

Schweizer Roadmap für Forschungsinfrastrukturen im Hinblick auf die BFI-Botschaft 2025 – 2028 (Roadmap Forschungsinfrastrukturen 2023)

Teil III: Beteiligung der Schweiz an internationalen Forschungsorganisationen: ein diplomatisches Instrument im Dienste der Schweizer Wissenschaft



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
**Staatssekretariat für Bildung,
Forschung und Innovation SBF**

Titelbild: ATLAS ist einer der Teilchendetektoren im Large Hadron Collider (LHC), dem weltweit grössten Teilchenbeschleuniger. Bild: CERN

Impressum

Herausgeber: © 2023 Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation
Redaktion: Francesca Stocker, Patrice Soom
Übersetzung: Sprachdienste des SBFJ und der Bundeskanzlei
Sprachen: Deutsch, Französisch, Englisch
Layout: Grafikatelier Saxer, Bern

Kontakt

Xavier Reymond
Leiter Ressort Internationale Forschungsorganisationen
xavier.reymond@sbfi.admin.ch

Inhaltsverzeichnis

Beteiligung der Schweiz an internationalen Forschungsorganisationen.....	5
Europäisches Laboratorium für Teilchenphysik (CERN)	8
Europäische Südsternwarte (ESO).....	14
Square Kilometre Array Observatory (SKAO)	16
Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO).....	18
Europäisches Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL).....	20
Europäische Freie-Elektronen-Röntgenlaseranlage (European XFEL)	22
Europäische Synchrotronstrahlungsanlage (ESRF).....	24
Institut Laue-Langevin (ILL)	26
Europäische Spallationsquelle (ESS)	28
Internationaler thermonuklearer Versuchsreaktor (ITER)	30

Beteiligung der Schweiz an internationalen Forschungsorganisationen

Durch den Bau und Betrieb von Forschungsinfrastrukturen, die zu den weltweit leistungsfähigsten gehören, generieren internationale Forschungsorganisationen seit den 1950er-Jahren und mit der damaligen Gründung des CERNs wichtige wissenschaftliche und technologische Impulse.

Deshalb und durch ihre strategische Bedeutung unterstützt der Bund den Zugang der Schweizer Forschungsgemeinschaft zu solchen Organisationen.

Um die Grenzen unserer wissenschaftlichen Kenntnisse des unendlich Grossen, unendlich Kleinen oder unendlich Schnellen immer weiter zu versetzen, braucht es immer leistungsfähigere und komplexere Instrumente. So werden zur Untersuchung der Materie heute Beschleuniger benötigt, die Teilchen mit nahezu Lichtgeschwindigkeit kollidieren lassen, während die Beobachtung des Kosmos die Installation riesiger Teleskope auf der Erde oder im Weltraum erfordert.

Dank internationaler Zusammenarbeit wissenschaftliche Grenzen überwinden

Um insbesondere in der Physik wesentliche Fortschritte zu erzielen, braucht es Instrumente, deren Komplexität und Kosten die Kapazitäten einer Forschungsinstitution oder gar eines einzigen Staates übersteigen. Durch die Mitgliedschaft in internationalen Forschungsorganisationen bilden Länder Zusammenschlüsse, um in wissenschaftlicher Zusammenarbeit gemeinsame wissenschaftliche Bestrebungen zu vereinen und Forschungsinstrumente von globaler Bedeutung zu realisieren.

Die Einrichtungen verfügen über ihre jeweils eigene Rechtsform und basieren auf einem völkerrechtlichen Abkommen, das die beteiligten Staaten bindet. Die strategische Steuerung der internationalen Forschungsorganisationen wird von den Mitgliedsstaaten über eine eigene Governance-Struktur wahrgenommen.

Der multilaterale Charakter dieser Organisationen, verbunden mit der technischen Komplexität der jeweiligen Forschungsgebiete und ihren hohen Ausgaben, stellt die Mitgliedstaaten vor zahlreiche technologische, organisatorische und politische Herausforderungen. Dies erklärt weitgehend, warum solche Organisationen nur dann

geschaffen werden, wenn die Bedürfnisse der Wissenschaftsgemeinschaften nicht auf andere Weise gedeckt werden können.

Die ersten internationalen Forschungsorganisationen wurden Mitte des 20. Jahrhunderts nach dem Modell der nach dem zweiten Weltkrieg errichteten internationalen Organisationen gegründet. So auch das CERN in Genf im Jahre 1954. Später sind nach diesem Vorbild weitere Organisationen entstanden, die auf den folgenden Seiten beschrieben werden. In den letzten beiden Jahrzehnten ist die Anzahl internationaler Forschungsorganisationen stärker gewachsen, was ein Anzeichen dafür ist, dass sich unsere wissenschaftlichen Kenntnisse kontinuierlich weiterentwickeln und die Digitalisierung neue Möglichkeiten der weltweiten Zusammenarbeit geschaffen hat. Künftig dürften diese Einrichtungen weiter an Bedeutung gewinnen und ein immer breiteres Spektrum an Wissenschaftsbereichen betreffen. Unterschiedlichste Disziplinen wie die Physik, die Medizin oder auch die Archäologie können bereits heute auf hochmoderne Instrumente zurückgreifen, die ohne solche wissenschaftliche Kooperationen unter der Federführung von Regierungen nicht existieren würden.

Diese Entwicklung kommt der ganzen Gesellschaft zugute. Nutzbringend sind nicht nur die Forschungsergebnisse, die in internationalen Forschungsorganisationen erlangt werden, sondern auch der dadurch angestossene technologische Fortschritt. So sind beispielsweise das World Wide Web oder die Elektromagneten, die zur Entwicklung der Magnetresonanztomographie geführt haben, indirekte Ergebnisse der Forschungen am CERN.

Beteiligung der Schweiz an internationalen Forschungsorganisationen

Die Schweiz beteiligt sich an jenen internationalen Forschungsorganisationen, die für die wissenschaftliche Forschungsgemeinschaft in der Schweiz die höchste Relevanz aufweisen. Die meisten dieser Organisationen haben bereits erfolgreich Spitzeninfrastrukturen errichtet und gewährleisten deren Betrieb für die Forschenden, die dort ihre Experimente durchführen, während sie gleichzeitig mit neuen Anlagen ihre Kapazitäten weiter ausbauen. Andere Organisationen haben erst vor Kurzem mit dem Bau ihrer Infrastrukturen begonnen.

Insgesamt belaufen sich die Investitionen des Bundes für internationale Forschungsorganisationen auf jährlich rund 100 Millionen Franken.

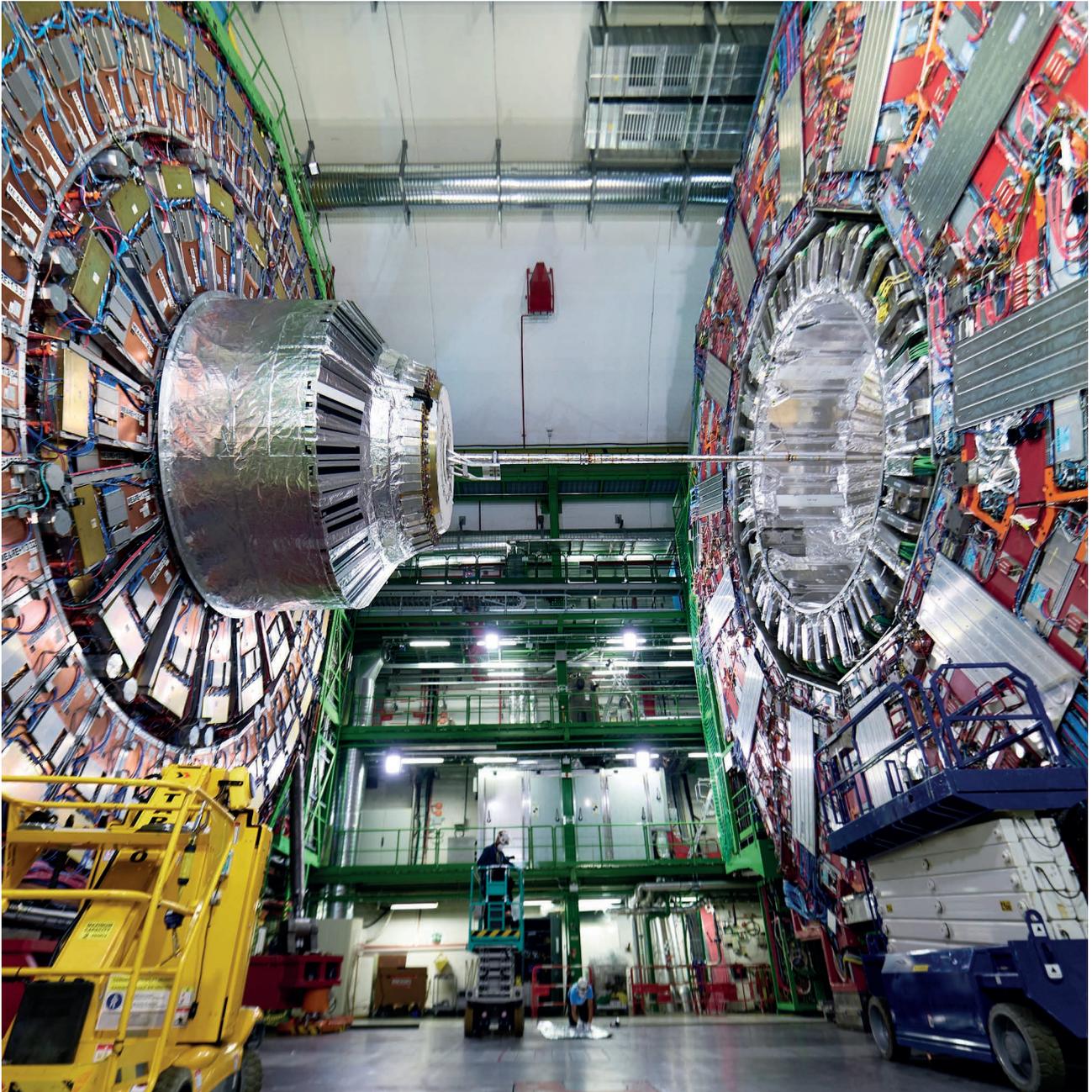
Die Schweizer Beteiligung an diesen Organisationen, deren Ausgestaltung für jede Organisation einzeln ausgehandelt wurde, bringt der Schweiz zahlreiche Vorteile:

- Der Zugang zu den weltweit besten Infrastrukturen und Instrumenten ist eine unerlässliche Voraussetzung für die Exzellenz der Schweizer Forschung in zahlreichen Wissenschaftsbereichen. Die hohe Qualität der Schweizer Forschung und die gute Organisation der verschiedenen betroffenen Wissenschaftsgemeinschaften sichern der Schweiz eine maximale Ausschöpfung der für die Schweiz zur Verfügung stehenden Forschungsinfrastrukturkapazitäten.
- Die vielfältigen Formen der wissenschaftlichen Zusammenarbeit innerhalb der internationalen Forschungsorganisationen tragen zur internationalen Vernetzung und Einbringung der Schweizer Forschung bei.
- Der Bau, der Unterhalt und die Verbesserung der von den internationalen Organisationen betriebenen Infrastrukturen bilden einen privilegierten Markt für Schweizer Forschungsinstitutionen und Hightech-Unternehmen, die Bestandteile und Dienstleistungen von hohem Mehrwert entwickeln und liefern. Der jährliche Gesamtwert der von den internationalen Forschungsorganisationen in der Schweiz eingekauften Güter und Dienstleistungen erreicht oder übersteigt gar die von der Schweiz getätigten Investitionen.
- Das Beispiel des CERN in Genf zeigt zudem, dass die Schweiz als Sitzstaat einer internationalen Forschungsorganisation in verschiedenster Hinsicht profitiert, beispielsweise in Form von Arbeitsplätzen oder Aufträgen für Schweizer Unternehmen.

Wie wählt der Bund die internationalen Forschungsorganisationen aus, die er unterstützt?

Schweizer Forschungsinstitutionen und die hiesigen Forschenden verfügen über eine hohe Autonomie. Es liegt in deren Hand, ihre Forschungsschwerpunkte festzulegen. Deshalb liegt es in erster Linie an der nationalen Forschungsgemeinschaft, die Prioritäten betreffend Investitionen in Forschungsinfrastrukturen festzulegen. Gemäss der internationalen Strategie der Schweiz im Bereich Bildung, Forschung und Innovation stellt der Bund sicher, dass die Schweizer Forschungs- und Innovationsakteure über die zur Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung der Qualität ihrer Arbeiten notwendigen Forschungsinfrastrukturen verfügen. Daher verfolgt das Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) die Entwicklungen im Bereich der internationalen Forschungsorganisationen aufmerksam. Wenn sich die Schweizer Wissenschaftsgemeinschaft über die Notwendigkeit der Beteiligung an einer internationalen Forschungsorganisation einig ist, die Schweizer Forschungsinstitutionen jedoch die entsprechende finanzielle und politische Verantwortung nicht selbst tragen können, wird gemäss dem Subsidiaritätsprinzip das SBFI tätig. Dieses leitet dann über den Prozess der Schweizer Roadmap für Forschungsinfrastrukturen die erforderlichen Schritte für einen möglichen Beitritt ein.

Um die nötige Flexibilität für die Entwicklung der Schweizer Spitzenforschung zu gewährleisten, räumt das Bundesgesetz über die Förderung der Forschung und der Innovation (FIFG) dem Bundesrat die Kompetenz ein, internationale Abkommen im Bereich Forschung und Innovation abzuschliessen und damit internationalen Forschungsorganisationen beizutreten. Allfällige damit einhergehende finanzielle Verpflichtungen müssen jedoch vom Parlament genehmigt werden.

