Zeitschrift: Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin

Herausgeber: Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung

Band: 31 [i.e. 30] (2018)

Heft: 119: Die Verwandlung von Big Science : wie sich die teuersten Forschungsprojekte öffnen

Rubrik: Schwerpunkt Big Science : Jenseits aller Grenzen

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: 08.01.2026

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

Jenseits aller Grenzen

Auf dem Mars und im All, in der Wüste und im Meer, aber auch mitten in unseren Städten – die Megaprojekte der Forschung sind überall dort zu finden, wo unser Wissensdrang unstillbar ist. Aber zu welchem Preis?

Mars, am 28. Juni 2005: Der Roboter Opportunity hat seine Spuren im Sand des Roten Planeten verewigt – zwei Kilometer von der Düne entfernt, bei der er während sechs Wochen blockiert war.
Bild: Nasa/JPL-Caltech/Cornell University

Die Erde betrachten, dem Konzert lauschen

Von 2002 bis 2012 hat Envisat die Erde alle 100 Minuten umrundet. Dabei hat der Satellit das Ozonloch analysiert, den Zustand der Pole dokumentiert, die Treibhausgase gemessen, Naturkatastrophen erfasst und Wälder kartografiert. Kurz: Der Satellit hat unseren Planeten überwacht. Sein Bau dauerte ein Jahrzehnt – genau wie jener der Elbphilharmonie in Hamburg.

10 Jahre

Die Demokratisierung von Big Science

Früher wollte man mit gewaltigen Forschungsprojekten Kriege gewinnen und die grossen Fragen des Universums beantworten. Heute sind sie offen für vielfältigere Aufgaben – mit stärkerer Wirkung.
Von Nic Ulmi

«Big Science. Hallelujah!» 1982 inszeniert die Sängerin Laurie Anderson den Begriff «Big Science» auf der Bühne der amerikanischen Popkultur. «Hallelujah!» – tatsächlich: Diese Art Forschung, die in Teams betrieben wird und sich um gigantische Infrastrukturen dreht, versprüht eine Aura des Sakralen. Geboren wurde Big Science im Zweiten Weltkrieg mit der Entwicklung des Radars und der Atombombe, doch inzwischen hat sie einen Wandel durchlaufen: Heute ist Big Science der Partikelbeschleuniger unter unseren Füssen, die Teleskopnetze in der Wüste und die Satelliten in den Umlaufbahnen über unseren Köpfen. Riesige Labors, ausgestattet mit kolossalen Instrumenten, unter der Schirmherrschaft von Regierungen oder gar Staatengemeinschaften, ergründen seither die Ursprünge des Universums – Physik und Astronomie im Schlepptau.

> «Die Biomedizin ist heute die Vorzeigedisziplin, deren Infrastrukturen am meisten Forschende anziehen.»
> Catherine Westfall

Zweifellos trägt die Arbeit Früchte. Ein Beispiel ist das Standardmodell der Elementarteilchenphysik, das insbesondere auf das Cern und das Fermilab in den USA zurückgeht, diese «Theorie von fast allem», die mithilfe von einem Dutzend Elementarteilchen die Materie und die Kräfte des Universums beschreibt. Oder das Hubble-Weltraumteleskop, das uns überwältigende Bilder von der Expansion des Kosmos, den Gravitationseffekten der Schwarzen Löcher und den Brutstätten neuer Sterne liefert. Militärische Überlegenheit hat ihre Fortsetzung im kulturellen Prestige gefunden, das sich nun im Hang zum Pompösen ausdrückt. Bereits 1961 verglich der Physiker Alvin Weinberg diese Anlagen mit modernen Kathedralen.

Doch um die Jahrtausendwende begann sich dieser auf Grösse fixierte Ansatz zu diversifizieren. Der Kreis der Akteure öffnete sich gegenüber anderen Disziplinen und der Industrie, und die Steuerung der Big-Science-Projekte wurde demokratisiert. Die Erwartungen und Versprechen im Zusammenhang mit den Megaunternehmungen sind konkreter geworden: Heute ist die Rede von Renditen, regionaler Wirtschaftsförderung und der Lösung gesellschaftlicher Fragen in Bereichen wie Energie, Lebensmittel oder Gesundheit. Und der Grössenbegriff ist inzwischen verschwommen: Heute wird Big Science auch mit bescheideneren Mitteln und Small Science auch mit gigantischen Teilchenbeschleunigern (Synchrotronen) realisiert.

Archäologie am Beschleuniger

«Was heute ins Auge sticht, wenn man ein Zentrum wie das Argonne National Laboratory in Illinois besucht, wo sich eines der drei grössten Synchrotronen der Welt befindet, ist die Vielfalt der Nutzer», sagt Catherine Westfall, Wissenschaftshistorikerin an der Michigan State University und Verfasserin mehrerer Studien über die Entstehung der Mega Science. Während solche Beschleuniger früher ausschliesslich im Dienst der Teilchenphysik standen, hat sich ihre Anwendungspalette inzwischen erheblich erweitert. «Ich habe Agronomen getroffen, die Saatgut entwickelten, Archäologinnen auf der Suche nach neuen Grabungstechniken und einen Wissenschaftler bei der Entwicklung eines Flugzeugtriebwerks, das Zusammenstössen mit Vögeln standhält.» Teilchenstrahlen dienen immer häufiger dazu, praktische Anwendungen von Materialien, etwa von Metallen oder Proteinen, zu erforschen. Westfall erklärt weiter: «Die Biomedizin ist heute die Vorzeigedisziplin, deren Infrastrukturen am meisten Forschende anziehen und in der sich die Mittelbeschaffung am einfachsten gestaltet.»

In diesem Prozess verwischen sich die Grenzen zwischen Megainfrastrukturen und Forschungsprojekten. Olof Hallonsten, Soziologe und Wissenschaftshistoriker an der schwedischen Universität Lund, Verfasser eines wissenschaftlichen Werks zu den Metamorphosen der Big Science, vergleicht zwei Momente, wenn er auf diese Wende zu sprechen kommt: «1984 erhielten Carlo Rubbia und Simon van der Meer den Nobelpreis für die Entdeckung der W- und Z-Bosonen. Diese Auszeichnung wird zwar Personen verliehen, sie kam in diesem Fall aber auch dem Forschungszentrum zugute, an dem die Entdeckung stattgefunden hatte: dem Cern, das Rubbia damals leitete.» 25 Jahre später präsentierte sich die Situation anders: «2009 erhielten die Molekularbiologin Ada Yonath und ihr Team den Nobelpreis für Chemie für ihre Arbeit zu den Ribosomen der Zellen. Ein halbes Dutzend Forschungszentren aus aller Welt erklärten daraufhin in Medienmitteilungen, dass diese Arbeiten nur dank ihrer Grossanlagen möglich waren.»

Immer häufiger wird «Small Science mit grossen Werkzeugen realisiert», beobachtet Olof Hallonsten. Anstelle von Forschungszentren, die für ein Megaprojekt gegründet werden, treten grosse Plattformen ohne präzises Ziel, die sich an den Bedürfnissen der Nutzer orientieren:

«Die meisten Forschenden, die diese Zentren nutzen, haben ihre Stelle und Finanzierungsquelle an einem anderen Ort. Sie arbeiten normalerweise mit kleineren Geräten, benötigen aber punktuell eine Grossanlage. Sie stellen ein Gesuch, müssen sich gegen andere Interessenten durchsetzen und erhalten dann, wenn alles gut geht, Zugang zur Anlage. Sie führen ihre Experimente durch und nehmen ihre Ergebnisse mit. In diesem Modell sind Grossbeschleuniger oder -reaktoren nicht mehr Teams vorbehalten, deren Mission es ist, Kriege zu gewinnen oder die Ursprünge des Universums aufzuspüren. Vielmehr stellen sie eine Ressource dar, die grundsätzlich allen offensteht. Das Modell ist demokratischer und weniger von politischen oder militärischen Entscheidungen abhängig.»

