

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin / Vereinigung der Schweizerischen Hochschuldozierenden = Association Suisse des Enseignant-e-s d'Université
<b>Herausgeber:</b>	Vereinigung der Schweizerischen Hochschuldozierenden
<b>Band:</b>	43 (2017)
<b>Heft:</b>	2
<b>Artikel:</b>	Die Rolle und Bedeutung von Schweizer Grossforschungsanlagen für die Forschung in der Schweiz
<b>Autor:</b>	Ott, Hans Rudolf
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-893695">https://doi.org/10.5169/seals-893695</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Die Rolle und Bedeutung von Schweizer Grossforschungsanlagen für die Forschung in der Schweiz

Hans Rudolf Ott\*

## Einleitung

Gemessen an der Grösse des Landes verfügt die Schweiz über ein überdurchschnittlich reichhaltiges Angebot von Grossforschungsanlagen. In Bezug auf deren Grösse und Ausstrahlung wird die Liste durch die Anlagen des CERN, die international verankerte und finanzierte Institution mit Standort Genf, angeführt. Deren Einfluss auf die generelle Situation der Schweizer Forschungslandschaft ist enorm; dies sowohl direkt als auch, oft unterschätzt, indirekt.

Vorliegender Beitrag soll aufzeigen, weshalb und wie die relativ grosse Zahl von national verankerten Grossanlagen in der Schweiz zustande gekommen ist und welche Wirkung von ihnen auf die Forschungslandschaft Schweiz ausgeht. Als Grossforschungsanlagen werden hauptsächlich solche verstanden, die Forschungsvorhaben ermöglichen, welche in einzelnen Labors von Universitäten, Hochschulen oder im privaten Sektor – hauptsächlich aus finanziellen Gründen – nicht realisierbar sind und welche von einer zumindest nationalen, aber meistens internationalen Forschergemeinschaft im Bereich der Naturwissenschaften genutzt werden. Grossanlagen für Geistes- und auch Naturwissenschaften in Form von Bibliotheken und Datenbanken sind für eine kompetitive Forschung unerlässlich und deren Bedeutung offensichtlich. Ein gutes Beispiel ist die Auswirkung von Bibliotheken auf die frühe wissenschaftliche Entwicklung von Albert Einstein in der Schweiz, die ohne den Zugang zur damals modernen Literatur kaum so erfolgreich verlaufen wäre.

Im Folgenden wird die Unterscheidung zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung vermieden, da diese oft fliessend ineinander übergehen und sich gegenseitig beeinflussen. Die Unterscheidung macht daher meistens keinen Sinn. Bereits das erste im nächsten Abschnitt erwähnte Beispiel lässt dies, zumindest indirekt, erkennen.

## 1. Frühe Entwicklung der Forschung an Grossanlagen in der Schweiz

Um die Bedeutung der heutigen Grossanlagen in der Schweiz für die Schweizer Forschung adäquat einschätzen zu können, lohnt es sich, die frühe Entwicklung solcher Anlagen im Verlauf der Jahre Revue passieren zu lassen. Unter Berücksichtigung der zeitlich sich ändernden Begriffstandards kann man den Beginn der Forschung an Grossanlagen in der Schweiz nämlich viel früher als gemeinhin angenommen ansetzen.

Aufgrund der Fortschritte in der theoretischen Wärmelehre und deren Auswirkungen auf praktische Anwendungen wie Dampfmaschinen entwickelte sich im 19. Jahrhundert eine Forschungsrichtung, die der Verflüssigung von damals noch nicht kondensierbaren Gasen, zu jener Zeit *permanente Gase* genannt, gewidmet war. Einerseits sollten generell die vorhandenen theoretischen Grundlagen der Wärmelehre bezüglich ihrer Gültigkeit experimentell überprüft werden, andererseits wurde ein allgemein deklariertes Ziel – nämlich die Verflüssigung der Luft respektive deren Hauptkomponenten Stickstoff und Sauerstoff – angestrebt. Die bekanntesten Akteure in diesen Bestrebungen waren Louis Cailletet in Paris und Raoul Pictet in Genf. Beide hatten das gleiche Ziel, die erstmalige Verflüssigung von Sauerstoff. Ihre sich konkurrierenden Bestrebungen, das Ziel als erster zu erreichen, kann als typisches Beispiel wissenschaftlich-technischer Wettkämpfe betrachtet werden, wie sie auch heute noch üblich sind. Ebenfalls typisch für wissenschaftliche Pionierleistungen ist die Tatsache, dass beide zwar das gleiche Ziel hatten, dieses aber mit dem Einsatz verschiedener experimenteller Methoden verfolgten. Ihre Bestrebungen führten

\*ETH Zürich, Lehre Physik, Otto-Stern-Weg 1, HPF E16.4, 8093 Zürich.

E-mail: ott@phys.ethz.ch



**Hans Rudolf Ott**, Dr. sc. nat., war von 1986 bis 2005 ordentlicher Professor für Physik an der ETH Zürich; von 1988 bis 1991 Gründungsleiter des Departements für Festkörperphysik und Materialwissenschaften am Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen und anschliessend Präsident dessen Internationaler Forschungskommission sowie Mitglied des PSI Direktoriums (2008), von 2001 bis 2005 Vorsteher des Physik-Departements der ETH Zürich. Hans Rudolf Ott's Forschungsinteressen waren und sind fokussiert auf Eigenschaften kondensierter Materie bei tiefen Temperaturen, insbesondere Supraleitung und Magnetismus in Materialien mit hochkorrelierten Elektronen und niedrigdimensionalen Spinsystemen, Phasenumwandlungen und Festkörper mit nicht-periodischen Strukturen. 1989 erhielt Ott den Hewlett-Packard Preis der Europäischen Physikalischen Gesellschaft (EPS) und 1990 den Internationalen Preis für neue Materialien der Amerikanischen Physikalischen Gesellschaft (APS). Er ist Ehrenmitglied der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft, Fellow der APS und ausländisches Mitglied der Finnischen Akademie der Wissenschaften. Als Mitglied des Nationalen Forschungsrates der Schweiz (1997 bis 2006) präsidierte er dessen Abteilung für Mathematik, Natur- und Ingenieurwissenschaften (2004 bis 2006); von 1997 bis 2005 war er Präsident der Division für Kondensierte Materie der European Physical Society (EPS) und von 2007 bis 2013 Präsident der Plattform für Mathematik, Astronomie und Physik (MAP) der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften. Seit 2008 ist er Präsident der Albert Einstein-Gesellschaft Bern.

zwangsläufig zu einer Erweiterung der damals erreichbaren Temperaturen zu tieferen Werten – d.h. die Erschliessung eines Bereichs, der vorher der Forschung nicht zugänglich gewesen war. Wie die Erfahrung zeigt, bergen solche Errungenschaften meistens ein grosses Potential für Entdeckungen bzw. für neue und unerwartete wissenschaftliche Erkenntnisse. Ob solche schliesslich in sogenannte Anwendungen einfließen, ist weitgehend offen. Die Verfügbarkeit flüssiger Gase ist für viele Zweige der heutigen Wirtschaft, inklusive dem Gesundheitswesen, unentbehrlich.

