfe für einen neuen Kreisbeschleuniger, den Future Circle Collider (FCC), neue Detektoren und die dazugehörige Infrastruktur, der am CERN nahe Genf gebaut werden soll.

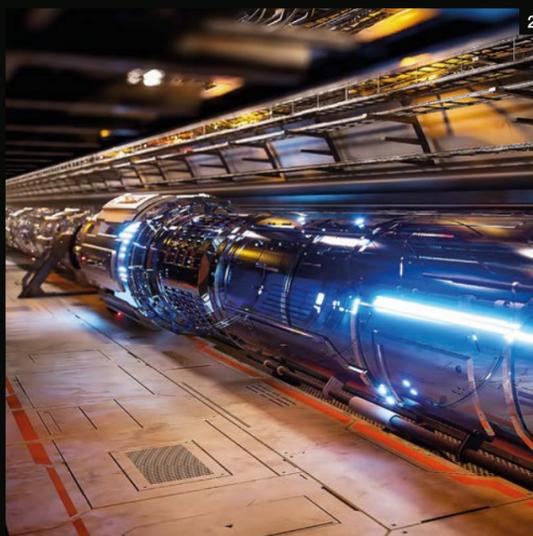
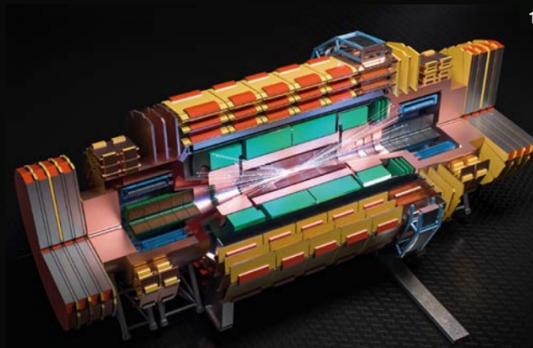
Ziel des FCC ist es, die Energie-, Intensitäts- und Präzisionsgrenzen zu erweitern, um unter anderem Physik jenseits des Standardmodells zu untersuchen. Der LHC (Large Hadron Collider) am CERN hat mit der Entdeckung des Higgs-Bosons das Standardmodell vervollständigt. Der Future Circle Collider soll nun mit höherer Energie und höheren Kollisionsraten Messungen durchführen, um unser Verständnis der Prozesse des Standardmodells zu vertiefen und noch ungeklärte Phänomene wie Dunkle Materie, das Ungleichgewicht Materie Antimaterie und die Neutrino Massen zu klären.

Für das FCC Projekt müssen neue Konzepte, Innovationen und wegweisende Technologien entwickelt werden, die auch anderen Forschungsdisziplinen zu Gute kommen. Dieser Teilchenbeschleuniger bietet sowohl der Industrie einzigartige Möglichkeiten, das Know-how zu erweitern als auch eine hervorragende Gelegenheit zur Ausbildung zukünftiger Forscherinnen und Forscher und Technikerinnen und Techniker.



STECKBRIEF FUTURE CIRCLE COLLIDER

- › FCC Kollaboration mit 1300 Forscherinnen und Forscher aus 150 Universitäten und Instituten
- › etwa 90 km langer supraleitender Hadronen-Beschleunigerring
- › eine Kollisionsenergie von 100 TeV soll erreicht werden



- 1 Konzept eines zukünftigen Detektors am Future Circle Collider
- 2 Demonstration eines Magneten für das FCC Projekt
- 3 Skizze des zukünftigen FCC Tunnel





DAS JAPANISCHE ZENTRUM FÜR TEILCHENPHYSIK

Das Institut für Hochenergiephysik ist am Experiment Belle II am nationalen Forschungszentrum KEK (ko-enerugi kasokuki kenkyu kiko, etwa: „Hochenergie-Beschleuniger-Forschungsorganisation“) in Japan beteiligt. Die etwa 60 Kilometer nordöstlich von Tokyo gelegene Forschungseinrichtung betreibt unter anderem die Beschleunigeranlage SuperKEK-B und eine Synchrotronstrahlungsquelle namens Photon Factory.