Blütezeit der Konsortien

Die Entkopplung zwischen Projekt- und Infrastrukturdimension vollzieht sich auch in umgekehrter Richtung: Big Science mit Megabudgets und Megazielen ist auch ohne Megainstrumente möglich. Dies ist zum Beispiel der Fall beim Human Genome Project und in der Biologie allgemein. Eine Zeit lang versuchte diese Wissenschaft der Physik mit ihrem Drang nach Rekorddimensionen nachzueifern, sagt Bruno Strasser, Professor für Wissenschaftsgeschichte an der Universität Genf und Verfasser mehrerer Studien zur Geschichte der Biomedizin sowie zu Big Data und zur partizipativen Forschung. «Bei der Eröffnung des Europäischen Laboratoriums für Molekularbiologie (EMBL) in Heidelberg 1974 hegte man die Hoffnung, so etwas wie das Cern der Biologie zu werden – dank der Bereitstellung eines Instruments, das für ein einzelnes Universitätslabor zu kostspielig gewesen wäre, und einer zentralen Fragestellung. Doch diese Zentralisierung wäre gar nicht nötig gewesen, weil die Disziplin keine Grossanlagen verwendet. In der Biologie setzt die Small Science Massstäbe, wie es der amerikanische Biochemiker Bruce Alberts formulierte. Die Forschenden des EMBL verbrachten deshalb ihre Zeit damit, den Daseinszweck der Infrastruktur zu rechtfertigen.» Als sich in der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre die DNA-Sequenzierung verbreitete, «versuchte das EMBL die Gelegenheit beim Schopf zu packen und sich damit zu legitimieren: Es rief 1982 die erste öffentliche Datenbank für Gensequenzen ins Leben, die Nucleotide Sequence Database.» Während für die Sequenzierung selbst keine Grossanlagen erforderlich sind, braucht es für die resultierenden Big Data eine leistungsfähige Infrastruktur.

1990 nahm das Human Genome Project (HGP) die vollständige Sequenzierung der DNA in Angriff. Das ambitiöse Ziel und das medizinische Potenzial machten Schlagzeilen. Im Jahr 2000 erklärte US-Präsident Bill Clinton, dass es «durchaus möglich ist, dass für die Kinder unserer Kinder der Krebs nur noch ein Tier ist». In Wirklichkeit ist das Projekt, das als Big Science präsentiert wurde, jedoch eher mit der bescheideneren Dimension eines Biologielabors zu vergleichen. «Es entfernt sich vom Modell eines Cern, das die Ressourcen an einem Ort konzentriert und eine Art geschlossenen Mikrokosmos mit der Bevölkerungszahl einer Kleinstadt bildet», erklärt Bruno Strasser. Am HGP dominieren im Gegensatz dazu räumlich zersplitterte Forschungsinitiativen zahlreicher Institutionen, die sich für diese Gelegenheit in einem internationalen Konsortium zusammenschliessen.

> «Wer Geld aus derselben Quelle erhält, spricht eher miteinander.»
>
> Bruno Strasser

Diese Logik wird heute noch weitergetrieben. Zum Beispiel, so der Schweizer Historiker, mit SystemsX, einer schweizerischen Initiative für Systembiologie, die von einem Forschungskonsortium an mehreren Standorten durchgeführt wird und das bisher grösste Forschungsprojekt des Landes darstellt. Das 2008 lancierte und 2018 endende Projekt basiert nicht auf einer riesigen Infrastruktur und hat sich nicht einem einzigen grossen Ziel verschrieben. Vielmehr geht es um ein ganzes Bündel von Projekten mit einem gemeinsamen Rahmen, wie die von der ETH unterstützte Dissertation von Alban Frei 2017 zeigte. «Die Koordination von SystemsX und ihr Auftritt nach aussen sind jedoch von Big Science inspiriert», erklärt Strasser weiter. «So kümmern sich vollzeitlich angestellte Kommunikationsbeauftragte um das Image der Initiative. Dies ermöglicht es den Forschenden, ihre Arbeiten in einem neuen Licht zu präsentieren und so auch die Öffentlichkeit und die Politik zu erreichen. Für den Dialog mit der übrigen Gesellschaft und die Mittelbeschaffung ist das sehr wertvoll.»

Comeback der Laien

Sich zusammenschliessen, um eine kritische Masse zu erreichen und der Visibilität Impulse zu verleihen – dient dieses Konzept lediglich der Imagepflege? «Einerseits könnte man behaupten, dass die Operation SystemsX nicht einer wissenschaftlichen Notwendigkeit entspricht», antwortet der Genfer Forscher. «Schliesslich weiss niemand genau, was Systembiologie ist. Doch die Initiative stimuliert interessante Forschungsideen. Sie fördert zudem den Austausch, denn wer Geld aus derselben Quelle erhält, spricht eher miteinander. Die einzelnen Projekte dürften vom gemeinsamen Rahmen profitieren, der die verschiedenen Einzelteile zusammenfügt und ein Motiv erkennbar macht. Und sich so gegenseitig befruchten.»

> «Die imposanten runden Gebäude haben etwas Majestätisches. Ein ideales Bühnenbild für Politiker, die sich die Hände schütteln.»
>
> Olof Hallonsten

Mit dem Wechsel vom zentralistischen Konzept zum Netzwerkmodell knüpft die Wissenschaft der Megaprojekte gemäss Bruno Strasser an frühere Epochen an: «Im 19. Jahrhundert war Big Science gleichbedeutend mit Biologie. Die Forschungszentren waren die botanischen Gärten und die naturhistorischen Museen in Berlin oder London. Die Grossprojekte hatten das Ziel, die Welt zu erkunden. Hunderte von Personen, die mit Schiffen aus den unterschiedlichsten Ecken der Welt lossegelten, mussten koordiniert, Leute mit verschiedensten Nationalitäten und aus verschiedensten Kulturen zusammengebracht werden, darunter auch viele Laien.»

Auch heute spielen Nichtexperten wieder eine Rolle, und zwar über die partizipative Wissenschaft. «Nach unseren Schätzungen gibt es rund zehn Millionen Menschen weltweit, die sich in einem solchen Rahmen einbringen», fährt der Genfer Forscher fort. «Die Bereiche, in denen die Beteiligung der Allgemeinheit im grossen Massstab stattfindet und rasch wächst, sind dieselben, die schon in der Vergangenheit auf Laien setzten; nämlich die Naturwissenschaften und die Astronomie.» Im Rahmen von Galaxy Zoo beispielsweise beteiligen sich Laien an der Klassifikation von Millionen von Galaxien, andere wirken an Monitorings zur Entwicklung der Biodiversität mit, indem sie Fotos posten, an Studien über den Klimawandel mitarbeiten oder den Zeitpunkt melden, an dem die Bäume im Herbst ihre Blätter verlieren. Diese Bewegung ist sozusagen eine andere Art der Forschung in grossem Stil: Im Rahmen eines Megaprojekts fügen sich Myriaden winziger Einzelbeiträge wie Steinchen zu einem Mosaik zusammen. «Die Mitwirkung der Allgemeinheit an der Forschung, wie sie im 18. und 19. Jahrhundert die Norm war, erlebte im vergangenen Jahrhundert längerfristig betrachtet vielleicht nur eine kurze Finsternis. In dieser Phase konsumierten die Menschen wissenschaftliche Erkenntnisse lediglich und wohnten dem Spektakel der Wissenschaft als Zuschauer bei. Nun sind sie wieder bereit, eine aktivere Rolle einzunehmen.»