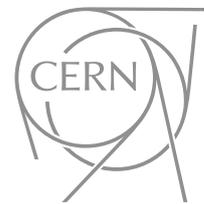


Offene Position des CMS Detektors, bereit um wieder geschlossen zu werden und Daten zu messen. Bild: CERN

Europäisches Laboratorium für Teilchenphysik (CERN)

Das 1954 gegründete Europäische Laboratorium für Teilchenphysik CERN in Genf führt die den friedlichen Zwecken dienende Zusammenarbeit europäischer Staaten auf dem Gebiet der Kern- und Teilchenphysik. Das CERN betreibt Grundlagenforschung zum Aufbau der Materie und zu den fundamentalen Wechselwirkungen zwischen den Elementarteilchen. Ziel ist die Beantwortung der elementaren Fragen, woraus das Universum besteht und wie es funktioniert. Dazu werden Teilchen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und miteinander kollidiert. Die Entdeckungen am CERN haben seit seiner Gründung vor 70 Jahren die Teilchenphysik revolutioniert. Die Forschungsgemeinschaft hat grosse Pionierarbeit für die Grundlagerecherche sowie für seine Anwendung zum Nutzen der gesamten Gesellschaft geleistet.

Gründungsjahr	1954
Mitglieder	Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Israel, Italien, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Slowakei, Spanien, Schweden, Schweiz, Serbien, Tschechien, Ungarn, Vereinigtes Königreich
Assoziierte Mitglieder	Estland, Indien, Litauen, Pakistan, Slowenien, Türkei, Ukraine, Zypern, Kroatien, Lettland
Rechtsform	Völkerrechtliche Internationale Organisation
Sitzstaat	Schweiz
Standorte	Region Genf (Schweiz und Frankreich)
Forschungsgebiet	Teilchenphysik
Jährliches Budget	1200 Mio. Franken
Status der Schweiz	Mitglied- und Sitzstaat
Beitragssatz Schweiz	3,9%
Webseite	www.cern.ch



Die Suche nach den fundamentalen Gesetzen der Natur und den Bausteinen des Universums

Mithilfe von Beschleunigeranlagen wird am CERN Spitzenforschung im Bereich der Kern- und Teilchenphysik betrieben. Es ist der weltweit führende Labor- und Beschleunigerkomplex, in dem Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt gemeinsam untersuchen, aus welchen elementaren Bausteinen die Materie besteht und welche Kräfte sie zusammenhalten.

Heute basiert unser Verständnis der Teilchenphysik auf dem Standardmodell. Dieses beschreibt alle bekannten Elementarteilchen und die fundamentalen Wechselwirkungen zwischen ihnen. Es fasst die wesentlichen Erkenntnisse der Teilchenphysik nach heutigem Stand zusammen. Das Standardmodell der Teilchenphysik wurde von theoretischen Physikerinnen und Physikern entwickelt und ist eine Quantenfeldtheorie. Das experimentelle

Forschungsprogramm am CERN zielt darauf ab, empirische Beweise zu erbringen, die die von der zeitgenössischen theoretischen Physik formulierten Modelle bestätigen oder widerlegen. Viele Voraussagen des Standardmodells wurden am CERN in Experimenten bestätigt. Dazu wurden Teilchen mithilfe von Beschleunigern miteinander kollidiert und deren Eigenschaften, wie auch diejenigen von den neu entstandenen Teilchen, in Detektoren genau gemessen. Um unsere Welt im Innersten zu verstehen, ist das Zusammenspiel von theoretischer und experimenteller Physik unabdingbar.

Das CERN gilt als weltweit prominentestes Beispiel der friedlichen internationalen Zusammenarbeit und der wissenschaftlichen Diplomatie. Vor nun fast 70 Jahren, im Jahr 1954, neun Jahre nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges, wurde das CERN-Abkommen in Kraft gesetzt.



Ansicht des unterirdischen Verlaufs des heutigen Large Hadron Colliders am CERN. Bild: CERN

Teilchenbeschleuniger und Detektoren

Die Infrastruktur des CERN ist seit der Gründung der Organisation stetig weiterentwickelt und erweitert worden. Auf Schweizer Seite in Meyrin, entlang der französischen Grenze, wurden anfänglich die ersten Teilchenbeschleuniger gebaut und betrieben. Über die Jahre hat sich das CERN auch auf französischen Boden ausgeweitet.

Heute beherbergt das CERN den weltweit grössten und leistungsstärksten Teilchenbeschleuniger, auch bekannt als Large Hadron Collider (LHC), der 2008 in Betrieb genommen wurde. Der LHC ist ringförmig und in

einem unterirdischen Tunnel mit einem Umfang von 27 Kilometern installiert. Um Pakete, bestehend aus Teilchen wie zum Beispiel Protonen, auf nahezu Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen braucht es höchstkomplexe Maschinen. Die Teilchen werden in zwei dünnen, evakuierten, gegenläufigen Rohren durch starke supraleitende Magnete beschleunigt und in der Kreisbahn gehalten. Nach jedem Umlauf erhalten die Teilchen mehr Energie. Wenn sie die Zielenergie erreicht haben, werden die Teilchen in vier Kreuzungspunkten kollidiert. Durch die Kollisionen werden die Protonen in ihrer Struktur aufgebrochen und es entstehen neue Teilchen. An diesen

Punkten sind die hochkomplexen Detektoren ATLAS, CMS, ALICE und LHCb installiert, die Präzisionsmessungen zur Energie und Richtung der neuen Teilchen erlauben. Die beiden Ersteren haben unabhängig voneinander im Jahr 2012 das Higgs-Teilchen entdeckt.

Um den LHC und grosse Detektoren zu bauen, zu betreiben und deren Daten auszuwerten, braucht es enorme materielle und personelle Ressourcen. Über 10 000 Leute gehen jährlich am CERN ein und aus, viele von ihnen kommen für kürzere oder längere Forschungsaufenthalte ans Laboratorium. Die ATLAS- und CMS-Kollaborationen setzen sich zum Beispiel beide aus je etwa 1000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zusammen.

Neben den vier grossen Detektoren ATLAS, CMS, ALICE und LHCb wird auch auf anderen Gebieten Grundlagenforschung betrieben. So testet man zum Beispiel in der Antimatter Factory, ob sich Antimaterie mit der Gravitationskraft gleich verhält wie Materie. Das CERN setzt seine Arbeit auch im Weltraum fort: Das Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) auf der internationalen Raumstation (International Space Station, ISS) sucht nach Dunkler Materie und misst die Zusammensetzung der kosmischen Strahlung. In verschiedenen Bereichen wird am CERN auch intensive Detektor-Forschung und -Entwicklung betrieben. So steht eine ganze Testhalle für die Entwicklung von stärkeren supraleitenden Magneten und Labors, die an neuartigen Silizium-Chips forschen, zur Verfügung.

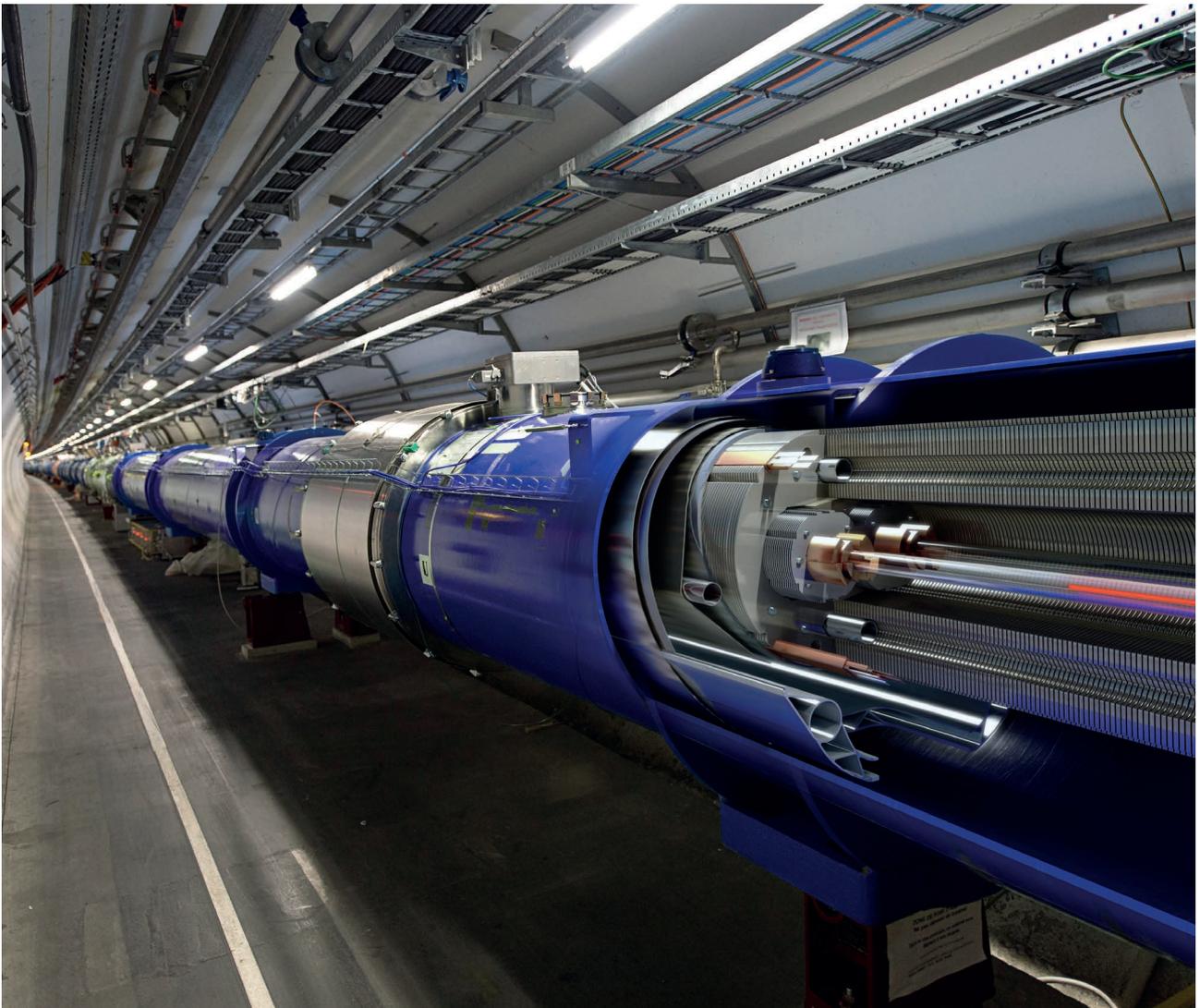
Über die Grenzen der Teilchenphysik hinaus

Das Standardmodell beschreibt die gemessenen Eigenschaften der Elementarteilchen verblüffend gut. Es beschreibt drei von vier fundamentalen Wechselwirkungen. Dennoch gibt es Gründe zur Annahme, dass diese Theorie nur ein Teil einer umfassenderen, noch nicht beschriebenen Theorie ist. Gewisse Phänomene vermag das Standardmodell nicht zu erklären, so zum Beispiel die Dunkle Energie und Dunkle Materie. Oder auch die Einbettung der vierten fundamentalen Wechselwirkung der Gravitation. Bei extrem hohen Energien, wie zum Beispiel dem Urknall, treten Widersprüche mit der allgemeinen Relativitätstheorie auf. Der heilige Gral in der Teilchenphysik wäre, die sogenannte vereinheitlichte Theorie zu finden, die auch die oben genannten Phänomene beschreibt und die fundamentalen Wechselwirkungen vereint. Die Experimente am CERN dienen dazu, die Grenzen des Standardmodells zu erforschen und darin Sprünge und Risse zu finden. Entdeckungen von

Phänomenen, die in der aktuellen Theorie noch nicht beschrieben sind, erlauben es den Forschenden, neue Theorien zu entwickeln, um das zu lösen, was auch heute noch als tiefe Ungereimtheiten erscheint.

Um die Suche nach diesen Sprüngen und Rissen im Standardmodell zu erweitern, wird der Large Hadron Collider (LHC) bis im Jahr 2029 zu einem High-Luminosity-LHC (HL-LHC) aufgewertet. Dadurch soll die Leistung des weltgrössten Teilchenbeschleunigers mit vielen technischen Optimierungen nochmals massgeblich verbessert werden. Der HL-LHC wird in der Lage sein, die Higgs-Teilchen-Produktion um einen Faktor fünf auf 15 Millionen pro Jahr zu steigern. Dank dieser Aufwertung wird es möglich sein, die Higgs-Teilchen-Eigenschaften noch präziser zu messen und dessen seltene Zerfallskanäle zu studieren.

Das wissenschaftliche Potenzial des HL-LHC wird voraussichtlich gegen 2040 ausgeschöpft sein. Überlegungen zur Zukunft der Teilchenphysik im Beschleunigerbereich wurden schon in der «2020 Update European Strategy for Particle Physics» angestellt. Das Fazit aus diesem Strategiebericht lautet, dass neue Erkenntnisse und Entdeckungen durch die Konzipierung und den Bau einer neuen Maschine gewonnen werden sollen, die Teilchen auf noch höhere Energien bringen und mit noch mehr Intensität kollidieren lassen kann. Höhere Energien erlauben es, die Zusammensetzung der Materie auf noch kleineren Skalen zu betrachten und können den Weg bahnen, um neue, noch unbekannte Teilchen zu entdecken. Ein Beschleuniger mit einem Umfang von 91 Kilometern, der sogenannte Future Circular Collider (FCC), würde maximale Energien erreichen, die zehnmal grösser sind als die aktuellen Kollisionsenergien am LHC, und die Higgs-Teilchen-Produktion im Vergleich zum HL-LHC nochmals um einen Faktor 100 steigern. Das CERN wurde von seinen Mitgliedstaaten beauftragt, bis Ende 2025 eine Machbarkeitsstudie zum Bau und Betrieb eines FCC am heutigen Standort durchzuführen. Es bietet sich weltweit als einzig sinnvoller Standort für eine FCC-Maschine an, denn die bestehende lokale Infrastruktur und Expertise könnten voll ausgeschöpft werden. Als Sitzstaat begrüsst die Schweiz die Durchführung der Machbarkeitsstudie und unterstützt das CERN dabei wo angebracht. Fällt die Studie positiv aus und wird ein Entscheid zur Durchführung des FCC-Projekts gefällt, so könnten die Grundbausteine für die Weiterführung von Spitzenforschung in der Hochenergiephysik während den nächsten 60 Jahren gelegt werden.