Die beiden SuperKEK-B-Speicherringe haben einen Umfang von etwa 3 Kilometern. Diese Maschine bringt Elektronen und ihre Antiteilchen, die Positronen, bei jener Energie zur Kollision, die für die Produktion von Bottom-Quarks optimiert ist.

DAS BELLE II-EXPERIMENT

Belle II ist ein Teilchendetektor. Mit Präzisionsmessungen wird hier nach Abweichungen zu theoretischen Vorhersagen gesucht. Eine derartige Differenz könnte ein Hinweis für bisher unbekannte Teilchen oder Prozesse sein.

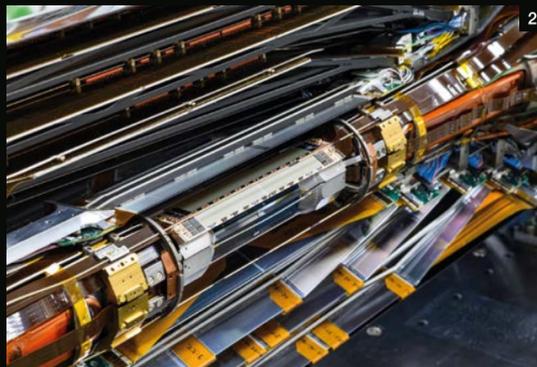


STECKBRIEF KEK

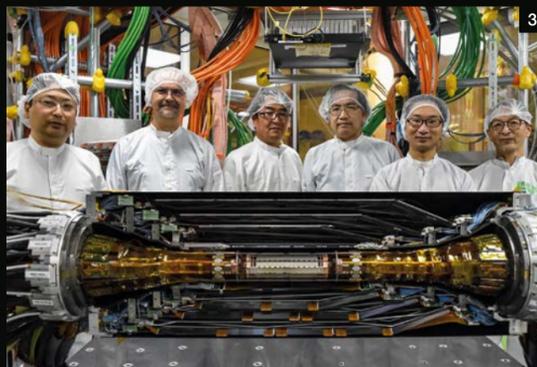
- > Gründung: 1971
- > 720 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

STECKBRIEF BELLE II

- > 1100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 28 Ländern/Regionen
- > Österreichische Beteiligung am KEK: seit 2001 beim Belle-Experiment



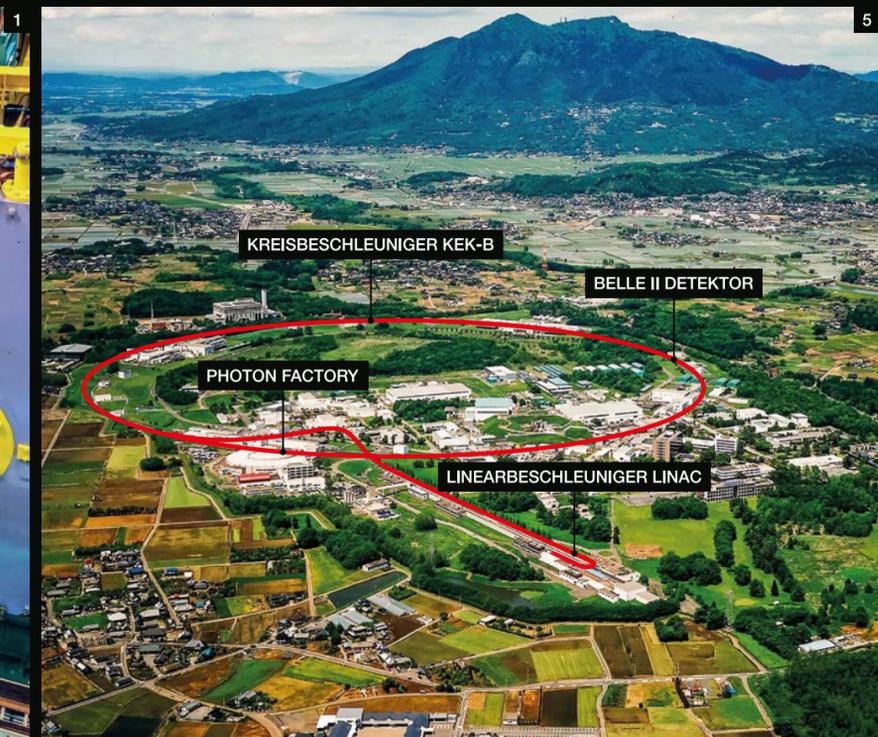
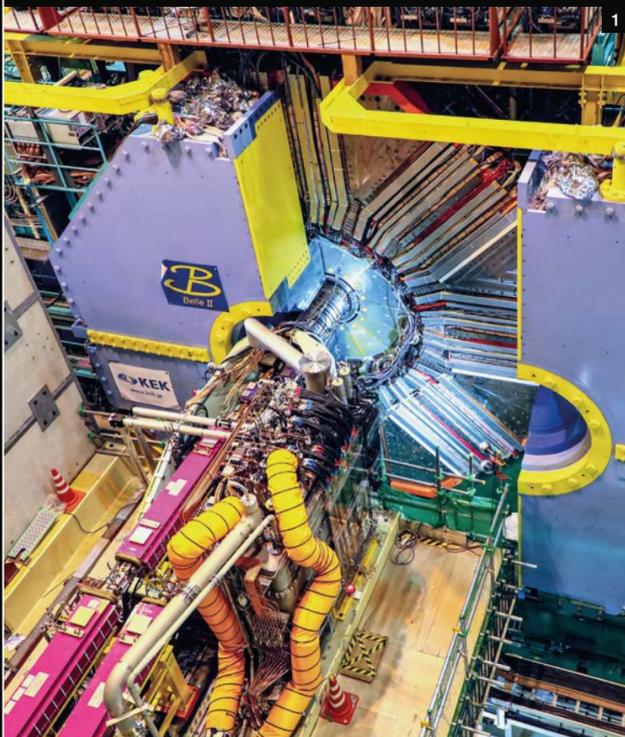
2