Die damaligen Grossanlagen bestanden in beiden Fällen aus leistungsfähigen Kompressoren, um Gase unter hohen Druck zu setzen, und aus den entsprechenden Hochdruck-Gasbehältern. Beide der angewandten Methoden spielen in der späteren Kältetechnik bis heute eine wesentliche Rolle. Während Cailletet zur Verflüssigung auf eine einfache Entspannung des unter Druck stehenden Gases bei möglichst tiefen damals erreichbaren Temperaturen setzte, fand Pictet die technisch viel anspruchsvollere Lösung in Form eines Kaskadenprozesses, um die Verflüssigung zu realisieren. Cailletet setzte also auf eine einfache, aber schliesslich zielführende Methode; Pictet hingegen suchte den Erfolg in ausgeklügelter Technik. Schon hier zeichnete sich eine Tendenz ab, die auch bei später zu erwähnenden Schweizer Lösungen für Grossanlagen zu erkennen sein wird: Die Umsetzung einer innovativen Idee mit Hilfe von technisch anspruchsvoller Ingenieur- und Handwerksarbeit. Erwähnenswert ist auch die Tatsache, dass sich Pictet vor allem von der von Rudolf Clausius entwickelten Gastheorie leiten liess. Clausius war bekanntlich von 1855 bis 1867 der erste, eher theoretisch orientierte Physikprofessor am Eidgenössischen Polytechnikum in Zürich. Sowohl Cailletet als auch Pictet vermeldeten die erfolgreiche Verflüssigung von Sauerstoff im November 1878. Diese wurde allerdings erst einen Monat später an einer gemeinsamen Sitzung der *Académie des Sciences* in Paris offiziell bestätigt.

In einem etwas anderen Bereich der naturwissenschaftlichen Forschung setzte sich ab 1920 – nach dem Bau der Jungfrau-Bahn – der Meteorologe und Grönlandforscher A. de Quervain, Direktor der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich, für die Errichtung einer Forschungsstation auf dem Jungfraujoch ein. Vorerst als Europas höchstgelegene Wetterstation eingerichtet, begann dort die regelmässige Datenaufnahme im Jahre 1922. Die bis heute andauernde Messreihe ermöglicht die Analyse der längerfristigen Veränderungen bezüglich Wetter und ist speziell bei Interpretationen der heute aktuellen

Klimaveränderungen von hohem Wert. Aufgrund der bekannten problematischen Umstände während und nach dem 1. Weltkrieg, wurde erst 1930 – drei Jahre nach de Quervains Tod – die Internationale Fördergemeinschaft «Hochalpine Forschungsstation Jungfraujoch» gegründet; ein Jahr später konnten die relativ rasch weiterentwickelten Infrastrukturen eingeweiht werden. Nach nur einem Jahr Bauzeit wurde 1937 das mittlerweile weltbekannte astronomische *Sphinx Observatorium* auf dem Jungfraujoch in Betrieb genommen. Damit bot nun die Anlage eine Infrastruktur für Forschung in den Bereichen Geophysik (Erdbeben), Astronomie und Physiologie (Höhenmedizin). Sie stand von Anfang an einer internationalen Nutzergemeinschaft zur Verfügung und begründete damit auch die Rolle der Schweiz als Gästland für Forschungsanlagen mit internationaler Ausstrahlung. Die Forschungsstation Jungfraujoch ist auch ein gutes Beispiel dafür, wie eine solche Anlage mit guten Ideen von engagierten Forschern thematisch adaptiert und weiterentwickelt werden kann. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde die problematische Situation des irdischen Daseins bezüglich Umwelt und Klimaentwicklung erkannt. Aufgrund der erfolgreichen Modernisierung des Instrumentariums und wegen der hochalpinen geographischen Lage erwarb sich die Forschungsstation Jungfraujoch im Verlaufe der Jahre eine herausragende Bedeutung in Umwelt- und Klimaforschung. Leider kommen sich in letzter Zeit die verschiedenen Interessen der Forschung einerseits und der Touristik andererseits etwas ins Gehege. Der Einfluss der steigenden Zahl an Touristen und die damit verbundene Zunahme an oft umweltstörenden Einflüssen beeinträchtigen die hochempfindlichen Messungen von Schadstoffen in der in dieser Höhe bisher wenig gestörten Atmosphäre. Es wäre schade, wenn der intrinsisch hohe Wert der Anlage für diese besonders wichtige Forschung aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr aufrechterhalten werden könnte.

Ebenfalls Mitte der dreissiger Jahre des letzten Jahrhunderts entstanden in der Schweiz erste Versionen von neueren Grossanlagen für experimentelle Forschung im damals aufstrebenden Gebiet der Kernphysik, zunächst in universitärer Umgebung. Zum Einsatz kamen dabei neue Teilchenbeschleuniger. Verschiedene Anlagen dieser Art wurden unter der Leitung von Paul Scherrer an der ETH in Zürich gebaut und eingerichtet. Um Fortschritte zu erzielen, wurde vor allem angestrebt, die notwendige elektrische Spannung für die Beschleunigung der geladenen Teilchen – hauptsächlich Protonen – und damit die erreichbare maximale Energie der Teilchen laufend zu erhöhen. Eine neue Möglichkeit dazu ergab sich durch die Erfindung des Zyklotrons durch E.O.

Lawrence in den USA. Dieses neue Beschleunigerprinzip wurde schliesslich auch an der ETH für kernphysikalische Experimente eingesetzt und das entsprechende Instrumentarium unter Mithilfe von benachbarten Industriefirmen entwickelt und gebaut. Für den Betrieb der Anlage musste diese allerdings aus Gründen des Strahlenschutzes in einem separaten Gebäudeteil untergebracht werden, was damals im Umfeld einer Hochschule gerade noch möglich war. Einige der an der Realisierung dieser Maschinen beteiligten jungen Wissenschaftler – sowohl Schweizer als auch Ausländer – spielten später im Zusammenhang mit nationalen und internationalen Grossanlagen wichtige Rollen und trugen damit zum Ansehen der Schweizer Forschung auf internationaler Ebene bei.

## 2. Neue Grossanlagen nach dem 2. Weltkrieg und deren Einfluss auf die Schweizer Forschung

### 2.1. Kernspaltung und -fusion

Die zuvor bestehende international vernetzte Forschung kam nach dem 2. Weltkrieg nur langsam wieder in Schwung. Bei diesem «Neuanfang» spielte ein kleinformatisches experimentelles Resultat eine wesentliche Rolle: Gegen Ende des Jahres 1938 fanden die Chemiker Hahn und Strassmann in Berlin deutliche Hinweise darauf, dass durch Neutronenbeschuss Uranatome in zwei fast gleich grosse Teile zerfallen. Das Resultat – zuerst physikalisch interpretiert von Lise Meitner und deren Neffen Otto Frisch – wurde von diesen auf eine Spaltung der Urankerne unter Freisetzung hoher Energie zurückgeführt. Die Folgen dieser Entdeckung – eine direkte Bestätigung der berühmten Formel  $E = mc^2$  – sind bekannt. In Bezug auf unser Thema ist die Entstehung einer neuen Version von Grossanlagen in Form von Reaktoren zur kontinuierlichen Aufrechterhaltung der Kernspaltung in Uran und Plutonium von Belang. Für Anwendungen im zivilen Bereich wurden solche Reaktoren nach dem 2. Weltkrieg vor allem als hocheffiziente Quellen von nutzbarer Energie betrachtet. Anfängliche Bemühungen, die Schweiz auch in diesem Sektor eine wesentliche, international sichtbare Rolle mittels Eigenentwicklung solcher Anlagen spielen zu lassen, waren nicht sehr erfolgreich und wurden bald aufgegeben. Hingegen verlangten die mit der Zeit von der Privatindustrie gebauten Kernkraftwerke zur Stromerzeugung eine qualitativ hochstehende technische Betreuung durch Spezialisten in verschiedenen Bereichen der Ingenieurwissenschaften. Um diese sicherzustellen entstand aus der 1955 gegründeten Reaktor AG das Eidgenössische Institut für Reaktorforschung (EIR) in Würenlingen – ab 1960 akademisch begleitet vom Institut für Reaktortechnik an der ETH Zürich und dessen Direktor Walter Hälg. Im technischen Bereich stehen seither vor allem der