Manchmal baut ein partizipativer Ansatz auf einer grossen Datenmenge auf, die durch die professionelle Wissenschaft generiert wurde. Dies ist beim Online-Projekt Annotathon der Fall, bei dem die Teilnehmenden DNA-Sequenzen annotieren, die aus dem Projekt Global Ocean Sampling von Craig Venter stammen. «Die Generierung offener Daten ist einer der Nebeneffekte von Big Science», erklärt Bruno Strasser. «Das Prinzip der Öffnung funktioniert nicht zuletzt, weil es nicht nur auf Idealismus beruht, sondern insbesondere im Rahmen von Konsortien einer Notwendigkeit entspricht. Eine Koordination wäre unmöglich, wenn jeder Teilnehmer seine Daten für sich behalten würde.» Die im Rahmen des Human Genome Project angewendeten Grundsätze von Bermuda (1996) und die Vereinbarungen von Fort Lauderdale (2003) etablieren denn auch die Praxis des Open Access und der sofortigen Freigabe der Daten im Bereich des Genoms.

Grenzen verwischen

Big Science scheint heute also in vielerlei Richtungen gleichzeitig aufzubrechen. Das Beispiel des Global Ocean Sampling widerspiegelt die laufende Verwischung der Grenzen in diesem Bereich. Das Projekt

WISSENSDRANG UND MACHTANSPRÜCHE: 6 MEGAPROJEKTE

1 ENERGIEFORSCHUNG
DIE SONNE AUF DER ERDE

International Thermonuclear Experimental Reactor – ITER
2006–2025, Cadarache (F)

Ziel: Nachweis der wissenschaftlichen und technischen Machbarkeit der Kernfusion als neuer Energiequelle. **Superlative:** Komplexestes wissenschaftliches Projekt aller Zeiten. Es soll sozusagen eine «Sonne auf der Erde» entzündet werden. **Anwendungen:** Gewinnung sauberer Energie in praktisch unbeschränkten Mengen. **Geschätzte Kosten:** 20 Milliarden Euro. **Akteure:** CN, EU, IN, JP, KR, RU, USA. **Zwischenfälle:** Gouvernanz-, Konzept- und Budgetprobleme mündeten 2015 in einen Managementwechsel. **Grenzen:** Breite Kritik ernten die technischen Hürden. Bedenken gibt es auch zur Sicherheit der Technologie, und man sorgt sich, dass andere Forschungsgebiete der erneuerbaren Energien vernachlässigt werden oder dass private Initiativen dem Projekt zuvorkommen.

2 NEUROWISSENSCHAFTEN
GEHIRN IM SUPERCOMPUTER

Human Brain Project – HBP
2013–2023, EPFL

Ziel: Die Funktion des menschlichen Gehirns mit einem Supercomputer nachbilden. **Anwendungen:** Medizin, Informationstechnologien. **Geschätzte Kosten:** 1 Milliarde Euro. **Akteure:** EU, die EPFL und rund hundert Forschungsinstitute in rund zwanzig Ländern. **Zwischenfälle:** 2014 unterzeichneten 750 Forschende einen offenen Brief an die Europäische Kommission, in dem die Vernachlässigung der kognitiven Neurowissenschaft kritisiert wurde. Dies hatte eine Neuausrichtung des Projekts, eine Anpassung seiner Führung und eine Neudefinition der Ziele zur Folge. Im August 2018 kam es durch den Rücktritt des Geschäftsführers Chris Ebell zu einer neuerlichen Krise. **Grenzen:** «Es hat sich eine Logik durchgesetzt, die sich an industriellen Projekten orientiert. Die Europäische Kommission fordert, dass diese Plattformen ‹Produkte› liefern. Ich bin jedoch nicht sicher, ob dieser technologieorientierte Ansatz geeignet ist, Antworten auf die grossen wissenschaftlichen Fragen zu finden, vor die uns das menschliche Gehirn stellt», schreibt Yves Frégnac, der frühere Koordinator des Projekts für das CNRS.

3 GENETIK
DAS GLÄSERNE MENSCHLICHE GENOM

Human Genome Project
1990–2003, international

Ergebnis: Vollständige Bestimmung der DNA-Sequenz des Menschen. **Superlative:** Grösste Zusammenarbeit in der Biologie aller Zeiten. **Anwendungen:** Medizin, Forensik, Sequenziertechnologie. **Kosten:** 2,7 Milliarden USD (weniger als im veranschlagten Budget von 3 Milliarden). **Akteure:** Die US-amerikanischen National Institutes of Health, die britische Stiftung Wellcome Trust, rund zwanzig Forschungszentren (CN, DE, FR, JP, UK, USA). **Zwischenfälle:** Es kam zu einem Kopf-an-Kopf-Rennen mit dem Unternehmen Celera Genomics von Craig Venter, das plante, für den Zugang zu den Ergebnissen Geld zu verlangen. Dies löste eine Debatte über den freien Zugang zu Genomdaten aus. **Grenzen:** Die erwarteten medizinischen Anwendungen stellen sich zögerlich ein. «17 Jahre nach der ersten Veröffentlichung des humanen Genoms haben wir noch immer nicht alle Gene gefunden. Die Antwort ist komplexer, als wir uns das vorgestellt haben», schreibt der Bioinformatiker Steven L. Salzberg.

4 PHYSIK
RIESIGE ANLAGE FÜR UNERMESSLICH KLEINES

Cern
1954–, Genf

Ziel: Verstehen, woraus Materie besteht, woher sie kommt und welche elementaren Wechselwirkungen das Universum regieren. **Superlative:** Der Large Hadron Collider hat einen Umfang von 26,6 km und beschleunigt Protonen auf 99,9999991 Prozent der Lichtgeschwindigkeit. Er generiert pro Sekunde 6 GB Daten. **Anwendungen:** Neben dem Grundlagenwissen über Elementarteilchen verdanken wir dem Cern aber auch verschiedene **Innovationen:** Medizin (Bildgebung), Umweltwissenschaften (Sensoren) und natürlich Informatik (Verarbeitung von Big Data und Erfindung des World Wide Web im Jahr 1989). **Kosten:** Budget pro Jahr 1,2 Milliarden CHF. **Akteure:** 22 europäische Staaten und Israel. **Zwischenfälle:** Das Cern beflügelt Fantasien vom Weltuntergang; sei es die mögliche Entstehung eines Schwarzen Lochs, das unseren Planeten verschlingt, oder die Konstruktion einer Antimaterie-Bombe. **Grenzen:** Der Nachweis von Higgs-Bosonen im Jahr 2012 war ein triumphaler Erfolg. Trotzdem war er ein Problem: Die moderne Teilchenphysik braucht Überraschungen, um eine grosse universelle Theorie entwickeln zu können. Wäre das Higgs-Boson nicht gefunden worden, wäre dies die wahre Überraschung gewesen und hätte ein wichtiger Impuls sein können.

will die genetische Vielfalt der mikrobiellen Population der Meere auf einer weltumspannenden Erkundungstour erheben. Konkret erfolgt die Arbeit mit der relativ bescheidenen Infrastruktur einer privaten Jacht. Initiator Craig Venter ist gleichzeitig Wissenschaftler und Unternehmer: Zum Finanzierungspool gehören private Stiftungen, die TV-Kette Discovery Channel, welche die Expedition in Szene setzt, sowie das US-Department für Energie, das hofft, in den Mikroben innovative Lösungen zur Deckung des landesweiten Energiebedarfs zu finden. Annotathon wiederum stellt die Verbindung zur partizipativen Dimension des Projekts her.