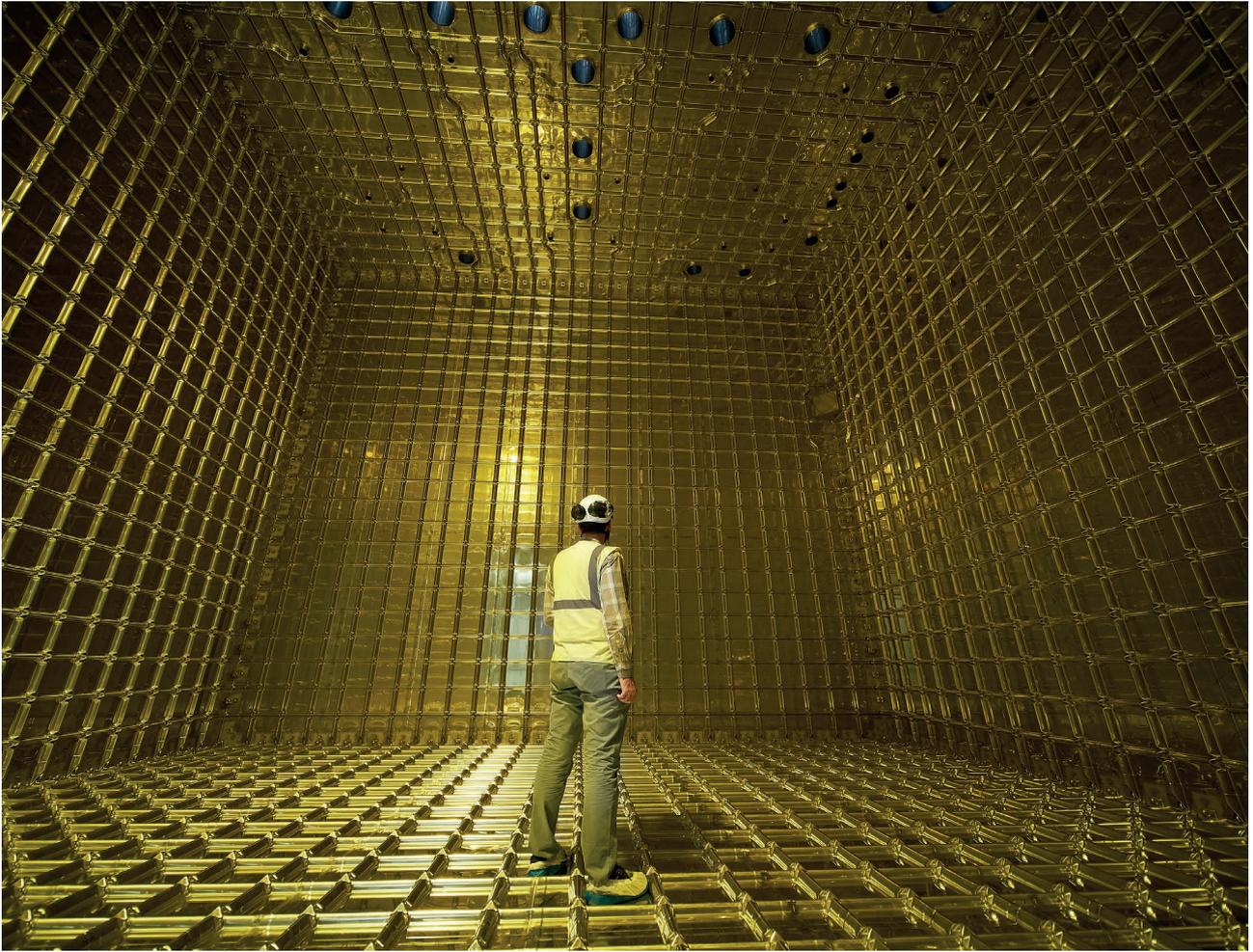
Dreidimensionaler Schnitt durch einen LHC Magneten. Bild: CERN

Das CERN als Nährboden für die moderne Wissenschaft und Gesellschaft

Die am CERN gewonnenen Erkenntnisse prägen ein breites Spektrum der anderen Naturwissenschaften, von der Materialwissenschaft bis hin zur Datenverarbeitung, medizinischen Physik und Strahlentherapie. Viele fundamentale Entdeckungen über den Aufbau der Materie und die Grundkräfte der Physik wurden am CERN gemacht. 1983 haben zum Beispiel Forschende des CERN die Elementarteilchen W-Boson und Z-Boson nachgewiesen, wofür sie 1984 den Nobelpreis in Physik erhielten. Im Jahre 2012 wurde am CERN das Higgs-Teilchen entdeckt, das 1964 von den zwei Theoretikern François Englert und Peter Higgs in einer Hypothese vorausgesagt wurde. Dieses Elementarteilchen wurde nach jahrzehntelanger Suche mit dem LHC durch die ATLAS- und CMS-Detektoren entdeckt. Für die Entwicklung des

Higgs-Mechanismus, wonach jedes Elementarteilchen nur durch die Wechselwirkung mit dem Higgs-Teilchen Masse erhält, wurden Englert und Higgs 2013 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.

Über seine rein wissenschaftliche Aufgabe hinaus wirkt das CERN als konstanter Innovationstreiber in zahlreichen Bereichen. So ist beispielsweise das World Wide Web auf das CERN zurückzuführen, entstanden aus dem Bedarf, wissenschaftliche Daten mit anderen Forschungszentren auszutauschen. Ob es sich um Elektromagneten, die zur Entwicklung der Magnetresonanztomographie führten, Supraleiter-Technologien zur Verbesserung der Effizienz unserer elektrischen Stromnetze oder um Miniatur-Beschleuniger für die Krebstherapie handelt – die am CERN ausgeführten Forschungen bringen stets Fortschritt und Innovation mit sich.



Als Teil einer internationalen Zusammenarbeit, die dem DUNE-Experiment in den USA gewidmet ist, wurde der ProtoDUNE-Detektor am CERN gebaut und erfolgreich getestet. Bild: CERN

Die Schweiz als Wiege der Big Science

Die Schweiz zieht als Mitglied- und Sitzstaat in mehrerer Hinsicht Nutzen aus dem CERN. Erstens profitiert sie wie alle CERN-Mitglieder von den enormen wissenschaftlichen Erkenntnissen, die am CERN generiert werden. Zweitens, dank der geographischen Nähe zum CERN, haben sich die hiesigen Forschenden zu weltweit angesehenen Expertinnen und Experten in der Beschleunigerphysik entwickelt. Dies widerspiegelt sich auch in der Tatsache, dass alle grösseren Schweizer Universitäten und Hochschulen Gruppen haben, die am CERN tätig sind und massgebende Beiträge zu den grossen Experimenten leisten. Nebst den beiden ETH beteiligen sich das Paul Scherrer Institut (PSI) sowie die Universitäten Bern, Basel, Genf und Zürich an den CERN-Projekten.

Im Vergleich zum Anteil der Schweiz am jährlichen Budget ist der Personalanteil von Schweizerinnen und Schweizern am CERN überproportional. Neben den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die als Angestellte oder

Gastforschende das CERN nutzen, gibt es insbesondere eine grosse Anzahl von Schweizerinnen und Schweizern, die in administrativen und technischen Berufen anspruchsvolle Arbeitsplätze beim CERN gefunden haben. Aus Standortgründen werden viele Industrie- und Dienstleistungsverträge des CERN in der Region Genf wie auch schweizweit abgeschlossen. So profitiert vor allem die Schweizer Hightech-Industrie, besonders in den Bereichen der Tieftemperaturtechnik, Supraleitung, Vakuumtechnik, Mikroelektronik und im Bau- und Ingenieurwesen. Weiter ist zu erwähnen, dass das CERN eine enorm hohe Dichte an hochqualifiziertem Personal aufweist. Etwa 64 Prozent der Forschenden am CERN bleiben langfristig nicht in einer akademischen Laufbahn, sondern wechseln später in die Industrie (45%) oder arbeiten in anderen Bereichen (19%). Es ist nicht unüblich, dass hochqualifizierte CERN-Abgängerinnen und -Abgänger eine Anstellung in der Schweizer Industrie- und Innovationslandschaft finden.

Schweizerische Sitzstaatpolitik

Die Schweiz ist seit über 150 Jahren Sitzstaat verschiedener internationaler Organisationen und Konferenzen. Sie geniesst international den Status als wichtigstes Zentrum für globale Gouvernanz und ihre Rolle als Sitzstaat ist tief in der Tradition und Politik der guten Dienste verankert. Das sogenannte internationale Genf ist weltweit bekannt als operationeller Mittelpunkt des multilateralen Systems. Die Schweiz verfolgt eine aktive Strategie zur Stärkung der Attraktivität und Wettbewerbsfähigkeit als Sitzstaat. Die gewonnenen Vorteile als Sitzstaat sind von grosser Bedeutung. So ist zum Beispiel der Zugang zu internationalen Organisationen, ihren Leitenden, Beamtinnen und Beamten, Expertinnen und Experten und Delegierten erheblich erleichtert. Die Schweizer Aussenpolitik erhält eine hervorragende Plattform, um ihre Botschaften zu vermitteln. Die grosse Aufmerksamkeit verschafft der Schweiz auch Sichtbarkeit auf der internationalen Bühne. Indem sie den internationalen Akteuren optimale Rahmenbedingungen bietet, leistet die Schweiz ihrerseits einen wichtigen Beitrag zum reibungslosen Funktionieren der internationalen Beziehungen und zur Lösung der grossen multilateralen Herausforderungen. Die Rolle als Sitzstaat stärkt die Position als Mitgliedsstaat dieser Organisationen und umgekehrt.

Die Präsenz solcher Organisationen, insbesondere des CERN, in der Schweiz führt zu erheblichem wirtschaftlichen Mehrwert, sowohl für die Region als auch für das ganze Land. Die Angestellten der internationalen Organisationen leben in der Region, kaufen dort ein und haben in vielen Fällen Wohneigentum erworben. Deshalb fliesst ein grosser Teil der ausbezahlten Löhne in die Schweiz. Die Förderung der Schweiz in ihrer Rolle als Sitzstaat durch staatliche finanzielle Investitionen in die Rahmenbedingungen und Infrastruktur (Bürogebäude, Konferenzzentren usw.) sind eine direkte monetäre und politische Investition mit garantiertem Erfolg.

Aufgrund all dieser Vorteile unterstützt die Schweiz den Multilateralismus und betreibt einen grossen Aufwand, um den hier ansässigen Organisationen ein attraktives Umfeld und beste Rahmenbedingungen zu bieten. Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft hat dazu das Gaststaatgesetz zur Förderung der Gaststaatpolitik 2007 verabschiedet. Es definiert die potenziellen Begünstigten von Vorrechten, Immunitäten und Erleichterungen sowie von finanziellen Beiträgen in dem vom Völkerrecht bestimmten Rahmen. Das Gaststaatgesetz basiert auf dem Wiener Übereinkommen über diplomatische Beziehungen vom 18. April 1961 und den Sitzabkommen mit in der Schweiz ansässigen Organisationen. Das CERN gehört zu diesen Begünstigten und spielt eine besondere Rolle, denn es handelt sich um die einzige, aber weltweit grösste internationale Forschungsorganisation mit Sitz in der Schweiz.

Am 10. Dezember 2021 hat der Bundesrat entschieden, dass die Schweiz die langfristigen Entwicklungsmöglichkeiten des CERN stärker fördern soll, insbesondere auf raumplanerischer Ebene. Dies beinhaltet die Erstellung eines Sachplans des Bundes, der sich auf die Projekte des CERN bezieht, und die Schaffung der dafür notwendigen gesetzlichen Grundlage. Der Sachplan wird in Zukunft die für die Raumplanung geltenden Verfahren klären und vereinfachen. Damit wird auch einer Forderung des Kanton Genfs entsprochen. Der Sachplan verbessert die Planungssicherheit für die wichtigen CERN-Projekte und dient als Rahmen zur Interessensabwägung zwischen den Zielen der Forschungspolitik, der Gaststaatpolitik und der Raumplanungspolitik. Ein Fortbestehen des CERN und dessen Entwicklung zum Weltlabor für Teilchenphysik mittels eines neuen Beschleunigers wie dem FCC ist von hohem Interesse für den Standort Genf, die Schweiz als Zentrum für globale Gouvernanz, die hiesige Forschungsgemeinschaft mit grosser Expertise in der Beschleunigerphysik und die Schweiz als Hightech-Industrie- und Innovationsstandort.

Europäische Südsternwarte (ESO)

Die Europäische Südsternwarte (ESO) ist die führende europäische Infrastruktur für astronomische Forschung und das wissenschaftlich produktivste Observatorium der Welt. Mit ihren Teleskopen an verschiedenen Standorten in der Atacama-Wüste in Chile schafft die ESO die Voraussetzungen für astronomische Spitzenforschung. Auch bei der Förderung der internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Astronomie spielt die ESO eine massgebliche Rolle.

Gründungsjahr	1962
Mitglieder	Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Irland, Italien, Niederlande, Österreich, Polen, Portugal, Spanien, Schweden, Schweiz, Tschechische Republik, Vereinigtes Königreich
Rechtsform	Völkerrechtliche Internationale Organisation
Sitzstaat	Deutschland
Standorte	Garching (Deutschland) Santiago, La Silla, Paranal und Chajnantor (Chile)
Forschungsgebiet	Astronomie und Astrophysik
Jährliches Budget	240 Mio. Euro
Status der Schweiz	Mitglied
Beitragssatz Schweiz	4,5%
Website	www.eso.org



Den Kosmos beobachten und verstehen

Das Ziel der Europäischen Südsternwarte (ESO) ist es, den Forschenden in der Astronomie und Astrophysik für die Erforschung gewisser Bereiche des elektromagnetischen Spektrums modernste erdbasierte Forschungseinrichtungen zur Verfügung zu stellen. Dadurch soll unser Verständnis des Kosmos weiterentwickelt werden. Mit den weltweit stärksten sich am Boden befindenden Teleskopen werden wichtige wissenschaftliche Entdeckungen gemacht, beispielsweise zum Ursprung und der Entstehung des Universums. Zudem entwickelt die ESO fortschrittliche Technologien, so etwa zur Ausgleichung von Spiegelkrümmungen (aktive Optik) oder zur Messung von Wellen (Interferometrie).