3



4



5

1 Belle II Detektor am KEK
2 bis 4 Belle II Siliziumvertex-Detektor
5 Luftbild vom KEK Tsukuba-Campus



DAS CRESST-EXPERIMENT

DAS UNTERGRUNDLABOR LNGS

In einem der größten Untergrundlaboratorien der Welt, dem LNGS (Laboratori Nazionali del Gran Sasso) in den italienischen Abruzzen, befindet sich das CRESST-Experiment (Cryogenic Rare Event Search with Superconducting Thermometers), das versucht, die Existenz von Dunkler Materie zu bestätigen. Die derzeit favorisierte Erklärung der Dunklen Materie ist die Existenz bisher unentdeckter Elementarteilchen. Das CRESST-Experiment will diese Teilchen durch ihre Wechselwirkungen mit Detektoren nachweisen, welche im Untergrundlabor in 1400 Metern Tiefe aufgebaut sind, um sie gegen störende kosmische Höhenstrahlung und natürliche Radioaktivität abzuschirmen.

MESSUNGEN BEI TIEFSTEN TEMPERATUREN

Kern der Detektoren sind Kristalle aus Calciumwolframat, Lithiumaluminat und anderen Materialien. Diese werden bei einer Temperatur knapp über dem absoluten Nullpunkt (-273,15 °C) betrieben. Diese tiefen Temperaturen sind nötig, um die minimale Temperaturänderung, die durch die Wechselwirkung der Teilchen mit dem Detektormaterial entsteht, messen zu können. Wenn ein Teilchen mit dem Kristall wechselwirkt und damit in dem Kristall Energie deponiert, wird diese Energie in Wärme umgewandelt und nachgewiesen. Gleichzeitig erzeugt die Wechselwirkung im Kristall auch Licht. Die Menge des erzeugten Lichts erlaubt es, zwischen den verschiedenen Teilchenarten zu unterscheiden.

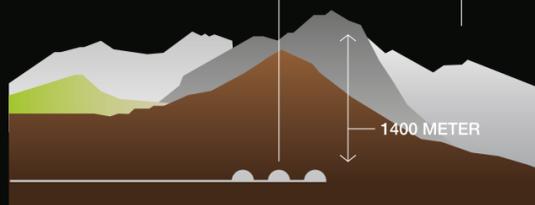
Sollte die Suche nach Dunkler Materie erfolgreich verlaufen, würden einander Astronomie und Teilchenphysik, die beiden Disziplinen der Physik, die sich mit dem ganz Großen und dem ganz Kleinen befassen, ergänzen und uns eine neue Sicht auf die Beschaffenheit des Universums ermöglichen.