Daneben setzen andere Projekte den klassischen Drang nach Grösse fort (siehe Kästen unten). Die meisten werden aber früher oder später mit dem Ruf nach Öffnung und Diversifikation konfrontiert. Das Human Brain Project hat seine atemberaubenden Anfangsversprechen – die Abläufe im menschlichen Gehirn oder sogar das Bewusstsein auf einem Supercomputer zu reproduzieren – auf Eis gelegt und konzentriert sich nun wieder auf die Entwicklung einer Technologieplattform im Bereich der Neuroinformatik.

Die europäische Extreme Light Infrastructure hat die Konstruktion der leistungsstärksten Laser der Welt in Angriff genommen, ohne genaue Forschungsziele zu definieren. Diese werden faktisch den künftigen Nutzern überlassen. Dasselbe gilt für die European Spallation Source (ESS), die derzeit in Schweden um eine gepulste Neutronenquelle aufgebaut wird, die 30-mal stärker als die aktuellen Geräte werden soll. Auch die ESS orientiert sich am neuen Paradigma der «kleinen Wissenschaft mit grossen Werkzeugen» im Dienste einer offenen Suche nach praktischen Anwendungen. «Dabei fasziniert nicht die Herkulesaufgabe, sondern die imposante Erscheinung der Lokalitäten», kommentiert Olof Hallonsten. «Ich sehe vom Fenster meines Büros an der Universität Lund auf die Baustelle. Die imposanten runden Gebäude haben etwas Majestätisches. Ein ideales Bühnenbild für Politiker, die sich vor den Kameralinsen die Hände schütteln.»

Der Gigantismus könnte aber auch kontraproduktive Effekte mit sich bringen, befürchtet der schwedische Forscher. «Eine Gefahr besteht darin, dass die Investitionen in die eindrücklichen Infrastrukturen auf Kosten der Finanzierung der Forschungsarbeit gehen. In Schweden gab es schon Politiker, die gegenüber der Forschungsgemeinde verkündeten: Wir haben alle Mittel in die ESS gesteckt, Sie haben Ihren Teil der Ressourcen also gehabt!» Umgekehrt hat die dänische Regierung – nach ebenfalls substanziellen Investitionen ins Projekt – angekündigt, dass sie für jeden Euro, der in die ESS geflossen ist, einen weiteren Euro zur Finanzierung der Forschungsarbeit mit dieser Infrastruktur bereitstellt. Die moderne Big Science hat wenig gemeinsam mit den eingleisigen Projekten der Vergangenheit, sie bietet vielmehr ein ganzes Bündel von Möglichkeiten.

Nic Ulmi ist freier Journalist und wohnt in Genf.

Die Milliardenprojekte der Zukunft

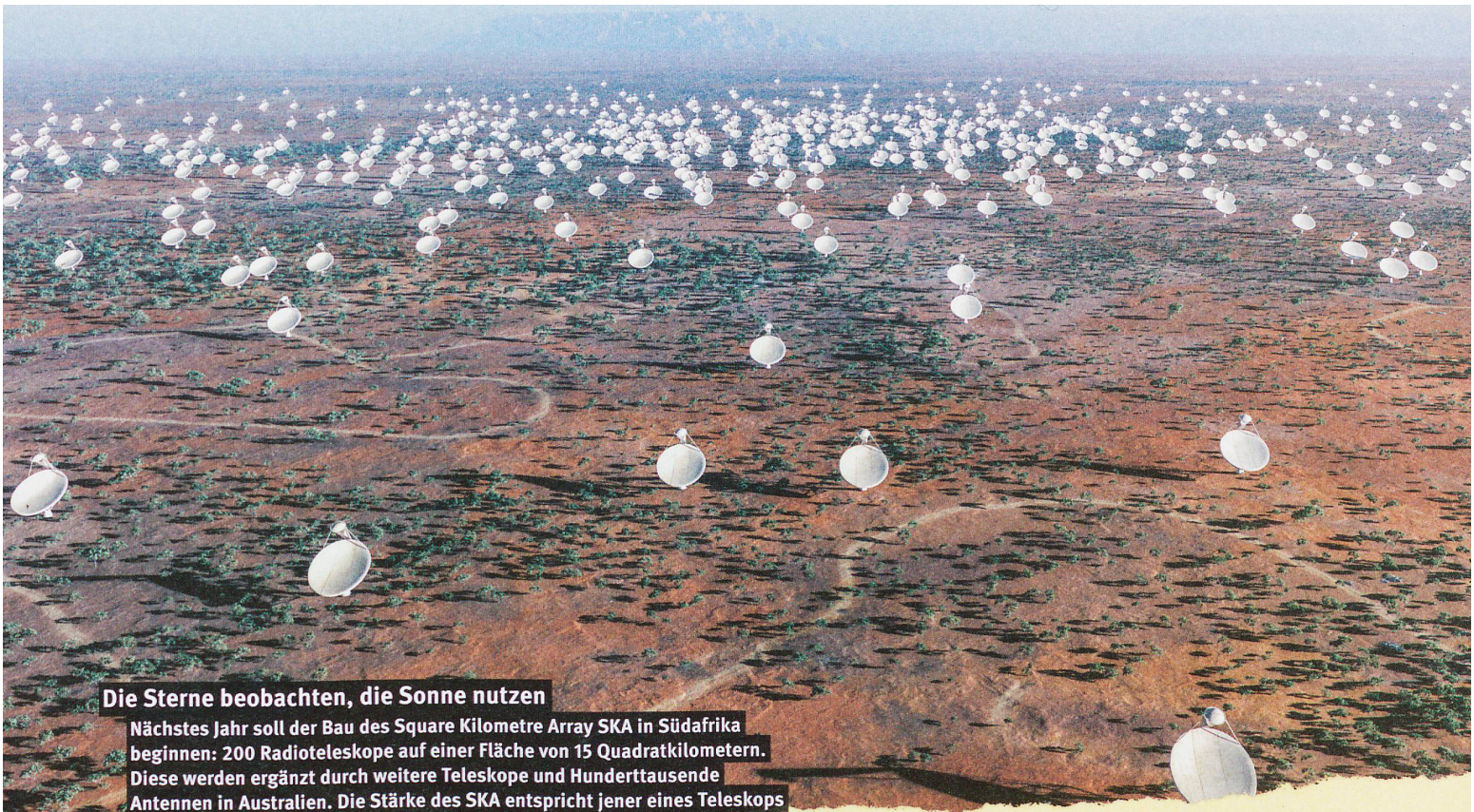
Mit ihrem Programm FET Flagships (Leitinitiativen für künftige und neu entstehende Technologien) unterstützt die Europäische Kommission Big Science nach dem Bottom-up-Ansatz: Die Forschenden selbst schlagen Projekte mit einem Budget von etwa einer Milliarde Euro vor. Gegenwärtig läuft eine neue Ausschreibung in den Bereichen vernetzte Gesellschaft, Gesundheit und Umwelt. Unter den 33 eingegangenen Vorschlägen befinden sich zwei Initiativen mit starker Beteiligung der EPFL: das Projekt Time Machine, das historische Archive in Simulationen der Vergangenheit umwandeln will, und Health EU, das digitale Avatare entwickeln will, an denen personalisierte Behandlungen getestet werden können. Nach dem Auswahlverfahren durch die Verantwortlichen aus Wissenschaft, Politik und Industrie werden 2020 ein oder zwei Projekte lanciert. Die EPFL koordiniert bereits das Human Brain Project, das 2013 gleichzeitig mit dem zweiten Flagship-Projekt Graphene startete. Das der Quantentechnologie gewidmete Programm Quantum beginnt 2019.

