

Bulletin

Grundlagenforschung? Recherche fondamentale?

Mit Beiträgen von
Lorenz Hilty
Nicola Spaldin
Ulrich Nierste
Andreas Gerber-Grote
Hans Rudolf Ott
Ingrid Kissling-Näf und Paul Pignat
Rudolf Minsch
Gernot Kistorz



Professor or Assistant Professor (Tenure Track) of Polymer Chemistry

The Department of Materials (www.mat.ethz.ch) at ETH Zurich invites applications for the above-mentioned position.

The Department of Materials is searching for outstanding candidates to develop a world-leading research programme in polymer synthesis, including the development of new polymerization strategies and the creation of well-defined or novel polymeric structures that can be used in the design of innovative, functional polymeric materials. The design strategies should build on structure-property relations to advance the technological use of macromolecular materials as well as enhancing our fundamental knowledge of polymer science. The candidate must also be an effective and enthusiastic teacher who will develop and teach courses in the Materials curriculum at the BS and MS levels. Generally, at ETH Zurich undergraduate level courses are taught in German or English and graduate level courses are taught in English.

Assistant professorships have been established to promote the careers of younger scientists. ETH Zurich implements a tenure track system equivalent to other top international universities.

Please apply online: www.facultyaffairs.ethz.ch

Applications should include a curriculum vitae, a list of publications, a statement of future research and teaching interests, and a description of the three most important achievements. The letter of application should be addressed to the **President of ETH Zurich, Prof. Dr. Lino Guzzella**. **The closing date for applications is 31 August 2017**. ETH Zurich is an equal opportunity and family friendly employer and is responsive to the needs of dual career couples. We specifically encourage women to apply.

Titelbild: Mit Piezo-Response-Kraft-Mikroskopie (PFM, nach *piezoresponse force microscopy, engl.*) abgebildete ferroelektrische Domänenstruktur in einem multiferroischen Material (Erbiummanganat, ErMnO_3). Die hellen und dunklen Bereiche markieren die einander entgegengesetzten Orientierungen der elektrischen Polarisierung. Die Breite entspricht einer Distanz von ca. 180 μm . Siehe auch Seite 11.

Couverture: Structure de domaines ferroélectriques dans un matériau multiferroïque (manganate d'erbium, ErMnO_3) imagés par microscopie à force piézoélectrique (PFM, de l'anglais *piezoresponse force microscopy*). Les régions claires et sombres marquent les orientations mutuellement opposées de la polarisation électrique. La largeur correspond à une distance d'environ 180 μm . Voir aussi page 11.

(Mit freundlicher Genehmigung von Manfred Fiebig und Martin Lilienblum, ETH Zürich)

(Avec l'aimable autorisation de Manfred Fiebig et Martin Lilienblum, EPF Zürich)

Inhaltsverzeichnis – Table des matières

Editorial	2
Elisabeth Ehrensperger	

Grundlagenforschung? Recherche fondamentale?

Grundlagenforschung in der Informatik?	
Perspektiven der Informatik und ihre Erkenntnisziele	3
Lorenz Hilty	
Fundamental Materials Research and the Course of Human Civilization	11
Nicola Spaldin	
Wie nützlich ist Grundlagenforschung?	16
Ulrich Nierste	
Grundlagenforschung und Angewandte Forschung: Ist diese Trennung hilfreich?	20
Andreas Gerber-Grote	
Die Rolle und Bedeutung von Schweizer Grossforschungsanlagen für die Forschung in der Schweiz	25
Hans Rudolf Ott	
Anwendungsorientierte Grundlagenforschung im Fokus	35
Ingrid Kissling-Näf und Paul Pignat	
Silodenken ist passé: Den Forschungsplatz als eine Welt verstehen	39
Rudolf Minsch	
Forschungsfreiheit und Utilitarismus	45
Gernot Kostorz	

Stellenausschreibungen / Postes à pourvoir

ii, 15, 51, iii



Editorial

Elisabeth Ehrensperger

Liebe Leserin, lieber Leser

Investitionen in die Grundlagenforschung nehmen, wie unlängst das Bundesamt für Statistik berichtete, gerade bei Unternehmen zu: Diese gaben 2015 deutlich mehr für Grundlagenforschung aus als noch im Jahre 2012 – und zwar stiegen die Aufwendungen für die Grundlagenforschung auf 3,5 Milliarden Franken, womit sie sich mehr als verdoppelt haben. Das sei nicht zuletzt deshalb bemerkenswert, kommentiert das Bundesamt, «weil die Unternehmen die Grundlagenforschung oft vernachlässigen und sich in erster Linie mit angewandter Forschung und experimenteller Entwicklung befassen». So erfreulich diese Zahlen sein mögen, so unklar bleibt, welchen Stellenwert die Grundlagenforschung im sogenannten F&E-Bereich der Wirtschaft einnimmt, zumal dort die Kopplung von Forschung und Entwicklung produktions- oder absatzsteigernde Innovationen begünstigen soll, und angesichts der Tatsache, dass Hochschulen immer öfter Kooperationen mit Unternehmen suchen zwecks Beschaffung von Drittmitteln. Es lässt sich vermuten, dass in diesem Kontext unterschiedliche Vorstellungen davon existieren, welche Kriterien Grundlagenforschung einerseits und angewandte Forschung andererseits auszeichnen.

Die äusserst schwierige Grenzziehung zwischen anwendungsorientierter Forschung und Grundlagenforschung thematisieren die Beiträge zu diesem Heft. Lorenz Hilty zeigt am Beispiel der Informatik, was es heisst, die grundlegenden Theorien und Konzepte eines Fachs weiterzuentwickeln. Die Methode einer Wissenschaft – in der Informatik die Formulierung von Algorithmen – erschafft und gestaltet einen Gegenstand; im Fall der Informatik handelt es sich um die Gestaltung und Entwicklung von Sprachen des Virtuellen als einer Realität, die wie durch einen Spiegel betrachtet, auf die aber nicht unmittelbar zugegriffen werden kann. Die Erforschung automatisierter Prozesse oder auch von künstlicher Intelligenz lässt sich ohne diese grundlegenden Kenntnisse gar nicht begreifen. Grundlagenforschung ist so gesehen einer Wissenschaft immanent – ganz gleich wie anwendungsorientiert sie auch immer sein mag. Diese Perspektive lässt sich bestätigen, wenn man berücksichtigt, in welchem Ausmass wissenschaftliches Wissen die Beschaffenheit der Welt formt. Nicola Spaldin veranschaulicht den fundamentalen Charakter ihrer materialwissenschaftlichen Forschung, die möglicherweise nie einer nützlichen Anwendung zugeführt werden wird. Doch auch in diesem Fall, so Spaldin, ist sie lohnenswert, da von einer tiefen Schönheit geprägt – vergleichbar dem Versuch, sich ein Bild von der Komplexität unserer Galaxie zu machen, oder der Suche nach einem Elementarteilchen am CERN. Folge der

Forscher bei seiner Arbeit immer nur Anwendungsideen, die er bereits im Kopf habe, begrenze er seine Forschung auf bereits Gedachtes – nichts wirklich Neues könne hieraus resultieren. Ulrich Nierste thematisiert in diesem Zusammenhang den politischen Rechtfertigungsdruck von Forschungsgeldern und weist darauf hin, dass technische Basisinnovationen ohne Grundlagenforschung nicht denkbar wären.

Angesichts dieser Befunde scheint fraglich, ob die Unterscheidung zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung überhaupt sinnvoll ist. Andreas Gerber-Grote vertritt den Standpunkt, dass es eine nicht zweckorientierte Forschung gar nicht geben kann, und erachtet die bisherige Aufgabenteilung zwischen Universitäten und Fachhochschulen als problematisch, letztlich politisch motiviert. Demgegenüber zeigt Hans Rudolf Ott in seinem Beitrag über die bemerkenswerte Vielfalt an Grossforschungsanlagen, Grossrechnern und Datenbanken in der Schweiz, dass grundlegende neue Forschungsergebnisse nur gelegentlich sofort zu Anwendungen oder neuen Forschungsmethoden führten – oft passiere das erst später oder sehr viel später.

Was die produktiven Schnittmengen von Universität, Wirtschaft und Gesellschaft betrifft, so erläutern Ingrid Kissling-Näf und Paul Pignat die durch den Schweizerischen Nationalfonds SNF geschaffene Kategorie einer «anwendungsorientierten Grundlagenforschung» und präsentieren die aktuellsten Ergebnisse einer Evaluation dieses Förderungsinstrumentes. Rudolf Minsch beleuchtet die gegenseitigen Förderbeziehungen von Wirtschaft, Lehrstühlen und Forschungsgeldern und plädiert angesichts der wachsenden Bedeutung von Kooperationen zwischen Hochschulen und Privaten für die Etablierung klarer *ex ante*-Regeln, welche sowohl die Bedürfnisse der Privaten als auch diejenigen der Hochschulen festlegen. Gernot Kostorz schliesst dieses Heft ab mit Überlegungen zur Freiheit und Qualität der Forschung insgesamt, wobei er seinen Blick auf die Auswirkungen richtet, die Forschungsfreiheit und Forschungssteuerung auf das Forscherindividuum – also auf die einzelnen Menschen als Träger der Forschung haben: Wie weit kann der freie Geist äusseren Direktiven unterworfen werden, ohne sich selbst aufzugeben? Und mit welchen Reaktionen ist zu rechnen, wenn aus einem freien Geist ein ausführendes Dienstorgan gemacht wird?

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre.

Ihre Elisabeth Ehrensperger

Grundlagenforschung in der Informatik? Perspektiven der Informatik und ihre Erkenntnisziele

Lorenz Hilty*

Grundlagenforschung bedeutet, die grundlegenden Theorien und Konzepte eines Faches weiterzuentwickeln. Es sind also die Fundamente einer Wissenschaft, die durch Grundlagenforschung erweitert oder erneuert werden. Wo liegen die Fundamente der noch relativ jungen Wissenschaft Informatik? Diese Frage wird seit Jahrzehnten kontrovers diskutiert, gerade weil die Informatik eine so vielfältige Wissenschaft ist. Dabei gehen die Auffassungen schon über die Rolle des Computers in der Informatik auseinander. Ist der Computer der Erkenntnisgegenstand der Informatik oder geht es in der Informatik «genauso wenig um Computer wie in der Astronomie um Teleskope», wie der holländische Informatiker Edsger W. Dijkstra es ausdrückte? Ich möchte Sie zu einem Rundgang einladen, auf dem wir die Informatik aus vier verschiedenen Perspektiven betrachten. Dabei werde ich auf die Erkenntnisziele eingehen, die sich aus der jeweiligen Perspektive stellen.

«Ich will weniger Chemie schlucken», «In unserem Team stimmt die Psychologie nicht», «Die Informatik in meiner Firma ist veraltet»: Was haben diese drei Sätze gemeinsam? Den falschen Gebrauch des Namens einer Wissenschaftsdisziplin. Um es vorwegzuschicken: «Informatik» ist kein Sammelbegriff für digitale elektronische Geräte und Infrastrukturen, hierfür gibt es die Bezeichnung «Informations- und Kommunikationstechnik», kurz «IKT».¹ Schauen wir uns nun die Informatik aus verschiedenen Perspektiven an, die den verschiedenen Positionen im Diskurs um das Selbstverständnis dieser Wissenschaft entsprechen.

Perspektive 1: Automatisierte Informationsverarbeitung

Gemäss dieser historisch ersten Sichtweise ist der zentrale Gegenstand der Informatik die *Automatisierung von Prozessen der Informationsverarbeitung mit Hilfe von Computern*. Dies erklärt auch die Herkunft des Wortes «Informatik», das 1957 vom Computerpionier Karl Steinbuch durch Zusammenziehung der Wörter «Information» und «Automatik» geprägt wurde. Im angelsächsischen Raum wurde das gleiche Fachgebiet zunächst als «Computer Science», seit 1989 auch als «Science of Computing» bezeichnet (Denning et al., 1989).² In dieser Perspektive ist die

Informatik ein Forschungsprogramm, das – nach Jahrhunderten der Automatisierung körperlicher Tätigkeiten mit Hilfe mechanischer Maschinen – nun auch geistige Tätigkeiten durch einen neuen Typ von Maschinen automatisieren soll. Diese neuen Maschinen wurden «Computer» genannt. Zuvor war «Computer» übrigens eine Berufsbezeichnung für Menschen, die Berechnungen ausführten. Genau genommen müssten unsere heutigen Computer also «künstliche Computer» heissen.

Als Geburtsstunde der neuen Automatisierungswissenschaft Informatik gilt die Formulierung eines theoretischen Automatenmodells durch den britischen Mathematiker Alan Turing im Jahr 1936. Ich muss hier auf einige seiner Überlegungen eingehen, da diese für das Verständnis der ersten Perspektive notwendig sind. Turing beschrieb einen Automaten, der zu einer gegebenen Eingabe in Form einer Zeichenkette eine Ausgabe erzeugt, die der Eingabe eindeutig zugeordnet ist. Dieser Automat, der später «Turingmaschine» genannt wurde, tut somit nichts weiter, als eine mathematische Funktion zu berechnen. Die Turingmaschine wurde zum Modell für jede Form der Berechnung und damit jegliche Informationsverarbeitung. (Die Gleichsetzung von Berechnung, Informationsverarbeitung und geistigen Tätigkeiten ganz allgemein beruht auf einem Paradigma, auf das ich am Ende dieses Abschnitts zurückkommen werde.)

* Universität Zürich, Institut für Informatik,
Binzmühlestrasse 14, 8050 Zürich.

E-mail: hilty@ifi.uzh.ch



Lorenz M. Hilty, Dr. rer. nat., ist Professor für Informatik und Nachhaltigkeit an der Universität Zürich und leitet die gleichnamige Forschungsgruppe der Empa in St. Gallen. Studium in Physik, Informatik und Psychologie an den Universitäten Zürich und Hamburg, Promotion 1991 und Habilitation 1996 in Informatik (Hamburg). Forschungsaufenthalte am Institut für Wirtschaft und Ökologie der Universität St. Gallen (1992) und am Forschungsinstitut für Anwendungsorientierte Wissensverarbeitung an der Universität Ulm (1996). Professur für Wirtschaftsinformatik an der Fachhochschule Nordwestschweiz (1998), Aufbau und Leitung der Abteilung Technologie und Gesellschaft der Empa (2004), Gastprofessur am Institut für Soziale Ökologie in Wien (2008), Professur an der Universität Zürich (2010) und Delegierter der Universitätsleitung für Nachhaltigkeit (2014). Im Nebenamt ist Lorenz Hilty Affiliated Professor an der KTH Stockholm, wo er regelmässig lehrt, ohne ein Flugzeug zu besteigen.

¹ auch «Informationstechnik», kurz «IT».

² Inzwischen gibt es daneben auch die Bezeichnung «Informatics», allerdings nicht immer bedeutungsgleich mit «Informatik».

Zu jedem Problem, das *überhaupt* durch Berechnung lösbar ist, gibt es eine Turingmaschine, die die entsprechende Funktion berechnet und somit das Problem löst. Entscheidend für die Entstehung der Informatik war nun aber, dass Turing zeigte, dass es unter den unendlich vielen möglichen Turingmaschinen eine gibt, die alle anderen ersetzen kann, «universelle Turingmaschine» genannt. Diese bekommt als Eingabe eine eindeutige Beschreibung des Verfahrens, das sie ausführen soll – genannt «Algorithmus» – neben der eigentlichen Eingabe für die Berechnung. Anhand der Beschreibung kann sie die Berechnung simulieren, also nachahmen, die die andere Turingmaschine ausführen würde. Weil das Ergebnis der simulierten Berechnung von dem Ergebnis, das die «echte» Turingmaschine berechnen würde, nicht unterscheidbar ist (lediglich der Aufwand für die Berechnung kann unterschiedlich sein), benötigt man die andere Maschine nicht. Man braucht also nur *eine* Turingmaschine, um potenziell *alle* berechenbaren Probleme lösen zu können. Vorausgesetzt natürlich, man kann für jedes Problem den passenden Algorithmus formulieren. Damit hatte die Idee des programmierbaren Computers ihr theoretisches Fundament. Was wir heute als die Hardware eines Computers kennen, ist äquivalent zu einer universellen Turingmaschine, wenn man von der Begrenztheit des Speichers absieht. Programme sind sprachliche Beschreibungen von Algorithmen.

Das Fazit aus diesen Überlegungen lautet: Automatisierung ist in der Informatik identisch mit der Formulierung von Algorithmen. Damit wird der *Algorithmus* – und nicht der Computer – zum zentralen Gegenstand der Informatik. Entsprechend dieser Sichtweise ist als Fundament eine *theoretische Informatik* entstanden, die sich hauptsächlich mit den Eigenschaften von Algorithmen, den sie beschreibenden formalen Sprachen und den sie ausführenden Automaten befasst. Von Interesse ist insbesondere, mit welchem Aufwand an Speicherplatz und Rechenschritten ein Algorithmus ausführbar ist. Danach werden Algorithmen in sog. Komplexitätsklassen eingeteilt.