3 GROSSE FORSCHUNGSHALLEN

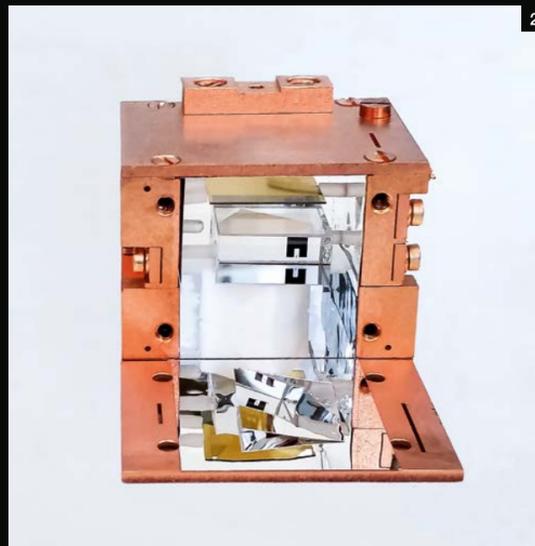
jeweils 100 Meter lang, 20 Meter breit und 18 Meter hoch; die Experimentierhallen befinden sich entlang des Autobahntunnels unter dem Gran Sasso Massiv

GRAN SASSO MASSIV



STECKBRIEF CRESST-EXPERIMENT

- › Seit 1996 in Betrieb
- › Etwa 60 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 9 Instituten aus 5 Nationen
- › Österreichische Beteiligung: seit 2013
- › www.cresst-experiment.org



- 1 Blick in die Halle A des LNGS; die Container im Vordergrund beherbergen das CRESST-Experiment
- 2 Offenes CRESST-III-Detektormodul
- 3 Einbau von CRESST-III-Detektormodulen mit unterschiedlichen Kristallen in den CRESST-Aufbau im LNGS.
- 4 Regelmäßiges Nachfüllen des Kryostaten mit Helium und Stickstoff, um bei der Datenerfassung eine Temperatur der Detektoren von 15mK gewährleisten zu können.



DAS COSINUS-EXPERIMENT

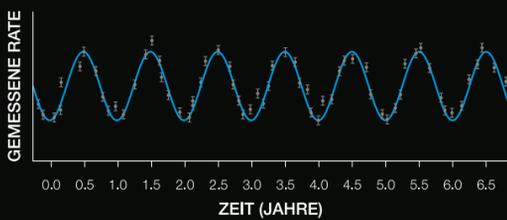
EISIGE TEMPERATUREN IM UNTERGRUND

Zwar weiß man aufgrund astronomischer Beobachtungen über die Existenz der Dunklen Materie (DM) Bescheid, ein direkter Nachweis steht allerdings noch aus. Um ihrem Verständnis ein Stück näher zu kommen, bauen die Forscherinnen und Forscher von COSINUS einen Teilchendetektor, der mithilfe eines Kryostaten (ein "Kühlschrank" für extrem tiefe Temperaturen) bis auf wenige hundertstel Grad über absolut Null (-273,15°C) gekühlt und im größten Untergrundlabor der Welt betrieben wird, dem Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) in Italien.

Zusätzlich zu den rund 1400 Metern an Gestein, die das LNGS an Abschirmung bietet, wird um den Kryostaten herum noch ein Wassertank mit 7 Metern Durchmesser und Höhe gebaut. Dieser Aufbau ist extrem wichtig, denn der Detektor ist hoch sensibel und jegliche kosmische Strahlung (z.B. Myonen oder Gamma-Strahlen) wäre sehr störend.

DM ODER KEINE DM?

Konkreter geht COSINUS einer jahrzehntelangen Frage nach: Ein Experiment namens DAMA/LIBRA misst nämlich seit vielen Jahren ein Signal, das in etwa so aussieht:



Dieses Signal könnte tatsächlich mithilfe von DM erklärt werden, denn wegen des Umlaufs der Erde um die Sonne erwartet man, dass wir Phasen von DM "Gegenwind" und "Rückenwind" durchlaufen. Man würde also ein Signal erwarten, das im Jahresverlauf schwankt. Das einzige Problem daran ist, dass das Signal sonst niemand misst. Weil experimentelle Ergebnisse aber nur vergleichbar sind, wenn auch dieselben Detektormaterialien verwendet werden, baut COSINUS nun (ebenso wie DAMA/LIBRA) einen Natrium Iodid (NaI) Detektor, um diese Frage ein für alle Mal zu klären.