5 RAUMFAHRT
DIE LAST DER SCHWERELOSIGKEIT
Internationale Raumstation – ISS 1993–2028, im Orbit

ZIELE UND ERGEBNISSE: Untersuchung der Anpassung des Menschen ans Leben im Weltraum im Hinblick auf Mond- und Marsmissionen; internationale Zusammenarbeit; ständige menschliche Präsenz im Orbit während 18 Jahren. **SUPERLATIVE:** Teuerstes jemals gebautes Objekt. **ANWENDUNGEN:** Materialwissenschaften, Energie, Meteorologie, Medizin, Weltraumtourismus. **GESCHÄTZTE KOSTEN:** 150 Milliarden USD. **AKTEURE:** die Nasa mit den Weltraumorganisationen von Russland, Europa, Japan und Kanada. **ZWISCHENFÄLLE:** Der Unfall der Raumfähre Columbia 2003 und Budgetprobleme verzögerten die Arbeiten. Im Februar 2018 kündigte die Administration Trump an, dass die ISS privatisiert werden soll. **GRENZEN:** Immer wieder flammt die Debatte über den effektiven Beitrag der ISS zur wissenschaftlichen Forschung auf. Zwar wurden ab 2010 mehr Studien an Bord durchgeführt. Das sei aber immer noch zu wenig für ein «überzeugendes Argumentarium, das die wissenschaftliche Forschung an Bord der ISS rechtfertigt», urteilte der Politologe William Bianco 2017.

6 INTERDISZIPLINÄR
IM LICHT DER LASER VON MORGEN
Extreme Light Infrastructure 2013–2018, CZ/HU/RO

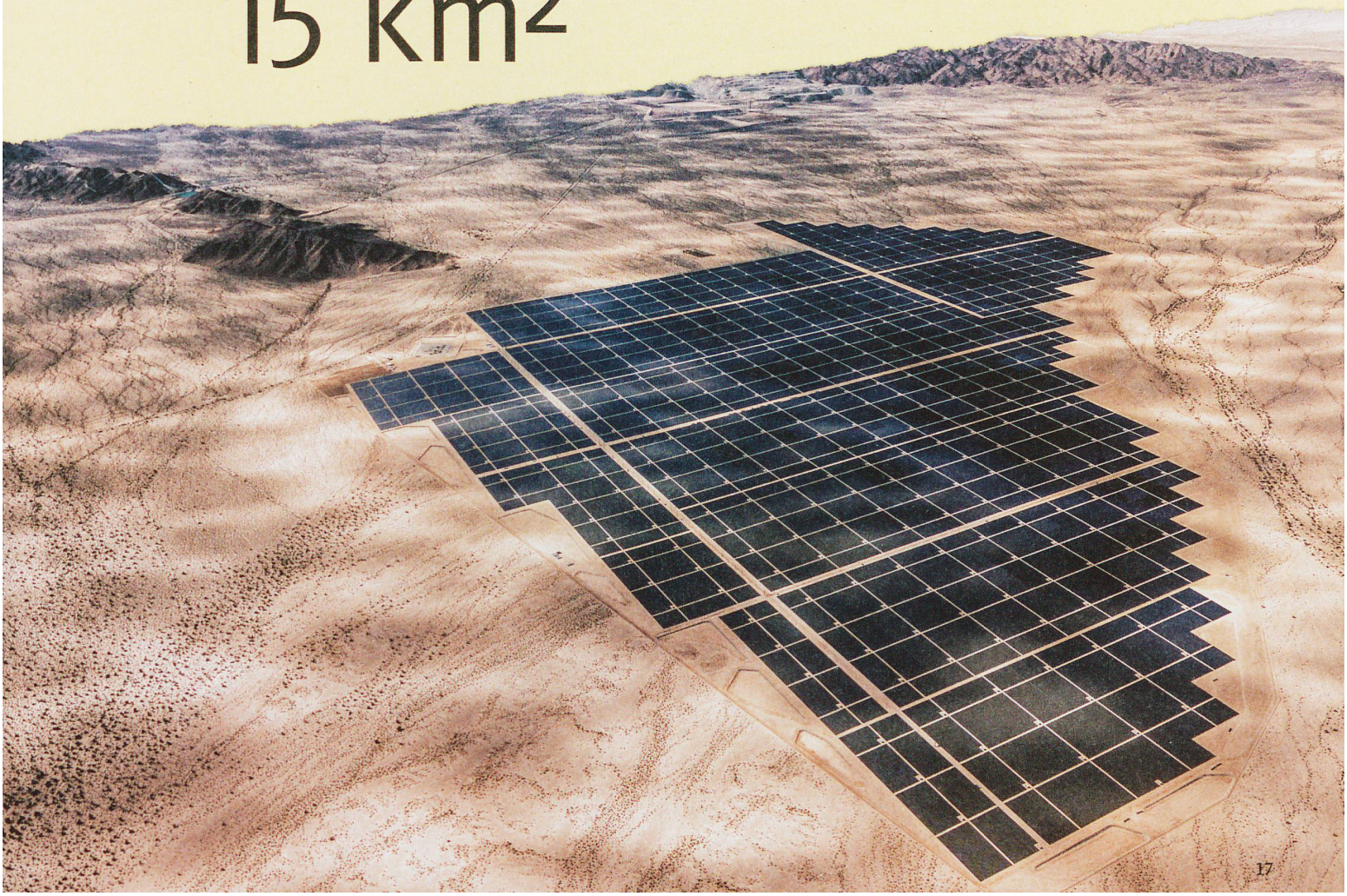
ZIELE: Vier interdisziplinäre technologische Plattformen auf der Grundlage von Lasern; europäischer Zusammenhalt. **SUPERLATIVE:** die leistungsstärksten Laser der Welt. **ANWENDUNGEN:** Materialwissenschaften, Medizin (Partikeltherapie), Vernichtung radioaktiver Abfälle. **BUDGET:** 850 Millionen Euro. **AKTEURE:** Europäische Union, Ungarn, Tschechien und Rumänien.



Die Sterne beobachten, die Sonne nutzen

Nächstes Jahr soll der Bau des Square Kilometre Array SKA in Südafrika beginnen: 200 Radioteleskope auf einer Fläche von 15 Quadratkilometern. Diese werden ergänzt durch weitere Teleskope und Hunderttausende Antennen in Australien. Die Stärke des SKA entspricht jener eines Teleskops von einem Quadratkilometer Oberfläche. Und es produziert zehnmal so viel Datenverkehr wie das Internet. In der Wüste Mojave in Kalifornien hat die grossflächige Solaranlage Desert Sunlight eine Kapazität von 550 Megawatt, das ist eineinhalbmal so viel wie das Atomkraftwerk von Mühleberg (BE).

15 km²



Schwerpunkt Big Science

Viel Zeit, viel Geld

Journalist: Lionel Pouzaz
Infografik: CANA atelier graphique

Die elementarsten Teilchen der Materie entdecken, das ursprünglichste Licht des Kosmos beobachten, das Geheimnis des Bewusstseins enthüllen: Big Science wagt sich an die existenziellen Fragen und setzt entsprechende Mittel ein. Neu ins Spiel gekommen sind die Disziplinen Biologie und Umwelt sowie die Akteure China und Indien. In den letzten fünf Jahrzehnten hatten rund vierzig Projekte ein Budget von mehr als hundert Millionen Dollar. Ein Besuch in der Welt der Superlative.

Physik

Eingeläutet wurde das Zeitalter von Big Science mit dem Manhattan-Projekt zur Entwicklung der Atombombe (Kosten umgerechnet für 2017: 20 Milliarden Dollar). Vielfältige weitere Riesenprojekte folgten, von der Grundlagenforschung (Cern) bis zur Energiegewinnung (ITER). Seit einiger Zeit öffnet sie sich auch gegenüber anderen Disziplinen (ESS, XFEL).