Das bekannteste Beispiel für ein *ungelöstes* Problem der theoretischen Informatik ist die Frage, ob die beiden als «P» und «NP» bekannten Komplexitätsklassen identisch sind. Sollte diese Vermutung bewiesen werden, könnte das Auswirkungen auf die Sicherheit verschlüsselter Daten haben, denn diese beruht darauf, wie komplex das Verfahren ist, das ein Angreifer einsetzen müsste, um die Daten zu entschlüsseln. Ein Beispiel für ein *gelöstes* Problem der theoretischen Informatik ist die Frage, ob es einen Algorithmus gibt, der einen anderen Algorithmus als

Eingabe bekommt und entscheiden kann, ob dieser eine bestimmte (nicht-triviale) Eigenschaft hat. Wäre das der Fall, könnte man Beweise für die Korrektheit von Programmen automatisieren. Nach dem Satz von Rice lautet die Antwort leider: «Nein». Als Konsequenz daraus ist es nicht möglich, die Verifikation von Programmen zu automatisieren. Unter anderem deshalb leben wir mit fehlerhaften Programmen und sind tagtäglich gezwungen, uns auf eine prinzipiell unzuverlässige digitale Infrastruktur zu verlassen. Soweit zwei Beispiele für fundamentale Fragen der Informatik in dieser ersten Perspektive.

Ich komme nun zurück auf das Paradigma, das der ersten Perspektive der Informatik zugrunde liegt. Es wurde von Allen Newell und Herbert Simon 1976 als «*Physical Symbol System Hypothesis*» (PSSH) formuliert und ist auch unter dem Namen «Informationsverarbeitungs-Paradigma» bekannt. Die PSSH besagt, dass der Umgang mit Symbolen nach gegebenen Regeln eine ausreichende Voraussetzung für intelligentes Handeln ist. Symbole werden dabei explizit als physische Entitäten definiert. Weil Symbole aber austauschbar sind und es nur auf ihre gegenseitige Unterscheidbarkeit und die Regeln zu ihrer Verarbeitung (eben die Algorithmen) ankommt, kann Intelligenz mit nahezu beliebigen materiellen Mitteln realisiert werden, insbesondere mit biologischer oder elektronischer «Hardware». Dieses Paradigma könnte man auch so formulieren: Intelligenz ist Informationsverarbeitung und Informationsverarbeitung ist Umgang mit physischen Symbolen nach Regeln, also Berechnung. Die PSSH hat in der analytischen Philosophie des Geistes zu einer anhaltenden Debatte geführt, insbesondere über die Möglichkeiten und Grenzen von Künstlicher Intelligenz. Wir werden als dritte Perspektive eine Auffassung von Informatik kennenlernen, die sog. kontextuelle Informatik, die ohne die PSSH auskommt.

Perspektive 2: Gestaltung des Virtuellen

Turings Idee der universellen Maschine macht uns den enormen Freiraum bewusst, den ein programmierbarer Computer anbietet. Ein Computer ist eine Maschine, die buchstäblich alles und nichts kann, nämlich *potenziell alles* (was berechenbar ist und wofür der Speicher ausreicht) und *vorläufig nichts*, solange man keinen Algorithmus formuliert hat, der eine spezielle Maschine aus ihm macht. So gesehen ist Informatik der Ort, *wo mit Sprache Maschinen konstruiert werden*, und zwar nahezu beliebige Maschinen. Diese Gestaltungsfreiheit ist faszinierend und herausfordernd zugleich. Ein Bildhauer, der vor einem unbehauenen Felsblock steht, braucht viel Imaginationsfähigkeit, um die Skulptur zu sehen, die er formen will, und zugleich sehr viel handwerkliches

Geschick, um sie zu realisieren. Und auch wenn beides zusammenkommt, ist noch lange nicht garantiert, dass ein Werk entsteht, das viele Menschen als Bereicherung empfinden – wie beispielsweise die Skulpturen von Auguste Rodin.

Das gilt analog auch in der Softwareentwicklung, aber es gibt entscheidende Unterschiede. Wer Software entwickelt, braucht zwar Vorstellungskraft und handwerkliche Fähigkeiten zur Umsetzung seiner Vorstellung. Aber die Einschränkungen durch physikalische Gesetze gelten nicht, denn das Artefakt entsteht nicht in der physischen Realität, sondern im virtuellen Raum. Man kann sich die Bedeutung von «virtuell» in der Informatik durchaus aus dem Begriff des virtuellen Bildes der Physik ableiten. Ein virtuelles Bild ist das Bild eines Gegenstandes, der für den Betrachter hinter einem Spiegel zu liegen scheint. Der Versuch, nach dem Apfel im Spiegel zu greifen, scheitert aber, denn der Apfel ist nicht real. Er hat zwar einige Eigenschaften mit dem realen Apfel gemeinsam, aber nicht alle. In genau diesem Sinne ist all das, was einen Computer über seine berührbaren Teile (die Hardware) hinaus ausmacht, nur virtuell vorhanden. «Der Computer erlaubt es, rein gedankliche Welten mit eigenen Gesetzmässigkeiten zu schaffen – mit enormen realen Wirkungen. Informatik ist die Wissenschaft, welche die Gesetzmässigkeiten dieser virtuellen Welten erforscht und dem Menschen dienstbar macht. Die Erfindung des Computers führt aus einer mechanistisch geprägten Welt der Materie und der Naturgesetze zu einer informationsbestimmten Welt von Daten und Algorithmen.» (Gsell, 2013, S. 5) Die realen Wirkungen der virtuellen Artefakte entstehen dadurch, dass diese mit der realen Welt über Sensoren und Aktuatoren verbunden sind. Genommen ist eine Tastatur bereits eine Ansammlung von Sensoren, Bildschirme sind Ansammlungen von Aktuatoren, Touch-Screens beides in einem. Es gibt unzählige weitere Arten von Sensoren und Aktuatoren. Wenn wir an die vielen Geräte denken, die von eingebetteten Prozessoren gesteuert werden, vom Auto bis zum Roboter, dann wird deutlich, dass die Kopplung zwischen virtueller und realer Welt sehr eng werden kann.³

Betrachtet man die *Gestaltung des Virtuellen* als Hauptgegenstand der Informatik, hat dies zwei interessante Implikationen. Erstens wird die Mög-

lichkeit, komplexe Ideen präzise auszudrücken, zu einem Hauptanliegen. Man könnte die Informatik geradezu als die «Wissenschaft vom Explizit-Machen» bezeichnen. Zu diesem Zweck wurden über Jahrzehnte viele künstliche Sprachen entwickelt und verfeinert, darunter Programmiersprachen, Spezifikationssprachen und Modellierungssprachen. Die zweite Implikation lautet: In der Informatik geht es um Gestaltungsprobleme. Im Gegensatz zu einem Bildhauer, einem Architekten oder einem Autodesigner ist aber der Softwareentwickler nicht durch die Gesetze der Physik eingeschränkt, kann jede seiner Entscheidungen ohne Materialverlust rückgängig machen und hat dadurch enorme Gestaltungsfreiheit. Diese ist nur begrenzt durch die eigene Phantasie, durch die Ausdrucksmöglichkeiten der Sprache und durch die begrenzten Hardwareressourcen, die zur Ausführung zur Verfügung stehen. Diese Freiheit hat enorme Vorteile, aber auch den Nachteil, dass sich Softwareentwickler fast zwangsläufig in der selbst geschaffenen Komplexität ihrer Schöpfungen verstricken. Programme wachsen schnell an, Millionen von Anweisungen sind keine Seltenheit. Stellen Sie sich vor, ein Romanautor würde Ihnen berichten, dass er an einem Krimi von mehreren zehntausend Seiten arbeitet, womöglich zusammen mit Koautoren, mit denen er sich nicht immer gut versteht. Würden Ihnen keine Zweifel kommen, ob die Handlung des Krimis wirklich schlüssig ist? Und ob jemand dieses Mammutwerk jemals nachvollziehen wird? Die Unüberschaubarkeit von Software führt dazu, dass massenhaft unbeherrschbare und damit unsichere Artefakte in die Praxis entlassen werden. Wären die Ergebnisse von Softwareentwicklung so deutlich sichtbar wie die Ergebnisse städtebaulicher Architektur, wir würden wohl überwiegend den Eindruck haben, in Slums zu leben.⁴

Das Gestaltungsproblem in der Informatik ist im Kern ein Problem der kognitiven Komplexität für den menschlichen Betrachter. Es geht hier also nicht mehr primär um Berechnungskomplexität wie in der ersten Perspektive, sondern um die Überschaubarkeit, die Beherrschbarkeit der virtuellen Artefakte. In dieser zweiten Perspektive lautet die Grundfrage der Informatik deshalb: *Wie können wir die Gestaltungsfreiheit in der virtuellen Welt so nutzen, dass unsere Artefakte beherrschbar bleiben und zu jedem Zeitpunkt die Anforderungen erfüllen, die wir in der realen Welt an sie stellen?*

³ Der Begriff der «virtuellen Realität» wird vor diesem Hintergrund als (beabsichtigtes) Oxymoron erkennbar. Ziel der Schaffung «virtueller Realität» ist es, die Gestaltung des Virtuellen und seine Kopplung mit den menschlichen Sinnen so weit zu treiben, dass man dem Erleben von Realität möglichst nahe kommt – dass wir also wie Alice in den Romanen von Lewis Carroll in die Welt hinter dem Spiegel schlüpfen können.

⁴ Der Vergleich von Software mit Slums stammt vom Computerpionier Joseph Weizenbaum, der zeitlebens vor den Folgen einer unkritischen Überschätzung der Möglichkeiten des Computers gewarnt hat.

Trotz beachtlicher Fortschritte sind ausreichende Antworten auf diese Frage noch nicht gefunden. Es ist immer noch die Regel und nicht etwa die Ausnahme, dass Softwareprodukte fehlerhaft, unsicher und schwer änderbar sind, weil sie im Laufe ihrer Entwicklung unbeherrschbar komplex geworden sind. Softwareprodukte mit Millionen von Anweisungen, an denen hunderte von Entwicklern arbeiten, sind keine Seltenheit. Als wäre die reale Welt mit ihren Interessenkonflikten und Abhängigkeiten nicht schon komplex genug, erzeugen wir fahrlässig virtuelle Artefakte, die weitere unbeherrschbare Komplexität in die Welt tragen. Um es mit Edsger W. Dijkstra zu sagen: «*Computing's core challenge is how not to make a mess of it. [...] Because we are dealing with artifacts, all unmastered complexity is of our own making; there is no one else to blame and so we had better learn how not to introduce the complexity in the first place.*» (Dijkstra, 1996)

Software Engineering ist das Teilgebiet der Informatik, das dieses Problem zu lösen versucht. Über den richtigen Weg scheiden sich die Geister. Ist Softwareentwicklung eine Wissenschaft, eine Kunst oder eine Managementaufgabe? Im *ersten Fall* wären formale Methoden weiterzuentwickeln, die es erlauben, Softwareprodukte so solide wie mathematische Theorien zu konstruieren und ihre Korrektheit formal zu beweisen – oder, wo das nicht möglich ist, sie nach rigorosen wissenschaftlichen Standards empirisch zu testen (wissenschaftlicher Ansatz). Bei aller Anerkennung für die Fortschritte auf diesem Gebiet bestehen verbreitete Zweifel, ob dieser Ansatz genügen kann. Um in der Analogie zur gebauten Umwelt zu bleiben: Würde man der Welt einen Gefallen tun, wenn man Architektur auf Baustatik reduzieren würde? Betrachtet man Softwareentwicklung dagegen als Form von Kunst (*zweiter Fall*), wird das Fach schwer lehrbar und wir haben keine Antwort auf das Problem, dass die unendliche virtuelle Spielwiese mit ernstesten Realitäten verknüpft ist: Mit Fabriken, Fahrzeugen, Flugzeugen, Operationssälen, Kriegsmaschinen, Finanzmärkten und neuerdings auch mit demokratischen Wahlen. Sieht man Softwareentwicklung, so der dritte Ansatz, primär als Managementproblem, so legt man den Fokus auf den Entwicklungsprozess, auf seine Organisation und seine Werkzeuge. Das ist zweifellos notwendig, denn Software wird im Team entwickelt, und es gibt weitere Beteiligte wie die Auftraggeber und die zukünftigen Benutzer. Ein erheblicher Teil des Gestaltungsproblems der Informatik hat seine Wurzeln deshalb in Kommunikationsproblemen zwischen Menschen. Denn diese müssen ja *gemeinsam* das oben erwähnte Problem des «Explizit-Machens» komplexer Ideen lösen. Der Schwierigkeitsgrad dieses Problems und das Risiko

unbeherrschter Komplexität potenziert sich mit der Zahl der Beteiligten. Wie also soll man den Prozess organisieren, welche Sprachen und Werkzeuge soll man zur Kommunikation verwenden, um die Komplexität im Zaum zu halten? Heute sind so genannte *agile Methoden* als Gegenbewegung zu den traditionellen, als bürokratisch empfundenen Entwicklungsmethoden beliebt, die der Kreativität und der Kommunikation hohen Stellenwert einräumen.

Grundlagenforschung im Software Engineering müsste meines Erachtens das Problem lösen, den agilen mit dem wissenschaftlichen Ansatz zu versöhnen. Hierzu wäre Softwareentwicklung als abundante, durchaus kreative Produktion von Mikrotheorien aufzufassen, die kommunizierbar sind und – mit Unterstützung von einfach zu benutzenden Werkzeugen – systematisch intersubjektiv validiert werden. Eine solche diskursorientierte Grundlagenforschung würde weit über die Informatik hinausweisen. Sie würde das generelle Problem adressieren, wie subjektive Theorien effizient kommuniziert und im Diskurs besser genutzt werden können.

Perspektive 3: Gestaltung soziotechnischer Systeme

Der Technikphilosoph Günter Ropohl erläutert den Begriff des soziotechnischen Systems am Beispiel der Arbeit mit einem Computer: «Wenn Text geschrieben wird, tut das nicht allein der Mensch, aber es ist auch nicht allein der Computer, der den Text schreibt; erst die Arbeitseinheit von Mensch und Computer bringt die Textverarbeitung zuwege. Da freilich im benutzten Computer immer schon die Arbeit anderer Menschen verkörpert ist, da also die Mensch-Maschine-Einheit nicht nur durch den einzelnen Nutzer gebildet, sondern auch von anderen Menschen mitgeprägt wird, bezeichne ich sie als *soziotechnisches System*.» (Ropohl, 2009, 58f)

Schon in der ersten Perspektive war mit dem Begriff der Automatisierung die menschliche Arbeit implizit angesprochen. Ausgeblendet blieb aber die eigentlich naheliegende Frage, welche Arbeitsaufgaben im Zuge dieser Automatisierung durch Maschinen ersetzt oder unterstützt werden und mit welchen Methoden dies geschieht. Wie werden Arbeit und Organisationsstrukturen analysiert und wie werden sie durch diese Analyse und durch die darauf basierende Automatisierung verändert? In der zweiten Perspektive, die das Gestaltungsproblem der Informatik in den Fokus nahm, haben wir die humane und soziale Dimension zwar einbezogen, aber nur insoweit, als die Gestaltung des Virtuellen selbst eine menschliche Tätigkeit ist, die Kreativität und Komplexitätsbeherrschung erfordert. Nun erweitern wir die

Perspektive in einem dritten Schritt auf die Arbeitsprozesse und Organisationsstrukturen, die für die Gestaltung virtueller Artefakte analysiert und durch die Anwendung dieser Artefakte verändert werden. Dies entspricht, mit Steve Easterbrooks Worten, dem Übergang von «*computational thinking*» zu «*systems thinking*»: «*Computer professionals already have a conceptual toolkit for problem solving, sometimes known as computational thinking. However, computational thinking tends to see the world in terms a series of problems (or problem types) that have computational solutions (or solution types). Sustainability, on the other hand, demands a more systemic approach, to avoid technological solutionism, and to acknowledge that technology, human behaviour and environmental impacts are tightly inter-related. [...] I argue that systems thinking provides the necessary bridge from computational thinking to sustainability practice.*» (Easterbrook, 2014, S. 235)

Führt man sich das riesige Veränderungspotenzial der Digitalisierung vor Augen, das sich seit Mitte des letzten Jahrhunderts scheinbar unerschöpflich entfaltet, betrachtet man den resultierenden wirtschaftlichen Strukturwandel und die rasante Veränderung sozialer Praktiken, so muss eine Informatik ohne diese erweiterte Perspektive erscheinen wie Städtebau ohne Verständnis für Wohnen, Verkehr und alle anderen Aspekte menschlichen Lebens. Noch einmal Ropohl: «Neue technische Lösungen sind immer auch neue Handlungsmuster, von Menschen für Menschen entworfen und damit Kristallisationen gesellschaftlicher Verhältnisse.» (Ropohl 1991, S. 233)

Spätestens seit den 1990er Jahren gibt es die Forderung nach einer um die humane und soziale Dimension erweiterten Informatik und einer theoretischen Fundierung der Informatik, die diesem Aspekt Rechnung trägt und sich damit grundlegend von dem bisher als theoretische Informatik definierten Gebiet unterscheidet (Coy et al., 1992). Für eine derart um den Anwendungskontext erweiterte Informatik hat Dieter Engbring (2003) die Bezeichnung «kontextuelle Informatik» vorgeschlagen. In der kontextuellen Informatik geht es nicht allein um «Artefakte», sondern auch um «Kognifakte» und «Soziefakte». Diese Terminologie hat sich zwar nicht allgemein durchgesetzt, ich verwende «kontextuelle Informatik» jedoch als Sammelbegriff für Ansätze in der Informatik, die eine um humane und soziale Phänomene erweiterte Perspektive einnehmen.