Hightech-Installationen für die Astronomie

Die Observatorien der ESO liegen in der chilenischen Atacama-Wüste auf Höhen zwischen 2000 und über 5000 Meter über Meer. Der Grund dafür ist, dass auf der Südhalbkugel ein wesentlich grösserer Teil der Milchstrasse beobachtet werden kann als auf der Nordhalbkugel. Weil in höheren Lagen die Atmosphäre optimal ist, können von den Standorten in Chile aus rund 95 Prozent des Himmels beobachtet werden.

Die ESO stellt Astronominnen und Astronomen modernste Beobachtungsgeräte zur Verfügung. Die Vielfalt der Instrumente ist über die Jahrzehnte sukzessive gewachsen.

- Im La Silla-Observatorium betreibt die ESO seit ihrer Gründung in den sechziger Jahren verschiedene Teleskope mittlerer Grössen. Darunter findet sich auch das Schweizer Euler-Teleskop des Observatoriums Genf mit einem Durchmesser von 1,2 Metern.
- Das Very Large Telescope (VLT) ermöglicht Beobachtungen des sichtbaren und infraroten Lichts gleichzeitig. Das VLT besteht aus vier Hauptteleskopen, welche jeweils einen Durchmesser von 8,2 Metern haben. Das Licht dieser vier Teleskope lässt sich kombinieren. Dadurch lassen sich die Positionen von Sternen und anderen Himmelsobjekten extrem genau bestimmen. Weiter können vier zusätzliche Hilfsteleskope mit je 1,8 Metern Spiegeldurchmesser eingesetzt werden.
- Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA): Bei dieser Anlage handelt es sich um einen neuartigen Radioteleskopverbund von 66 Präzisionsantennen zur Untersuchung des Universums im Millimeter- und Submillimeterbereich. ALMA ist ein internationales



Künstlerische Darstellung des Extremely Large Telescope auf dem Cerro Armazones im nördlichen Chile. Derzeit im Bau wird das 39m breite Teleskop gezeigt, welches mittels Lasern künstliche Sterne in der Atmosphäre projiziert um die atmosphärische optische Verzerrung zu korrigieren. Bild: ESO/L. Calçada

Gemeinschaftsprojekt und wird von der ESO zusammen mit amerikanischen und japanischen Forschungsinstitutionen betrieben.

Ein Teleskop der Superlative zum Ziel

Im Bau befindet sich zurzeit das Extremely Large Telescope (ELT). Dieses wird das weltweit grösste Teleskop sein. Der Hauptspiegel des ELT wird einen Durchmesser von 39 Metern aufweisen und setzt sich aus 798 sechseckigen Spiegelementen zusammen. Die Inbetriebnahme des ELT ist für 2027 vorgesehen. Das ELT dürfte unsere Wahrnehmung des Universums entscheidend beeinflussen. Dazu gehören Studien über diverse Objekte wie Planeten von anderen Sternen, die ersten Objekte im Universum, supermassive Schwarze Löcher sowie die Eigenschaften und die Ausbreitung der Dunklen Materie und Dunklen Energie.

Rückblick auf 60 Jahre Entdeckungsgeschichte der ESO

In der 60-jährigen Geschichte der ESO konnten mit den Teleskopen diverse Entdeckungen gemacht werden. Dazu zählt unter anderem die Entdeckung eines supermassiven schwarzen Lochs inmitten der Milchstrasse. Ein weiteres wichtiges Ergebnis war die Erkenntnis, dass sich die Ausdehnung des Universums stetig beschleunigt. Diese Entdeckung wurde unter anderem mit Hilfe von ESO-Teleskopen in La Silla gemacht und 2011 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet. Ausserdem gelang es 2004 mit ESO-Instrumenten das erste Foto eines Exoplaneten, einem Planeten ausserhalb des Sonnensystems, zu machen. Zudem hat die ESO mit ihren Teleskopen zum ersten Bild eines Schwarzen Lochs im Frühjahr 2019 wesentlich beigetragen.

Die Schweizer Mitgliedschaft bei der ESO

Die Schweiz ist seit 1982 Mitglied der ESO. Die Mitgliedschaft ist für den Schweizer Forschungsstandort essenziell, denn die hiesige Forschung nutzt die von ESO-Instrumenten aufgenommenen Daten. Die Qualität und Vielfalt an Instrumenten ermöglicht Spitzenforschung. Neben der wissenschaftlichen Nutzung der Instrumente und des internationalen Netzwerks haben Schweizer Forschungsinstitutionen und Unternehmen die Möglichkeit, am Bau der Anlagen mitzuarbeiten.

Das in der Schweiz gebaute Euler-Teleskop mit einem Durchmesser von 1,2 Metern wird am Standort in La Silla durch die Universität Genf betrieben. Es wird zur Suche nach Planeten, die sich ausserhalb von unserem Sonnensystem befinden, sogenannte Exoplaneten, eingesetzt. Die Entdeckung des ersten Exoplaneten 1995 durch die zwei Schweizer Professoren Michel Mayor und Didier Queloz an der Universität Genf wurde 2019 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.

Die ESO ist für Schweizer Forschungsinstitutionen und Unternehmen eine wichtige Organisation, zum Beispiel für die Entwicklung von neuen Instrumenten. ESPRESSO, ein Spektrograph, der Teil des Very Large Telescope (VLT) ist, untersucht steinige, erdähnliche Exoplaneten. Das ESPRESSO-Projekt wird von Professor Francesco Pepe an der Universität Genf geleitet, des Weiteren beteiligt sich auch die Universität Bern. Auch an der Entwicklung von Instrumenten für das ELT sind Schweizer Institutionen beteiligt. Die ETH Zürich ist Teil des Konsortiums, das das Instrument METIS, ein leistungsstarker Bildgeber (Imager) und Spektrograph, entwickelt. Von 2018–2020 präsidierte der nun emeritierte Professor Willy Benz von der Universität Bern den ESO-Rat.

Square Kilometre Array Observatory (SKAO)

Mit bodenbasierten Radioteleskopen auf dem neusten Stand der Technologie wird das Square Kilometre Array Observatory (SKAO) unseren Himmel mit höchster Auflösung und Empfindlichkeit beobachten. Mit einem Netzwerk von über 100 000 Antennen in Australien und Südafrika wird SKAO Beobachtungen durchführen, die unser Verständnis des Universums und der fundamentalen Physik revolutionieren könnten. SKAO wurde im Jahre 2021 gegründet. SKAO wird in mehreren Bauphasen realisiert, beginnend mit der ersten Konfiguration SKA-1, die zwischen 2021 und 2030 ausgeführt und schrittweise in Betrieb genommen wird.

Gründungsjahr	2021
Mitglieder	Australien, China, Italien, Niederlande, Portugal, Schweiz, Südafrika, Vereinigtes Königreich
Rechtsform	Völkerrechtliche Internationale Organisation
Sitzstaat	Vereinigtes Königreich
Standorte	Jodrell Bank (Vereinigtes Königreich) Australien, Südafrika (Gaststaaten)
Forschungsgebiet	Astronomie und Astrophysik
Baubudget	1986 Mio. Euro
Status der Schweiz	Mitglied
Beitragsatz Schweiz	1,3%
Webseite	www.skao.int



In den Kosmos hineinhören

Die wissenschaftlichen Ziele von SKAO sind sehr breit angelegt. Der Zusammenschluss von Antennen, die Signale im Radiofrequenzbereich messen, erlaubt eine nie dagewesene Präzision. Wie kann man die Entstehung von erdähnlichen Planeten besser verstehen? SKAO wird neue Einblicke und Antworten auf genau diese Frage liefern: In Sternentstehungsgebieten können die Radioteleskope von SKAO protoplanetare Scheiben beobachten und dort das Emissionsspektrum von neutralem Wasserstoff erforschen – ein Schlüssel zum besseren Verständnis von diesen einzigartigen Planeten, die unserer Erde so ähneln.

Ein Blick in unsere nähere Umgebung wirft auch unbeantwortete Fragen auf: Man kann sich nämlich immer noch nicht erklären, weshalb die Korona unserer Sonne heisser ist als die Sonnenoberfläche. Oder welche Prozesse die Dynamik und Entwicklung von Sonnenstürmen dominieren. Dank hochauflösenden Bildern der Sonne im Radiofrequenzbereich wird SKAO Prognosen zum «Wetter»

in unserem Sonnensystem liefern. Denn Sonnenstürme haben zum Beispiel direkten Einfluss auf die Kommunikationssatelliten oder bestimmte Infrastruktur auf der Erde.

Auch ins Zentrum von unserer Galaxie, der Milchstrasse, wird SKAO seine Augen richten: Dort befindet sich nämlich unser nächstes Schwarzes Loch, welches noch viele Geheimnisse verbirgt. Die Beobachtungen im Radiofrequenzbereich eignen sich auch für weit entfernte Galaxien und deren Haufenbildung. Anhand von diesen Beobachtungen kann SKAO die Kraft der Dunklen Energie messen, deren Natur uns noch ein Mysterium ist, und die verantwortlich für die Ausdehnung des Universums ist.

100 000 Antennen verteilt auf zwei Kontinenten

SKAO deckt den Teil des elektromagnetischen Spektrums ab, der tiefere Energien und längere Wellenlängen hat als derjenige des sichtbaren Lichts. Zusammen mit den Teleskopen von ESO und CTAO decken die SKAO-Teleskope einen breiten Teil des elektromagnetischen Spektrums.



Das Radioteleskop-Netzwerk von SKAO wird die Signale von fast 100 000 Antennen vereinigen und so ein Teleskop mit einer Apertur äquivalent der Distanz zwischen Afrika und Australien simulieren. Illustration: SKAO

Die SKAO-Radioteleskope werden die Astronomie im Radiofrequenzbereich revolutionieren. SKAO wird einen grossen Himmelsbereich gleichzeitig mit hoher Auflösung und Empfindlichkeit beobachten können. Diese Beobachtung wird durch die Platzierung von tausenden kleinen phasengesteuerten Antennen in Australien und 197 Parabolantennen mit 15 Metern Durchmesser in Südafrika ermöglicht. Das Zusammenfügen der Signale aller Antennen durch Supercomputer und die grosse räumliche Distanz auf der Erde (bis zu 3000km) ermöglicht die Simulation eines riesigen Radioteleskops.

Die Datenmengen, die die SKAO-Teleskope produzieren, werden im Bereich von Exabytes sein, was etwa der zehnfachen Datenmenge der CERN-Daten entspricht. Um solche massiven Datenvolumen zu speichern und verarbeiten, braucht es viele Ressourcen und vor allem neue Methoden zur Optimierung und Effizienzsteigerung. Forschende an Schweizer Hochschulen widmen sich schon seit einem Jahrzehnt solchen Problemstellungen und sind in SKAO eingespannt, um ihre Lösungen einzubringen.

Die Anlagen in Südafrika und Australien werden von Jodrell Bank im Vereinigten Königreich gesteuert. SKAO wird in mehreren Bauphasen realisiert, beginnend mit der ersten Konfiguration SKA-1, die zwischen 2021 und 2030 ausgeführt und schrittweise in Betrieb genommen wird.

Die Schweiz positioniert sich in der Multi-Messenger-Astronomie

Die Schweizer Beteiligung an SKAO entspricht den spezifischen Bedürfnissen der Schweizer Radioastronomie-Forschungsgemeinschaft und den allgemeinen Bedürfnissen der Schweizer Astrophysik-Forschung. In der Schweiz gibt es verschiedene Forschungsgruppen, die mit den zukünftigen Daten von SKAO und ihrer Expertise wichtige Erkenntnisse zu den grossen Fragen liefern werden. Die Schweizer Mitgliedschaft bei SKAO ist eine natürliche Erweiterung im Bereich der internationalen Forschungsorganisationen, die erdbasierte Teleskope verwenden. Durch die Beteiligung an SKAO, ESO und CTAO haben Schweizer Forschende künftig Zugriff auf Daten im ganzen Bereich des elektromagnetischen Spektrums und können Forschung im Bereich der Multi-Messenger-Astronomie auf Top-Niveau betreiben.

In der Schweiz arbeiten über 50 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von verschiedenen Institutionen an Projekten im Zusammenhang mit SKAO. Sie leisten wichtige Beiträge zur Entwicklung von Hardware, zum Beispiel im Bereich der Entwicklung von Speichern mit grosser Kapazität und Chips, die analoge Signale zu digitalen verarbeiten. Auch in der Software-Entwicklung ist die hiesige Forschung an vorderster Front: Neue Methoden für Datenkomprimierung und -Extrahierung wie auch der Einsatz von künstlicher Intelligenz werden für die Anwendung mit SKAO-Daten entwickelt.

Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO)

Das Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO) hat zum Ziel, kurzweiliges Licht aus dem Weltall mit bodenbasierten Teleskopen zu beobachten. Durch die Beobachtung von Tscherenkow-Blitzen in der Atmosphäre, können Rückschlüsse auf die Gammastrahlung von weit entfernten Galaxien und Supernovae gemacht werden. Der vorgesehene Forschungsplan von CTAO ist breit aufgestellt und hat zum Ziel, grosse Fragen sowohl aus der Astrophysik, als auch aus der Teilchenphysik und der Vereinigung der Domänen, der sogenannten Astroteilchenphysik, zu beantworten.