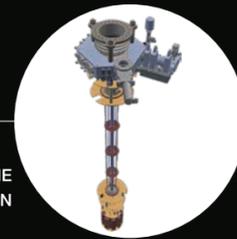


STECKBRIEF COSINUS-EXPERIMENT

- › Ab 2024 in Betrieb
- › Etwa 45 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus 5 Instituten
- › Österreichische Beteiligung: seit 2016
- › www.cosinus.it bzw. @COSINUSdm

SPANNENDE FAKTEN

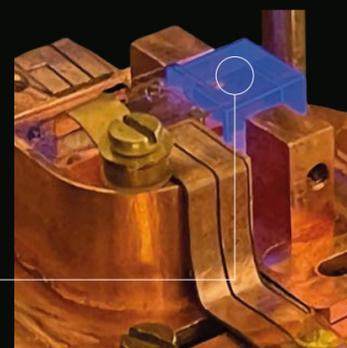
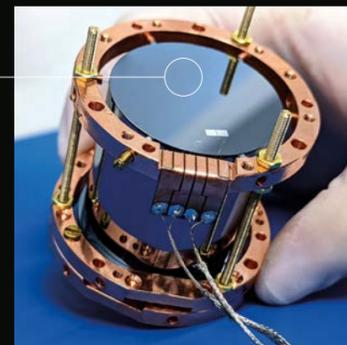
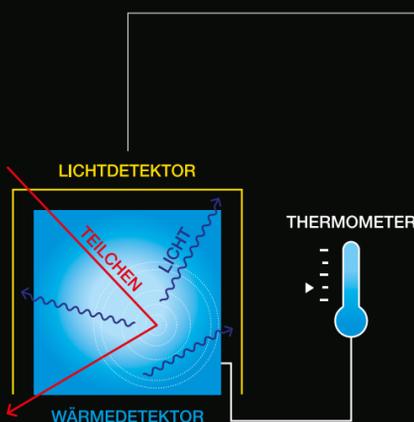
- › Während dein Fingernagel auf der Erdoberfläche pro Minute ca. ein Myon durchquert, musst du in unserem Untergrundlabor dafür im Schnitt ein ganzes Jahr warten.
- › Unser Detektormaterial ist so rein, dass der Detektor 25.000-mal weniger radioaktiv ist als eine Banane aus dem Supermarkt.



SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES KRYOSTATEN

DETEKTIONSPRINZIP

Wenn der Detektor von einem Teilchen getroffen wird, erwärmt er sich um ca. ein millionstel Grad, was man mit einem sehr empfindlichen Thermometer messen kann. Zusätzlich zu Wärme entsteht auch (blaues) Licht, welches mit einem becherförmigen Lichtdetektor gemessen wird, der den Wärmedetektor umgibt. Aus dem Wärme- und Lichtsignal kann man dann rückschließen, um welche Art von Teilchen es sich gehandelt hat: Die Lichtausbeute beim Eintreffen eines Photons wäre z.B. viel größer als bei einem DM-Teilchen. Die Möglichkeit der Teilchenunterscheidung zeichnet COSINUS gegenüber anderen Experimenten mit NaI-Detektor, insbesondere auch DAMA/LIBRA, aus.