Zu diesen Ansätzen gehört das Fachgebiet der Mensch-Computer-Interaktion (*Human-Computer Interaction, HCI*), das ursprünglich die Interaktion zwischen Mensch und Computer unter dem Aspekt

der Ergonomie oder Benutzbarkeit erforschte, seine Perspektive aber seither stark erweitert hat. Dazu gehört zweitens ein erweitertes Verständnis von Softwareentwicklung, etwa der partizipative Entwurf oder die immer systematischere Einbeziehung der zukünftigen Nutzenden in den Prozess der Anforderungsermittlung (*Requirements Engineering*). Dazu gehört drittens die Sozialinformatik (*Social Informatics*), die die Wechselwirkung zwischen IKT und sozialen Beziehungen zu ihrem zentralen Gegenstand macht. Ihr Begründer Rob Kling definierte sie als «*the interdisciplinary study of the design, uses and consequences of information technologies that takes into account their interaction with institutional and cultural contexts.*» (Kling 2007, S. 205)

Vor allem gehören aber alle anwendungsorientierten Gebiete der Informatik zur kontextuellen Informatik, die sich zu sog. Schnittstellen- oder Brückendisziplinen zum jeweiligen Anwendungsgebiet entwickelt haben. Die bekanntesten dieser Brückendisziplinen sind die Wirtschaftsinformatik und die Medizininformatik. Betrachten wir die Wirtschaftsinformatik etwas näher: Ihr Gegenstand ist das Informationssystem (IS). Nach Frank et al. sind IS «keine rein technischen, sondern sozio-technische Systeme, d. h. sie arrangieren Menschen und technische Komponenten im Hinblick auf die Lösung bestimmter wirtschaftlicher Aufgabenstellungen» (Frank et al., S. 75). Damit ist kein rein technisches, sondern ein *soziotechnisches* System Objekt der Analyse und Gestaltung. Die Wirtschaftsinformatik wird im angelsächsischen Raum übrigens meist nach ihrem Gegenstand als «*Information Systems*» bezeichnet. Dieses Gebiet hat sich unabhängig von «*Computer Science*» entwickelt und ist überwiegend an Business Schools etabliert. Im Gegensatz zu «*Information Systems*» blieb die Wirtschaftsinformatik in der Informatik verankert und zeichnet sich durch die Verbindung der technischen und nicht-technischen Aspekte ihres Gegenstandes aus.

Die Idee einer kontextuellen Informatik mit soziotechnischen Systemen als Erkenntnisgegenstand (unsere dritte Perspektive), hat eine Reihe von Implikationen. Erstens könnte man in einer so verstandenen Informatik ohne die PSSH auskommen. Man würde Informationsverarbeitung und Kommunikation als Tätigkeiten von Menschen definieren, die durch virtuelle Artefakte lediglich unterstützt werden. Am Beispiel der Wirtschaftsinformatik:

- Das technische System verarbeitet keine Informationen, sondern Daten (Strukturen aus physischen Symbolen), die nur dadurch zu Informationen werden, dass Menschen sie interpretieren. Daten sind also *potenzielle Information*.

- Menschen kommunizieren nicht mit Maschinen, sondern *mit Hilfe* von Maschinen mit anderen Menschen.

Das Begriffssystem der Informatik würde dann kompatibel mit einem wesentlichen Teil der Geistes- und Sozialwissenschaften, was der interdisziplinären Zusammenarbeit nicht abträglich sein müsste.

Eine zweite Implikation ist die Einsicht in die Unvermeidbarkeit einer Entwicklung, die ich das «Ende der Reversibilität» nenne. Softwareentwickler sind es gewohnt, bei der Gestaltung ihrer virtuellen Artefakte jede Entscheidung rückgängig machen zu können. Die Erweiterung der Perspektive auf soziotechnische Systeme bedeutet – bedauerlicherweise – die Vertreibung aus diesem «Undo-Paradies». Für die Entlassung von Mitarbeitenden, für die versehentliche Veröffentlichung vertraulicher Daten oder die Fehlsteuerung eines Röntgengeräts gibt es keinen Undo-Button. Sobald die virtuellen Artefakte mit sozialen Realitäten verknüpft sind, wird aus der virtuellen Spielwiese, die in der zweiten Perspektive als Ort des reinen intellektuellen Vergnügens erschien, ein Schlachtfeld der ökonomischen Interessen – und im Extremfall (Cyberkrieg) sogar ein Schlachtfeld im ursprünglichen, militärischen Wortsinn.

Eine dritte Implikation der Perspektiverweiterung ist die Unklarheit, welche Grundlagen eine kontextuelle Informatik benötigt, um die (Mit-)Gestaltung soziotechnischer Systeme systematisch zu betreiben. Kontextuelle Informatik ist hier mit einem Dilemma konfrontiert: Soziotechnische Systeme sind soziale Phänomene; die theoretischen Fundamente zu ihrer Analyse liegen folglich in den Sozialwissenschaften. Eine kontextuelle Informatik kann zwar Methoden zur Analyse und Gestaltung solcher Systeme unter dem Aspekt der Information und Kommunikation entwickeln, hätte hierfür aber keine eigene theoretische Grundlage. Sie bliebe eine Art Handwerk auf der Basis halbwegs rezipierter sozialwissenschaftlicher Theorien und Positionen. Alternativ könnte man eine kontextuelle Informatik nicht als Disziplin, sondern als inter- oder transdisziplinäres Konglomerat definieren, in das die «Kerninformatik» (d.h. die Zusammenfassung der Perspektiven 1 und 2) nur die vorhandenen Grundlagen einbringt. Dieses Konglomerat hätte dann aber das Problem, dass es sich auf keine gemeinsamen und nicht einmal auf untereinander konsistente theoretische Grundlagen stützen könnte. Als Ausweg aus diesem Dilemma bietet sich der Weg an, die Methoden der Gestaltung soziotechnischer Systeme als Theorien aufzufassen: Diese Methoden und ihre intendierte Anwendung sind präzise definierbar, ihre Wirksamkeit nach gängigen

wissenschaftlichen Standards empirisch überprüfbar. Steffen Greiffenberg hat diesen Ansatz für die Wirtschaftsinformatik formuliert: «Die Wirtschaftsinformatik kann, wenn sie ihre Methoden zur Gestaltung von Informationssystemen als Theorien auffasst, zum einen durch die rückwirkenden Anforderungen an Theorien an Wissenschaftlichkeit gewinnen und zum anderen die Brücke zwischen Real- und Formalwissenschaft schlagen.» (Greiffenberg, 2003, S. 964) Der Ansatz erscheint über die Wirtschaftsinformatik hinaus verallgemeinerbar für jede Ausprägung der kontextuellen Informatik. Grundlagenforschung in der kontextuellen Informatik besteht also darin, *Methoden der Gestaltung soziotechnischer Systeme als wissenschaftliche Theorien zu formulieren und weiterzuentwickeln*.

Zum Abschluss der Diskussion der dritten Perspektive möchte ich einige Argumente anführen, die für die systematische Weiterentwicklung der kontextuellen Informatik sprechen. Die Aufgabe, die Zukunft von Arbeit und Kommunikation zu gestalten, ist kulturell viel zu wichtig, als dass man sie in die Hände von Softwareentwicklern legen sollte. Denn hierfür sind sie weder ausgebildet noch legitimiert. Bereits zur Jahrtausendwende hat der US-amerikanische Verfassungsrechtler Lawrence Lessig mit seiner These «*Code is Law*» auf das Problem hingewiesen, dass Programmcode in unserer vom Internet geprägten Welt eine normative Wirkung entfalten kann, die durchaus mit der Wirkung staatlicher Regulierung zu vergleichen ist. Software transportiert implizite Wertvorstellungen und kann diese praktisch durchsetzen: «*Our choice is not between 'regulation' and 'no regulation'. The code regulates. It implements values, or not. It enables freedoms, or disables them. It protects privacy, or promotes monitoring. People choose how the code does these things. People write the code.*» (Lessig, 2000)

Das Risiko einer «kontextblinden» Informatik, die man auch «Informatik der Zauberlehrlinge» nennen könnte, wäre somit, dass normative Fragen systematisch als technische Fragen getarnt und dann von einer kleinen Gruppe von Technikgestaltern und ihren Auftraggebern entschieden werden. Dieses Risiko nimmt weiter zu, wenn die Artefakte der Softwareentwickler mehr Eigenständigkeit erlangen. Die intendierte Verwirklichung «Künstlicher Intelligenz» lässt Softwareprodukte autonome Entscheidungen fällen und aus Erfahrung lernen. Dabei kann es sogar praktisch notwendig werden, diese Artefakte als «*moral agents*» zu verstehen und mit «Wertvorstellungen» auszustatten, etwa bei selbstfahrenden Fahrzeugen oder bei Kriegsrobotern (Christen, 2016). Die Frage, wer diese normativen Entscheidungen

trifft, eine demokratische Gesellschaft in einem offenen Diskurs oder ein paar selbsternannte «Gesetzgeber» bei Pizza und Cola, sollte uns beschäftigen.

Perspektive 4: Modellierung von Realweltphänomenen

Diese Perspektive der Informatik lässt sich am besten erklären, wenn wir zunächst zur zweiten Perspektive (Gestaltung des Virtuellen) zurückkehren und den Spezialfall der Künstlichen Intelligenz (KI) betrachten. Die KI ist ein Teilgebiet der Informatik und zugleich ihr ehrgeizigstes Projekt. Die KI hat die Schaffung von Maschinen zum Ziel, die ein Verhalten zeigen, welches man bei Menschen als «intelligent» bezeichnen würde. Wir haben es hier also mit drei Gegenständen zu tun: Menschen, Maschinen und Intelligenz. Nehmen wir nun einfach an, dass unser Interesse gar nicht der Maschine, sondern der Intelligenz gilt. Intelligenz scheint ein natürliches Phänomen zu sein, das bei biologischen Organismen vorkommt und – wenn man die PSSH akzeptiert – mit maschinellen Mitteln reproduzierbar ist. Wir können nicht ausschließen, dass es weitere Systeme gibt, die Intelligenz hervorbringen, z.B. Systeme aus interagierenden Individuen, so wie ein Ameisenstaat sich – in einem noch zu definierenden Sinn von «Intelligenz» – intelligenter verhält, als eine einzelne Ameise es könnte. Wenn es das Naturphänomen ist, das uns interessiert, wird die Informatik zu einer Naturwissenschaft (Denning, 2007). Aus dieser Perspektive trägt sie potenziell zum Erkenntnisgewinn auf vielen Gebieten bei, indem sie eine bestimmte Sichtweise beisteuert: Sie betrachtet Phänomene unter dem Aspekt der Informationsverarbeitung.

Eine Analogie soll diesen Gedanken verdeutlichen. Sowohl Vögel als auch Flugzeuge fliegen. Aus guten Gründen gibt es keine Diskussion darüber, ob man Flugzeuge als «künstliche Vögel» bezeichnen soll, denn dies wäre irrelevant. Es stört uns auch nicht weiter, dass Flugzeuge auf eine völlig andere Weise fliegen als Vögel, von den klimaschädlichen Emissionen einmal abgesehen. Dennoch gibt es eine Gemeinsamkeit: Vögel und Flugzeuge müssen die Gesetze der Aerodynamik respektieren, sonst könnten sie nicht fliegen. Mit Sicherheit haben wir durch den Versuch, fliegende Maschinen zu bauen, mehr über Aerodynamik gelernt als durch die Ornithologie, also die Vogelkunde. Zugleich hat die Entwicklung des künstlichen Fliegens unseren Respekt für die Leistung der Evolution vertieft, die fliegende Organismen hervorgebracht hat. Ich bin sicher, dass man mit ein wenig Verständnis für Aerodynamik den Flug eines Vogels eher für ein Wunder hält als ohne dieses Verständnis. Es mag paradox klingen, wenn ich sage, dass gerade der Versuch der technischen Rekonstr-

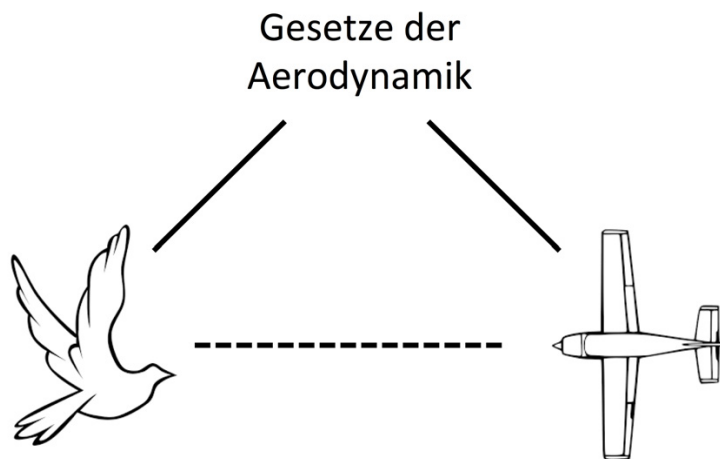


Abbildung. Der Vogel als Ergebnis der biologischen Evolution und das Flugzeug als Ergebnis der kulturellen Entwicklung verwenden verschiedene Methoden des Fliegens. Beide sind aber den Gesetzen der Aerodynamik und damit den gleichen Naturgesetzen unterworfen.

ruktion des natürlich Vorgefundenen eine Haltung fördern kann, die der Ethiker Giovanni Maio als «die Haltung der Achtung, die Haltung des Staunens, die Haltung des begierdefreien Betrachtens» bezeichnet (Maio, 2016).

Ersetzen wir in unserem Beispiel die Gesetze der Aerodynamik durch die Prinzipien des Rechnens oder – wenn man die PSSH akzeptiert – der Informationsverarbeitung und Intelligenz, dann ist die Gestaltung virtueller Maschinen als die Suche nach diesen Prinzipien zu verstehen. Die Geschichte der KI zeigt, dass sie unseren Respekt für Phänomene, die uns selbstverständlich sind – wie beispielsweise das Erkennen von Objekten auf Bildern, das Verstehen von Geschichten oder die Koordination eines Körpers mit vielen Gelenken – gerade deshalb gesteigert hat, weil die Versuche der KI dagegen sehr bescheiden ausfallen. Dass diese Bescheidenheit in der öffentlichen Wahrnehmung der KI nicht ankommt, ist eine Folge kommerzieller, nicht wissenschaftlicher Interessen.

Indem die Informatik virtuelle Modelle realer Phänomene konstruiert, bringt sie eine Forschungsmethode ein, die Richard M. Karp als «*Computational Lens*» bezeichnet (Karp, 2011). Diese Linse besteht allerdings nicht einfach im «*number crunching*» für die numerische Lösung von Gleichungen, was unter dem Stichwort «*Computational Sciences*» gelegentlich propagiert wird. Das wäre keine Informatik. Das Besondere an der neuen Linse ist vielmehr die Hervorhebung der Prozesse der Informationsverarbeitung. Es geht um ein Verstehen der Informationsprozesse in Realweltphänomenen durch den Versuch ihrer (Re-)Konstruktion. Neben der Intelligenz von Organismen sind hier insbesondere auch ökonomische Phänomene zu nennen, deren Erforschung mit der

«*Computational Lens*» uns helfen könnte, den Erfolg und das Versagen von Märkten besser zu verstehen.

Auch in dieser letzten Perspektive der Informatik stellt sich die Frage nach ihren Grundlagen. Dies führt uns zurück auf die PSSH und die Kritik an diesem Paradigma. Grundlagenforschung einer so verstandenen Informatik ist ihr Beitrag zum Diskurs in der analytischen Philosophie des Geistes, aber auch zu Grundfragen der Sozialwissenschaften wie der nach dem Verhältnis von Individuum und Gesellschaft.