Umgang mit nuklearen Brennstoffen und deren sichere Lagerung sowie die Kontrolle komplexer Anlagen bezüglich Kühlung und anderen Prozessen im Pflichtenheft dieses Forschungsbereichs. Die damit verbundene Forschung bedingt zum Teil auch relativ grosse und komplexe Installationen.

Eine andere Möglichkeit der Freisetzung nuklearer Energie wird seit längerer Zeit auf der Basis der Kernfusion verfolgt. Aufgrund der Komplexität solcher Anlagen basieren entsprechende Projekte meist auf internationalen Zusammenarbeiten. Für die Schweiz nimmt das an der EPF in Lausanne angesiedelte Zentrum für Plasmaforschung (SPC), das eine eigene Grossanlage für Plasmaforschung betreibt, erfolgreich an internationalen Vorhaben teil.

### 2.2. Neue Methode für Strukturbestimmungen und Spektroskopie

Eine weitere Entwicklung bezüglich der Nutzung der Reaktoren für Kernspaltung eröffnete ganz neue Möglichkeiten für die Forschung in der Physik der kondensierten, auch biologisch relevanten Materie und in speziellen Gebieten der Materialforschung: Der Teilchen/Wellen-Dualismus des 1932 entdeckten Neutrons war bereits 1936 in grober Form nachgewiesen worden; damit wurde rasch klar, dass die in den Reaktoren in grosser Zahl produzierten Neutronen als Sonden – analog zur Röntgenstrahlung – für spezielle mikroskopische Untersuchungen von kondensierter Materie eingesetzt werden können. Die Entwicklung der Methode Neutronenstreuung begann 1946 in den USA und in Kanada. Die elastische Neutronenstreuung eignet sich zur Bestimmung von kristallinen und magnetischen Strukturen; spektroskopische Untersuchungen sind mittels inelastischer Neutronenstreuung möglich. Erste erfolgreiche Experimente wurden in der Zeit von 1946 bis 1956 realisiert.

Bald darauf wurden auch in der Schweiz, unter der Ägide von Walter Hälg, solche Aktivitäten aufgenommen. Aufgrund seiner früheren Erfahrungen mit Molekülspektroskopie erkannte Hälg bald die Möglichkeiten, die sich mittels der neuen Methode anboten. Mit den am EIR installierten Reaktoranlagen SAPHIR (1957) und DIORIT (1961) konnte er seine Ideen in die Praxis umsetzen. Nebst seinen Aufgaben im Unterricht in Reaktortechnik widmete sich Hälg auch dem Aufbau einer Forschungsgruppe zur Nutzung der Neutronenstreuung für Untersuchungen kondensierter Materie, dem vielversprechenden neuen Zweig der Experimentalphysik, der Kristallographie und der Chemie. Als erstes musste das gesamte experimentelle Instrumentarium für diese Untersuchungen in eigener Regie aufgebaut werden. Dazu gehörten

eine kontrollierte und abgeschirmte Führung von monoenergetischen Neutronen zu den einzelnen Instrumenten, der Bau dieser Instrumente, die entsprechende computergestützte Datenerfassung und -analyse sowie die Entwicklung automatisierter Messprozeduren für die Durchführung der Experimente. Damit wurde ein immenses technisches Wissen erarbeitet, das sich bei der späteren Weiterentwicklung der Anlagen positiv auswirkte. Eine grosse Hilfe war dabei die Verfügbarkeit einer leistungsfähigen Werkstatt mit hochmotivierten technischen Mitarbeitern. Schon vor 1970 wurde das damals bereits respektable Instrumentarium auch externen in- und ausländischen Nutzern zur Verfügung gestellt.

### 2.3. Von der Kern- zur Teilchenphysik

Die während des 2. Weltkriegs vor allem in den USA realisierten Erhöhungen der Maximalenergie von Beschleunigern ermöglichte es schliesslich, immer tiefer in die Kerne einzudringen und damit neue Teilchen zu generieren und zu untersuchen; die Kernphysik entwickelte sich langsam aber stetig zur Teilchenphysik. Diese Ära begann in Europa im Jahre 1951. Im Rahmen der damals stattfindenden UNESCO-Konferenz erfolgte die Gründung des *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN). Zwei Ziele wurden damit verfolgt: Einerseits sollte die Zusammenarbeit von Forschern aus verschiedenen, im Krieg versehrten Ländern gefördert werden; andererseits sollten mit der beabsichtigten Kollaboration die steigenden Kosten für den Bau und den Betrieb geeigneter Anlagen verteilt und so gemeinsam getragen werden. Schon 1952 wurde Genf als Standort der künftigen Anlagen bestimmt, und das Vorhaben wurde im Kanton Genf mittels einer Volksabstimmung sanktioniert. Der entsprechende Vertrag wurde von zwölf europäischen Ländern, inklusive der Schweiz, ratifiziert. 1954 erfolgte die Gründung der *Europäischen Organisation für Kernforschung*, der Name CERN blieb. Die erste Anlage – ein 600 MeV Protonen-Synchrozyklotron – ging 1957 in Betrieb und war damals bereits für Experimente in Kern- und Teilchenphysik geeignet. Nur zwei Jahre später gelang eine signifikante Erhöhung der erreichbaren Energie mit einem 28 GeV Protonensynchrotron, das neue Experimente im Bereich der Teilchenphysik ermöglichte.

Aufgrund der früher erworbenen fachlichen Kompetenzen waren universitäre Schweizer Gruppen bereit, sich schon von Beginn weg an der CERN-Forschung zu beteiligen. Es entstand bald der Wunsch – sowohl vonseiten der meist jungen Wissenschaftler als auch vonseiten der zuständigen Behörden, die Schweiz mit sichtbaren Aktivitäten an der rasanten Entwicklung in Richtung Teilchenphysik auf hohem Niveau zu beteiligen und dazu eine effiziente Nutzung des

CERN vorzusehen. Nach Einsicht der massgebenden Akteure setzte das den Bau einer eigenen mittelgrossen Anlage voraus. Die Realisierung einer solchen Installation im Rahmen eines *Schweizerischen Instituts für Nuklearforschung* (SIN) in Villigen stellte sich, rückblickend, als eine im positiven Sinne folgenschwere Entscheidung heraus.