Astronomie

Die Kosten für die Beobachtung des Weltraums entsprechen dessen Massstäben und sind oft astronomisch hoch. Der Nachfolger von Hubble, das James Webb Space Telescope, kostet 10 Milliarden Dollar. Er wird sich dereinst vier Mal weiter von der Erde entfernt befinden als der Mond. Reparaturen am teuren Prachtstück sind damit ausgeschlossen.

Weltraum

Die grossen Weltraumprojekte stehen in erster Linie im Zeichen von Prestige und Einflussnahme, dienen aber auch der wirtschaftlichen und industriellen Entwicklung. Die Wissenschaft ist mit von der Partie. Die ISS ist das kostspieligste Unterfangen der Geschichte, ihre wissenschaftliche Relevanz hingegen bleibt umstritten.

Genetik

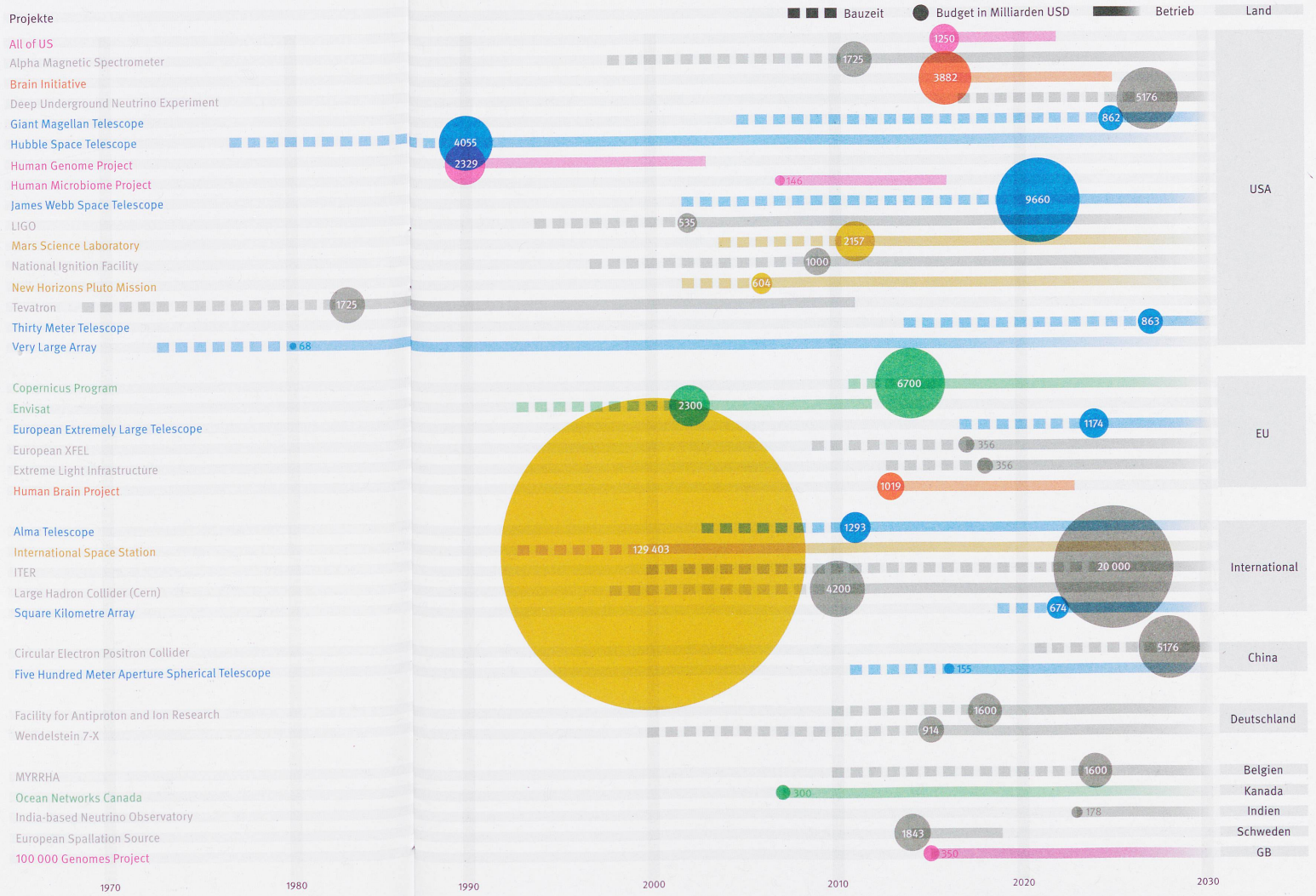
Die Biologie hielt vor 30 Jahren mit dem Human Genome Project Einzug in die Big Science und legte damit die Grundlage für die personalisierte Medizin. Zahlreiche Länder bauen mit eigenen Projekten darauf auf, namentlich die Vereinigten Staaten mit dem Projekt All of Us. Dieses will die DNA von einer Million Menschen sequenzieren.

Umwelt

Mit ambitionierten Programmen werden die Erde, die Ozeane und die Atmosphäre erforscht. Das Copernicus-Programm der Europäischen Union mit Sentinel-Satelliten gehört in dieser Domäne zu den aktivsten Akteuren. Aber reichen diese Bemühungen angesichts der Dringlichkeit und des Ausmasses unserer Umweltprobleme?

Neurowissenschaften

Um das Gehirn, das vielleicht komplexeste Gebilde im Universum, verstehen zu lernen, sollen das Human Brain Project (EU) und die Braïn Initiative (USA) die weltweite Forschung zusammenführen. Ihre Ansätze könnten kaum gegensätzlicher sein: digitale Simulationen auf der einen Seite, experimentelle Beobachtungen auf der anderen.