Fazit

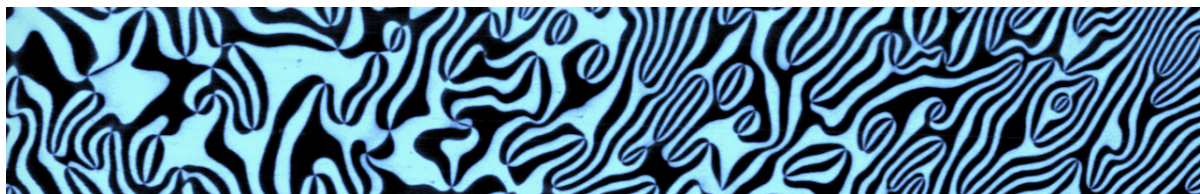
Die Informatik lässt sich aus unterschiedlichen Perspektiven betrachten, die unterschiedlichen Positionen zur Frage nach Erkenntnisziel und Methoden dieser Wissenschaft entsprechen. Diese Positionen

existieren heute nebeneinander. Je nach Position benötigt die Informatik andere theoretische Fundamente und stellt andere Grundfragen. Diese lauten, stark zusammengefasst:

1. Wie können wir die Existenz und die Eigenschaften von Algorithmen zu gegebenen Problemen beweisen?
2. Wie können wir virtuelle Artefakte konstruieren, deren kognitive Komplexität beherrschbar bleibt?
3. Mit welchen Methoden können wir soziotechnische Systeme analysieren und durch den Einsatz von IKT in einer erwünschten Weise umgestalten?
4. Wie können wir zum Verständnis von Naturphänomenen beitragen, indem wir sie unter dem Aspekt der Informationsverarbeitung modellieren? ■

Literatur

- Christen, M. (2016). Das Gute in der Informatik, Bulletin VSH-AEU 42(1), «Das Gute», S. 59–65. Forch: Vereinigung der Schweizerischen Hochschuldozierenden.
- Coy, W., Nake, F., Pflüger, J. M., Rolf, A., Seetzen, J., Siefkes, D., Stransfeld, R. (Hrsg.) (1992). Sichtweisen der Informatik. Braunschweig: Vieweg.
- Denning, P. J. et al. (1989). Computing as a discipline. *Communications of the ACM*, (32)1, 9–23.
- Denning, P. J. (2007). Computing is a natural science. *Communications of the ACM*, (50)7, 13–18.
- Dijkstra, E. W.: The next fifty years. Manuscript, 1996.
- Easterbrook, S. (2014). From Computational Thinking to Systems Thinking: A conceptual toolkit for sustainability computing. *Proceedings of the 2014 Conference ICT for Sustainability*, 235–244.
- Engbring, D. (2003). Informatik im Herstellungs- und Nutzungskontext. Dissertation. Universität Paderborn.
- Frank, U., Klein, S., Krcmar, H., Teubner, A. (1999). Aktionsforschung in der WI – Einsatzpotentiale und Einsatzprobleme. In: *Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie. Grundpositionen und Theoriekerne*. S. 71–90, Universität Essen.
- Greiffenberg, S. (2003). Methoden als Theorien der Wirtschaftsinformatik (2003). *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2003*, 100.
- Gsell, M. (2013). Vorwort. In: J. Kohlas, J. Schmid & C.A. Zehnder (Hrsg.), *informatik @ gymnasium: Ein Entwurf für die Schweiz*, S. 5–6. Zürich: Verlag Neue Zürcher Zeitung.
- Karp, R. M. (2011). Understanding Science through the Computational Lens. In: *Journal of Computer Science and Technology*, Vol. 26(4), S. 569–577.
- Kling, R. (2007). What Is Social Informatics and Why Does It Matter? *The Information Society*. 23(4): 205–220.
- Lessig, L. (2000). Code is Law. On Liberty in Cyberspace. *Harvard Magazine*, 1.1.2000.
- Maio, G. (2016). Technik als Veränderung unseres Verhältnisses zur Welt. In: Bulletin VSH-AEU 42(3/4), «Eingriffe», S. 4–11. Forch: Vereinigung der Schweizerischen Hochschuldozierenden.
- Newell, A; Simon, H. A. (1976). Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search. *Communications of the ACM*, 19 (3): 113–126.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*. 3., überarbeitete Auflage. Karlsruhe: Universitätsverlag.



Piezoresponse force microscopy image of the ferroelectric domain structure of multiferroic ErMnO_3 . The dark and light regions correspond to opposite orientations of the electric dipoles. The vertical dimension is about $20 \mu\text{m}$. Image courtesy of Manfred Fiebig and Martin Lilienblum (ETH Zürich)

Fundamental Materials Research and the Course of Human Civilization

Nicola Spaldin*

Unless we change direction, we are likely to wind up where we are headed.
(Ancient Chinese proverb)

The field of Materials Science has at its core the science and engineering of “useful stuff”: We materials scientists make materials for shelter, tools, transportation, information technologies, health, as well as recreation and the arts... all of the essentials and luxuries without which our lives would be unimaginable. As a result of this universal utility, the value of applied research and development in Materials Science is rarely called into question. In this issue of the “Bulletin VSH-AEU” concentrating on fundamental research, I focus on the necessity of basic materials research, and make the case that, because of its central role and unique relevance, fundamental research in Materials Science is a cornerstone of human progress.

From the Stone Age through the Bronze and Iron Ages to today’s Silicon Age, every major advance in human civilization has been driven by a fundamental development in Materials Science. The transition from Hunter-Gatherer societies to the adoption of agriculture at the Neolithic revolution coincided with developments in processing techniques for natural materials such as stone so that tools for grinding or cutting could be produced. The discovery of material composites led to, for example, the attachment of stone blades to wooden handles with fibres or resins, providing additional leverage over hand-held tools. Metals were at first a rarity, and native nuggets of copper, silver and gold were used primarily as ornaments for ceremonial purposes. But the discovery of the smelting process to extract metals from mineral ores ushered in a new era, the Bronze Age, associated with the establishment of cities and the beginning of crafts and trade. It’s hard to appreciate what a remarkable breakthrough in basic metallurgy the development of bronze represents: First, the smelting process requires temperatures above the melting point of the metal ($\sim 1000^\circ \text{C}$ for copper) as well as a reducing atmosphere, conditions that were prob-

ably first achieved accidentally in kilns designed for firing pottery. Second, the favourable properties of bronze result from the alloying of different elemental metals (in this case copper and tin), and the detailed fundamental physics of why alloying so profoundly improves the behaviour remains a topic of current research interest! But it’s clear that without this basic materials discovery, which led to a complete change of direction in the evolution of human progress, the world today would be a vastly different place. Later, the adoption of iron – which can be hammered rather than cast – in the Iron Age drove radical changes in agriculture as well of course weaponry leading to the establishment of countries and empires and coinciding with the beginning of written literature. Interestingly, many of these early scientific developments were disseminated through trade, or what we would now call international collaboration.

Iron continued to play a central role throughout history, culminating after around 4000 years of developments in metallurgy with the industrial revolution. But a profound change in direction was initiated at

* ETH Zürich, Professur für Materialtheorie,
Wolfgang-Pauli-Strasse 27, HIT G 43.3, 8093 Zürich.

E-mail: nicola.spaldin@mat.ethz.ch



Nicola Spaldin, PhD FRS, is the Professor of Materials Theory at ETH Zürich. She was educated at Cambridge University (BA and MA in Natural Sciences) and UC Berkeley (PhD in Chemistry). Following postdoctoral work at Yale University in Applied Physics, she established her independent career at UC Santa Barbara as Assistant, Associate then Full Professor, before moving to ETH in 2011. She is a passionate science educator, director of her department’s study program, and holder of the ETH Golden Owl Award for excellence in teaching. She developed the class of materials known as multiferroics, which combine and couple ferromagnetism and ferroelectricity. When not trying to make a room-temperature superconductor, she can be found playing her clarinet, or skiing or climbing in the Alps.

the end of the 19th century by a remarkable event: The discovery of the electron [1]. In his laboratory in Cambridge, J. J. Thomson was performing detailed fundamental experiments to try to figure out what the mysterious radiation emitted by negative metallic electrodes – so-called “cathode rays” – was made of. Thomson was able to show that the rays are made of particles that are negatively charged with a mass almost 2000 times lighter than a hydrogen atom. Soon it was recognized that Thomson’s cathode ray particles are the same as those that carry current in wires and they became known as electrons. Thomson’s discovery was a profound breakthrough in fundamental sub-atomic physics, for which he received the 1906 Nobel Prize in Physics *“in recognition of the great merits of his theoretical and experimental investigations on the conduction of electricity by gases”*. I doubt that he could have imagined, though, that his fundamental research would so dramatically change the course of human history – that he had made the first steps to ushering in a new age – by paving the way for the development of electronic devices.

In fact, the equipment that Thomson developed for his fundamental studies – glass tubes strong enough to withstand the pumping out of most of the air molecules – provided engineers with the design for the first electronic devices: Three-terminal devices called vacuum tubes or triodes which could be used as switches, for amplification, and to make simple logic circuits. Vacuum tubes offered the first glimpse of the tremendous capabilities that might be provided by electrical circuits. Since, however, they were bulky, sometimes unreliable and devoured energy, they also provided device physicists and materials scientists with a strong incentive to find a route to a more convenient three-terminal device. The resulting development of the semiconductor transistor, first in germanium and soon after in silicon because of its superior material properties, is certainly one of the most significant breakthroughs of the 20th Century. It is interesting to reflect on the enablers for this giant leap forward: The relevant properties of semiconductors are fundamentally quantum mechanical, and a prerequisite to the development of the transistor was the development of quantum mechanics and the subsequent decades of fundamental research on the quantum theory of solids. Equally important was the tremendous technological progress that had been made in the properties of silicon and germanium, particularly in producing materials of very high purity, which was motivated by the need for high-frequency radar receivers during the Second World War. And finally, the vision of the management (and indeed the shareholders) at Bell Telephone Laboratories, who created an environment that both attracted the very

best researchers and made space for their creativity. The Nobel Prize in Physics 1956 was awarded jointly to William Shockley, John Bardeen and Walter Brattain “for their researches [sic] on semiconductors and their discovery of the transistor effect” at “Bell Labs” (then “Bell Telephone Laboratories”, now “Nokia Bell Labs”), precisely fifty years after Thomson’s prize for the discovery of the electron.

So now we live in the “Silicon Age”, with silicon transistors forming the core of much of the microelectronics that enable our modern way of life. Not only our computers and mobile phones, but every aspect of for example commerce, transportation, and communication are now underpinned by microelectronic devices. Since those very first transistors in the 1940s and 50s, we have improved the properties of silicon devices to an astonishing extent, enabling the transformation for example from clunky old main-frame computers to sleek smartphones with tremendous capabilities, all with the same material – silicon – at their core. We have grown to expect the exponential increase in capability and corresponding decrease in size and cost, captured by Moore’s Law [2], and to anticipate ever more automation and convenience in our everyday activities.

But this silicon revolution will soon be forced to come to an end as we start to run into fundamental physical limits, set by the size of the individual atoms that make up the silicon material. And this means that the steady march towards faster, smaller lighter products with more and more functionality can’t continue within our existing framework. Now, while this might not seem so disastrous (certainly the controls on my smartphone are already smaller than I can see without my reading glasses), it is in fact a profound problem for society: As living standards improve in emerging regions and the “internet of things” becomes more widespread, worldwide use of microelectronics is expanding more rapidly than ever before, so that by most projections more than half of the world’s energy will be consumed by information technologies within a couple of decades [3]. And this is not sustainable. So, we need to take the step beyond the silicon age, we need to develop an entirely new device paradigm, and to do this we need a new material. Without a new material, we are stuck with our existing concepts for information technology and we have an energy bottleneck in human progress. And fundamental research in Materials Science – very likely with a complete change in direction – underpins the invention of this material.

Let me give you an example from my own research. A couple of decades ago, I was a young postdoctoral

researcher working on ferromagnetic materials – these are materials that contain magnetic dipoles with their north and south poles aligned parallel to each other – in a research group that specialized in ferroelectric materials, which are materials that contain aligned electric dipoles, made of positive and negative charges. My plan was to take the tools and techniques that my host group had developed to study ferroelectric materials and apply them to the study of ferromagnetic materials; the “ferro” in both names reflects the similarities in some of the underlying physics between the two material classes.

I noticed, almost by accident, that the kinds of materials that I was working on were different in many ways from those of my colleagues. For example, most ferromagnetic materials are black metals, like iron, whereas most ferroelectric materials are transparent oxide ceramics; barium titanate, chemical formula BaTiO_3 , is the prototypical example. My materials were shiny and ductile, theirs brittle. This apparent “contra-indication” between ferromagnetism and ferroelectricity intrigued me, and after a week-end of poring over encyclopediae of both material types (this was before the days of convenient on-line searching!) I convinced myself that it was real: There were no ferromagnetic materials in the handbook on ferroelectrics [4], and vice versa. Immediately I asked myself the question “Why are there so few magnetic ferroelectrics?” [5]. Answering this question became a passion (maybe even an obsession) for me and formed the focal point of my research program over the next decades. I changed direction, and stopped heading where I was headed.

Finding the answer took fundamental research into the basic chemistry of the bonding in ferroelectric materials to understand why it contra-indicated ferromagnetism. And this fundamental research allowed us to make what was in the end quite a simple discovery: That the atoms that form the kinds of chemical bonds needed to produce electric dipoles in a material have different arrangements of their constituent electrons from those that tend to make magnetic dipoles. But we were also able to show that there is no fundamental law of physics preventing their coexistence. Armed with this understanding of why ferromagnetic and ferroelectrics tend not to occur together, my colleagues and I were able to create new materials – we call them multiferroics – that really are ferromagnetic and ferroelectric. We did this in two ways: Our first route was to design new materials that combine the two types of atoms – those that tend to form magnetic dipoles and those that tend to form electric dipoles – in the same material. An example is the perovskite-structure oxide,

bismuth ferrite, BiFeO_3 , in which the iron atoms provide the magnetism, and the ferroelectricity comes from the so-called “lone pair” of electrons on the Bi atoms [6]. (Readers with a chemistry background will recognize an analogy here with the origin of the dipole moment in the ammonia molecule.) Our second method was to engineer new crystal structures that force magnetic atoms into new environments that are compatible with electric dipoles, which is the case for example with yttrium manganite, YMnO_3 [7]. The unconventional mechanism for ferroelectricity in the latter case causes an unusual arrangement of the orientation regions of the electric dipoles (called domains) resulting in exquisite textures, like those shown in the header to this article for the isomorphous ErMnO_3 .

I emphasize here that this research was driven entirely by annoyance that such a simple question – Why are there so few magnetic ferroelectrics? – had not been answered [8]. At the start of our work, there were no device physicists waiting eagerly for our materials, because no-one was thinking about the possibilities that a material that is both magnetic and ferroelectric might offer. Practical, working multiferroics did not exist even in our imaginations. Soon, however, we discovered that these aesthetic crystal chemistries, with their gorgeous dipolar domain structures and their combined magnetism and ferroelectricity, have entirely unexpected and potentially technologically transformative functionalities [9]. Perhaps most importantly, we demonstrated that we are able to modify the magnetic properties of multiferroics with electric fields [10, 11]. This is exciting from a basic physics perspective – usually a magnetic field is needed to modify magnetic properties – but also has profound technological implications: Replacing the magnetic fields in our existing magnetism-based technologies with electric fields offers tremendous opportunity for energy savings, miniaturization and efficiency. In a completely unexpected discovery, we found that the domain walls – the intersections separating regions (domains) with different orientations of the ferroelectric dipoles – form nanoscale conducting channels that can be moved around using electric fields [12]. This has potential application in novel memory or information processing architectures. The combination of magnetism and ferroelectricity leads to an unusual surface electronic structure that is being actively explored for catalysis and water splitting applications. And the ability to control the electrical and structural properties using magnetic fields, which can be applied without invasive electrodes and wires, is being explored for biomedical applications. Our new multiferroic materials, which started out as a playground for exploring

fundamental questions in physics and chemistry, are poised to enable new device paradigms, and in turn entirely new ways of designing technologies [13]. Perhaps we are about to enter a new *Multiferroics Age*?

Or perhaps not. Of course, there's more to human civilization than information technology, and more to Materials Science than microelectronics. And we need fundamental research in all branches of Materials Science to address many of the most challenging global issues identified by the United Nations [14]. Problems of climate change, and the environment, for example, will only be solved with new materials that can provide clean affordable alternative energy. Improved bio- and bio-compatible materials are needed to advance human health and to assist persons with physical disabilities. New materials made from earth-abundant, readily available elements will ensure a more equitable global wealth distribution and mitigate our dependency on minerals mined in conflict zones. My personal hope is that historians will consider the post-silicon era to be a "Golden Age" in which fundamental research in Materials Science will have helped to enable a world in which peace, prosperity and reason prevail.

So, what next? Well, like many others in the Materials Physics community, I'm working to understand the so-called strong correlations between electrons in solids. Why, if one electron somewhere in a material rearranges a little bit, this explicitly and profoundly affects all of the other electrons. This research is very fundamental and might never lead to anything useful. Even in that case I would argue that it is worthwhile: Exposing the profound beauty of interacting electrons is comparable to imaging the complexity of our galaxy, the satisfaction of finding a new elementary particle at CERN, or the joy of listening to the Tonhalle Orchestra play a Brahms symphony; all activities which as a society we find worthwhile to invest in. On the other hand, understanding strong electron correlations could be the first step towards making a room-temperature superconductor, a material that conducts electricity without any resistance, under everyday conditions.