Die Entstehung dieser neuen Anlage unter der Leitung von Jean-Pierre Blaser ist in der Schrift „Geschichte des SIN“ im Detail beschrieben. Primär wurde eine intensive Quelle von Pi- und Mü-Mesonen angestrebt. Voraussetzung dazu war die Verfügbarkeit eines Protonenbeschleunigers mit nur mittlerer Maximalenergie, aber mit hohem, kontinuierlichem Teilchenstrom. 1962 wurde beschlossen, ein eigenes neues Konzept für den Beschleuniger zu entwerfen und schliesslich – unter Bezug industrieller Fertigung der Komponenten gemäss vorgegebener Spezifikationen – zu realisieren. Dadurch wurde natürlich die Inbetriebnahme der Anlage für die eigentlichen Experimente erheblich verzögert. Die ersten Pionen wurden erst 1974 produziert, aber schon ab Mitte desselben Jahres waren erste Experimente möglich. Der 1975 in Betrieb gehende supraleitende Müonenkanal lieferte auf Anhieb den weltweit intensivsten Müonenstrahl. Aufgrund der eigenen Entwicklung der wesentlichen Komponenten der Anlage wurden wiederum ein immenses Fachwissen und hochqualifizierte Spezialisten in verschiedenen Bereichen der gesamten Anlage generiert. Das war entscheidend für die weitere, vorerst nicht explizit geplante Entwicklung dieser Grossanlage.

In der Zusammenarbeit des SIN mit den Schweizerischen Universitäten und Hochschulen zeigte sich von Anfang an dessen nationale Bedeutung als gemeinsames Unternehmen für die Durchführung von Experimenten in verschiedenen Bereichen – vorerst, wie primär beabsichtigt, in der Kern- und Teilchenphysik. Die Verfügbarkeit hoher Teilchenströme gab der SIN-Anlage für Forschungsprojekte im Bereich der Teilchenphysik ein spezielles Profil und machte sie auf internationaler Ebene besonders geeignet für Präzisionsexperimente auf der Suche nach von der bestehenden Theorie nicht erlaubten Prozessen, deren eventuelle Beobachtung das theoretische Gerüst in Form des bestehenden Standardmodells in Frage stellen würde. Für entsprechende langfristige Projekte, meist mit internationaler Beteiligung, wurden im Verlauf der Zeit neue grosse Detektoren entwickelt und gebaut.

## 2.4. Erweiterung des Nutzerspektrums...

Schon während der Planung und des Baus des Beschleunigers und der ersten Zusatzanlagen wurde die Nutzung der Pionen- und Müonenstrahlen in anderen Forschungsgebieten wie Festkörperphysik und Chemie ins Auge gefasst. Bereits ab 1975 wurden positiv geladenen Müonen ( $\mu^+$ ) als mikroskopische Sonden für Untersuchungen kondensierter Materie eingesetzt, insbesondere zur Messung innerer Magnetfelder in entsprechenden Probenmaterialien. Bei diesem Einsatz der Müonen wird nicht, wie bei Neutronen, der Teilchen/Wellen-Dualismus ausgenutzt. Die  $\mu^+$ -Teilchen haben eine relativ kurze Lebensdauer und erleiden nach ca. 2  $\mu$ s einen  $\beta$ -Zerfall. Das beim Zerfall entstehende Positron wird entlang der Richtung des  $\mu^+$ -Spins beim Zerfall mit einer bekannten, anisotropen Emissionswahrscheinlichkeit emittiert. Da die Müonen nacheinander alle mit der gleichen Polarisation, d.h. mit der gleichen Spinrichtung in die zu untersuchende Probe implantiert werden, kann unter Berücksichtigung der ebenso bekannten Halbwertszeit und geeigneter richtungsabhängiger Zählung der Positronen Auskunft über die Grösse des internen Magnetfeldes am Ort des zerfallenden  $\mu^+$ -Teilchens erhalten werden. Zur Anwendung kommen zeitdifferentielle und zeitintegrale Methoden der sogenannten Müonen-Spin-Rotations ( $\mu$ SR)-Spektroskopie.

Lokale Gruppen an der ETH Zürich und der Universität Zürich versuchten ab 1975 innere Felder in Eisen, Kobalt, Palladium und Mangannitratlösungen zu messen; Chemiker suchten nach Information zu schnellen Radikalreaktionen. Auch in diesem Fall erweiterte sich der Nutzerkreis schon bald. Mehrere Universitätsgruppen aus Deutschland (Stuttgart-Heidelberg, TU München, Karlsruhe, Mainz) sowie der Schweiz (Fribourg), bearbeiteten Projekte aus Physik und Chemie. Der grosse Aufschwung in der Nutzung der  $\mu$ SR erfolgte nach 1985, vor allem im Zusammenhang mit neu identifizierten Eigenheiten stark wechselwirkender Elektronen in Metallen und der in der Schweiz durch Alex Müller und Georg Bednorz (IBM Labor in Rüschlikon) entdeckten Supraleitung von Kupferoxiden bei relativ hohen Temperaturen. In beiden Gebieten erweiterte sich der Nutzerkreis erheblich und umfasste schliesslich auch Delegationen aus Übersee.

Damit waren aber die Möglichkeiten für den Einsatz der in der Anlage erzeugten Teilchen nicht erschöpft. Pionen und später Protonen wurden für nuklearmedizinische Studien und Anwendungen eingesetzt und ein Projekt zur Implementierung einer speziellen Infrastruktur für Teilchentherapie des Krebses, erst mit Pionen und dann mit Protonen, wurde er-

folgreich in Gang gesetzt. Die dabei geleistete Forschung ermöglichte es schliesslich – in Zusammenarbeit mit medizinischen Fachleuten, Patienten mit selbstentwickelten hochmodernen Anlagen zu behandeln. Diese Entwicklung ist ein gutes Beispiel für die erfolgreiche Zusammenarbeit von Forschern aus verschiedenen Disziplinen, die an Grossanlagen fast automatisch zustande kommt.

## ... und Erweiterung des Instrumentariums

Parallel zum oben beschriebenen Aufbau und der Erweiterung der Nutzermöglichkeiten wurde auch schon früh an die Aufrüstung und Verbesserung der Beschleunigeranlage und des zugehörigen Instrumentariums gedacht. Im Fokus stand die Erhöhung der Strahlenintensität der Protonen und damit auch jener der Pionen und Müonen, was zuerst vor allem immer präzisere Experimente im Bereich der Mittelenergiephysik ermöglichte. Das über Jahre verfolgte Projekt führte schliesslich dazu, wir greifen vor, dass die verbesserte Beschleunigeranlage aufgrund des sehr hohen Teilchenstroms weitere Wege ebnete, der Forschung moderne Werkzeuge in Form von Grossanlagen zur Verfügung zu stellen. Obwohl diese Entwicklung noch unter der Ägide des SIN begann, erreichte sie ihre Höhepunkte nach der Gründung des *Paul Scherrer Instituts* (PSI) in Villigen, das durch eine Zusammenlegung des SIN und des EIR entstand und nach längerer Planung anfangs 1988 Realität wurde.