Gründungsjahr	2023 (voraussichtlich)
Beteiligte Länder und Organisationen	Australien, Deutschland, Frankreich, Italien, Japan, Österreich, Polen, Schweiz, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Vereinigtes Königreich, ESO
Rechtsform	European Research Infrastructure Consortium (ERIC)
Sitzstaat	Italien
Standorte	Bologna (Head Quarters) Berlin (Science Data Management Centre) Paranal (Chile) La Palma (Kanaren, Spanien)
Forschungsgebiet	Astronomie, Astrophysik, Teilchenphysik, Astroteilchenphysik
Baubudget	331,3 Mio. Euro
Status der Schweiz	Beobachter seit Gründung
Beitragssatz Schweiz	0,2%
Webseite	www.cta-observatory.org/



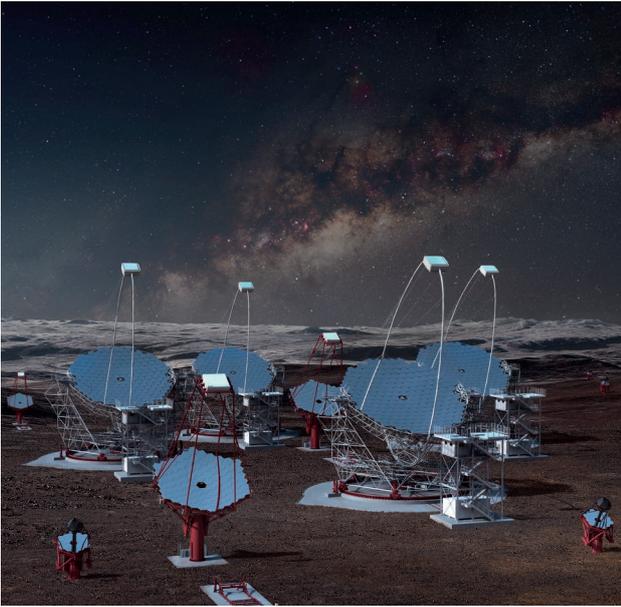
Ein Blick in die extremsten Umgebungen des Universums

CTAO wird das weltweit grösste Observatorium für erdbasierte Gammaskopie mittels hochempfindlicher Teleskope, die einen Faktor 10 besser sind als die aktuellen. Die Teleskopanlage erlaubt eine nie dagewesene Präzision zur Beobachtung von hochenergetischen Gammastrahlen. Im Vergleich zu aktuellen Projekten wird CTAO – dank zwei Standorten auf der Nord- und Südhalbkugel und über 60 Teleskopen – einen grossen Winkelbereich und eine grosse Beobachtungsfläche abdecken.

Gammastrahlen sind die energiereichste Form von elektromagnetischer Strahlung. Quellen von Gammastrahlen sind Bereiche im Universum, in denen sub-atomare Teilchen viel Energie erhalten, sogenannte kosmische Beschleuniger. In der Regel sind dies Umgebungen mit extremen Ereignissen wie Explosionen, Ausbrüchen oder starken Teilchenstrahlen in der Nähe von supermassiven schwarzen Löchern.

Die erdbasierte Messung von Gammastrahlung erfolgt nur auf indirekte Art und Weise, denn die Gammastrahlung wird gänzlich von unserer Atmosphäre abgeschirmt. Beim Auftreffen der Gammastrahlung auf unserer Atmosphäre entstehen jedoch neue Partikel, deren Beschleunigung schwaches blaues Licht – Tscherenkow-Licht – abgibt. Dieser Effekt wird von den CTAO-Teleskopen ausgenutzt, um Rückschlüsse auf die Energie, die Richtung und möglicherweise sogar die verursachende Quelle der Gammastrahlung zu ziehen.

CTAO wird sich mit der Erforschung der Herkunft und Rolle von relativistischen kosmischen Teilchen befassen, extreme Umgebungen in unserem Universum erkunden und die Grenzen der Physik erweitern. Beobachtungsziele sind galaktische Zentren, die grosse magellansche Wolke, Entstehungsgebiete von Sternen und Galaxien, sowie Galaxienhaufen. Die wissenschaftlichen Anwendungen reichen von Hochenergie-Astrophysik über elementare Teilchenphysik bis hin zu Kosmologie. Infolgedessen wird



Künstlerische Interpretation der drei verschiedenen Teleskop-Kategorien von CTAO. Sie werden voraussichtlich auf der Südhalbkugel beim Paranal Observatorium der ESO stehen. Illustration: Gabriel Pérez Diaz (IAC)/Marc-André Besel (CTAO)/ESO/N. Risinger (skysurvey.org)

CTAO die Zusammenarbeit und den Austausch von Forschenden aus den unterschiedlichen Domänen ermöglichen.

CTAO-Instrumente werden auf drei Kontinenten verteilt sein

Seit 2016 findet die technische Koordination und Leitung für die Vorbereitungsphase von CTAO in Bologna statt. Die wissenschaftliche Koordination der Messungen, Software-Wartung und Datenverarbeitung werden am Science Data Management Centre (SDMC) in Berlin gemacht. Die zu verarbeitende Datenmenge ist immens, bis 2030 werden etwa 100 Petabytes erwartet. Das riesige Datenvolumen stellt auch die IT vor grosse Herausforderungen, die neue Entwicklungen im Bereich des Datenmanagements verlangen werden.

Nach gründlicher Evaluation für die Teleskop-Standorte auf der Nord- und Südhalbkugel hat sich CTAO für La Palma auf den Kanarischen Inseln und Paranal in Chile entschieden.

Die Teleskope auf La Palma werden den tiefen und den mittleren energetischen Bereich der Gammastrahlung beobachten. Dazu sind vier Large-Sized Teleskope mit Durchmessern von 23 Metern und neun Medium-Sized Teleskope mit einem Durchmesser von 11,5 Metern vorgesehen. Dieser Standort wird deshalb vor allem für Beobachtungen von extragalaktischen physikalischen Phänomenen zuständig sein.

Auf der Südhalbkugel werden in unmittelbarer Nähe des ESO-Standorts in der Atacama-Wüste die CTAO-Teleskope stehen. Die dortigen Beobachtungen werden sich vor allem auf die mittleren bis hohen Energiespektren konzentrieren. Auf einer Fläche von über drei Quadratkilometern werden nicht weniger als 14 Medium-Sized Teleskope und 37 Small-Sized Teleskope mit einem Durchmesser von 11,5 Metern und 4,3 Metern installiert. In einem nächsten Schritt sollen auch dort vier Large-Sized Teleskope errichtet werden.

Auf dem Weg zur 5-jährigen Bauphase

Für 2023 wird die Inkraftsetzung der Rechtsstruktur CTAO ERIC erwartet. Dieser Moment wird den Startzeitpunkt der Konstruktions- und Operationsphase markieren. Die Bauarbeiten sehen anfänglich die Errichtung der Infrastruktur vor und danach die Installation der Teleskope. Es ist vorgesehen, dass die Bauphasen auf der Nord- und Südhalbkugel parallel stattfinden. Erste Beobachtungen sind nach ca. fünf Jahren (2028) zu erwarten.

CTAO bringt viele Möglichkeiten für die Schweiz

Seit Anfang der 2000er-Jahre beteiligen sich die Universitäten Zürich und Genf sowie die ETH Zürich am CTAO-Projekt im Rahmen des CTA-Consortium, welches die konzeptionelle Vorarbeit für den Bau der Infrastruktur geleistet hat. Aufgrund ihrer privilegierten Position in der Projektentwicklung leitet die Universität Genf seit Beginn des Jahres 2020 mit der Unterstützung des Bundes die Bestrebungen zur Konsolidierung der zukünftigen Schweizer Nutzerbasis, die für einen allfälligen künftigen Beitritt der Schweiz zum CTAO ERIC notwendig ist.

Die Schweiz betreibt Spitzenforschung im Bereich der Astroteilchenphysik. Die hiesige Forschungsgemeinschaft hat ein grosses Interesse an CTAO und ist bestens aufgestellt um massgebende Beiträge im Bereich der Instrumentation und Datenverarbeitung zu leisten. Zum Beispiel werden an der ETH Zürich Kameras für die CTAO-Teleskope entwickelt und die ETH Lausanne hat Erfahrung im Bau von Robotern zur Positionierung der Teleskope.

Abgesehen von seinem eigentlichen Interesse an Teilchenphysik, Astronomie und der Vereinigung der beiden Domänen, ist das CTAO für die Schweiz und die ganze Welt von enormem wissenschaftlichem Interesse, einerseits in Bezug auf die Techniken der Datenproduktion und Analyse, einschliesslich maschinellen Lernens und moderne bildgebende Techniken. Andererseits aber auch für den Aufbau von Kontakten zu spezialisierten Branchen, die beim Bau von Teleskopen mitwirken könnten.

Europäisches Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL)

Das Europäische Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL) zählt zu den weltweit führenden Forschungsstätten in den Lebenswissenschaften. Es verfügt europaweit über sechs Standorte. Das EMBL fördert die Zusammenarbeit in der molekularbiologischen Grundlagenforschung. Dazu stellt es die notwendige Infrastruktur wie beispielsweise extrem leistungsstarke Mikroskope oder Datenbanken zur Verfügung und beteiligt sich an der fortlaufenden Entwicklung von Spitzeninstrumenten für die moderne Biologie.

Gründungsjahr	1974
Mitglieder	Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Frankreich, Finnland, Griechenland, Irland, Island, Israel, Italien, Kroatien, Litauen, Luxemburg, Malta, Montenegro, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Spanien, Tschechien, Ungarn, Vereinigtes Königreich
Rechtsform	Völkerrechtliche Internationale Organisation
Sitzstaat	Deutschland
Standorte	Heidelberg (D), Hinxton (UK), Grenoble (F), Hamburg (D), Rom (I), Barcelona (ES)
Forschungsgebiet	Life Sciences
Jährliches Budget	334 Millionen Euro
Status der Schweiz	Mitglied
Beitragsatz Schweiz	1,7%
Webseite	www.embl.org



Förderung der Molekularbiologie auf internationalem Niveau

Das Europäische Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL) widmet sich hauptsächlich der molekularbiologischen Grundlagenforschung. Es setzt sich nebst der Technologieentwicklung auch für die Aus- und Weiterbildung von Forscherinnen und Forschern, insbesondere Nachwuchsforschenden, ein.

Das EMBL fördert molekularbiologische Forschung durch zahlreiche Projekte, die jedes Jahr in Zusammenarbeit mit den Laboratorien der Mitgliedstaaten in Angriff genommen werden. Die abgedeckten Forschungsgebiete reichen von der Entwicklungs- und Zellbiologie über Immunologie bis hin zur Strukturbiologie. Mit seinem neuesten Programm «Molecules to Ecosystems» wagt sich EMBL in neue Forschungsgebiete wie bspw. die «planetarische Biologie». Sie wird sich mit grundlegenden und dringenden wissenschaftlichen Fragen über den Einfluss von Umweltparametern auf die molekularen Mechanismen, die biologischen Prozessen zugrunde liegen, befassen und

dabei auch gesellschaftliche Fragen zur Gesundheit des Planeten aufgreifen.

Die Datenbanken vom EMBL sind heute unerlässlich für die weltweite Forschergemeinschaft in den Bereichen Life Sciences und Biomedizin. Täglich erfolgen ca. 65 Millionen Anfragen auf deren Webseite. Die am EMBL gewonnenen Erkenntnisse in verschiedensten Bereichen wie bspw. Spektrometrie, Mikroskopie oder Protein-Kristallisation haben zu über 1000 Erfindungen und 450 Patenten geführt. Laufend werden neue Spin-off Firmen gegründet.

Tätig an sechs Standorten in Europa

Das EMBL setzt sich aus sechs Standorten in Europa zusammen:

- Heidelberg (Deutschland): Am Hauptsitz arbeiten 800 Mitarbeitende und um die 50 Forschungsgruppen betreiben hier ihre Forschung. Zudem stehen den Forschenden verschiedenste wissenschaftliche Dienste zur Verfügung, zum Beispiel in den Bereichen Genomik, Proteomik oder chemische Biologie. Im Jahr 2022



Das EMBL setzt sich aus europaweit sechs Standorten zusammen. Der Hauptsitz befindet sich in Heidelberg. Bild: EMBL

wurde auf dem EMBL-Campus in Heidelberg das EMBL Imaging Center eröffnet. In dieser Spitzeninfrastruktur sind modernste bildgebende Technologien vereint, auch solche, die kommerziell noch nicht zur Verfügung stehen. Diverse Mikroskope für die Licht-, Fluoreszenz- und Kryo-Elektronenmikroskopie stehen nun Forschung und Industrie zur Verfügung.

- Hinxton bei Cambridge (Vereinigtes Königreich): EMBL-EBI, das Europäische Bioinformatik Institut, zählt 850 Mitarbeitende und stellt freizugängliche Daten- und Bioinformatik-Tools zur Verfügung. EMBL-EBI ist zum grössten Standort von EMBL gewachsen und ein weltweiter Pionier auf dem Gebiet der Bioinformatik. EMBL-EBI beherbergt einen Knoten des Forschungsinfrastruktur-Netzwerks ELIXIR.
- Grenoble (Frankreich): Dieser EMBL-Standort ist im Bereich Strukturbiologie tätig. EMBL-Grenoble arbeitet mit der Europäischen Synchrotronstrahlungsanlage (ESRF) und dem Institut Laue-Langevin (ILL), die sich auf demselben Campus befinden wie EMBL-Grenoble, eng zusammen.
- Hamburg (Deutschland): Der EMBL-Standort ist auf dem Gelände des Deutschen Elektronen-Synchrotrons angesiedelt, dem Hauptgesellschafter der European XFEL. Wie in Grenoble steht auch hier die Strukturbiologie im Vordergrund.

- Monterotondo bei Rom (Italien): Schwerpunkte am italienischen Standort sind die Neurobiologie und die Epigenetik, d.h. Untersuchung von Veränderungen in Organismen, deren Ursprung nicht auf Ebene der Gensequenz, sondern auf Ebene der Genexpression liegt.
- Barcelona (Spanien): Die Gewebepathologie und Krankheitsmodellierungen bilden die Kernthemen des jüngsten EMBL-Standorts (2017 eröffnet). Dieser Standort beschäftigt sich mehr als alle anderen mit dem Menschen und seiner Gesundheit.