Such a material would revolutionize energy production, transmission and storage: Imagine power grids that don't lose energy, portable MRI machines, cheap and widespread "Maglev" trains and paradigm shifts in computing technologies. A room-temperature superconductor would be utterly geopolitically transformative. Then I would bet that the next era of human civilization would be named after this as-yet undiscovered material.

Let me end with a plea to government officials, managers of funding agencies, and university administrators: Of course, applied research is important, nowhere more so than in Materials Science. And every Materials Scientist is in her heart an engineer, strongly motivated by solving practical problems that will enable the technologies that improve people's lives. We spend most of our time setting practical achievable goals for relevant problems and developing materials that get us to where we are headed. But if we work only on materials with an application already in mind we limit ourselves to applications that we have already thought of. And we will not make something really new that will open up entirely new directions and device paradigms. The true breakthroughs that will change the course of history will not come from initiatives to improve existing materials or devices, or to advance technologies that have already been identified. Instead, they will come from off-beat individuals or small teams of fundamental researchers pushing the boundaries of knowledge in directions for which there is not yet an application. Pioneers who will not end up where the rest of us are headed, but instead will change direction and go somewhere that we have not yet envisaged. I urge you to create an environment that nurtures that adventurous spirit, an environment that enables not only the applied research that will benefit society immediately, but also the fundamental research that we can enjoy now for its aesthetic beauty and that will have its technology payoff only in future generations. I urge you to be good scientific ancestors. And what better legacy than to have enabled the discovery of the material that defines the course of human civilization. ■

References

- [1] J. J. Thomson, *Cathode rays*, Philosophical Magazine, Series 5, Volume 44, No. 269, 293 (1897).
- [2] G. E. Moore, *Cramming more components onto integrated circuits*, Electronics, 38, 114 (1965).
- [3] www.iea.org/publications/freepublications/publication/gigawatts2009.pdf
- [4] M. E. Lines and A. M. Glass, *Principles and applications of ferroelectrics and related materials*, Oxford University Press 2001 (first published 1977).
- [5] N. A. Hill (now Spaldin), *Why are there so few magnetic ferroelectrics?*, J. Phys. Chem. B 104, 6694 (2000).
- [6] J. Wang, J. B. Neaton, H. Zheng, V. Nagarajan, S. B. Ogale, B. Liu, D. Viehland, V. Vaithyanathan, D. G. Schlom, U. V. Waghmare, N. A. Spaldin, K. M. Rabe, M. Wuttig and R. Ramesh, *Epitaxial BiFeO₃ multiferroic thin film heterostructures*, Science 299, 1719 (2003).

- [7] B. B. van Aken, T. T. M. Palstra, A. Filippetti and N. A. Spaldin, *The origin of ferroelectricity in magnetoelectric YMnO₃*, Nature Materials **3**, 164 (2004).
- [8] N. A. Spaldin, *Find your most interesting question*, Science **349**, 110 (2015).
- [9] N. A. Spaldin and M. Fiebig, *The renaissance of magnetoelectric multiferroics*, Science **309**, 391 (2005).
- [10] T. Zhao, A. Scholl, F. Zavaliche, K. Lee, M. Barry, A. Doran, M. P. Cruz, Y. H. Chu, C. Ederer, N. A. Spaldin, R. R. Das, D. M. Kim, S. H. Baek, C. B. Eom and R. Ramesh, *Electrical control of antiferromagnetic domains in multiferroic BiFeO₃ films at room temperature*, Nature Materials **5**, 823 (2006).
- [11] N. A. Spaldin and R. Ramesh, *Electric field control of magnetism in complex oxide thin films*, Materials Research Society Bulletin **33**, 1047 (2008).
- [12] J. Seidel, L. W. Martin, Q. He, Q. Zhan, Y.-H. Chu, A. Rother, M. E. Hawkridge, P. Maksymovych, P. Yu, M. Gajek, N. Balke, S. V. Kalinin, S. Gemming, F. Wang, G. Catalan, J. F. Scott, N. A. Spaldin, J. Orenstein and R. Ramesh, *Conduction at domain walls in oxide multiferroics*, Nature Materials **8**, 229 (2009).
- [13] N. A. Spaldin, *Multiferroics: Past, present, and future*, Materials Research Society Bulletin **42**, 385 (2017).
- [14] <http://www.un.org/en/sections/issues-depth/global-issues-overview/>

Stellenausschreibung - Poste à pourvoir



Assistant Professor (Tenure Track) of Soil Resources

The Department of Environmental Systems Science (www.usys.ethz.ch) of ETH Zurich invites applications for an assistant professor (tenure track) focusing on (1) the role of soil as a key natural resource, supporting a wide range of forest and other terrestrial ecosystem functions and services and/or (2) quantifying the effects of changes of land use and climate on various soil functions at local to global scales. Candidates should be interested in system-oriented multidisciplinary research and are expected to develop an innovative and internationally recognised research programme, making an important contribution to linking soil ecosystem services to land-use and climate change.

The successful candidate will have a strong background in soil sciences and demonstrated potential for innovative research. At the assistant professor level commitment to teaching and the ability to lead a research group are expected. Teaching duties will include advanced-level courses on the assessment, modelling or management of soil resources as part of the environment.

Assistant professorships have been established to promote the careers of younger scientists. ETH Zurich implements a tenure track system equivalent to other top international universities.

Please apply online at: www.facultyaffairs.ethz.ch

Applications should include a curriculum vitae, a list of publications, a statement of future research and teaching interests, and a description of the three most important achievements. The letter of application should be addressed to the President of ETH Zurich, Prof. Dr. Lino Guzzella. The closing date for applications is 31 August 2017. ETH Zurich is an equal opportunity and family friendly employer and is responsive to the needs of dual career couples. We specifically encourage women to apply.

Wie nützlich ist Grundlagenforschung?

Ulrich Nierste*

Grundlagenforschung ist von Neugier getrieben, wer sie betreibt hat keine praktische Anwendung seiner Wissenschaft vor Augen. Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler sind von der Faszination angetrieben, die Welt zu ergründen, und ein gelungenes Experiment oder eine erfolgreiche mathematische Berechnung produziert Glückshormone in ihren Hirnen. Wenn wir Grundlagenforscher mit Laien über unsere Wissenschaft sprechen, erleben wir oft, wie die Begeisterung überspringt; Wissenschaft fasziniert auch solche Menschen, denen ihre Methodik fremd ist und die ihre Ergebnisse nur diffus begreifen. Jedoch bin ich – und den meisten Leserinnen und Lesern wird es ähnlich ergangen sein – auch oft auf die Gegenfrage «Ach,...und wozu ist das gut?» gestossen.

Mein Arbeitsgebiet ist die Elementarteilchenphysik, die sich mit der Frage nach den kleinsten Bausteinen der Natur und den zwischen ihnen wirkenden Kräften widmet. Je mehr wir darüber wissen, desto besser verstehen wir die früheste Phase der Entwicklung des Universums, Sekundenbruchteile nach dem Urknall. Umgekehrt lehren uns Kosmologie und Astrophysik, dass in unserem Wissen über die Elementarteilchen und der sie regierenden Kräfte noch scheunentorgrosse Lücken klaffen: Das Universum ist voll von dunkler Materie, es gibt siebenmal so viel davon wie die verstandene sichtbare Materie, und von ihrer Beschaffenheit haben wir keinen blassen Schimmer. Und wenn wir die allgemein akzeptierten Theorien der Elementarteilchenphysik und Kosmologie ernst nehmen, dann müsste das Weltall komplett aus Strahlung bestehen, ohne einen einzigen Krümel Materie. Die Forschung zum Thema – ob auf der Erde oder im Weltall – erfordert Grossgeräte, die viele hundert Millionen Franken kosten, manchmal sogar einige Milliarden. Wer vom wissenschaftlichen Text dieses Absatzes nicht in den Bann gezogen ist, wird jetzt fragen: «Und was springt dabei raus?» oder «Wäre das Geld nicht besser woanders angelegt?». Sind solche Fragen ungehörig? Darf man sie achsel-

zuckend ignorieren? Ich meine, nein. Wissenschaft benötigt Geld, und wer Steuern bezahlt, darf nach dem Nutzen seines Beitrags fragen. Brisant wird das Thema, wenn der Fragesteller oder die Fragestellerin in politischer Verantwortung über die Verteilung von Steuergeld beschliesst. Kann man auf dieser Diskussionsebene als Wissenschaftler überhaupt die Grundlagenforschung verteidigen, oder wechselt man besser das Thema?

1. Politik und Forschung

Der Stellenwert von Grundlagenforschung in der Politik steigt und sinkt periodisch, als würde ein Pendel langsam zwischen den Extremen einer wissens- und einer anwendungsorientierten Forschungspolitik schwingen. Es ist lehrreich, einen Blick zurück auf solche Zeiten zu werfen, als Grundlagenforschung unter Rechtfertigungsdruck stand und Wissenschaft als Turbolader des Motors der Wirtschaft gesehen wurde. In Deutschland war die letzte Hochzeit dieser Sichtweise die Mitte der 1990er Jahre. Mein Blick zurück auf diese Zeit ist anekdotisch – ich erinnere an die Argumente, mit denen zum Halali auf die Grundlagenforschung geblasen wurde, und bringe in diesem und dem folgenden Abschnitt ein paar Beispiele für Fehlentwicklungen. Dass es solche gab und gibt, sorgt dafür, dass das Pendel immer wieder zurückschwingt. Wer mit einem skeptischen Steuerzahler oder einem allzu forschenden Forschungspolitiker diskutieren muss, findet diese Beispiele vielleicht – nun ja – nützlich.

Im Jahr 1994 hatte eine Kommission unter Vorsitz von Hartmut Weule, der für einen grossen deutschen Automobilkonzern arbeitete, dem deutschen Bundesforschungsminister ein Gutachten zur Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen Grossforschungseinrichtungen und Industrie vorgelegt. Im Visier hatte die Kommission dabei zwei Forschungszentren in Jülich und Karlsruhe und schlug vor, den Anteil anwendungsorientierter, projektbezogener Forschung in drei bis fünf Jahren von 30 auf bis zu 75 Prozent zu erhöhen. In der folgenden öffentlichen Diskussion wurde dann noch einmal mit dem Argument nachgelegt, dass in Deutschland die Steuern so hoch seien, dass die Industrie durchaus einen Anspruch darauf hätte, einen Teil der Abgaben durch Subventionierung der Forschung zurückzubekommen [1, 2]. Da fühlt man sich als steuergeldfinanzierter Wissenschaftler gleich ein bisschen schuldig...

Der deutsche Bundesbildungsminister Jürgen Rüttgers hatte 1997 die Idee, ein Patent einer Habilitation als

* Institut für Theoretische Teilchenphysik, Karlsruher Institut für Technologie, 76128 Karlsruhe, Deutschland.

E-mail: ulrich.nierste@kit.edu



Ulrich Nierste, Dr. rer. nat., wurde 2005 Professor an der Universität Karlsruhe, die 2009 im neu gegründeten Karlsruher Institut für Technologie (KIT) aufging. Sein Forschungsgebiet ist die Theoretische Elementarteilchenphysik. Er ist wissenschaftlicher Sprecher der Graduiertenschule KSETA, in der Promovierende aus Physik, Ingenieurwissenschaften und Informatik gemeinsam in der Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik forschen.

Qualifikationsnachweis für eine Professur gleichzusetzen und versprach sich davon einen «gewaltigen Innovationsschub» [3]. Der Vorschlag des gelernten Juristen offenbart gleich zwei naive Vorstellungen: vom Wesen eines Patentes und vom Anforderungsprofil an einen Professor. Ein Patent ist ein wirtschaftliches Schutzrecht – geschaffen, um Technologienentwicklung im privaten Sektor zu fördern; ein Prädikat einer bestimmten wissenschaftlichen Schöpfungshöhe ist nicht damit verbunden. Und aus einer Patentanmeldung eine Befähigung zu Forschung und Lehre abzuleiten, ist eine ziemlich steile These.

Im Geist der Zeit wurden wuchtige Grossprojekte angestossen, um das Land technologisch voranzubringen. Eines davon war der Supercomputer «Suprenum», der in einem Forschungsinstitut bei Bonn entwickelt und gebaut worden war. Das Ergebnis dieser staatlich gesteuerten Produktentwicklung war leider am Markt nicht wettbewerbsfähig und konnte sich gegen die kommerziellen US-Grossrechner nicht durchsetzen. Dieses – im Rückblick reichlich kuriose – Beispiel belegt die Binsenweisheit, dass der Staat sich besser umso weiter aus der wissenschaftlichen Wertschöpfungskette zurückziehen sollte, je näher man auf dem Weg von Erkenntnis zu Anwendung dem industriellen Endprodukt kommt. Trotzdem wird in Ministerien fleissig an der Förderung von «Schlüsseltechnologien» geplant.

Vor 1991 konnte man im Internet nur von Computer zu Computer kommunizieren, über den Austausch rudimentärer E-Mails (die noch nicht so hiessen), und das alles etwa mit dem Zeichensatz einer Schreibmaschine. Das Internet revolutioniert hat die Erfindung des World Wide Web (WWW) durch Tim Berners-Lee, der am europäischen Forschungszentrum für Elementarteilchenphysik, CERN, arbeitet. Das World Wide Web ermöglicht, viele Computer zu vernetzen und nicht nur Text, sondern auch Bilder auszutauschen. Es ist heute aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Entstanden ist es als Spin-off der Grundlagenforschung, als Antwort auf die Kommunikationsbedürfnisse von über Europa verteilten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern. Anwendungsorientierte Forschungsinstitute hatten die durch das World Wide Web gelösten Probleme auch auf ihren Radarschirmen, aber das CERN war schneller und besser.

2. Wissenschaft und Innovation

Reichen die genannten Beispiele aus, um Grundlagenforschung erfolgreich gegen die Begehrlichkeiten der Wirtschaft zu verteidigen? Sicherlich nicht. Es lohnt sich, über die Innovationsmechanismen der Wissenschaft genauer nachzudenken.

Der Arbeitsalltag der meisten Menschen besteht darin, Arbeitsaufträge auszuführen. Entsprechend stellen sie sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als Tüftler vor, die einen vorgegeben Entwicklungsauftrag umsetzen – also vielleicht einen Automotor verbessern oder Lösungen für gesellschaftliche Probleme wie die Luftverschmutzung durch Feinstaub lösen. Anwendungsorientierte Forschung mag diesem Bild in Teilen entsprechen, aber Grundlagenforschung funktioniert komplett anders: Anstelle des Ziels wird eher (z.B. über die Festlegung der Methodik) der Weg vorgegeben; die Leitlinie ist die Vermehrung des Wissens und – das ist der wichtigste Aspekt – das Ergebnis ist oft völlig ungeplant und unerwartet.

Um das Jahr 1865 hatten sich die Mathematiker Alfred Clebsch und Paul Gordan an der Universität Giessen mit einem recht abstrakten mathematischen Problem beschäftigt – der sogenannten Darstellungstheorie der Drehgruppe. Sechzig Jahre später flossen diese Ergebnisse in die Quantenmechanik ein, und inzwischen lernt jeder Physikstudent auf der ganzen Welt Clebsch-Gordan-Koeffizienten, um den Drehimpuls in der Quantenphysik zu verstehen. Hier hat also mathematische Grundlagenforschung eine Anwendung in der Physik gefunden – und zwar in einem Zweig, der seinerzeit selbst nur Grundlagenforschung war. Von der Rolle der Quantenmechanik für die moderne Technik muss nun niemand mehr überzeugt werden. Ohne Quantenmechanik gäbe es heute nicht ein einziges elektronisches Gerät.

Die Wissenschaftsgeschichte ist voll von Beispielen, wie Grundlagenforschung technische Basisinnovationen befördert hat, und wir bringen dieses Argument gern und häufig vor in den Debatten um die Finanzierung unserer Forschung [4]. Meine Lieblingsanekdote zum Thema ist ein Bonmot von Michael Faraday, der vom britischen Schatzkanzler einmal nach dem praktischen Nutzen seiner Forschung über Elektrizität gefragt wurde und geantwortet hat: «Sir, eines Tages werden Sie Steuern darauf erheben.»

Ist das Argument mit der Basisinnovation ein Joker, der immer sticht? Wenn die Zeitskalen zwischen Grundlagenforschung und technischer Anwendung zu gross werden, ist das Argument für einen Minister oder eine Universitätsrektorin uninteressant. Neue Erkenntnisse über das Higgs-Teilchen werden zu meinen Lebzeiten Mikroelektronik, Materialforschung oder Maschinenbau definitiv nicht voranbringen.