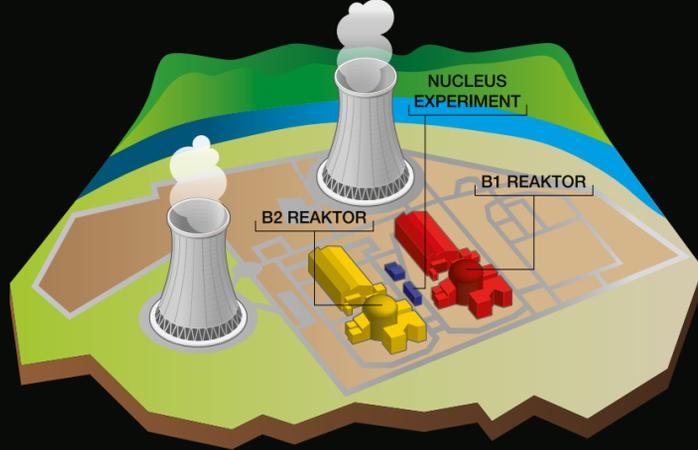


DAS NUCLEUS-EXPERIMENT

DAS NEUTRINO – EIN SCHEUES TEILCHEN

Am französischen Kernkraftwerk Chooz wird das NUCLEUS-Experiment aufgebaut, welches mit Neutrinos das Standardmodell der Teilchenphysik präzise vermessen wird. Auch wenn das Standardmodell eine der genauesten physikalischen Theorien ist die wir kennen, wissen wir, dass es nicht komplett ist: es beschreibt zum Beispiel nicht die „Dunkle Materie“ oder die Masse der Neutrinos. Es muss also ein umfangreicheres Modell existieren, das auch diese Erscheinungen jenseits des Standardmodells beinhaltet. Auch an der spannenden Suche nach dieser sogenannten „Neuen Physik“ beteiligt sich NUCLEUS.

Neutrinos sind eine sehr „scheue“ Art von Elementarteilchen: sie wiegen fast nichts, höchstens ein Hunderttausendstel eines Elektrons, und wechselwirken so gut wie nie mit anderer Materie. Um dennoch diese seltene Wechselwirkung messen zu können, braucht NUCLEUS eine sehr intensive Neutrinoquelle – die beiden Kernreaktoren B1 und B2 des Kernkraftwerks Chooz, denn Neutrinos werden in großer Anzahl bei der Kernspaltung produziert. NUCLEUS wird zwischen beiden Reaktoren aufgestellt, außerhalb der Reaktorsicherheitsbehälter, welche die bei der Kernspaltung entstehende Radioaktivität zurückhalten, aber von den harmlosen Neutrinos nahezu ungehindert durchquert werden.



DIE NUCLEUS DETEKTOREN – KLEIN ABER FEIN

Um diese Neutrinos nachzuweisen, nutzt NUCLEUS die gleiche Methode wie CRESST: Kristallwürfelchen von 5 mm Kantenlänge, z.B. aus Saphir, die bis fast zum absoluten Nullpunkt abgekühlt werden. Stößt ein Neutrino an einen Atomkern im Kristall, erwärmt sich der Kristall um einige Millionstel Grad und liefert damit einen Hinweis auf eine Wechselwirkung eines Neutrinos mit dem NUCLEUS-Detektor. Sollte es NUCLEUS gelingen, einige Hundert dieser Wechselwirkungen nachzuweisen, können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Vielzahl an neuen Erkenntnissen daraus ableiten: sowohl über das Standardmodell, z.B. wie sich die schwache Kernkraft, die zu Atomzerfällen führt, bei niedrigsten Energien verhält, als auch über neue Physik, oder ob Neutrinos auch mit bis jetzt unbekanntem Teilchen interagieren. Solche unbekanntem Teilchen wären auch interessant für die Suche nach der Dunklen Materie.

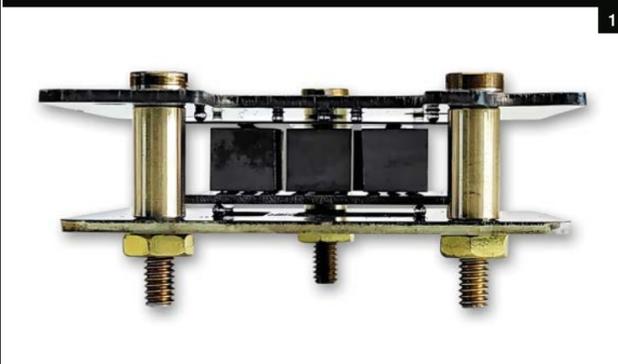
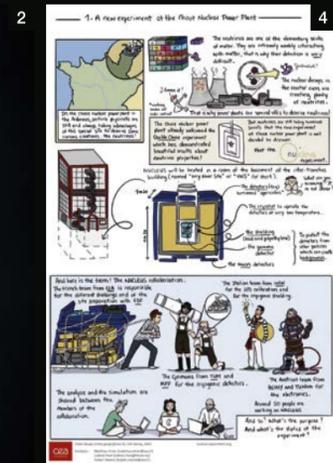
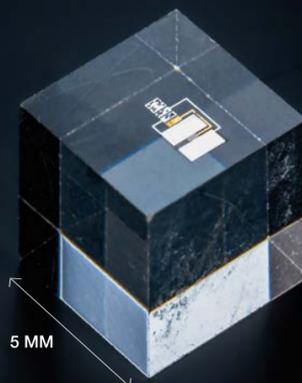