Der am EIR betriebene Reaktor SAPHIR konnte gegen 1980 trotz technisch hervorragender instrumenteller Infrastruktur die Nachfrage der zahlenmäßig wachsenden Nutzergemeinde nicht mehr in gewünschtem Masse befriedigen; für einen signifikanten Ausbau eignete sich die bestehende Anlage nicht. Es stellte sich somit die Frage, ob und wie das Angebot für Experimente mit Neutronenstreuung an kondensierter Materie in der Schweiz erweitert werden könnte. Obwohl mit dem Reaktor des *Instituts Laue-Langevin* (ILL), ein deutsch-französisches Gemeinschaftsprojekt in Grenoble, eine sehr grosse und potente Anlage für Neutronenstreuexperimente auch für Schweizerische Nutzer zur Verfügung stand, entschloss man sich, eine kompetitive nationale Anlage anzustreben. Die Überlegungen waren im Wesentlichen dieselben, welche, wie oben skizziert, zum Bau der primären Anlage des SIN geführt hatten. Eine mögliche, damals sehr innovative Lösung basierte auf der Verfügbarkeit des potenten Protonenbeschleunigers des SIN. Es war bekannt, dass mittels Beschuss eines geeigneten Materials (Target) durch Protonen eine neue Variante einer Neutronenquelle – eine sogenannte Spallationsneutronenquelle – realisiert werden könnte. Das Konzept war bereits in

den sechziger Jahren in Kanada diskutiert, aber nie verwirklicht worden. Da das verfügbare Neutronenspektrum einer solchen Quelle gewisse Vorteile in Bezug auf Anwendungen der Neutronenstreuung bietet, wurde ein neues Projekt zur Planung und Realisierung einer solchen Quelle, die SINQ, in Angriff genommen.

Die Bewilligung für den Bau der SINQ wurde 1986 von den eidgenössischen Räten erteilt; der Bau begann Ende der achtziger Jahre, neu unter der Ägide des PSI. Im Hinblick auf den an diesem neuen Institut vorgesehenen Ausbau von Grossanlagen zugunsten der Physik der kondensierten Materie wurde ein neues Departement für Festkörperphysik und Materialwissenschaften gegründet, das den Bau der SINQ aus der Nähe begleitete und auch weiterhin den Trend der Entwicklung unterstützte, das PSI als Nutzerlabor für Forschung an kondensierter Materie mit Grossanlagen zu etablieren. Anfängliche Schwierigkeiten, wie sie bei innovativen Projekten kaum zu vermeiden sind, verzögerten zwar den Bau der SINQ; erste Neutronen verließen die neue Quelle erst gegen Ende 1996. Doch die darauf folgenden ständigen Bemühungen, die Leistungsfähigkeit der Quelle zu erhöhen und das Instrumentarium zu erneuern, führten dazu, dass Schweizer Forscher heute über eine nationale Neutronenquelle mit internationaler Ausstrahlung verfügen. Der breite verfügbare Spektralbereich der Quelle erlaubt eine breite Palette an möglichen Experimenten. Speziellen Erfolg brachte die frühe Anwendung festkörperphysikalischer Erkenntnisse in der Optimierung des Neutronentransports von der Quelle zum Experiment. Im Rahmen eines speziellen Projekts des Departements wurden sogenannte Neutronen-Superspiegel entwickelt und getestet. Das Produkt war so erfolgreich, dass sich eine kommerzielle Verwertung mittels einer neu gegründeten und bald erfolgreichen Firma lohnte. Parallel dazu wurden aber auch – mittels Erhöhung des Protonenstroms im Beschleuniger auf früher fast undenkbare 2.4 mA, die von der Quelle gelieferten Neutronenflüsse erhöht. Die hohe Qualität der Diffrakto- und Spektrometer und die nach 2000 schrittweise Installierung von methodisch neuen Geräten boten auch die Chance, biologisch relevante Materialien mit Neutronenstreuung zu untersuchen. Die Verfügbarkeit von speziellen experimentellen Umgebungen in Form von tiefen Temperaturen, hohen Magnetfeldern und hohen Drücken zog und zieht Nutzer mit Experimenten, die methodisch und technisch hohe Ansprüche an die experimentelle Infrastruktur stellen, aus dem In- und Ausland an die SINQ als weltweit erste Neutronenquelle mit kontinuierlichen Neutronenstrahlen auf der Basis eines Beschleunigers.

Die erwähnte erfolgreiche Erhöhung des Protonenstroms bewirkte auch eine substantielle Erhöhung der verfügbaren Müonenstromdichte für  $\mu$ SR-Experimente. Diese neue Situation führte unmittelbar zur Realisierung einer innovativen Anlage, die in der Lage ist, polarisierte niederenergetische Müonen in notwendiger Anzahl zu generieren, deren Energie über vier Größenordnungen variabel gewählt werden kann. Die bereits um 1990 begonnene Entwicklung resultierte Mitte der neunziger Jahre in der bis dahin einzigen auf der Welt funktionierenden Anlage dieser Art. Damit eröffneten sich völlig neue Wege, die  $\mu$ SR auch für Experimente an dünnen Schichten und Filmen einzusetzen. Das Weltmonopol dieser neuen Quelle niederenergetischer Müonen, deren Existenz der Zusammenarbeit von Physikern aus den Bereichen Teilchenphysik einerseits und Festkörperphysik andererseits zu verdanken ist, führte natürlich zu einer weiteren Ausdehnung des Nutzerkreises mit Forschenden aus allen Teilen der Welt.

Ab 1997 verfügte somit die Schweizer Forschergemeinschaft im eigenen Land über das Angebot von zwei verschiedenen Methoden für mikroskopische Untersuchungen kondensierter Materie mit international kompetitiven Grossanlagen am gleichen Ort. Diese Konstellation ist insbesondere für Schweizer Nutzer vor allem auch ökonomisch sinnvoll.

Fast 20 Jahre nach der Inbetriebnahme der SINQ ist jetzt auch auf europäischem Niveau der Bau einer Spallationsneutronenquelle mit erwarteten sehr hohen Neutronenflüssen im schwedischen Lund im Gange. Dank der bereits jahrelangen Erfahrung mit den Eigenheiten solcher Quellen und der entsprechenden Instrumentierung ist die Beteiligung von Schweizer Forschern an der Planung und Entwicklung des zukünftigen Instrumentariums und im Bereich der Neutronenoptik dieser *European Spallation Neutron Source* (ESS) relativ umfangreich. Die zukünftige Existenz dieser sehr leistungsfähigen Anlage wird aber die SINQ wissenschaftlich nicht ins Abseits stellen, im Gegenteil. Die neue europäische Grossanlage wird nämlich bei weitem nicht in der Lage sein, alle Bedürfnisse für Experimente im Zusammenhang mit Neutronenstreuung abzudecken. Die Verfügbarkeit einer qualitativ hochstehenden Anlage für Neutronenstreuung im eigenen Land wird dafür sorgen, dass die Schweiz auch in Zukunft über gut ausgebildete Personen mit hoher Kompetenz in der Anwendung dieser experimentellen Technik verfügen wird, um auch die ESS möglichst effizient nutzen zu können.