Warum wurde das World Wide Web am CERN erfunden und nicht in den anwendungsorientierten Forschungsinstituten der Informatik? Ich denke, dass er

kenntnisorientierte Grossforschung über einzigartige Innovationsmechanismen verfügt.

(a) Der erste Mechanismus ist eine Folge von Grösse und Komplexität der Projekte: An einem Grossexperiment arbeiten hunderte, manchmal sogar mehrere tausend Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusammen. Kluge Menschen neigen zum Individualismus; das gemeinsame Ziel, Natur und Kosmos zu verstehen, führt jedoch zu kohärenter Zusammenarbeit und einem Mehrwert aus Vernetzung und effektiver Arbeitsteilung unter den Forscherinnen und Forschern der beteiligten Universitäten.

(b) Der zweite Mechanismus entspringt dem Zwang zur Interdisziplinarität. Die Entwicklung der wissenschaftlichen Grossgeräte bringt Naturwissenschaftler mit Elektroingenieuren, Maschinenbauingenieuren, Informatikern und Informationswissenschaftlern zusammen. An der Karlsruher Graduiertenschule KSE-TA haben wir diese Interdisziplinarität erstmals in ein Konzept einer strukturierten Promovierenden-Ausbildung überführt. Zu Beginn hatten wir die Sorge, dass wir zu wenige junge Ingenieure anziehen würden. In einer Umfrage fragten wir nach ihren Motiven, in der Grundlagenforschung zu arbeiten. Eine Antwort war, dass es interessanter sei, ein Grossgerät der Grundlagenforschung mit zu entwickeln, «als Regensensoren für die Automobilindustrie». Unsere Sorge war unbegründet gewesen; interessanterweise zogen wir besonders viele Ingenieurinnen an. Das Besondere an den technologischen Herausforderungen der Grundlagenforschung ist, dass es nicht ausreicht, den Status Quo inkrementell zu verbessern, sondern dass die zu bauende experimentelle Anlage die Zielmarke für die Technologieentwicklung setzt. Das erzwingt oft einen Technologiesprung, der nur über einen originellen neuen Weg erreichbar ist.

(c) Der dritte Mechanismus hängt mit der Dynamik des Wandels in der Grundlagenforschung zusammen: Mit jedem Ende eines Grossprojekts findet eine Umorientierung der beteiligten Wissenschaftler statt, Universitätsgruppen schliessen sich neuen Experimenten an und vor allem werden die jungen, motivierten Universitäts-Absolventen in die modernsten Experimente gezogen. Neue Grosseperimente können nur umgesetzt werden, wenn sie sich in einer scharfen internationalen Konkurrenz gegen andere Ideen durchgesetzt haben. Der Fokus der Forschung ändert sich dabei kontinuierlich, weil gewonnene Erkenntnisse immer neue wissenschaftliche Fragen aufwerfen. Beispielsweise haben um die Jahrtausendwende teure Satelliten-Experimente den Anteil dunkler Materie am Energiehaushalt des Universums zweifelsfrei bestimmen können. Diese Entdeckung hat ter-

restrische Teilchenphysik-Experimente angestossen, die herausfinden wollen, wie dunkle Materie mit der bekannten sichtbaren Materie wechselwirkt. Grundlagenforschung hat also eine innere Dynamik, die dem Konzept «Das Bessere ist der Feind des Guten» folgt.

Um diesen dritten Mechanismus schätzen zu lernen, lohnt sich ein Vergleich mit anwendungsorientierter, durch ein technisches Ziel definierter Forschung: Im Jahr 1924 wurde an der Technischen Universität München ein Lehrstuhl für die Entwicklung von Landmaschinen eingerichtet. Dieser Entschluss war völlig plausibel, Deutschland konnte seine Bevölkerung nicht ohne Nahrungsmittelimporte ernähren und der Aussenwert seiner Währung war schwach. In der Nachkriegszeit sank nicht nur der Anteil der Landwirtschaft an der Volkswirtschaft stetig, in der Europäischen Gemeinschaft kam es sogar zur Überproduktion von Agrarprodukten, auf die mit Preis- und Mengenregulierung, allerlei Subventionsregeln und sogar der Vernichtung von Lebensmitteln geantwortet wurde. Die staatliche Forschung zu Traktoren (mit immer ausgefeilteren Schaltgetrieben) in München wurde nun mit dem Technologietransfer in die lokale Wirtschaft begründet. In den 1990er Jahren, als mir die Landmaschinenforschung ins Auge fiel, erschien mir die Auswahl des Forschungsgegenstandes willkürlich. Warum richtet der Staat dann nicht auch Lehrstühle für Nähmaschinen oder Rasenmäher ein? Immerhin hat der Lehrstuhl bis 2003 überlebt. Das Beispiel zeigt, dass ein Mechanismus fehlt, um alte Zöpfe abzuschneiden: Ist eine Technologie nicht mehr Avantgarde, so hat ihre Förderung immer noch dadurch ihre Berechtigung, dass sie einen Mosaikstein der lokalen Wirtschaft etwas heller leuchten lässt. Ein anderes Beispiel ist eine Grossforschungseinrichtung in Geesthacht bei Hamburg, deren Auftrag die Entwicklung des nuklearen Schiffsantriebs war. 1968 wurde dann das mit einem Kernreaktor angetriebene Frachtschiff «Otto Hahn» in Dienst gestellt. Internationale Regeln für die Seefahrt mit nukleargetriebenen Schiffen wurden nie erlassen, und die Kernenergie auf See hat sich – zum Glück – nicht durchgesetzt. Die Geesthachter Grossforschungseinrichtung musste sich radikal umstellen. In der gleichen Zeit ist das benachbarte Hamburger Grossforschungszentrum DESY, das sich der Grundlagenforschung widmet, zu einem internationalen Leuchtturm geworden.

Die Innovationen der Elementarteilchenphysik entstehen über Spin-off, sie bauen nicht auf ihren Erkenntnissen auf, sondern entspringen ihrer Methodik. Eine enge Verflechtung besteht zur Medizintechnik; Technologien der Teilchenphysik werden zur Krebstherapie und zur Diagnostik (z.B. bei der Posi-

tron-Elektron-Tomografie) eingesetzt. Andere Spin-offs betreffen schnelle Elektronik oder die Verarbeitung grosser Datenmengen. Einer meiner Karlsruher Kollegen ist ein Pionier der Entwicklung sogenannter neuronaler Netze – das sind Software-Algorithmen, die der Funktionsweise des menschlichen Gehirns nachempfunden sind. Ausgangspunkt war die Analyse von Elementarteilchenkollisionen, das zu lösende Problem ist dabei die Identifizierung weniger interessanter «Signal»-Ereignisse in einer Flut langweiliger «Untergrund»-Ereignisse. Das wird gern mit der Suche nach der sprichwörtlichen Stecknadel im Heuhaufen verglichen. Aber Signale möglicher neuer Naturgesetze sind unendlich viel spannender als die komplett sinnfreie Stecknadel im Heuhaufen! Der Spin-off dieser Forschung ist eine Firma, die diese Software-Algorithmen auf Probleme der Wirtschaft anwendet, dabei geht es um das Optimieren von Unternehmensprozessen nach dem Durchforsten riesiger Daten-Heuhaufen mit den erwähnten Software-Algorithmen. Die Firma hat heute über 100 Mitarbeiter – die meisten sind gelernte Elementarteilchenphysiker – und wächst rasant.

3. Wissenschaft und Gesellschaft

Am 22. April dieses Jahres fand auf der ganzen Welt der March for Science statt. Den Anlass bildete das Erstarken einer politischen Strömung in den USA, die wissenschaftliche Erkenntnisse der Klimaforschung zu blossen Meinungsäusserungen herabstufte und sie auf eine Stufe mit unbewiesenen Mutmassungen stellt. Etikett dieses Trends ist die Wortschöpfung der «alternativen Fakten». Der nationale Haushaltsentwurf des Präsidenten sieht zudem massive Kürzungen für fast die gesamte Wissenschaft vor. Der Protest der Wissenschaft und ihrer Unterstützer richtete sich dabei nicht nur gegen die konkreten Folgen der neuen US-Politik für staatliche geförderte Forschung, sondern auch um die generelle Infragestellung der wissenschaftlichen Wahrheitsfindung, griffig zusammengefasst in dem Slogan «*There are no alternatives to facts*».

Zur Naturwissenschaft gehören in der Tat unterschiedliche Meinungen und zivilisierter Streit. Anders als in der Politik ist der Meinungsstreit jedoch nicht Ausdruck widerstreitender (in der Regel materieller) Interessen, sondern dient der Wahrheitsfindung. Am

Ende des politischen Streits steht idealerweise ein Interessenausgleich zwischen den streitenden Parteien; der wissenschaftliche Streit hingegen endet mit der Identifizierung der Wahrheit; es geht dabei schlicht um wahr oder falsch. Grundpfeiler der wissenschaftlichen Methodik sind dazu die Definition eines *experimentum crucis*, das zwischen konkurrierenden Hypothesen diskriminiert, und das Grundprinzip, Schlüsse nur auf der Basis von Logik und Fakten zu ziehen. Die Aufklärung hat nicht nur die Wissenschaft begünstigt, die Naturwissenschaft hat auch umgekehrt die Entwicklung der aufgeklärten Gesellschaft befördert: Keplers, Galileis und Newtons Entdeckung, dass die Bewegung der Planeten allgemeingültigen mechanischen Gesetzen unterliegt, entzog astrologischem Aberglauben jede rationale Basis. Benjamin Franklin wies nach, dass Blitze ein elektrisches Wetter-Phänomen sind, dessen Unbill man sich mit einer simplen Eisenstange erwehren kann. Damit waren Mutmassungen über zornige blitzeschleudernde Götter als *fake news* entlarvt.

Das Wechselspiel aus empirischer Faktenfindung und logischer Deduktion bestimmt jedoch nicht nur die wissenschaftliche Wahrheitsfindung, sondern prägt die Debattenkultur auch in juristischen und politischen Auseinandersetzungen. Solange Empirik und Logik über Verschwörungstheorien und fake news triumphieren, werden unsere Gesellschaften stabil bleiben und sich weiterentwickeln. Dieser Spin-off der Naturwissenschaft ist wertvoller als die wirtschaftlichen Anwendungen, die ich in den vorherigen Abschnitten beschrieben habe.

Die Autorität der Grundlagenforschung beruht nicht zuletzt darauf, dass sie nicht von Interessen geleitet ist. An Grossforschungseinrichtungen wie dem CERN arbeiten junge Menschen aus allen Kulturkreisen der Welt und Staaten mit verschiedenen politischen Systemen. Sie entwickeln dennoch denselben Blick auf ihre Arbeit und dann auch oft auf die Welt jenseits der Wissenschaft. In einer Zeit, in der sich immer mehr Menschen ihre Meinung in Internetblasen aus alternativen Fakten bilden, bietet Wissenschaft die Leitlinien der Vernunft. Staatliche Investitionen in erkenntnisorientierte Wissenschaft stärkt Zivilgesellschaft und Volksverständigung. Das ist aus meiner Sicht der grösste Nutzen von Grundlagenforschung. ■

Literatur

- [1] G. Hartmut Altenmüller, 'Anwendungsorientierte Grundlagenforschung' — wird der Bastard Hätschelkind? in: Spektrum der Wissenschaft, 1. September 1994.
- [2] Christoph Droesser, Mammuts, wollt ihr ewig leben? in: Die ZEIT, 15. November 1996.
- [3] André Uzulis, Rüttgers will Patente Habilitationen gleichsetzen Professoren sollen 'leistungsgerecht' bezahlt werden in: Welt am Sonntag, 30.03.1997.
- [4] Res Jost, Das Märchen vom elfenbeinernen Turm, Springer, Berlin, 1995.

Grundlagenforschung und Angewandte Forschung: Ist diese Trennung hilfreich?

Andreas Gerber-Grote*

Die Aussagen sind ausschliesslich jene des Autors. Dieser dankt Suzana Atanasoski und Martin Jaekel für ihre wertvollen Hinweise.

Einleitung

Wenn es überkommene oder anders formuliert «klassische» Einordnungen, Einteilungen oder Trennungen in der Wissenschaft gibt, ist mein Ansatz als Wissenschaftler zu untersuchen, wozu sie dienen, und zu entscheiden, ob sie hilfreich oder schädlich sind. Manche Einteilung, die objektiv wirkt, lässt sich auch soziologisch, philosophisch und machtpolitisch analysieren. So beruht beispielsweise die Abgrenzung ärztlicher Tätigkeiten von dem, was Pflegefachpersonen oder Hebammen mit einer entsprechenden Ausbildung leisten können, auch auf Aspekten von Machtausübung und dem Schutz von Pfründen und folgt nicht immer nachvollziehbaren Argumenten. Ähnlich geht es mir bei den Begriffen Grundlagenforschung und anwendungsorientierte Forschung: Wie stark ist die Einteilung nur den Interessen verschiedener Akteure geschuldet, ihren Zugang zu Fördertöpfen abzusichern? Dem möchte ich anhand folgender Fragen nachgehen:

- 1) Wie definieren sich Grundlagenforschung und anwendungsorientierte Forschung?
- 2) Wo haben diese Begriffe in der Vergangenheit Sinn ergeben?
- 3) Ergibt die Einteilung nach wie vor Sinn?

Vorliegender Essay stammt nicht von einem Wissenschaftstheoretiker – ich möchte mich an die Fragestellungen herantasten. Aus den Antworten leite ich ein Fazit zur aktuellen Einteilung der akademischen Lehre in drei verschiedene Hochschultypen der Schweiz (Universitäten und Eidgenössische Technische Hochschulen UHS, Fachhochschulen FHS, Pädagogische Hochschulen PHS) mit unterschiedlichen Fächern und heterogener Forschung ab.

1. Wie definieren sich Grundlagenforschung und anwendungsorientierte Forschung?

Diese Unterscheidung hat sich eingebürgert. Dabei obliegt es der Grundlagenforschung, allgemeine Phänomene, Zusammenhänge oder sogenannte Gesetzmässigkeiten zu ergründen. Das kann die Erforschung von Organismen in der Mikrobiologie oder des menschlichen Verhaltens in den Sozial- und Geisteswissenschaften umfassen. Von der Grundlagenforschung wird behauptet, sie speise sich aus reinem, sprich zweckfreiem Interesse an der Erkenntnis und dem Wunsch, das aktuelle Wissen zu erweitern.

Anwendungsorientierte bzw. angewandte Forschung, auch Zweckforschung genannt, gibt Antwort auf ein Problem aus der Praxis. Zudem wird sie durch die direkte Nutzung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten charakterisiert, da die Ergebnisse in (technische) Entwicklungen einfließen. Teilweise wird die angewandte Forschung unterteilt in Verfahrens- und Produktforschung. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die dieser Einteilung folgen, betonen, dass Ergebnisse der Grundlagenforschung ihrer Ansicht nach als Grundlage für eine (zeitlich) nachgeordnete angewandte Forschung dienen und die Anwendung nicht im Fokus steht.

Dieser binären Einteilung wurde die translationale Forschung bzw. die anwendungsorientierte Grundlagenforschung beigelegt. Auch der SNF hat zur Forschungsförderung vor einigen Jahren diese Kategorie eingeführt. Die «angewandte Grundlagenforschung» bemüht sich ebenfalls um die Genese neuen Wissens, wobei aber erwartet wird, dass die Ergebnisse zur Lösung von gegenwärtigen oder zukünftigen

* ZHAW Gesundheit, Technikumstrasse 71, 8400 Winterthur.

E-mail: andreas.gerber-grote@zhaw.ch



Andreas Gerber-Grote, Dr. med., evangelischer Theologe, Arzt und Gesundheitsökonom, ist seit Mai 2016 Direktor des Departements Gesundheit und zudem seit 2017 Ressortleiter Forschung und Entwicklung an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW). Zuvor war er sechs Jahre Leiter des Ressorts Gesundheitsökonomie am deutschen Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen (IQWiG) in Köln. Er ist habilitiert für die Fächer Gesundheitsökonomie und Versorgungsforschung und lehrt als Privatdozent an der Universität Köln. Schwerpunkte seiner Forschungen liegen neben methodischen Fragen der Gesundheitsökonomie in den Gebieten Versorgung von Kindern und Jugendlichen, Ungleichheit in der Versorgung und Entwicklung von Versicherungsmodellen. Aktuell hat er eine randomisiert kontrollierte multizentrische Studie zu Hippotherapie für Patientinnen und Patienten mit Multipler Sklerose abgeschlossen. International wirkt Gerber-Grote als Schatzmeister von EPA/UNEPSA, dem Dachverband aller nationalen Gesellschaften für Pädiatrie der WHO-Region Europa, um Public Health, Versorgungsforschung und Rechte der Kinder auf kindgerechte Gesundheitsversorgung und Entwicklungschancen zu stärken.

gen praktischen Problemen beitragen können.»¹ In Abgrenzung zur angewandten Forschung wird dieser Zeithorizont mit fünf bis zehn Jahren angegeben.