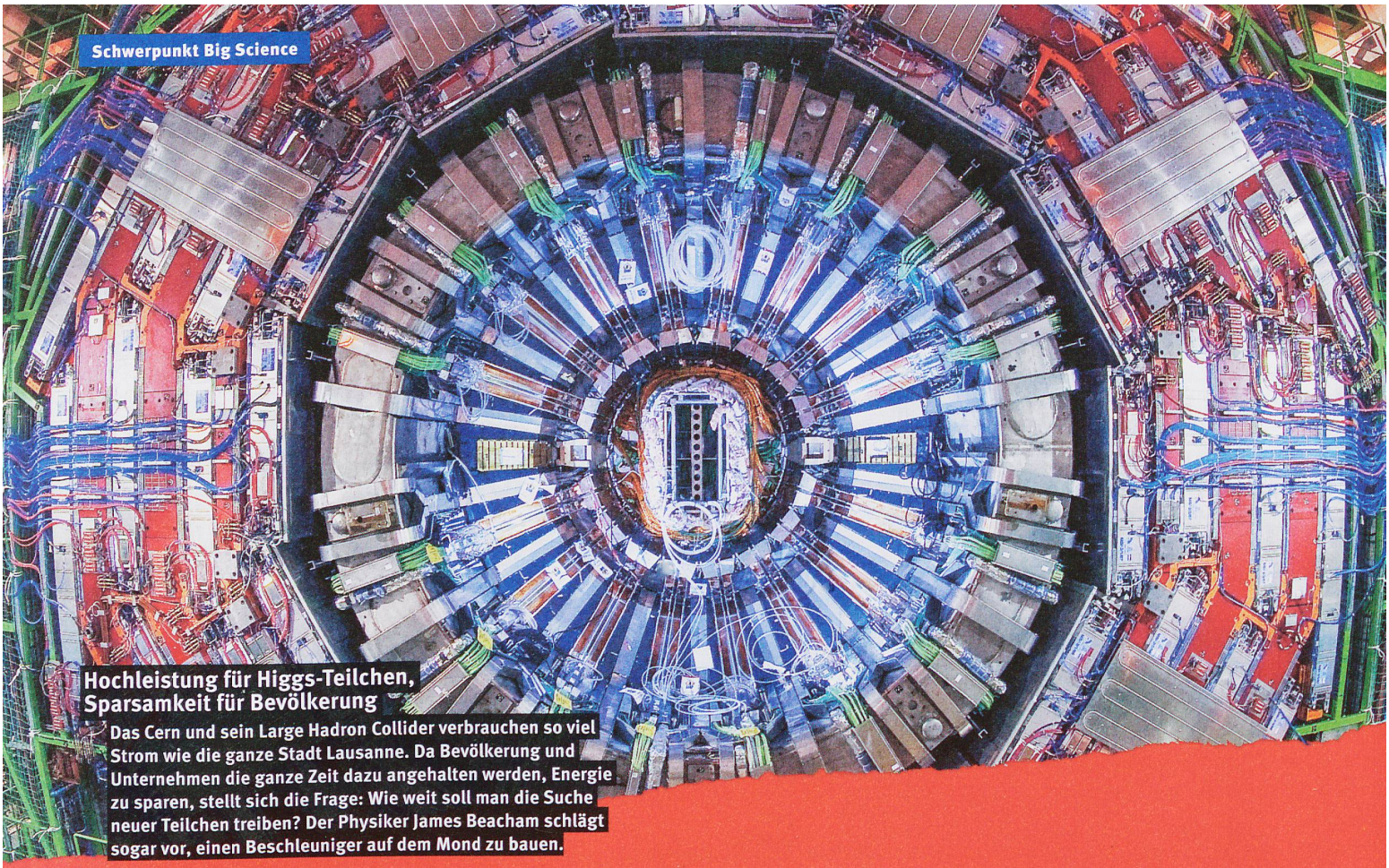


ZUR INFOGRAFIK

Liste der Wissenschaftsprojekte, bei denen die Kosten oder das Budget 100 Millionen Dollar übersteigen. Die Beträge sind nicht direkt vergleichbar: In gewissen Fällen ist die Nutzung der Infrastruktur berücksichtigt, in anderen erfolgt diese durch Dritte. Die Budgets laufender Projekte sind zudem ungewiss. Die Budgets der nationalen Forschungsprojekte der Schweiz im Jahr 2015 (rechts) enthalten auch die industrielle Forschung.
Quellen: Recherchen von Horizonte (Oktober 2018).

Jährliche Investitionen in die Forschung in Millionen USD

Mit der Summe, die in der Schweiz für öffentlich und privat finanzierte Forschung in einem einzigen Jahr aufgewendet wird, liessen sich zum Beispiel drei riesige Teilchenbeschleuniger bauen. Doch nur rund 800 Millionen des Forschungsbudgets fliessen in die grossen nationalen und internationalen Infrastrukturen, die restlichen 95 Prozent hingegen in die Förderung der «Small Science».



Hochleistung für Higgs-Teilchen, Sparsamkeit für Bevölkerung

Das Cern und sein Large Hadron Collider verbrauchen so viel Strom wie die ganze Stadt Lausanne. Da Bevölkerung und Unternehmen die ganze Zeit dazu angehalten werden, Energie zu sparen, stellt sich die Frage: Wie weit soll man die Suche neuer Teilchen treiben? Der Physiker James Beacham schlägt sogar vor, einen Beschleuniger auf dem Mond zu bauen.

1300 000 MWh

Wer wird das Cern von morgen bezahlen?

Grosse Forschungsinfrastrukturen sind schwierig zu finanzieren und koordinieren. Roadmaps sollen die Planung erleichtern. Was noch fehlt: eine Vision für den langfristigen Betrieb einer Anlage.

Von Geneviève Ruiz

Vier Milliarden Euro für den Hadron Collider am Cern, zwei für die European Spallation Source in Schweden, aber auch 275 Millionen Franken für den SwissFEL am Paul-Scherrer-Institut im Aargau, hinzu kommen Biobanken und weitere digitale Datenbanken: Die Infrastruktur zur Durchführung von Spitzenforschung kostet viel Geld und blockiert die entsprechenden Budgetposten während langer Zeit, da die Umsetzung häufig Jahrzehnte in Anspruch nimmt. Doch wer entscheidet eigentlich, ob solche Megaprojekte finanziert werden oder nicht? Die Antwort auf diese einfache Frage ist komplex.

Die Politik jedenfalls misst solchen Forschungseinrichtungen eine immer grössere Bedeutung bei, insbesondere die einzelnen Länder und die Europäische Union, aber auch internationale Kooperationen wie die OECD und die G7. Die EU betrachtet diese Einrichtungen als Motor für die Wirtschaft. Im European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) hat sie Verfahren festgelegt, mit denen sie strategische Prioritäten verwirklichen will. Erarbeitet werden diese 2006 lancierten Roadmaps gemeinsam; von Forschenden sowie von Vertreterinnen und Vertretern der Europäischen Kommission, der Mitgliedsstaaten und Ländern wie der Schweiz, die am Rahmenprogramm der Europäischen Union für Forschung und Innovation assoziiert sind. Die Dokumente haben den Zweck, den Infrastrukturbestand zu erfassen, den Bedarf abzuklären und Prioritäten für die Zukunft festzulegen.

Verschärfter globaler Wettbewerb

«Das Bestreben Europas, die Forschung besser zu koordinieren, entstand im Kontext von wachsenden Kosten, steigenden Projektzahlen und allgemeinen Kürzungen in den Staatshaushalten», erklärt Nicolas Rüffin, Spezialist für Wissenschaftsdiplomatie im Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung. «Eine Rolle spielt aber auch der Eindruck, dass sich der Wettbewerb global verschärft hat. Das Argument dazu: Die europäischen Länder können nur dann mit den USA oder Asien mithalten, wenn sie ihre Ressourcen bündeln.»

«Die meisten europäischen Länder orientieren sich nun am ESFRI-Modell», erklärt Isabel Bolliger vom Lausanner IDHEAP (Hochschulinstitut für öffentliche Verwaltung), die sich mit Forschungsinfrastrukturen befasst: «Die einzelnen Staaten haben den europäischen Ansatz individuell integriert, je nach Struktur ihrer eigenen Institutionen, ihrer Politik zur Unterstützung der Wissenschaft und ihrer politischen Kultur. Ergebnis: Es existieren vielfältige Modelle, die von der einfachen Auflistung fehlender Infrastruktur bis hin zu detaillierten Empfehlungen mit Blick auf Budgetentscheide reichen.»

> «Ein Argument lautet: Die europäischen Länder können nur dann mit den USA oder Asien mithalten, wenn sie ihre Ressourcen bündeln.»
>
> Nicolas Rüffin

Die erste Roadmap der Schweiz wurde 2011 erarbeitet und «dient hauptsächlich als Planungsinstrument für den Bund und die Hochschulen», präzisiert Nicole Schaad, Leiterin Ressort Forschung im Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI). Eine Vorauswahl der nationalen Projekte treffen der ETH-Rat und Swissuniversities, die Vereinigung der Schweizer Hochschulen. Anschliessend erfolgt eine Evaluation durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF) auf Grundlage der wissenschaftlichen Qualität. «Das Schweizer Modell hat eine gewisse Komplexität, die damit zusammenhängt, dass der ETH-Rat Institutionen des Bundes vertritt, Swissuniversities dagegen kantonale Institutionen und beide eine wichtige Rolle spielen», führt Isabel Bolliger aus. «Der Einbezug all dieser Akteure gewährleistet, dass sich ihre Institutionen engagieren.»