### 3. Astronomie und Astrophysik

Grossanlagen in der hier berücksichtigten Größenordnung sind in der Schweiz im Bereich der Astrono-

mie und Astrophysik in den letzten 50 Jahren nicht entstanden. Grund dafür waren wohl auch die in unserem Lande nicht gerade günstigen geographischen und atmosphärischen Bedingungen für die Installation von kompetitiven astronomischen Beobachtungsinstrumenten. Trotzdem ist die Forschung in diesen Bereichen in der Schweiz auf bemerkenswert hohem Niveau. Der Anschluss an die internationale Spitzenforschung wurde 1982 mit dem Beitritt der Schweiz zur *Europäischen Organisation für astronomische Forschung in der südlichen Hemisphäre* (ESO) hergestellt. Seither haben Schweizer Forscher Zugang zum Instrumentarium in Form von bodengestützten grossen Teleskopen dieser Organisation. Dies gibt ihnen auch die Gelegenheit, mit wesentlichen Beiträgen zur Verbesserung und Erweiterung dieser immer grösser und daher empfindlicher werdenden Anlagen beizutragen, aktiv die Beobachtungsprogramme mitzugestalten und damit ihre Forschungsprojekte verfolgen zu können.

Ähnlich ist die Situation im Bereich der Weltraumforschung. Als Gründungsmitglied der ESRO (*European Space Research Organisation*) im Jahre 1962 trat die Schweiz 1975 auch der Nachfolgeorganisation ESA (*European Space Agency*) bei. Damit können sich Schweizer Forscher aus verschiedenen Bereichen sichtbar und erfolgreich an internationalen Projekten beteiligen. Entsprechende Beiträge der Schweizer Forschung sind gerade im wissenschafts-technischen Bereich oft von grossem Wert und im internationalen Umfeld sehr geschätzt. Nach den neuesten Erfolgen beim Nachweis von Gravitationswellen und den bestehenden Rätseln bezüglich dunkler Materie und Energie, werden neue Zweige der Astronomie entstehen, bei denen sich Schweizer Forscher wiederum mit hoffentlich bedeutenden Beiträgen einbringen können.

#### **4. Grossanlagen als Quellen elektromagnetischer Strahlung**

Schon bald nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen kurz vor 1900 wurden diese vorerst als Werkzeug in der medizinischen Forschung mit zum Teil gewagten, heute wohl kaum mehr tolerierten Experimenten eingesetzt. Der nächste wichtige Schritt erfolgte 1912 mit der Entdeckung der Interferenzerscheinungen von an Kristallen gestreuter Röntgenstrahlung durch Max von Laue und der darauffolgenden Anwendung in der Strukturforschung anorganischer und organischer Materialien. Die dazu notwendige instrumentelle Infrastruktur wurde in vielen Laboratorien für Physik, Chemie und Kristallographie installiert. Sogenannte Laborquellen für Röntgenstrahlung genügten den Anforderungen während vieler Jahre.

Mit dem Bau der ersten Elektronenbeschleuniger in Form von Synchrotrons wurde sehr bald die prinzipielle Eignung solcher Anlagen als intensive Lichtquellen erkannt. Primär für Synchrotron-Strahlung ausgelegte Anlagen entstanden in der Folge in den USA, Deutschland, Frankreich und England, später auch in Italien, Japan und Schweden. Diskussionen unter Fachleuten führten im Frühjahr 1990 zum Entschluss, den Bau einer Anlage für Forschung mit Synchrotronstrahlung am PSI zu planen. Dieser Entscheid entstand aus der Erkenntnis, dass die Entwicklung der Forschung im Zusammenhang mit kondensierter Materie in den Bereichen Physik, Chemie sowie neu vor allem auch Biologie die Verfügbarkeit auch einer solchen Anlage in der Schweiz bedingte.

Wie üblich in solchen Fällen war der Vorschlag nicht umstritten – vor allem auch, weil zu dieser Zeit bereits der Bau einer sehr leistungsfähigen *Europäischen Elektronensynchrotronstrahlungsanlage* (ESRF) in Grenoble beschlossene Sache war. Forscher verschiedener Disziplinen an Schweizer Universitäten und Hochschulen wurden deshalb mit wissenschaftlichen und technischen Argumenten über die neuen Möglichkeiten informiert. Die Genehmigung des Projekts durch den Bundesrat und das Parlament erfolgten schliesslich nacheinander 1996 und 1997. Dies hauptsächlich wohl auch, weil es mittlerweile den bezüglich Beschleunigerbau versierten PSI-Experten gelungen war, ein innovatives Konzept für das geplante Synchrotron zu entwickeln, das spezielle Vorteile gegenüber bestehenden Anlagen versprach und auch internationale Fachleute zu überzeugen vermochte. Diese Kontakte und Kollaborationen mit europäischen, japanischen und amerikanischen Partnern führten dazu, dass erhebliche Verbesserungen im Projekt berücksichtigt werden konnten und damit ein sehr überzeugender Vorschlag resultierte.

Die Schweizerische Lichtquelle (SLS) mit sehr guten Werten für die leistungsbestimmenden Parameter Emittanz und Brillanz ging im Jahre 2001 in Betrieb. Schon kurz danach dokumentierten rund 100 Forscher aus den Bereichen Physik, Chemie, Bio-, Material-, Oberflächen- und Umweltwissenschaften durch ihre Teilnahme an der 1. Nutzerkonferenz ihr grosses Interesse an der neuen Anlage. Gruppen erfahrener Nutzer testeten die Instrumente mit Experimenten für Spektroskopie oder Mikroskopie an Oberflächen, Tomographie-Mikroskopie mit Röntgenstrahlen, Mikroskopie mit photoemittierten Elektronen und Protein Kristallographie mit vielversprechenden ersten Resultaten. Von den für die Anlage verantwortlichen Spezialisten wurde unter anderem der Entwicklung und dem Bau innovativer Detektoren sowie einer neuen Quelle für Kurzzeitpulse von Röntgenstrahlen

im Bereich von Nano- und Pikosekunden spezielle Aufmerksamkeit gewidmet.

Schon zu Beginn des Betriebs zeigte sich, dass die SLS über hervorragende Qualitäten verfügte, insbesondere was die räumliche und zeitliche Stabilität des Elektronenstrahls im Speicherring und damit auch des emittierten Lichtstrahls betraf. Damit wurde die SLS sehr schnell für Nutzer im aufstrebenden Bereich der Proteinkristallographie eine begehrte Anlage für innovative Experimente mit hohen Erfolgsschancen. Da in diesem Bereich die zu untersuchenden Proben meist schwierig herzustellen und auch im Erfolgsfall nur in sehr kleinen Mengen verfügbar sind, gelten die erwähnten Strahlstabilitäten als absolut essentiell. In diesem Zusammenhang zu erwähnen ist die Tatsache, dass mehrere Chemie-Nobelpreisträger einen Teil ihrer Forschung nach 2002 an der SLS durchführten und aufgrund der hervorragenden Bedingungen bezüglich Strahllinien und daran anschliessendem Instrumentarium (Detektoren) weiterhin – sporadisch oder regelmässig – die Anlage nutzen. Insgesamt wurde die Anzahl der zur Verfügung stehenden Instrumente seit dem Anfang des operativen Betriebs der SLS bis Ende 2015 von vier auf rund 20 erhöht. Mit der sich ergebenden Fülle an experimentellen Möglichkeiten im UV- und Röntgenbereich hat sich die SLS zu einer von nationalen und internationalen Nutzern aus den Bereichen Physik, Chemie, Biologie Material- und Ingenieurwissenschaften begehrten Experimentieranlage entwickelt. Positiv zu werten ist die Tatsache, dass mittlerweile auch Industriefirmen einen Teil der Instrumente für ihre Forschung finanzieren und nutzen.