Dass einer binären Einteilung ein Drittes beigefügt wird, signalisiert schon, dass die Einteilung Grenzen hat. Zudem löst diese holzschnittartige Trennung zunehmend Unbehagen aus, wie beispielsweise Jane Calvert und Ben R. Martin in einer Interviewstudie zeigen. Sie haben sich der Frage gewidmet, was Forschende meinen, wenn sie von «*basic research*» sprechen. Sie kamen zu einem für manche ernüchternden Ergebnis: «*This is preliminary evidence that most scientists and policy officials do not have one clear idea about what basic research is, but that they draw on many different features when describing the term. The diversity of ways in which basic research is defined in practice shows that it is ambiguous and has different meanings for different individuals, and that it can potentially incorporate a range of different characteristics.*»²

Zudem zeigen die folgenden Beispiele, dass sich die Wissenschaftspraxis oft gegen die scheinbar klare Einteilung sperrt. Wenn ich an die molekularbiologische Forschung denke, gehört sicherlich die Isolierung von DNA oder die Entwicklung einer Polymerase-Kettenreaktion (PCR) zur Grundlagenforschung, aber diese Methoden oder Verfahren werden wiederum an einer konkreten Fragestellung respektive einem Anwendungsbeispiel durchgeführt. In diesem Fall betonen Befürworter der tradierten Einteilung, dass die Ausgangsfrage das entscheidende Kriterium sei. So folge auf die Fragestellung: «Wie komme ich zum Mond?» ein anderer Prozess, der zwar auch mögliche «Grundlagenforschung» umfasse, aber letztlich auf ein Anwendungsziel ausgerichtet sei. Demgegenüber führe die Ausgangsfrage, ob ein Material biegsam sei, zu einer Untersuchung ohne konkretes Anwendungsziel. Diese Argumentation kann aber auch bewirken, dass ganze Wissenschaftsbereiche den Kategorien Grundlagen oder Anwendung zugeordnet werden. Ein Beispiel: Wenn bei der historischen Aufarbeitung einer Biografie die Erweiterung des Wissens im Vordergrund steht, wäre es Grundlagenforschung, auch wenn den Methoden der historischen Wissenschaft nichts hinzugefügt

würde. Umgekehrt gilt ein neues Verfahren zur Aufskalierung von Zellkulturen, das als Lösung für ein konkretes Problem in Auftrag gegeben wurde, *per se* als Anwendungsforschung.

Im Übrigen bleibt die Frage unbeantwortet, wo genau die Trennlinie zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung liegt. Oder liegen beide auf einem Kontinuum? Nur in den seltensten Fällen finden wir eine Reinausprägung. Die *American Chemical Society* konstatiert, dass es keine klare Trennlinie zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung gebe. Viel eher würden sich beide überlappen, etwa wenn sich mit neu entdeckten Materialien praktische (technische) Probleme lösen liessen. Umgekehrt könnten auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der angewandten Forschung die Grundprinzipien untersuchen, die einem Produkt zugrunde lägen. Letztlich würden sie ein Problem klarer beschreiben oder ein System entwerfen, wodurch Materialien entwickelt werden könnten, die erfolgreich bestimmte Funktion erfüllten.³

2. Wo haben diese Begriffe in der Vergangenheit Sinn ergeben?

Dass der Streit nicht neu ist, belegt das Zitat von Louis Pasteur aus dem Jahr 1871: «*Non, mille fois non, il n'existe pas une catégorie des sciences auxquelles on puisse donner le nom de sciences appliquées. Il y a la science et les applications de la science, liées entre elles comme le fruit à l'arbre qui l'a porté.*»⁴ Erneut ist die Diskussion nach dem 2. Weltkrieg in den USA entflammt mit dem Bericht «*Science – The Endless Frontier. A Report to the President on a Program for Postwar Scientific Research*» von Vannevar Bush – zunächst 1945 erschienen und dann 1960 erneut gedruckt. Roger Pielke Jr schreibt in diesem Zusammenhang über Vannevar Bush: «*In particular, he broadened the meaning of the phrase 'basic research'. In using it to refer simultaneously to the demands of policymakers for practical innovation and to the interests of scientists in curiosity-driven enquiry, he satisfied both sectors.*» Im Zentrum steht für Pielke dabei die Frage nach dem Verhältnis zwischen den Interessen der Politik, messbare und umsetzbare Ergebnisse für das «Wohl» einer Bevölkerung zu erhalten, und den Interessen von Forschenden, möglichst frei ihre Themen wählen zu können. «*Words alone cannot bridge the gap between the different interests of scientists and politicians in pursuing research: govern-*

¹ Kramer, Frieder & Schmoch, Ulrich (2004) *Zur Bedeutung der angewandten Grundlagenforschung – Ergebnisse einer schriftlichen Befragung bei Fraunhofer-Instituten*. Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Karlsruhe http://www.isi.fraunhofer.de/jisi-wAssets/docs/p/de/diskpap_innosysteme_policyanalyse/discussionpaper_04_2004.pdf (19.6.2017)

² Calvert, Jane & Martin, Ben R. (2001) *Changing Conceptions of Basic Research*. In: <http://www.oecd.org/science/sci-tech/2674369.pdf> (6.5.2017)

³ American Chemical Society (2017) *Basic Research* In: <https://www.acs.org/content/acs/en/careers/college-to-career/chemistry-careers/basic-research.html> (31.5.2017)

⁴ Pasteur, Louis (1871) *La science en France; Pourquoi la France n'a pas trouvé d'hommes supérieurs au moment du péril?* In: *La Revue Scientifique de la France et de l'Étranger*. 2^e Série, 1^{re} Année, S. 73–77.

*ments demand relevance; scientists desire freedom. The so-far futile search for a language that is relevant today both reflects and reinforces the unsettled nature of science policy. In the six decades since Science – The Endless Frontier was written, research and policy have been transformed. Our framework for discussing both needs to catch up.»⁵ Also auch mit Blick auf die Forschungspolitik äussert sich Roger Pielke Jr kritisch zum überkommenen Begriff des «*basic research*».*

Möglicherweise fliessen auch noch andere Aspekte oder Kriterien ein, wenn von Grundlagenforschung gesprochen wird. Universitäten sollen als Horte der unabhängigen zweckfreien Forschung – als Ideal also – dem verzweckten industrie- oder staatsgesteuerten Forschen gegenübergestellt werden.

Hier jedoch ist ein Wandel zu verzeichnen, wie Jane Calvert und Ben R. Martin auf der Basis von Interviews mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern so treffend zusammengefasst haben: «*To summarise, the history of the funding of basic research from the 1950s to the 2000s has shown a move away from the idea that scientists should be supported as autonomous truth-seekers towards the idea that they should orient their work rather more toward social and economic objectives. Simply put, there has been a parallel decline in autonomy and an increase in accountability.»⁶*

3. Ergibt die Einteilung heute noch Sinn?

Idealisiert wird die Existenz des freien Grundlagenforschers 1953 in einem nationalen Bericht der US National Science Foundation beschrieben: «*A worker in basic scientific research is motivated by a driving curiosity about the unknown. When his explorations yield new knowledge, he experiences the satisfaction of those who first attain the summit of a mountain or the upper reaches of a river flowing through uncharted territory. Discovery of truth and understanding of nature are his objectives. His professional standing among his fellows depends upon the originality and soundness of his work. Creativeness in science is of a cloth with that of the poet or painter.»⁷*

Sicherlich geht es in den Wissenschaften, insbesondere nach 1945, auch um die Frage nach der Verzweckung von Wissenschaft. Dürrenmatt skizziert in «Die Physiker» mit der Hauptfigur Johann

Wilhelm Möbius einen völlig freien Grundlagenforscher. Möbius hat eine Weltformel entwickelt, die unmittelbar zur Vernichtung der Welt herangezogen werden kann und damit der Verzweckung unterliegt. Das reine Erkenntnisinteresse als Charakteristikum des Grundlagenforschers ist aus meiner Sicht eine Fiktion – nicht zuletzt, weil auch Grundlagenforschung langfristig einem Zweck dient, z. B. der Verlängerung des menschlichen Lebens, der Heilung von Krebs oder anderer tödlicher Krankheiten. Ich möchte hier nicht missverstanden werden: Ich plädiere sehr wohl für eine Unabhängigkeit der Forschung. Darüber hinaus muss Wissenschaft auch kritische Inhalte vorbringen, z. B. im ethischen Diskurs bei der Forschung an und mit Patientinnen und Patienten.

Grundlagenforschung führt zu Erkenntnissen, für die es derzeit (noch) keine direkte Anwendung gibt, weil in weiteren Schritten zu klären ist, wie zum Beispiel ein Prinzip, Antikörper in eine Zelle einzuschleusen, auf den Menschen angewandt werden kann oder im System Mensch zu unvorhersehbaren (negativen) Folgen führt. Gerade kürzlich wurde entdeckt, dass die Raupen von *Galleria mellonella* Polyethylen-Plastik zersetzen können. Bei diesem Phänomen geht es nun zunächst darum, das entsprechende Enzym zu isolieren und näher zu beschreiben. Letztlich ist das Ziel aber, den Berg an Plastikmüll zu reduzieren. Grundlagenforschung kann also sehr wohl zweckgebunden sein, wenn es beispielsweise darum geht, Krebs zu bekämpfen.

Aus dieser Argumentation folgt, dass die Einteilung in angewandte Forschung hier und Grundlagenforschung da oft keinen Sinn mehr ergibt. Sie ist zudem grundsätzlich unscharf und, wie Beispiele belegen, nicht durchgängig haltbar. Darüber hinaus steht sie im Zeichen einer bestimmten Zeit, die das Idealbild des autonomen Forschers zelebriert; letztlich eine romantisierende Idee. Entscheidend ist zudem, dass sich die Unterscheidung für viele Disziplinen nicht anwenden lässt, wie etwa in der Kunst bzw. Kunstgeschichte oder in der Musikwissenschaft, aber auch in der medizinischen Wissenschaft.

Wenn es schliesslich um die Frage der Forschungsförderung an verschiedenen Typen von Hochschulen geht, die sich entweder um Grundlagen- oder um angewandte Forschung bemühen sollen, wäre die Einteilung auch nur in wenigen ausgewählten Ländern hilfreich. Denn viele der in der Schweiz an FHS angebotenen Disziplinen werden in anderen Ländern auf universitärem Niveau gelehrt, so beispielsweise die Pflege- und Hebammenwissenschaften in den angelsächsischen und skandinavischen Ländern.

⁵ Pielke Jr, Roger (2010) *Retrospect: Science — The Endless Frontier*. In: *Nature* 466, S. 922–923.

⁶ Calvert, Jane & Martin, Ben R. (2001) *Changing Conceptions of Basic Research*. In: <http://www.oecd.org/science/sci-tech/2674369.pdf> (6.5.2017)

⁷ National Science Foundation (2014) *What is basic research?* In: https://www.nsf.gov/pubs/1953/annualreports/ar_1953_sec6.pdf (7.5.2017)

Hier lässt sich die Einteilung einiger Forschungsförderungseinrichtungen in Grundlagenforschung an den UHS und angewandte Forschung an den FHS nicht durchhalten. Zudem gäbe es für Fächer wie Ergotherapie oder Physiotherapie nach diesem Prinzip in der Schweiz keine Grundlagenforschung, da sie nur an FHS vertreten sind.

Wie sich anhand von Spin-Offs, Projekten mit der Industrie und Publikationen ablesen lässt, haben sich die UHS weit in den Kuchen der angewandten Forschung hineingefressen. Für mein Fach, die Versorgungsforschung, kann ich das bestätigen: Viele Fragestellungen, die an den Universitäten in Deutschland und in der Schweiz untersucht werden, sind Probleme der Praxis – so zum Beispiel die Versorgung chronisch kranker Menschen in sogenannten *Disease Management*-Programmen. Da fragt man sich, ob *the proof of concept* nun der Grundlagenforschung dient, während die Umsetzung auf anderen Gebieten – etwa von Diabetes mellitus auf Herzinsuffizienz – als angewandte Forschung gilt. Oder ist *the proof of concept* schon angewandte Forschung, da sich ein neues Versorgungsmodell nur konkret an einer Krankheit oder einer Gruppe von Patientinnen und Patienten untersuchen lässt? Geht es letztlich also um die Verteilung der Mittel, die scheinbar sauber der Grundlagenforschung (UHS) und der Anwendungsforschung (FHS und PHS) zugeordnet werden können? Dient die Trennung aktuell in der Schweiz etwa nur der Besitzstandwahrung?

In der evidenzbasierten Medizin gibt es eine andere Möglichkeit, die Testung des Prinzips und der Umsetzung voneinander zu unterscheiden: *efficacy* als grundsätzlich erwiesene Wirksamkeit und *effectiveness* als tatsächliche Wirksamkeit im Alltag. Studien⁸, die belegen, dass eine Intervention Herzinfarkten vorbeugt, so z. B. sportliche Bewegung⁹, würden als *efficacy*-Studien gelten: Sie sind ein *proof of concept*. Soll diese Massnahme dann in einer Bevölkerung verbreitet werden, sind weitere Studien bzw. die Erhebung von Daten zur *effectiveness* notwendig, um herauszufinden, wie die Massnahme umzusetzen wäre. Denn gerade in der Präventionsforschung zeigt sich, dass Ideen in der Praxis oft nicht umsetzbar sind. So weiss man zwar, dass Fahrradfahren präventiv gegen Herzinfarkt hilft; im

Alltag mangelt es dann aber an Fahrradwegen oder Duschen in Büros. Und in manchen Wissenschaften lassen sich Grundlage und Anwendung schlicht nicht voneinander trennen: Das Deutsche *Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen* (IQWiG) als unabhängiges technologiebewertendes Institut im Gesundheitswesen hat auf Fragen der Entscheidungsträger im Gesundheitswesen zu konkreten Themen neue statistische Lösungswege beschrieben. So ist bspw. das *Peto Odds ratio* das Effektmass, wenn in Meta-Analysen – also mathematischen Zusammenfassungen von Ergebnissen aus Einzelstudien zu einer Fragestellung – Studien mit binären Endpunkten untersucht werden, für die nur wenige Ereignisse vorliegen (so z.B. sehr wenige schwere Schlaganfälle). Im Fall sehr grosser Behandlungseffekte oder unbalancierter Gruppengrössen ist das *Peto Odds ratio* allerdings deutlich verzerrt gegenüber dem wahren *Odds ratio*. Man hat nun untersucht, unter welchen Bedingungen das *Peto Odds ratio* als Effektmass zu solchen Meta-Analysen herangezogen werden kann.¹⁰

Generell hat sich die Hochschullandschaft verändert. Ursprünglich wurde Forschung an den Universitäten betrieben, und zwar ganz überwiegend Grundlagenforschung. Später kamen die Technischen Hochschulen dazu, welche Forschende und Ingenieure für die Industrie ausbilden sollten, und noch später die Fachhochschulen, zunächst ohne ein Forschungsmandat. Jetzt ist es ausgesprochener politischer Wille, dass auch an FHS und PHS geforscht wird, wobei die Rahmenbedingungen für dieses Ziel noch verbesserbar sind. Und selbst wenn man die Grenzen von Grundlagen- und angewandter Forschung beibehalten möchte, zeigt sich heute mehr denn je, dass gute Forschende diese Grenzen ständig überschreiten: in ihren Projekten und in ihrer Zusammenarbeit mit anderen Forschenden oder Unternehmen.

Fazit

Letztlich ist es also (auch in der Schweiz) eine politische Frage, die beantwortet werden muss: Wer soll wie viel Geld für Forschung bekommen? Ich denke, angesichts der Probleme, welche die Begriffe Grundlagenforschung und anwendungsorientierte Forschung aufwerfen, sollten wir uns jenseits dieser wenig hilfreichen Einteilung darauf einigen, nach welchen Kriterien Forschung zukünftig gefördert werden kann, die den anerkannten internationalen Kriterien im jeweiligen Fachgebiet folgt.

⁸ Nachzulesen z. B. bei Gerber-Grote, Andreas, Zhou, Min, Eikermann, Michaela & Lhachimi, Stefan K. (2014) *Evidenzbasierte Medizin und Health Technology Assessment*. In: Roeder, Norbert, Hensen, Peter & Franz, Dominik (Hrsg.) *Gesundheitsökonomie, Gesundheitssystem und öffentliche Gesundheitspflege*. Ein praxisorientiertes Kurzlehrbuch. Deutscher Ärzteverlag, Köln, S. 223–38.

⁹ Bspw. Wang, Y., Li, M., Dong, F., Zhang, J. & Zhang, F. (2015) *Physical exercise-induced protection on ischemic cardiovascular and cerebrovascular diseases*. *Int J Clin Exp Med* 15(8), S. 19859–66.

¹⁰ Brockhaus, Anne C., Bender, Ralf & Skipka, Guido (2014) *The Peto odds ratio viewed as a new effect measure*. In: *Stat Med.* 33(28). S. 4861–74. doi: 10.1002/sim.6301.