Kryo-Elektronenmikroskopie führt zum Nobelpreis für Chemie

2017 erhielt Jacques Dubochet, emeritierter Biophysik-Professor an der Universität Lausanne, den Nobelpreis für Chemie für seine bahnbrechende Arbeit am EMBL im Bereich der Kryo-Elektronenmikroskopie. Bei dieser Methode werden biologische Proben bei Temperaturen unter -150°C in einem Elektronenmikroskop untersucht. Da bei dieser Methode die Proben nicht unter Entfernung des Wassers fixiert werden, ist es möglich, biologische Strukturen in ihrer nativen Form abzubilden.

Die Forschenden in der Schweiz verfügen mit dem EMBL über eine erstklassige Infrastruktur. Insbesondere hängen sie sehr stark von den EMBL-EBI-Datenbanken ab für ihre Forschung.

Europäische Freie-Elektronen-Röntgenlaseranlage (European XFEL)

Die 2017 in Betrieb genommene Forschungsanlage European XFEL erzeugt kurze Röntgenlaserblitze mit einer sehr hohen Leuchtstärke. Dadurch ist es möglich, Details von Viren auf atomarer Ebene aufzunehmen, die molekulare Zusammensetzung von Zellen zu bestimmen, Elemente in Nanostrukturen zu beobachten sowie physikalisch-chemische und biologische Reaktionen zu filmen. Die unterirdische Anlage in Schenefeld bei Hamburg (Deutschland) bietet weltweit einzigartige Möglichkeiten für die Spitzenforschung.

Gründungsjahr	2009
Mitglieder	Dänemark, Deutschland, Frankreich, Italien, Polen, Russland, Schweden, Schweiz, Slowakei, Spanien, Ungarn, Vereinigtes Königreich
Rechtsform	Völkerrechtlicher Vertrag; private Firma nach deutschem Recht
Sitzstaat	Deutschland
Standorte	Schenefeld (Deutschland)
Forschungsgebiet	Materialwissenschaften, Chemie und Biochemie
Jährliches Budget	145,7 Mio. Euro
Status der Schweiz	Mitglied
Beitragsatz Schweiz	1,47%
Webseite	www.xfel.eu



Mit einem einzigartigen Röntgenlaser das Innerste der Materie erforschen

European XFEL ist der weltweit grösste Röntgenlaser. Diese lineare Synchrotronstrahlungsquelle der vierten Generation dient der wissenschaftlichen Untersuchung von Materialien sowie von chemischen oder biochemischen Abläufen bis hin zur atomaren Ebene. Synchrotronstrahlungsanlagen sind Grossinfrastrukturen, die in ihrem Verwendungszweck mit einem einfachen Mikroskop verglichen werden können. Aufgrund der erzeugten und verwendeten Strahlung lassen sich jedoch viel kleinere Strukturen untersuchen, als dies mit einem Lichtmikroskop möglich ist.

Mit den Röntgenblitzen des European XFEL können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die atomaren Details von Viren und Zellen entschlüsseln, dreidimensionale Aufnahmen von Nanostrukturen machen und Prozesse untersuchen, wie sie im Inneren von Planeten und Sternen ablaufen. Von der Forschungseinrichtung profitieren die unterschiedlichsten naturwissenschaftlichen Gebiete, darunter Biologie, Medizin, Pharmazie, Chemie, Materialwissenschaften, Physik, Astrophysik,

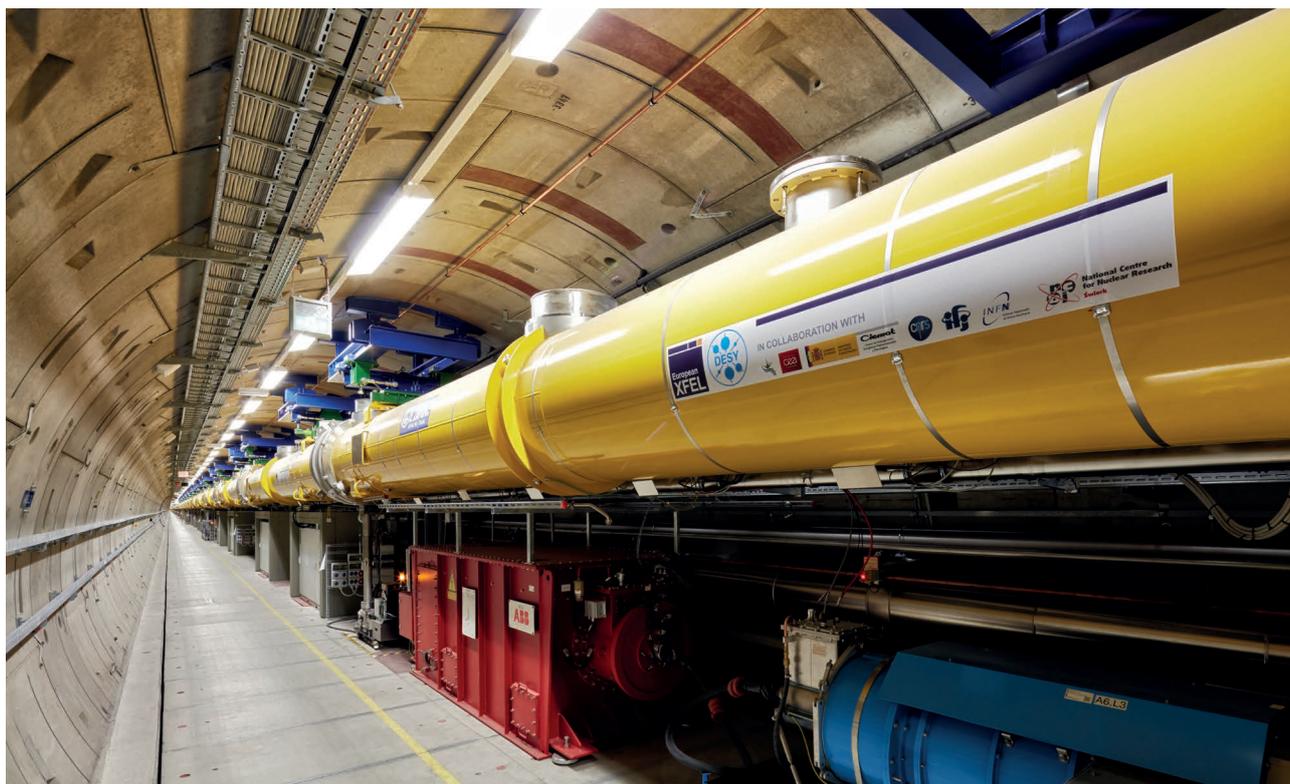
Energieforschung, Umweltforschung, Elektronik, Nanotechnologie und Photonik.

Eine zeitliche Auflösung von wenigen Femtosekunden

Der Röntgenlaser befindet sich in Tunneln unter der Erde. Mit einer Gesamtlänge von 2,1 Kilometern, wovon 1,7 Kilometer Beschleunigungsstrecke sind, ist der European XFEL der längste supraleitende Linearbeschleuniger der Welt.

Der European XFEL produziert weit mehr Röntgenlichtblitze pro Sekunde als jede andere Forschungseinrichtung weltweit. Die Blitze erreichen eine extrem hohe Leuchtstärke und sind ausserdem extrem kurz – üblicherweise dauern sie nur einige Femtosekunden, also wenige Billionstel-Sekunden. Diese herausragenden Eigenschaften ermöglichen es, ultraschnelle Vorgänge bei chemischen Reaktionen und Veränderungen von Biomolekülen zu filmen.

Um die Röntgenblitze zu erzeugen, werden Elektronen zunächst in Paketen beschleunigt und so auf hohe Energien gebracht. Bei genügend Energie werden sie durch



Mithilfe eines Beschleunigers produziert European XFEL 27 000 Röntgenblitze pro Sekunde – eine weltweit einzigartige Leistung.
Bild: European XFEL/Heiner Müller-Elsner

spezielle Magnetanordnungen (Undulatoren) gelenkt, wobei die Teilchen Licht aussenden. Die Undulatoren verstärken das Licht so sehr, bis schliesslich extrem kurze und intensive Röntgenblitze entstehen.

Die Röntgenblitze des European XFEL ermöglichen ganz unterschiedliche Experimente. Forscherinnen und Forscher können dazu auf verschiedene Messstationen zurückgreifen. Der prinzipielle Aufbau der Experimente ist gleich: Mithilfe optischer Elemente wie Spiegel, Gitter, Spalten oder Kristallen können die Röntgenblitze je nach Anforderung ausgeweitet, gebündelt, gefiltert oder abgeschwächt werden. In den Experimentierstationen treten die zu untersuchenden Proben mit den Röntgenblitzen in Wechselwirkung. Die Ergebnisse dieser Wechselwirkung werden durch spezielle Detektoren beobachtet und die Daten zur Analyse aufbereitet.

Synergien mit dem SwissFEL

Aufgrund der Seltenheit von XFEL-Anlagen und ihrer völlig neuen Möglichkeiten ist die Nachfrage von Forschenden aus der ganzen Welt sehr gross und weiterhin zunehmend. Die Schweiz beteiligt sich deshalb einerseits an der European XFEL-Forschungsinfrastruktur. Andererseits hat sie eine eigene nationale Anlage des gleichen Typs (SwissFEL) am Paul Scherrer Institut (PSI) gebaut. Beide Anlagen, SwissFEL und European XFEL, sind

komplementär. Am SwissFEL können die Forschenden Experimente durchführen, die beim European XFEL nicht möglich sind, und umgekehrt. Zusätzlich können am SwissFEL auch Forschungsexperimente für den European XFEL vorbereitet werden, was den SwissFEL-Nutzerinnen und -Nutzern einen Wissensvorsprung ermöglicht. Durch den teilweise parallelen Bau der beiden Anlagen konnten bedeutende Synergien geschaffen werden. So spielte das PSI bei der Planung und beim Bau des European XFEL eine wichtige Rolle und konnte daraus Lehren für den Bau des SwissFEL ziehen.

Die Beteiligung am European XFEL kommt nicht nur den Schweizer Forschenden zugute, sondern auch der hiesigen Hightech-Industrie. Die Schweizer Wirtschaft profitiert von diesem Nischenmarkt. Schweizer Unternehmen haben beispielsweise weltweit einzigartige Röntgendetektoren entwickelt. Der industrielle Rückfluss im Zusammenhang mit der Beteiligung am European XFEL war bereits während des ganzen Baus bedeutend und dürfte auch während des Betriebs der Anlage weiterbestehen. Überdies hat die Schweizer Industrie auch ein Interesse an der Nutzung von European XFEL, da zum Beispiel Forschungsergebnisse des European XFEL Pharmaunternehmen bei der Entwicklung von Medikamenten unterstützen.

Europäische Synchrotronstrahlungsanlage (ESRF)

Die Europäische Synchrotronstrahlungsanlage ESRF in Grenoble (Frankreich) ist eine der weltweit stärksten Lichtquellen. Dank dem Verbesserungsprogramm «Extremely Brilliant Source» (EBS) erzeugt die Anlage Röntgenstrahlen von bisher unerreichter Helligkeit und Kohärenz und bietet damit Forschenden zahlreicher Disziplinen radikal neue Möglichkeiten für die Erforschung der Materie bis auf die subatomare Ebene.

Gründungsjahr	1988
Mitglieder	Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland Frankreich, Italien, Niederlande, Norwegen, Russland, Schweden, Schweiz, Spanien, Vereinigtes Königreich
Rechtsform	Völkerrechtlicher Vertrag; Gesellschaft nach französischem Recht
Sitzstaat	Frankreich
Standorte	Grenoble (Frankreich)
Forschungsgebiete	Strukturbiologie, Materialwissenschaften, elektronische Struktur, Magnetismus und Dynamik, Materie in extremen Zuständen, komplexe Systeme und Biomedizin, Röntgenforschung, Kulturerbe
Jährliches Budget	120 Mio. Euro
Status der Schweiz	Mitglied
Beitragssatz Schweiz	4%
Webseite	www.esrf.fr



Röntgenstrahlung im Dienst für die Wissenschaft

Die 1988 gegründete ESRF verfolgt das Ziel, einerseits eine der weltweit leistungsfähigsten Synchrotronstrahlungsquellen zu betreiben und andererseits selber Forschungsarbeit im Bereich der Röntgenstrahlen durchzuführen. Dank der Brillanz und der Qualität ihrer Quelle stellt die ESRF ihren Mitgliedern ein «Supermikroskop» zur Verfügung, mit dem die Struktur der Materie in ihrer ganzen Komplexität aufgedeckt werden kann. Damit bietet sie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus verschiedensten Gebieten der Physik über die Strukturbiologie bis zur Archäologie sowie Gesundheits- und Lebenswissenschaften unübertroffene Instrumente zur Erforschung von Materialien und lebender Materie.

Die Forschungen der ESRF im Bereich Röntgenstrahlen ermöglichten insbesondere die Entwicklung der Technologie, die für den Einsatz der vierten Generation ultraheller Synchrotronstrahlungsquellen notwendig ist, namentlich Synchrotrone und Freie-Elektronen-Laser (siehe European XFEL).

Zehn Billionen mal hellere Röntgenstrahlen als im medizinischen Bereich

Die ESRF ist die weltweit stärkste Synchrotronstrahlungsquelle. Sie produziert zehn Billionen Mal hellere Röntgenstrahlung als jene, die in Spitälern verwendet wird. Diese Röntgenstrahlen mit aussergewöhnlichen Eigenschaften werden mithilfe von Elektronen erzeugt, die auf ein sehr hohes Energielevel beschleunigt und in einen Speicherring mit einem Umfang von 844 Metern eingelenkt werden. Die gespeicherte Energie wird anschliessend in Form von Röntgenstrahlen freigesetzt, die vom Speicherring zu 40 Experimentierstationen geleitet werden.

Diese auch als Beamlines (Strahllinien) bezeichneten Stationen sind auf unterschiedliche Bereiche spezialisiert und mit Instrumenten auf dem neusten Stand der Technologie ausgestattet. Sie sind rund um die Uhr in Betrieb und werden nicht nur von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, sondern auch von Unternehmen aus den Mitgliedstaaten und den assoziierten Staaten der ESRF genutzt.