STECKBRIEF NUCLEUS-EXPERIMENT

- > Zurzeit im Aufbau, Beginn der Entwicklung 2017
- > Etwa 60 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 7 Instituten in 4 Ländern
- > Österreichische Beteiligung: seit 2017
- > www.nucleus-experiment.org

SPANNENDE FAKTEN

- > Einige Milliarden Reaktor-neutrinos durchqueren einen Kristallwürfel des Nucleus-Experiments pro Sekunde.
- > In der Erdatmosphäre entstehen ständig Neutrinos und rund hundert von ihnen durchqueren pro Sekunde unsere Handfläche, ohne dass wir etwas merken oder dass es uns schadet.
- > Die beiden Kernreaktoren in Chooz gehören mit je 4,27 GW thermischer Leistung zu den stärksten Reaktoren in Europa.
- > NUCLEUS im Comic erklärt: www.nucleus-experiment.org/nucleus-bubbles



- 1 Prototyp eines Halters für drei NUCLEUS-Detektoren
- 2 Ein Saphirwürfel als NUCLEUS-Detektor. Die schwarze Struktur ist das eigens entwickelte Thermometer, welches in der Lage ist, die extrem kleinen Temperaturanstiege von einem Millionstel Grad zu messen.
- 3 Der zukünftige Standort von NUCLEUS: das Kernkraftwerk Chooz in Frankreich
- 4 NUCLEUS im Comic erklärt





DAS DANAE-EXPERIMENT

DAS EXPERIMENT

Im DANAE-Experiment werden spezielle Siliziumdetektoren für die Suche nach einer besonders leichten Form der Dunklen Materie eingesetzt. Die Detektoren werden am Halbleiterlabor der Max-Planck-Gesellschaft entwickelt und müssen in der Lage sein, einzelne Elektronen zu messen und zu unterscheiden. Das Experiment befindet sich in der Technologieentwicklung und wird am Wiener Institut für Hochenergiephysik der ÖAW betrieben.

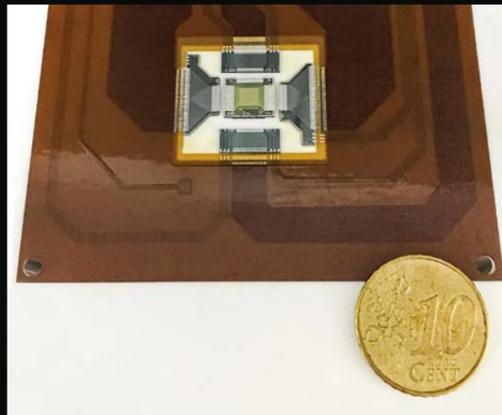
DIE SIGNALE

Derzeit werden unentdeckte Elementarteilchen als Erklärung für Dunkle Materie favorisiert. Diese wurden in einem schweren Massebereich vermutet, motiviert durch Modelle der theoretischen Physik. Als Folge daraus widmen sich große, existierende Experimente vorwiegend diesem Massebereich, indem der Zusammenstoß eines möglichen Dunkle Materie Teilchens mit einem Atomkern untersucht wird.

Aufgrund von zahlreichen experimentellen Indizien und neuesten Modellrechnungen begeben sich aktuelle Experimente vermehrt auf die Suche nach leichten Dunkle Materie-Teilchen. Da diese Teilchen nicht mehr schwer genug wären, um ein messbares Signal bei dem Zusammenprall mit massiven Atomkernen zu erzeugen, wird nun die Wechselwirkung mit Elektronen untersucht. Da dabei Signale von nur wenigen Elektronen erwartet werden, müssen Detektoren mit sehr geringem Rauschen eingesetzt werden, so dass einzelne Elektronen unterschieden werden können.