Bereits während der ersten Betriebsjahre der SLS und aufgrund der sich rasch einstellenden Erfolge rückte eine weitere, international anlaufende Entwicklung zur weiteren Verbesserung von Lichtquellen für Studien der kondensierten Materie in den Fokus der Pläne für die Weiterentwicklung des PSI. Der Wunsch, Diffraktions- und Spektroskopieexperimente an kondensierter Materie mit kohärenter Strahlung durchführen zu können, bedeutete natürlich die Realisierung von Laserstrahlung im UV- und Röntgen-Spektralbereich. Frühe erste Versuche an einzelnen Institutionen waren aus verschiedenen Gründen nicht nachhaltig erfolgreich. Die gewonnenen Erfahrungen mit Synchrotronstrahlung in diesen Spektralbereichen liessen nun aber das schon lange vorher ersonnene Prinzip einer Laserquelle mittels kontrollierter Bewegung freier Elektronen (FEL) in den Bereich des Möglichen rücken.

Entsprechende Absichten gediehen um und kurz nach 2000 in Asien, den USA und Europa – insbe-

sondere auch am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) in Hamburg. Letzteres entwickelte sich rasch zu einem europäischen Projekt für den Bau einer unabhängigen und sehr leistungsfähigen FEL-Anlage für die Emission von Strahlung im Röntgenbereich. Das Projekt, basierend auf einem supraleitenden Linearbeschleuniger von 2.1 km Länge und mit geschätzten Kosten von 1.2 Milliarden Euro, wurde schliesslich 2007 unter dem Namen *European XFEL* lanciert. Für die Schweiz ergab sich damit eine Situation wie zehn Jahre zuvor im Zusammenhang mit dem Bau eines Elektronensynchrotrons, der oben beschriebenen SLS. Ein Verbleib der Schweiz an der Spitze der Entwicklung von international kompetitiven Lichtquellen und der damit zu erwartenden neuen Forschungsmöglichkeiten setzte den Bau einer entsprechenden Anlage auf der Basis des FEL-Prinzips voraus.

Innovative technische Ideen führten schliesslich zum Plan einer kompakten und kosteneffektiven FEL-Anlage basierend auf einem 400 m langen Linearbeschleuniger und mit geschätzten Kosten knapp unter 300 Millionen Schweizerfranken. Die daraus resultierenden Leistungsparameter schneiden – auch im direkten Vergleich mit dem *European XFEL* – sehr gut ab. Letzterer wird aufgrund seiner Grösse (Länge) Strahlung mit höherer Frequenz im Bereich harter Röntgenstrahlung und höherer Intensität liefern; der SwissFEL weist aber eine bessere Zeitauflösung, d.h. kürzere Lichtpulse auf. Die beiden Anlagen sind so besehen komplementär. Der SwissFEL wird speziell für Untersuchungen kondensierter Materie im üblichen Sinn Vorteile bieten. Ende 2017 ist mit ersten Experimenten an der Strahllinie mit Emission harter Röntgenstrahlung zu rechnen, anschliessend soll die Installation des Laerteils für weiche Röntgenstrahlung samt Experimentierstationen in Angriff genommen werden.

XFEL-Lichtquellen liefern ultraintensive und ultrakurze kohärente Lichtpulse im Röntgenbereich. Sie sind in dieser Hinsicht auch den leistungsfähigsten Synchrotronlichtquellen prinzipiell um viele Grössenordnungen überlegen. Es sind vor allem diese Eigenschaften, welche zukünftige Untersuchungen von sehr schnellen, bisher experimentell unzugänglichen Prozessen mit hoher örtlicher und zeitlicher Auflösung möglich machen werden. Für den SwissFEL wird erwartet, dass vor allem die Forschungsbereiche Physik, Chemie, Materialwissenschaften und Biologie von den neuen Möglichkeiten profitieren können.

## 5. Forschung mit Grossrechnern und Datenbanken

In allen oben erwähnten Forschungsgebieten werden an den entsprechenden Grossanlagen immer mehr Daten in immer kürzerer Zeit generiert. Deren Aus-

wahl, Speicherung und Dissemination setzen immer leistungsfähigere Rechenanlagen mit grossen Speichern und raschem Zugriff voraus. Immer wichtiger wird auch die Speicherung und Auswertung von konventionell ermittelten Daten (Klima-, Umwelt-, und Wetterforschung, Sozialsysteme). Während früher die notwendigen Analysen und Rechnungen mit sogenannten Clustern von Einzelrechnern, die sowohl grössen- als auch kostenmässig für einzelne Universitäten tragbar waren, durchgeführt werden konnten, erfordern die zunehmende Komplexität der Probleme und die grosse Datenmenge vermehrt den Einsatz von Grossrechnern. Für die Schweiz steht dafür das *Schweizerische Nationale Supercomputer Zentrum (CSCS)*, seit 2012 in Lugano angesiedelt, prinzipiell zur Verfügung. Die Bewilligung der Nutzung setzt aber auch in diesem Umfeld einen begründeten Projektantrag und eine anschliessende positive wissenschaftliche Beurteilung voraus. Die sehr leistungsfähige Anlage ermöglicht es Schweizer Forschern, mit ihren Projekten auch im internationalen Umfeld kompetitiv aufzutreten.

## 6. Materialsynthese mit Grossanlagen

In den letzten 20 Jahren ergaben sich substantielle Änderungen in der Komplexität und der Herstellung neuer Materialien – vor allem dann, wenn neue Eigenschaften genau identifiziert und analysiert werden sollen oder wenn diese längerfristig für den Einsatz in technischen Anwendungen vorgesehen sind. Anforderungen an höchste Reinheit der Ausgangsmaterialien, sehr kontrollierte Änderungen in der chemischen Zusammensetzung, präzise Strukturierung von Ober- oder Grenzflächen, kontrollierter Aufbau von Schichtstrukturen etc. können oft nur in Räumlichkeiten mit kontrollierter atmosphärischer Umgebung erfüllt werden. Solche oft als *Reinräume* bezeichnete Anlagen sind mit vielfältigem Instrumentarium ausgerüstet und müssen, zumindest partiell, durch professionell geschulte Mitarbeiter betrieben werden. Auch hier werden meistens der Zutritt und die Verwendung der Infrastruktur auf Antrag bewilligt; der Betrieb für Nutzer ist also nicht unähnlich demjenigen der oben erwähnten Grossanlagen. In der Schweiz gibt es verschiedene Versionen solcher Installationen, sowohl an Universitäten als auch in Privatfirmen und manchmal in Kooperation von privaten und akademischen Institutionen. Ein gutes Beispiel für letztere Lösung ist das von der ETH Zürich und IBM gemeinsam betriebene Nanotechnologie Zentrum in Rüschlikon.