Roadmaps schaffen Kohärenz

Ein Punkt, den die Forschenden häufig falsch verstehen: Die Schweizer Roadmap ist kein Finanzierungsinstrument. «Der Bund spielt für die nationalen Infrastrukturen nur eine sekundäre Rolle, da er nicht über ein spezifisches Budget verfügt», ergänzt Nicole Schaad. Das Parlament bewilligt für die Hochschulen jeweils einen Globalbetrag, der Bildung und Forschung umfasst. Die Hochschulen entscheiden anschliessend selbst über die Verteilung dieses Beitrags. Lediglich bei staatenübergreifenden Infrastrukturprojekten beteiligt sich der Bund am Entscheidungsprozess über eine Mitwirkung an einem bestimmten Projekt. Die Auswahl dieser Art von Projekten erfolgt direkt durch das SBFI, das seine Entscheidung aufgrund von Vorschlägen der betroffenen Forschungsgemeinde und einer Stellungnahme des SNF fällt.

Gewisse nationale Roadmaps regeln gemäss Isabel Bolliger auch die Finanzierungsfrage, zum Beispiel in Schweden oder in der Tschechischen Republik: «So können bei der Zuweisung der Ressourcen nationale Prioritäten besser berücksichtigt werden. Doch das Schweizer Modell ist in einem föderalistischen System eingebettet, weshalb keine eigene nationale Budgetlinie für Forschungsinfrastruktur existiert. Gleichzeitig ist die Unabhängigkeit der Universitäten ein grosser Pluspunkt.»

Die Roadmaps haben zu einem kohärenteren Vorgehen beigetragen. «Wenn ein Forschungsteam früher eine Idee hatte,

Oben: Maximilien Brice/Cern; unten: reproduziert mit Bewilligung von swissuniversities (Foto: Ovo)

brachte es diese direkt beim SFBI oder in der Politik vor», erzählt Hans Rudolf Ott, Physikprofessor an der ETH Zürich, der an der Planung mehrerer grosser Forschungsinfrastrukturprojekte mitwirkt. «Heute gilt es, die Dossiers sorgfältig vorzubereiten, die Ziele und Etappen der Realisierung klar zu definieren und den Finanzierungsbedarf zu evaluieren. Das ist aufwändig, schliesslich aber effizienter.» Gemäss Ott ermöglichen diese Verfahren einen konstruktiven Dialog zwischen Forschenden und Institutionen. «Wir haben dadurch Raum, unsere Ansichten zu äussern, und werden von den Institutionen angehört. Sie wiederum weisen uns auf gewisse politische und finanzielle Aspekte hin, die der Machbarkeit des Projekts im Weg stehen könnten.»

Die verschiedenen Forschungsgemeinden seien in der Vergangenheit nicht immer motiviert gewesen, die für solche Prozesse notwendige Zeit einzusetzen, fährt der Forscher fort. «Doch sie haben rasch gemerkt, was die Vorteile sind. Mit den Roadmaps können sie Arbeit im Voraus erledigen und Schwerpunkte festlegen. Das bedeutet natürlich auch, dass auf gewisse Projekte verzichtet werden muss. Doch es wäre schlecht, gegenüber den politischen Entscheidungsträgern nicht kohärent aufzutreten, weil diese dann wohl gar nichts bewilligen würden.»

Neue Rechtsformen für Forschung

Noch nicht gelöst ist das Problem der langfristigen Sicherung von Forschungsinfrastrukturen. Entwicklung, Aufbau und Anwendung erstrecken sich über mehrere Jahrzehnte, und es sind im Voraus Mittel für den Unterhalt, den Betrieb und allenfalls den Abbau einzuplanen. «Adäquate finanzielle Ressourcen für Infrastruktur zu finden ist häufig eine grosse Herausforderung und erschwert die mittel- und langfristige Planung», zu diesem Schluss kommt ein Bericht der OECD von 2017, den Hans Rudolf Ott mitverfasst hat.

«Derzeit ist es noch schwierig, sehr langfristige Finanzierungsgarantien zu erhalten», bestätigt Isabel Bolliger. «Die Politik ist auf Jahres-, bestenfalls auf Vierjahreszyklen ausgerichtet. Da ist es attraktiver, neue Installationen zu realisieren, als ein Budget für den Betrieb und die Instandhaltung eines Projekts zu sprechen. Aber solche Gelder sind unverzichtbar, wenn man das Hauptziel der Infrastrukturen gewährleisten will: wissenschaftliche Exzellenz.»

> «In der Politik ist es attraktiver, neue Installationen zu realisieren, als ein Budget für den Betrieb eines Projekts zu sprechen.»
>
> Isabel Bolliger

Die unbefriedigende Situation ergibt sich insbesondere aus der zunehmenden Komplexität der institutionellen Rahmenbedingungen und der immer zahlreicheren Finanzierungsquellen. «Es sind neue Rechtsformen für die Projektverwaltung wie das European Research Infrastructure Consortium (ERIC) entstanden», sagt Nicolas Rüffin. Die ERIC wurden 2008 von der Europäischen Union lanciert, um eine rasche Schaffung von Forschungsinfrastrukturen zu ermöglichen. Sie bieten einen Rechtsrahmen, innerhalb dessen sich die Staaten zusammenschliessen können – auch mit bereits bestehenden zwischenstaatlichen Organisationen –, anstatt in langwierigen Verhandlungen selber eine neue Einheit gründen zu müssen. Im Rahmen der ERIC kann ein Staat seine Vertretung einem privaten oder öffentlichen Akteur übertragen, beispielsweise einer Forschungsorganisation, doch bleibt er in letzter Instanz verantwortlich. «Die derzeit bestehenden 19 ERIC sind sehr unterschiedlich ausgestaltet», erklärt Maria Moskovko von der Universität Lund in Schweden, die deren Funktionsweise untersucht. «Bei einigen handelt es sich um konzentrierte Grossanlagen an einem Ort, andere sind in Netzwerken organisiert. Weil diese Rechtsform neu ist, haben die Konsortien manchmal Probleme mit der Verwaltung und den Banken, die damit nicht vertraut sind.» Und so kommt Nicolas Rüffin zum Schluss: «Die ERIC sind flexibler und weniger schwerfällig als Grossorganisationen wie das Cern. Doch sie bringen auch Instabilität und Komplexität mit sich.»

Die im letzten Jahrzehnt geschaffenen neuen Rechtsformen sind noch wenig bekannt. Dasselbe gilt für die Konstellation der beteiligten Akteure und die Dynamik der Entscheidungsfindung. Etwas ist jedoch klar: Künftig braucht es weitere grundsätzliche Überlegungen, um die bestmöglichen gemeinsamen Methoden und Modelle zu finden.

Geneviève Ruiz ist freie Journalistin und lebt in Nyon (VD).

Forschungsinfrastrukturen verstehen

Das vom Schweizerischen Nationalfonds koordinierte Projekt InRoad will Good Practices für die Planung von Forschungsinfrastrukturen identifizieren, die Verfahren harmonisieren und den Betrieb der Anlagen langfristig sichern. Dafür wurden Daten bei den EU-Mitgliedsstaaten und den assoziierten Staaten von Horizon 2020 erhoben. Die Ergebnisse von InRoad werden Ende 2018 publiziert. Isabel Bolliger vom IDHEAP in Lausanne hat gemeinsam mit anderen jungen Forschenden aus Europa das Netzwerk BSRI gegründet, das derzeit Beiträge für ein Buch zusammenstellt.

Menschlicher Verstand, ökologisches Bewusstsein

Das Human Brain Project musste schon viele ernste Krisen meistern. Und es ist seinem prioritären Ziel – ein menschliches Gehirn zu simulieren – nicht viel näher gekommen. Eine Bringschuld von einer Milliarde Euro. Gleich viel kostet die erste Phase der dritten Rhonekorrektur. Ihr Ziel: Die Region vor Überschwemmungen zu bewahren und die Ufer naturnaher zu gestalten. Auf dem Bild sind Arbeiten nahe Visp zu sehen.

1 Milliarde Euro