Röntgenstrahlen mit einzigartigen Eigenschaften werden bei ESRF durch hoch energetische Elektronen, die in einem Speicherring von 844 Metern Umfang zirkulieren, produziert. Bild: ESRF/VUEDICI

2009 startete die ESRF ein ambitioniertes Modernisierungsprogramm, das Investitionen in der Höhe von insgesamt 330 Millionen Euro vorsah. In einer ersten Phase, die zwischen 2009 und 2015 umgesetzt wurde, konnte das Instrumentarium der Strahllinien verbessert werden. In der zweiten Phase mit dem Namen «Extremely Brilliant Source» (ESRF-EBS) nahm die ESRF 2021 den leistungsstärksten Speicherring in Betrieb, der je gebaut wurde. Möglich wurde dies dank einer einzigartigen Technologie, die im Rahmen eines eigenen Forschungsprogramms entwickelt wurde, das die Vorreiterrolle der ESRF im Bereich der Synchrotronstrahlen bestätigte.

Erstklassige Ergebnisse durch Exzellenz und Reaktionsfähigkeit

Im Jahr 2012 erhielten Robert Lefkowitz und Brian Kobilka den Chemie-Nobelpreis für ihre Arbeiten zu den Andockstellen auf der Zellwand. 2009 ging derselbe Preis an Venkatraman Ramakrishnan, Ada Yonath und Thomas A. Steitz für ihre Ribosomenforschung. Sie alle machten für ihre Forschungen regelmässig von den Instrumenten der ESRF Gebrauch.

In jüngerer Zeit hat die ESRF wichtige Beiträge zum Verständnis jener Mechanismen geleistet, die der Wirkung von SARS-CoV-2 und dessen Auswirkung auf die menschlichen Organe zugrunde liegen. Dazu hat sie insbesondere die erste Aufnahme einer vollständigen Patientenlunge mit Mikrometerauflösung (5 Mikron, 0,005mm) geliefert.

Eine starke Partnerschaft mit der Schweiz

Die Schweiz gehört zu den Gründungsmitgliedern der ESRF. Forscherinnen und Forscher aus rund 20 Schweizer Forschungseinrichtungen nutzen die Anlage regelmässig. Diese gewährt ihnen zwischen 3,5 und 4 Prozent der verfügbaren Strahlzeit. Das Instrumentarium der ESRF ergänzt die Anlagen des Paul Scherrer Instituts, das ebenfalls eine Synchrotronstrahlungsquelle (Swiss light source) sowie einen Freie-Elektronen-Röntgenlaser (SwissFEL) betreibt.

Zum Beispiel haben Forschende der Universität Bern 2017 zusammen mit französischen Kolleginnen und Kollegen eine neue Methode entwickelt, mit der Hirntumore effektiver behandelt werden könnten. Mithilfe der Infrastruktur der ESRF konnte festgestellt werden, dass Chemotherapien effektiver werden, wenn diese mit einer Mikrostrahlentherapie (MRT) verbunden werden anstatt mit einer konventionellen Strahlentherapie. Damit wird der Einsatz der Medikamente in unmittelbarer Nähe des Tumorgewebes vereinfacht, indem die betroffenen Zonen empfänglicher gemacht werden.

Auch die Schweizer Wirtschaft profitiert von der Forschung an der ESRF. Zahlreiche Schweizer Unternehmen liefern der ESRF Hightech-Komponenten und modernste Dienstleistungen. Die Schweiz zeichnet sich in den Bereichen Präzisionsführungen sowie vor allem auf dem Gebiet der Detektoren aus: Zwischen 2019 und 2021 wurden ganze 15 in der Schweiz entworfene und produzierte Detektoren an den Beamlines der ESRF angebracht.

Institut Laue-Langevin (ILL)

Das Institut Laue-Langevin (ILL) in Grenoble (Frankreich) ist seit 1967 führend auf dem Gebiet der Neutronenforschung und -technologie. Es beherbergt mit dem Hochflussreaktor (HFR) die derzeit weltweit leistungstärkste Neutronenquelle für die Forschung. Neutronen eignen sich sowohl für die Physik-, Chemie-, Material- und Energieforschung als auch für die Biologie, Medizin sowie für archäologische und kunstgeschichtliche Untersuchungen.

Gründungsjahr	1967
Mitglieder	Deutschland, Frankreich, Grossbritannien
Wissenschaftliche Mitglieder	Belgien, Dänemark, Italien, Österreich, Polen, Schweden, Schweiz, Slowakei, Spanien, Tschechien
Rechtsform	Völkerrechtlicher Vertrag; Gesellschaft nach französischem Recht
Sitzstaat	Frankreich
Standorte	Grenoble, Frankreich
Forschungsgebiete	Materialwissenschaften, Festkörperphysik, Chemie, Kristallographie, Molekularbiologie, Magnetismus, Kern-, Neutronen- und Grundlagenphysik
Jährliches Budget	100 Mio. Euro
Status der Schweiz	wissenschaftliches Mitglied
Beteiligungssatz Schweiz	2,4%
Webseite	www.ill.eu



Neutronen im Dienst der Wissenschaft und Gesellschaft

Die Ziele des Institut Laue-Langevin (ILL) sind einerseits ein führendes internationales Zentrum für Neutronenwissenschaften und -technologie zu betreiben. Andererseits stellt das ILL den Forschenden aus den Mitgliedstaaten und den wissenschaftlichen Partnerstaaten eine exzellente Neutronenquelle als dienstleistungsorientierte Anlage zur Verfügung.

Da Neutronen elektrisch neutral sind, können sie in den Kern der Materie – sogar von Metallen – eindringen und ermöglichen es damit, die Lage der Atome zu bestimmen und deren Bewegungen zu messen. Überdies können anhand ihres magnetischen Moments die magnetischen Eigenschaften von Elementen auf atomarer und subatomarer Ebene untersucht werden. Neutronenstrahlen fördern Eigenschaften der Materie zutage, die mit anderen Methoden nicht erkennbar sind.

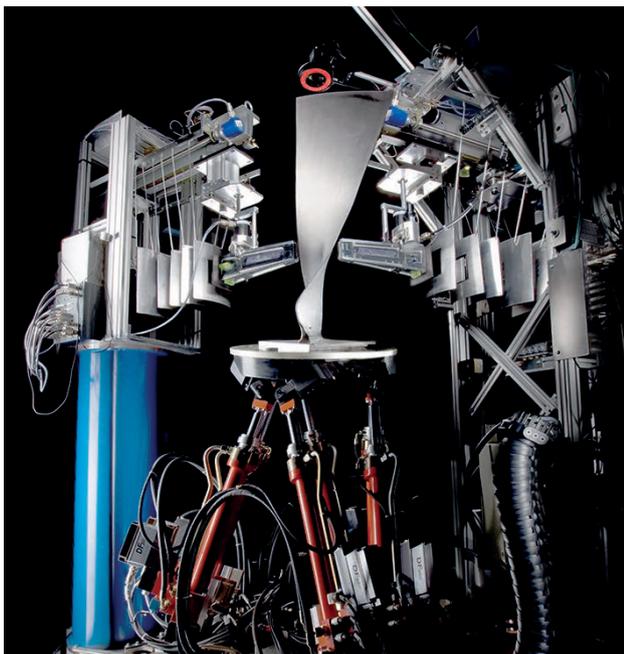
Der Hochflussreaktor des ILL leistet des Weiteren einen bedeutenden Beitrag zur Produktion neuartiger

Radioisotope, die in der klinischen Krebsforschung eingesetzt werden.

38 Messstationen während 170 Tagen pro Jahr

Das Herzstück des ILL ist der Hochflussreaktor (HFR), der jährlich während drei Reaktorzyklen insgesamt 170 Tage zur Verfügung steht. Mit einem hohen Neutronenfluss versorgt der Reaktor 38 Spitzeninstrumente, die sich in fünf Gruppen unterteilen lassen: Beugungsinstrumente, grosse Strukturen, Spektroskope, Nuklear- und Teilchenphysik sowie Zusammenarbeitsinstrumente.

Zu den Beugungsinstrumenten gehört beispielsweise der Diffraktometer SALSA, mit dem innere Deformationen diverser Materialien gemessen werden können. Diese Messungen sind unter anderem wichtig für Sicherheitsaspekte in der Luft- und Weltraumindustrie. Quantenmaterialien und das Verhalten nicht-konventioneller Supraleiter können hingegen mit dem Spektrometer THALES untersucht werden. Diese bei Schweizer Forschenden sehr beliebten Instrumente sollen in Zusammenarbeit mit dem Paul Scherrer Institut weiter verbessert werden.



SALSA ist ein Diffraktometer welches innere Verformungen von verschiedenen Materialien messen kann. Diese Messungen sind für verschiedene Sicherheitsaspekte in der Luft- und Raumfahrt-Industrie wichtig. Bild: ILL

Auf höchstem Niveau während 50 Jahren

Da bereits seit 1972 Forschung am ILL betrieben wird, müssen die Anlagen regelmässig aufgerüstet werden. Anfang 2000 wurde dafür das sogenannte «Millennium»-Programm ins Leben gerufen, welches in zwei Etappen realisiert wurde. Diese Investition von über 40 Millionen Euro pro Etappe wurde mit der Inbetriebnahme des WASP, einem Weitwinkel-Spin-Echo-Spektrometer, 2018 beendet.

Mit dem 2016 lancierten Programm «Endurance» soll die wissenschaftliche Wettbewerbsfähigkeit des ILL bis Ende dieses Jahrzehnts sichergestellt werden. Die auf 22 Millionen Euro bezifferten Arbeiten sollen 2023 abgeschlossen werden, womit das ILL die Bedürfnisse der europäischen Forschung deckt, bevor sein Betrieb dann gegen 2030 eingestellt werden soll. Danach wird den Nutzerinnen und Nutzern des ILL die Europäische Spallationsquelle ESS-ERIC zur Verfügung stehen, die radikal neue Möglichkeiten bieten wird.

Einzigartige wissenschaftliche Resultate

Mithilfe der Instrumente am ILL konnte 2017 beispielsweise die Struktur des Schlüsselproteins p7, das für die Freisetzung des Hepatitis-C-Virus essenziell ist, entschlüsselt werden. Dies war eine entscheidende Entdeckung für die Entwicklung von entsprechenden Medikamenten, von denen heute Millionen von Menschen profitieren.

2021 wurde dank einer Zusammenarbeit zwischen dem ILL und dem Paul Scherrer Institut Terbium entdeckt, eine Familie von Radioisotopen, die im Hinblick auf die Bekämpfung verschiedener Tumorarten besonders vielversprechend ist. Die ersten Resultate geben Anlass zur Hoffnung, dass bald gross angelegte klinische Studien durchgeführt werden können.

Eine Exzellenzbranche in der Schweiz

Sowohl auf europäischer als auch auf internationaler Ebene ist die Schweiz ein Hauptakteur in der neutronenbasierten Forschung. Seit 1988 beteiligt sie sich als wissenschaftliches Mitglied auf der Grundlage eines Fünfjahresvertrags am Betrieb des ILL. Die herausragenden Forschungen, die die Schweiz am ILL namentlich im Bereich der Untersuchung des Magnetismus durchführt, werden regelmässig anerkannt und verhalfen der Schweiz durchschnittlich zu rund 4,6% der vom ILL seit 2014 zur Verfügung gestellten Strahlzeit.

Die wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen der Schweiz und dem ILL wird ergänzt durch verschiedene Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die vom ILL und dem Paul Scherrer Institut gemeinsam auf den Gebieten Instrumentierung, Proben und Produktion von Radioisotopen für die Medizin durchgeführt werden. Die Schweizer Industrie profitiert von den Geschäftsmöglichkeiten, die das ILL im Bereich Hightech – insbesondere Neutronenleiter – bietet.

Angesichts des grossen Interesses an Neutronenstrahlen vonseiten verschiedenster Forschungsgemeinschaften richtete die Schweiz 1996 am Paul Scherrer Institut ihre eigene nationale Neutronenquelle SINQ ein. Die Spallationsquelle SINQ ergänzt die Möglichkeiten des ILL und hat sich auf europäischer Ebene als eine der vier wichtigsten Anlagen etabliert. Um die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz in diesem Spitzensektor langfristig aufrechtzuerhalten, ist sie 2015 der Europäischen Spallationsquelle ESS-ERIC beigetreten, die letztlich die weltweit hellste Neutronenstrahlung bieten soll.

Die Schweiz zeichnet sich im Bereich der Neutronen durch ihre hervorragende Forschungsgemeinschaft sowie durch ihren Beitrag zum Strahlzeitangebot in Europa aus. Sie gilt ferner als wichtiges Kompetenzzentrum für die Wissenschaften und Technologien, die der wissenschaftlichen Nutzung von Neutronen zugrunde liegen.

Europäische Spallationsquelle (ESS)

Die Europäische Spallationsquelle ESS in Lund (Schweden) ist eine im Bau befindliche Forschungsanlage, die zur weltweit leistungsstärksten Neutronenquelle für die Erforschung von Materialien werden soll. Da Neutronen nicht mit der Elektronenhülle eines Atoms interagieren, ermöglichen sie eine präzise Untersuchung der Struktur und der Dynamik der Atomkerne im Innern von Materialien. Die Nutzung von Neutronenstrahlen gewährt Einblick in Phänomene, die mit röntgenstrahlenbasierten Techniken oder mittels Kryo-Elektronenmikroskopie nicht erfasst werden können.