## 7. Fazit

In jenen Wissenschaften, in welchen sich die experimentelle Forschung auf ganz kleinen (Teilchenphysik) oder ganz grossen (Astronomie, Astrophysik)

Längenskalen abspielt, sind Grossanlagen in unserem Sinne generell unentbehrlich. Für die Physik kondensierter Materie (Flüssigkeiten und Festkörper), in Chemie, Biologie und Materialwissenschaften ist die Bedeutung von Grossanlagen eine andere. Entdeckungen von neuem Verhalten oder von Effekten in schon bekannten oder neuen Materialien, die meistens durch die kontrollierte Variation von äusseren Parametern wie chemische Zusammensetzung, Temperatur, Druck, elektromagnetische Felder oder reduzierte Grösse (Nanomaterialien) zu Tage treten, sind meist die Folge von Experimenten an Kleingeräten. Die Grossanlagen sind aber auch hier unentbehrlich, wenn es darum geht, die mikroskopischen Ursachen für das Verhalten der Materialien oder – neuerdings – den zeitlichen Ablauf mikroskopischer Prozesse zu identifizieren und zu verstehen. Sie dienen also der Diagnose im weiteren Sinn.

Der Bau innovativer Grossanlagen stützt sich in der Regel auf umfangreiche Forschungsergebnisse. Die Forschung an Grossanlagen setzt also Forschung explizit voraus. Deshalb macht es, wie in der Einleitung betont, wenig Sinn zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung zu unterscheiden. Allgemeiner ausgedrückt: Grundlegende neue Forschungsresultate führen manchmal schnell zu Anwendungen oder neuen Forschungsmethoden, oft tun sie das aber später oder sehr viel später. Prominente frühe Beispiele sind das Verständnis der Wärmetheorie und der elektrodynamischen Prozesse im 19. Jahrhundert, das heute noch auf unser tägliches Leben wirkt, sowie die Entwicklung der Quantenmechanik im 20. Jahrhundert und, zum Beispiel, die darauf basierenden Rollen der Halbleiter und Laser in Technik und Forschung, deren Bedeutung für das jetzt einsetzende sogenannte digitale Zeitalter wohl bekannt ist.

Der hier gebotene kurze Überblick offenbart eine wirklich erstaunliche Entwicklung des Komplexes Grossanlagen für die Forschung in der Schweiz. Besonders erwähnenswert ist die Fülle an nationalen Infrastrukturen, die in der Schweiz entstanden sind. Deren Entstehen war und ist nicht selbstverständlich. Dazu braucht es Individuen mit auf wissenschaftlichen Erkenntnissen basierten Visionen und der Fähigkeit, auch Andere von den zu erwartenden neuen Möglichkeiten für die Forschung zu überzeugen. Ebenso wichtig sind politische Entscheidungsträger mit Mut für Neuerungen, Verständnis für den Wert zukünftiger Entwicklungen in der Wissenschaft und dem Willen, die notwendigen finanziellen Mittel zur Verfügung zu stellen. Schliesslich bedarf es wissenschaftlich, technisch und handwerklich versierter Fachleute, die in der Lage sind, die Visionen und

Ideen in reale Anlagen umzusetzen. Grossanlagen können nur durch die Zusammenarbeit verschiedener Spezialisten realisiert und betrieben werden; ihre Nutzung ist aber primär vielen verschiedenen Einzelpersonen oder kleinen Gruppen mit kompetitiven Projekten – meist aus dem universitären Umfeld – zugeschrieben. Da die Fortschritte der Forschung an Grossgeräten meist auch innovative technische Lösungen voraussetzen, kann die technisch orientierte nationale Industrie in der Regel vom vorhandenen Fachwissen und -können profitieren. Der technische Stand innovativer Geräte für die Forschung setzt die technischen Standards für die entsprechend tätige Industrie.

Ein wesentlicher Teil der in den letzten 50 Jahren entstandenen Forschungsmöglichkeiten in den oben angesprochenen wissenschaftlichen Disziplinen sind der Verfügbarkeit von neuen Grossanlagen zu verdanken. Alle jetzt in der Schweiz in Betrieb stehenden Anlagen verfügen wissenschaftlich über eine hohe internationale Akzeptanz. Dies nicht zuletzt, weil es immer wieder gelingt, auch ausländische Spitzenforscher oder Ingenieure zur Mitarbeit beim Bau von oder der Nutzung an innovativen Einrichtungen in der Schweiz zu holen und zu halten. Innovative Ideen bei der Auslegung und dem Bau der Anlagen konnten auch oft nur deshalb umgesetzt werden, weil sowohl im akademischen Sektor als auch in der Privatindustrie überdurchschnittlich kompetente und motivierte Mitarbeiter mitwirkten, die angestrebten Lösungen zu realisieren.

Die lange Tradition im Erstellen nationaler Grossanlagen mit internationaler Ausstrahlung und deren erfolgreiche Fortführung tragen wesentlich zum Ansehen der Schweiz als Forschungsnation bei. Die Planung, der Bau und der Betrieb innovativer Anlagen zieht talentierte Leute aus vielen Bereichen der Wis-

senschaften inklusive Ingenieurwissenschaften an und bewirkt damit eine willkommene Konzentration von Fachwissen und -können und ein natürliches Becken für multinationale und multidisziplinäre Zusammenarbeit. Erfahrungsgemäß ist die aktive Forschung an Grossanlagen sehr attraktiv für besonders begabte und motivierte Studierende und Doktorierende. In diesem Sinne spielen diese Anlagen auch eine sehr wichtige Rolle in der Ausbildung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in den betroffenen Disziplinen. Das schon früh eingeführte Nutzerprinzip dient vor allem auch dem Anspruch, in der Schweiz tätigen Forschern aus den verschiedenen Bereichen die Gelegenheit zu geben, international kompetitive Anlagen und Infrastrukturen im eigenen Lande nutzen zu können. Das führt auch dazu, dass international hervorragend qualifizierte Forscher, insbesondere Schweizer, die einen frühen Teil ihrer Karriere im Ausland verbringen, sich dieses Vorteils bewusst werden und deshalb an Schweizer Universitäten forschen und lehren wollen. Sie tragen damit zur oben erwähnten Ausbildung auf hohem Niveau bei. Die Nutzung von Grossanlagen, die auf internationale Verträge gestützt sind (CERN, ESS, EXFEL etc.), ist nachweisbar effizienter und erfolgreicher für Forscher aus Ländern mit ähnlich konzipierten nationalen Infrastrukturen innerhalb der eigenen Grenzen.

Gemessen an der Grösse des Landes ist die nun erreichte Konzentration von erstklassigen Grossanlagen für Forschung und der Leistungsausweis in Form der daran erzielten Forschungsergebnisse punkto Qualität und Quantität im internationalen wissenschaftlichen und technischen Umfeld als ausserordentliche Leistung zu werten. Es muss dafür gesorgt werden, dass die für die Schweiz so vorteilhafte Situation bezüglich Forschung auch in Zukunft erhalten werden kann. ■

### **Literatur**

- Alfred de Quervain, Encyclopedia Arctica 15: Biographie.
- Peter Fischer et al., Swiss Neutron News 40 (2012) 9.
- Peter Fischer et al., Swiss Neutron News 42 (2013) 4.
- Albert Furrer, Swiss Neutron News, 43 (2014) 4.
- Andreas Pritzker, Geschichte des SIN, munda Verlag, Küttingen, Schweiz, 2013.
- Hans Rudolf Ott, Big Science, Technologie und universitäre Entwicklung, eds. Stephan Bieri und Joel Mesot, Villigen PSI, 2016, p. 22.
- Jahresberichte SIN, 1967–1987.
- Jahresberichte PSI 1988–2014.
- PSI Bericht Nr. 09–10, September 2009.
- PSI Bericht Nr. 14–01, März 2014.