DIE TECHNOLOGIE

Dank einer speziell entwickelten Mehrfachauslese mit anschließender Mittelung können RNDR-DEPFET (depleted p-channel field effect transistor) Detektor-Verstärker-Strukturen, die bei dem DANAE-Experiment eingesetzt werden, das durchschnittliche Rauschen auf den Bruchteil eines Elektrons reduzieren. Dabei werden die Signalelektronen gesammelt und bis zu 1.000 Mal zwischen zwei Auslesekonten verschoben und gemessen. Die dadurch erhöhte Empfindlichkeit ermöglicht es, dass mit wenigen kg sensitiven Materials unbekannte Masseregionen für die Suche nach Dunkler Materie erschlossen werden.



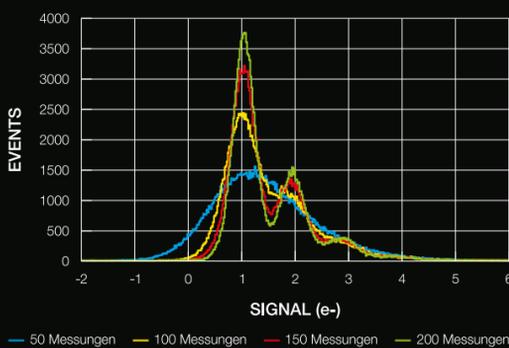
DER DANAE PROTOTYP-DETEKTOR

Der empfindliche Siliziumsensor ist durch flexible Leitungen mit der Ausleseelektronik verbunden. Dadurch kann der Sensor in einer massiven Metallschirmung untergebracht werden, um von unerwünschten äußeren Einflüssen geschützt zu sein.



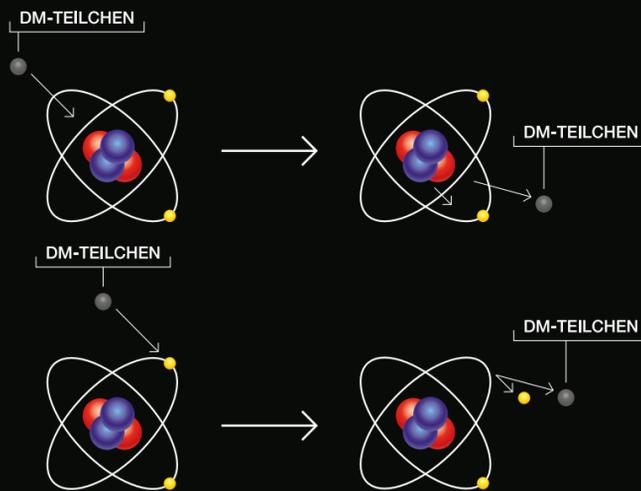
STECKBRIEF DANAE-EXPERIMENT

- › noch in der Technologieentwicklung
- › seit 2018, gegründet durch das HEPHY, gemeinsam mit dem Halbleiter-Labor der Max-Planck-Gesellschaft
- › 5 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus 4 Instituten



MESSUNG EINZELNER ELEKTRONEN

Durch das mehrfache Auslesen und Mitteln des Signals können einzelne Elektronen unterschieden werden. Wird der Sensor schwach beleuchtet und das Signal 50 mal gemittelt (blaues Spektrum), können die einzelnen Elektronen nicht unterschieden werden. Nach 200 Mittelungen können die Anteile von ein, zwei oder drei Elektronen deutlich unterschieden werden.



SIGNALE VON LEICHTER DUNKLER MATERIE

Schwere Dunkle Materie (ca. 2 GeV/c² bis 120 TeV/c²) wurde vorwiegend mittels der Wechselwirkung zwischen möglichen Dunkle Materie-Teilchen und Atomkernen gesucht (oben). Um zukünftig für leichte Dunkle Materie (ca. 100 keV/c² bis 2 GeV/c²) empfindlich zu sein, muss die Wechselwirkung zwischen Elektronen und Dunkle Materie-Teilchen untersucht werden (unten).