Gründungsjahr	2015
Mitglieder	Dänemark, Deutschland, Estland, Frankreich, Italien, Norwegen, Polen, Schweden, Schweiz, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich
Rechtsform	European Research Infrastructure Consortium (ERIC)
Sitzstaat	Schweden, Dänemark
Standorte	Lund (Schweden); Kopenhagen (Dänemark)
Forschungsgebiete	u. a. Materialwissenschaften, Life Sciences, Energie- und Grundlagenphysik
Baukosten	1843 Mio. Euro
Status der Schweiz	Mitglied
Beitrag der Schweiz (2015 – 2028)	135 Mio. Franken
Webseite	www.europeanspallationsource.se



Neutronenstrahlen mit einer nie dagewesenen Brillanz

Die Europäische Spallationsquelle ESS kann bis zu 100-mal hellere Neutronenstrahlen erzeugen als die bisherigen Anlagen. Sie wird eine neue Ära der Forschung einleiten, die Neutronenstrahlen nutzt, um die innerste Struktur der Materie und die Gesetze, die sie beherrschen, zu untersuchen.

Die ESS bietet damit einzigartige Möglichkeiten sowohl für die Grundlagen- als auch für die angewandte Forschung. Ob es darum geht, archäologische Artefakte oder Metallkomponenten zu durchleuchten, biomolekulare Prozesse zu analysieren, die elektronische Struktur und Dynamik neuartiger Supraleiter zu verstehen oder die Ursachen der Paritätsverletzung in der Elementarteilchenphysik zu erforschen – die ESS wird einen wichtigen Beitrag zu den aktuellen wissenschaftlichen Entwicklungen leisten.

Eine Spallationsquelle der nächsten Generation

Während Quellen der ersten Generation wie das Institut Laue-Langevin (ILL) einen Kernreaktor nutzen, der einen konstanten Neutronenfluss erzeugt, wird die ESS

eine sogenannte «Spallationsquelle» betreiben, deren einzigartige Leistung auf einem der stärksten Protonen-Linearbeschleuniger der Welt beruht. Das durch Mikrowellenstrahlung erhitzte Wasserstoffgas produziert Protonen, die im Linearbeschleuniger bis auf 96 Prozent der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden. Durch die anschliessende Kollision mit einem Wolfram-Target werden die Neutronen freigesetzt. Diese werden danach verlangsamt und zu rund fünfzehn Instrumenten geleitet, die die Intensität und Dauer der von der ESS abgegebenen Pulse optimal nutzen sowie die Bedürfnisse von Nutzerinnen und Nutzern aus den unterschiedlichsten Wissenschaftsbereichen decken sollen. Anstelle eines konstanten Flusses mittlerer Intensität wird die ESS somit kurze Neutronenflashes mit noch nie dagewesener Intensität produzieren.

Die seit 2014 im Bau befindliche ESS soll 2028 im schwedischen Lund für die ersten Nutzerinnen und Nutzer geöffnet werden. Das dazugehörige Data Management & Software Center befindet sich auf der anderen Seite der Meerenge von Öresund in Kopenhagen.



Vogelperspektive der ESS Baustelle in Lund, Schweden. Bild: ESS

Die Schweizer Expertise im Dienst von ESS

Aufgrund ihrer Erfahrung als wissenschaftliches Mitglied des ILL und dank des Betriebs der Spallationsquelle SINQ am Paul Scherrer Institut (PSI) wurde die Schweiz von Beginn an in die Vorbereitungsarbeiten für den Bau der ESS einbezogen. Gestützt auf den Entscheid der Bundesversammlung vom 20. März 2015 beteiligt sich die Schweiz aktuell mit einem Beitrag in der Höhe von 3,5 Prozent der Gesamtkosten an der Errichtung der ESS. Dies entspricht finanziellen Investitionen in der Höhe von rund 135 Millionen Franken. Nach Fertigstellung des Baus will die Schweiz ihre Beteiligung im Rahmen des wissenschaftlichen Betriebs der ESS weiterführen. Damit soll der Zugang zu dieser internationalen Spitzeninfrastruktur für eine herausragende Wissenschaftsgemeinschaft in den kommenden Jahrzehnten sichergestellt werden.

Die Forschungsinstitutionen und Unternehmen profitieren bereits heute von den Möglichkeiten, die sich aus dem Bau der ESS ergeben. Die Satzung der ESS sieht insbesondere vor, dass ein bedeutender Teil der Mitgliederbeiträge in Form von Sachleistungen geliefert werden kann. Dabei handelt es sich um die Bereitstellung und Lieferung von



Innenansicht eines Neutronenleiters, der den Neutronenstrahl transportieren und konditionieren wird. Er wurde am Paul Scherrer Institut mit Unterstützung der Schweizer Industrie entwickelt und gebaut. Bild: Artur G. Glavic, PSI

Komponenten, Software oder Dienstleistungen, für die ein zuständiger Mitgliedstaat die Verantwortung übernimmt. Der Wert des Sachbeitrags wird dem Mitgliederbeitrag gutgeschrieben. Die Zuteilung der Sachbeiträge wird vom Rat der ESS gesteuert und überwacht. Die Staaten können damit – abgesehen vom Zugang zur Forschungsinfrastruktur – die eigene Wirtschaft und ihre Hightech-Industrie einbinden und weiterentwickeln.

Ein Beispiel eines schweizerischen Sachbeitrags ist das Instrument ESTIA, ein Reflektometer, das für die ESS bereitgestellt wird. Die Schweiz hat sich verpflichtet, die Verantwortung für den Bau und die Lieferung von ESTIA zu übernehmen, das vollständig vom PSI gebaut wird. Für die Entwicklung, den Bau, die Lieferung und die Inbetriebnahme von ESTIA werden der Schweiz 11,3 Millionen Euro als Beitrag zum Bau von ESS angerechnet. Das Ziel der Schweiz ist es, 70 Prozent seiner Beitragsverpflichtung in Form von Sachbeiträgen zu erfüllen. Somit bleibt sichergestellt, dass ein grosser Anteil der bereitgestellten finanziellen Mittel in der Schweiz bleibt und so der Forschung und Wirtschaft in der Schweiz zugutekommt.

Internationaler thermonuklearer Versuchsreaktor (ITER)

Die Kernfusion ist die Energiequelle der Sonne: Sehr leichte Atomkerne werden zu schwereren Atomkernen verschmolzen («fusioniert»), wobei Energie freigesetzt wird. Mit dem Versuchsreaktor ITER wollen die beteiligten Länder die technische Machbarkeit der Energiegewinnung durch Kernfusionsprozesse nachweisen. Gelingt dies, steht eine praktisch unerschöpfliche Energiequelle in Aussicht, die weder Umwelt noch Klima belastet. Der Versuchsreaktor wird zurzeit in Cadarache (Frankreich) gebaut.

Gründungsjahr	2006
Mitglieder	China, Europäische Union, Indien, Japan, Russland, Südkorea, Vereinigte Staaten
Rechtsform	Völkerrechtliche Internationale Organisation
Sitzstaat	Frankreich
Standort	Cadarache (Frankreich)
Forschungsgebiet	Fusionsforschung
Webseite	www.iter.org

Auf dem Weg zu einer zuverlässigen, sauberen und nachhaltigen Energiequelle

Die Energiequelle der Sonne ist die Kernfusion, eine nukleare Reaktion, bei der leichte Atomkerne zu schwereren Kernen verschmolzen werden. Ist die Masse des entstandenen Atomkerns geringer als die Summe der Masse der Ausgangskerne, so wird die Massendifferenz, nach dem Einstein-Prinzip der Energie-Massen-Äquivalenz, freigesetzt.

Im Gegensatz zur Kernspaltung, die heutzutage in den Kernkraftwerken der aktuellen Generation verwendet wird, ist die Kernfusion äusserst sicher und produziert keine langfristigen Nuklearabfälle. Zudem können dafür nachhaltige und auf der Erde gut verteilte Ressourcen verwendet werden. Ziel der Fusionsforschung ist es, die Technologie zu entwickeln, um die Kernfusion auf der Erde nutzbar zu machen. Damit soll die Menschheit eine saubere, umweltfreundliche und unerschöpfliche Energiequelle erschliessen.

Da die Entwicklung der Fusion als industrielle Energiequelle eine grosse wissenschaftliche, technologische und industrielle Herausforderung darstellt, haben die Europäische Union, die Vereinigten Staaten von Amerika, Japan, Südkorea, China, Russland und Indien 2006 beschlossen, ihre Kräfte zu bündeln. Gemeinsam haben sie das ITER-Projekt als weltweit koordiniertes Spitzenprojekt der Fusionsforschung lanciert.

Ziel des ITER-Projektes ist es, einen experimentellen Reaktor zu konstruieren, der den Beweis erbringen soll, dass es auf der Erde technisch möglich ist, mithilfe von Kernfusion substanzielle Mengen an Energie zu produzieren. ITER soll aus einer Zufuhr von 50 Megawatt Energie bis zu 500 Megawatt Energie in Form von Hitze produzieren. ITER soll aber auch das erste sogenannte «brennende Plasma», das sich aufgrund der anfänglichen Zufuhr von Energie selbst erhitzt und somit zu einer Fusionsreaktion führt, erzeugen und erhalten sowie den dafür benötigten Brennstoff, Tritium, im Vakuumgefäss produzieren.

Eine gigantische Baustelle

Der experimentelle thermonukleare Fusionsreaktor ITER befindet sich seit 2007 im Bau. Er soll noch vor 2030 schrittweise in Betrieb genommen werden. Zu diesem Zeitpunkt soll das erste Plasma hergestellt werden können. Die Realisierung der ersten massgeblichen nuklearen Experimente wird ab 2035 erwartet.

Im Zentrum der ITER-Anlage steht der sogenannte Tokamak: eine torusförmige Vakuumkammer, in der das Plasma magnetisch eingeschlossen wird. Darin erfolgt auch die Produktion des für die Fusion notwendigen Plasmas. Das Plasma soll sich selbst erhitzen und somit Energie erzeugen. Mit einem Plasmaradius von 6,2 Metern und einem Plasmavolumen von 840 Kubikmetern wird der ITER-Tokamak zum weltweit grössten Apparat dieser Art. Das erzeugte Plasma wird eine Temperatur von 150 Mio. °C haben. Dies ist um den Faktor zehn höher



Vogelperspektive der ITER Baustelle in Cadarache (FR). Das zentrale Gebäude besteht aus der Montagehalle und der Tokamak Grube. Bild: © ITER Organization

als die Temperatur im Innern der Sonne, wo die grössere Gravitationskraft eine Fusion bei tieferen Temperaturen als auf der Erde ermöglicht. Die supraleitenden Magnete, die das Plasma von den Wänden fernhalten sollen, werden hingegen auf eine Temperatur nahe dem absoluten Nullpunkt, auf -269°C , heruntergekühlt. Der dadurch entstehende Temperaturgradient (Temperaturdifferenz) wird wohl weltweit der grösste sein. Um das Vakuum sicherzustellen, werden für die 14 000 Kubikmeter grosse Vakuumkammer 8000 Tonnen Stahl verbaut. Die Fläche der gesamten ITER-Baustelle beträgt 180 Hektare.

Die Gesamtprojektleitung liegt bei der ITER-Organisation. Für den Bau der Infrastruktur haben sich die Partnerländer darauf geeinigt, die Konstruktion in elf verschiedene Teile aufzuteilen. Die Europäische Union erbringt deren fünf und die restlichen Partnerländer erbauen je einen Teil.

Um sicherzustellen, dass das während des gesamten ITER-Projekts erworbene Wissen und Know-how unter allen Beteiligten verbreitet wird, werden rund 90 Prozent der Beiträge zur ITER-Organisation in Form von Ausrüstungen, Bestandteilen und Dienstleistungen geliefert. Damit werden alle beteiligten Parteien befähigt, eine eigene Fusionsindustrie aufzubauen.

Die Schweiz als Pionierin der Kernfusion

Seit der Gründung des heutigen Swiss Plasma Center (SPC) an der ETH Lausanne in den 1960er-Jahren ist die Schweiz ein wichtiger Akteur in der Fusionsforschung. Sie stellt der Kernfusionsforschung weltweit anerkannte Kompetenzen und einzigartige Anlagen zur Verfügung. Das SPC betreibt den Tokamak TCV (Tokamak à configuration variable), eine



Das Schweizer Unternehmen Nord-Lock AG hat auf Wunsch japanischer Unternehmen «Superbolt»-Mehrfachschraubenspanner für ITER entwickelt. Sie sind einzigartig, weil sie den geforderten Betriebs- und zyklischen Belastungen standhalten und bei Temperaturen von bis zu -269°C , also nahe dem absoluten Nullpunkt, operativ sind. Bild: Swiss IKC Nordlock

exklusive Anlage, die die Leistung von Plasmen optimiert. Im Bereich der Mikrowellen-Heizsysteme bringt das SPC ferner erstrangige Kompetenzen hervor. Des Weiteren testet es auf seiner Sultan-Anlage supraleitende Kabel. Sultan ist die Referenzanlage, um alle supraleitenden Kabel von ITER zu prüfen. Schliesslich leistet das SPC einen bedeutenden Beitrag zum Verständnis und zur Simulation der Plasmen, die sich im Kern von ITER befinden werden.

Die Beteiligung der Schweiz begrenzt sich nicht nur auf das Swiss Plasma Center. Die Universität Basel macht auch mit. Zudem liefern verschiedene Schweizer Unternehmen Bestandteile wie zum Beispiel im Bereich der Tieftemperaturtechnik (Kryotechnik), Hochspannungsnetzteile, Plasma Diagnosis, Metrologiegeräte oder Vakuumtechnologien für ITER.

Zwischen 2007 und 2020 beteiligte sich die Schweiz als Mitglied des gemeinsamen europäischen Unternehmens Fusion for Energy an der Realisierung von ITER. Das Unternehmen lieferte den europäischen Beitrag an ITER. Aufgrund des fehlenden Abkommens über die Finanzierung der Schweizer Beteiligung an den Tätigkeiten von Fusion for Energy ab 2021 ist die Schweizer Beteiligung derzeit unterbrochen.

Die Schweizer Forschung wirkt jedoch weiterhin an der Umsetzung von ITER mit, namentlich über Kooperationsabkommen, die auf institutioneller Ebene von den Schweizer Institutionen mit der ITER-Organisation (Universität Basel) und mit Fusion for Energy (Swiss Plasma Center) ausgehandelt wurden, sowie über Handelsverträge, die von Schweizer Unternehmen abgeschlossen wurden.