Eine hilfreiche Einteilung könnten die Forschungsrahmenprogramme der EU bilden, die *challenge driven calls, targeted research* etc. unterscheiden. Auch im Rahmen von *Horizon 2020* wird Forschung in einem Kontinuum gesehen, in das sich Forschende mit ihren Projekten einordnen können: von der noch ohne Anwendungsziel betriebenen Forschung

bis zur Forschung, die sich an der Marktreife orientiert. Und wenn es gemeinsames Ziel aller Schweizer Hochschulen ist, eine möglichst starke Vertretung in EU-Forschungsprojekten zu haben, dann könnte dies auch Vorbild für die Zuteilung der Forschungsförderung in der Schweiz sein. ■

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 Begriffsstandards 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 Wettläufe 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 Otts 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) präsierte 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 hohem 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 ausgeklügelte 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 Gastland 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 kleinformatiges 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 Beizug 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 (μ^+) als mikroskopische Sonden für Untersuchungen kondensierter Materie eingesetzt, insbesondere zur Messung interner Magnetfelder in entsprechenden Probenmaterialien. Bei diesem Einsatz der Müonen wird nicht, wie bei Neutronen, der Teilchen/Wellen-Dualismus ausgenutzt. Die μ^+ -Teilchen haben eine relativ kurze Lebensdauer und erleiden nach ca. 2 μ s einen β -Zerfall. Das beim Zerfall entstehende Positron wird entlang der Richtung des μ^+ -Spins beim Zerfall mit einer bekannten, anisotropen Emissionswahrscheinlichkeit emittiert. Da die Müonen nacheinander alle mit der gleichen Polarisierung, 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 μ^+ -Teilchens erhalten werden. Zur Anwendung kommen zeitdifferentielle und zeitintegrale Methoden der sogenannten Müonen-Spin-Rotations (μ 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 μ 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 undenkbarer 2.4 mA, die von der Quelle gelieferten Neutronenflüsse erhöht. Die hohe Qualität der Diffrakto- und Spektrometer und die nach 2000 schrittweise Installation 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 μ 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 μ 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 Forschungsgemeinschaft 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 Entscheidung 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 unumstritten – 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 Erfolgchancen. 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 erdachte 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 Laserteils 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 Rueschlikon.

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 Forschungsergebnisse 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 – zugeordnet. 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, Küttigen, 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.

Anwendungsorientierte Grundlagenforschung im Fokus

Ingrid Kissling-Näf* und Paul Pignat**

1. Kontext und Fragestellung

Im Jahre 2011 hat der Schweizerische Nationalfonds (SNF) die Kategorie «anwendungsorientierte Grundlagenforschung» (aoGf) in der «bottom-up»-Projektförderung eingeführt – mit dem Ziel, Projekte, die neben einem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn auch einen Anwendungsbezug haben, adäquat zu fördern und zu evaluieren.

In seiner Mehrjahresplanung 2012 bis 2016¹ hatte der SNF für diese Kategorie ein spezifisches Monitoring in Aussicht gestellt. Um Effekt und Wirkung dieser Kategorie im Detail zu evaluieren, hat er im Frühling 2016 beschlossen, eine externe Evaluation in Auftrag zu geben. Folgende Fragen standen für die Evaluation in Zentrum:

- Was verstehen Forschende, Mitglieder von Evaluationsgremien sowie die Geschäftsstelle unter anwendungsorientierter Grundlagenforschung?
- Wie sieht das Handling der Gesuche durch die Geschäftsstelle, die externen Gutachtenden und Forschungsräte wie auch Panelmitglieder während der Gesuchsbeurteilung (Einreichung, externe Begutachtung, Beurteilung und Monitoring) aus?
- Können für eine adäquate Gesuchsevaluation der aoGf-Projekte weitere Kriterien und Empfehlungen entwickelt werden?

Aufgrund einer Ausschreibung erhielt die Technopolis Group in England den Zuschlag. Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich vollumfänglich auf die Studie von Technopolis zur anwendungsorientierten Grundlagenforschung ab (Technopolis 2017²). Die Evaluation wurde von einer Gruppe aus Forschungsräten und Mitgliedern der Geschäftsstelle begleitet.

1.1. Von DORE zur anwendungsorientierten Grundlagenforschung

Der SNF hat zusammen mit der KTI bereits 1999 das Programm «DO REsearch (DORE)» lanciert mit dem Ziel, die neu entstehenden Fachhochschulen im Aufbau ihrer Forschungseinheiten zu unterstützen. Fachhochschulen wie auch die Pädagogischen Hochschulen waren zum damaligen Zeitpunkt in der Forschung nicht kompetitiv unterwegs. Mit diesem spe-

ziellen Programm hat der SNF an Fachhochschulen und Pädagogischen Hochschulen die Entwicklung von Forschungskompetenzen gefördert. Ins Förderprogramm DORE aufgenommen wurden unter anderem Disziplinen aus den Künsten, die Soziale Arbeit, aber auch die Gesundheit, die keine langjährige Forschungs- und Publikationstradition hatten und stark praxisorientiert waren. Das Programm DORE wurde 2011 erfolgreich abgeschlossen und die Projekte wurden als sogenannt anwendungsorientierte Grundlagenforschung in die Projektförderung aufgenommen. Projekte dieser neuen Kategorie sollen jeweils ihre ausserwissenschaftliche Bedeutung («broader impact») im Forschungsplan in einem speziellen Paragraphen ausweisen bzw. aufzeigen, dass das damit geschaffene Wissen für die Praxis relevant ist. So sollen sie speziell auch den Bedarf für die Praxis ausweisen und angeben, in welchem Ausmass Resultate in die Praxis transferierbar sind. Ebenfalls erwähnt werden sollen weitere Wirkungen bzw. durch die Umsetzung der Resultate ausgelöste Veränderungen.

* Schweizerischer Nationalfonds SNF, Wildhainweg 3, 3001 Bern.

E-mail: ingrid.kissling@snf.ch



Ingrid Kissling-Näf, Dr. oec. HSG, leitet die Abteilung Geistes- und Sozialwissenschaften des Schweiz. Nationalfonds. Sie verfügt über langjährige Führungserfahrung als Leiterin der Förderagentur für Technologie und Innovation KTI und Generalsekretärin der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz. Sie hat in Fribourg, Paris und Lausanne Theologie, Ökonomie und Politikwissenschaften studiert und in St. Gallen doktriert. Während ihrer Assistenzprofessur an der ETH Zürich hat sie sich mit ressourcenökonomischen Fragen in den Bereichen Wald, Wasser, Energie etc. auseinandergesetzt. Spezialisiert ist sie in der Ressourcenökonomie, der Umweltpolitik, der Politikanalyse, dem Innovationsmanagement und der Forschungspolitik. Sie hat für verschiedene Kommissionen und Beiräte wie z.B. die Nationalparkkommission oder den Beirat für genetische Ressourcen der deutschen Bundesregierung gearbeitet und ist aktuell Unicef-Delegierte und Stadträtin in Bern.

** Schweizerischer Nationalfonds SNF, Wildhainweg 3, 3001 Bern.

E-mail: paul.pignat@snf.ch



Paul Pignat, MSc, wissenschaftlicher Mitarbeiter Sozialwissenschaften, Abteilung Geistes- und Sozialwissenschaften. Paul Pignat hat einen Master in Erziehungswissenschaften an der Universität Fribourg absolviert. Anschliessend war er während acht Jahren für verschiedene Institutionen als Heilpädagoge tätig. 2013 folgte der Einstieg beim SNF als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Geistes- und Sozialwissenschaften. In dieser Funktion ist er für das Panel Psychologie und Erziehungswissenschaften verantwortlich und zuständig für den Evaluationsprozess.

¹ http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/snf_mehrijahresprogramm_12-16_d.pdf, S.28.

² <https://zenodo.org/record/824911>

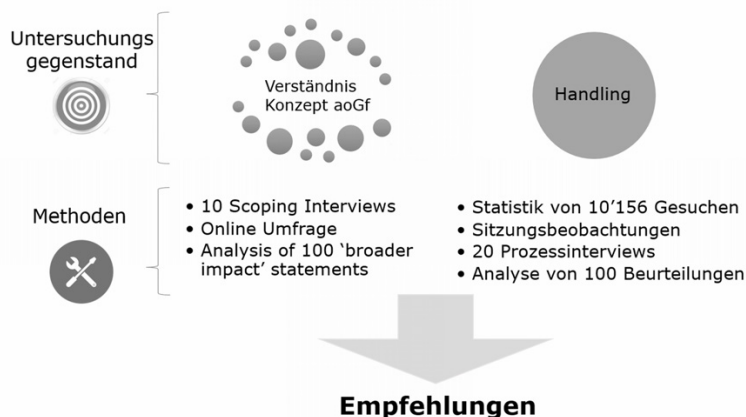


Abbildung 1. Methodische Anlage der Studie (aoGf = anwendungsorientierte Grundlagenforschung)

Der SNF versprach im Mehrjahresplan 2012 bis 2016, diese neue Kategorie zu überwachen. Mittels einer externen Evaluation Ende der Periode wurde untersucht, was die Forschenden unter anwendungsorientierter Forschung verstehen und ob die Handhabung der anwendungsorientierten Projekte adäquat erfolgt.

1.2. Vorgehen und Methode (cf. Abb. 1)

Um das Verständnis der anwendungsorientierten Grundlagenforschung zu durchleuchten, hat Technopolis zu Beginn Interviews mit Forschungsräten, Forschenden und Hochschulangehörigen durchgeführt. Auf dieser Basis wurde anschliessend eine grosse Online-Umfrage bei den Forschenden gestartet. Dabei wurden zwei Forschungsgruppen unterschieden: jene mit und jene ohne aoGf-Gesuche.

Zeitgleich wurden statistische Analysen zur Erfolgsrate der Gesuchseingänge in den verschiedenen Dis-

ziplinen und nach Förderungskategorien vorgenommen. Ebenfalls wurden bei 100 aoGf-Gesuchen die Aussagen zur ausserwissenschaftlichen Bedeutung im Forschungsplan untersucht.

Für die Handhabung der Gesuche wurden im zweiten Schritt wiederum zwanzig Mitglieder des Forschungsrates und der Geschäftsstelle zum Prozess und zur Evaluation interviewt sowie 100 Beurteilungen auf Aspekte der ausserwissenschaftlichen Bedeutung analysiert.

2. Wichtigste Resultate

2.1. Was wird unter anwendungsorientierter Grundlagenforschung verstanden?

Bei der Begriffsbestimmung orientierte sich der SNF an der Klassifikation von Stokes³ und hat es den Gestuchstellenden überlassen zu entscheiden, ob ihr Forschungsvorhaben anwendungsorientiert ist oder nicht (Selbstdeklaration). Der SNF hat bewusst auch auf eine allgemeine, auf alle Fachbereiche anwendbare Definition verzichtet, da die Grenzen zwischen den Kategorien fließend sind. Allerdings haben Interviews wie auch die Online-Umfrage verdeutlicht, dass der Begriff der anwendungsorientierten Forschung immer wieder Anlass zu Konfusion gab und in keiner Art und Weise eindeutig ist.

Wie in Tabelle 1 zusammengestellt, definieren eine Reihe unterschiedlicher Merkmale die Projekte der anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Diese gingen aus den Interviews und der online-Befragung hervor.

Tabelle 1 verdeutlicht; dass verschiedene Merkmale Forschung als anwendungsorientiert ausweisen können. Es ist jedoch nicht möglich, eine Definition für die sehr variablen Projekte im Rahmen dieser Kategorie zu finden. Sind hingegen mehrere der oben genannten Merkmale erfüllt, kann man von anwendungsorientierter Grundlagenforschung sprechen.

2.2. Anteil und Erfolgsrate der anwendungsorientierten Grundlagenforschung nach Hochschulen

Zwischen 2011 und 2015 haben Forschende rund 20 Prozent der Gesuche in Projektförderung als anwendungsorientiert deklariert.

Wie in Abb. 2 ersichtlich, stammen absolut betrachtet rund 55 Prozent der aoGf-Gesuche aus den Eidgenössischen Technischen Hochschulen ETHZ/EPFL und aus den kantonalen Universitäten. Hingegen fällt auf (Abb. 3), dass nur bei den Fachhochschu-

Tabelle 1. Eine Typologie für anwendungsorientierte Grundlagenforschung

aoGf Merkmal	Beschreibung
Absicht	Das Projekt beabsichtigt, wissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen und praktische Probleme zu lösen.
Kognitiv/konzeptuell	Das Projekt besteht aus Grundlagenforschung, kann aber auch einen Beitrag zur Lösung verschiedener praktischer Problemen leisten.
Herkunft der Forschungsfrage	Die Forschungsfrage wurde von Forschenden unter Einbezug der «user community» / Anwender entwickelt.
Entwicklungspfad	Das Forschungsprojekt ist eine Etappe auf dem Entwicklungspfad im Hinblick auf die Anwendung oder den Technologietransfer, z.B. in der Form eines Folgeprojekts bei der KTI.
Output	Das Projekt produziert akademischen und nicht-akademischen Output.
Adressaten/Zielgruppen	Die Resultate verbreiten sich auch in nicht-akademischen Kreisen.
Involvierte Personen	Die Forschungsgruppe besteht aus Wissenschaftlern und Personen aus der Praxis.

³ Donald E. Stokes, Pasteur's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation, Brookings Institution, 1997.

Anzahl aoGF-Gesuche nach Institutionen

(Oktober 2011 - Oktober 2015; N=10156)

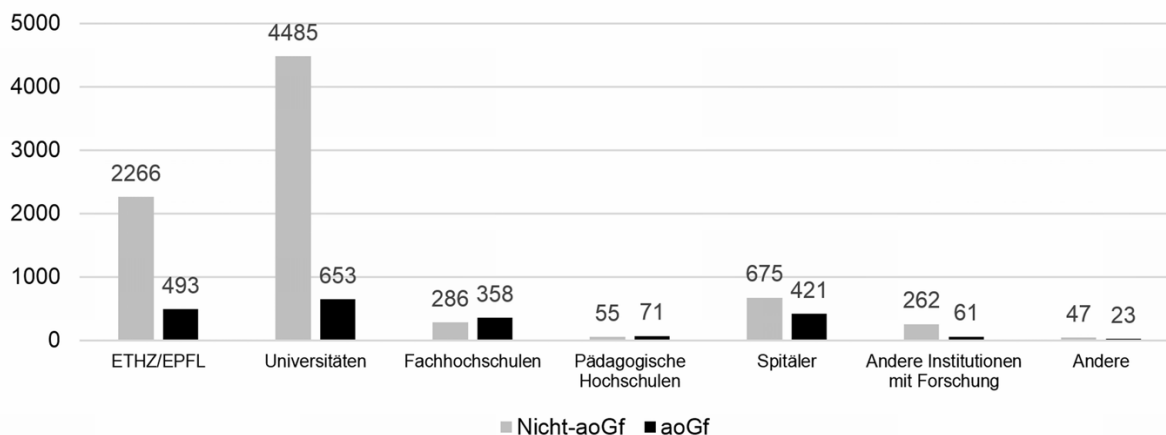


Abbildung 2. Anzahl aoGf-Gesuche gegenüber anderen Gesuchen nach Institutionen

len und Pädagogischen Hochschulen der Anteil der aoGf-Gesuche über 50 Prozent liegt.

Wirft man nun einen Blick auf die Erfolgsquoten der aoGf-Projekte, so fällt mit Ausnahme der interdisziplinären Projekte auf, dass diese in allen Bereichen um fast zehn bis 20 Prozentpunkte unter jener der Grundlagenforschung liegt. Das gilt für alle Wissenschaftsbereiche in der Projektförderung.

2.3. Warum sind die Erfolgsraten der aoGf-Projekte tiefer als in der Grundlagenforschung?

Weder der Instrumententyp noch die Disziplin oder die Tradition in einem Forschungsfeld erklären die tiefere Erfolgsrate bei Projekten in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Die Autoren der Evaluationsstudie kommen generell zum Schluss, dass die Kategorie der anwendungsorientierten Grundlagenforschung an sich dazu beiträgt, Umfang und Ausrichtung der wissenschaftlichen Grundlagenforschung zu erweitern. Zugleich heben die Evaluatoren jedoch hervor, dass diese Art der For-

schung anspruchsvoller ist, da ihre doppelte Ausrichtung auf wissenschaftliche und praktische Aspekte sich für die Forschenden herausfordernder gestaltet. Aus ihrer Sicht, ist das ein wichtiger Grund, der die Unterschiede in den Erfolgsquoten erklärt.

Neben dieser **komplexen Natur der aoGf-Forschung**, die für alle Bereiche in der gleichen Art und Weise gilt, lässt sich die tiefere Erfolgsquote dieser Kategorie mit weiteren teilweise disziplinspezifischen Faktoren erklären:

- So wirkt sich eine übermässige Nutzung von metrischen Indikatoren wie z.B. der H-Index nachteilig auf die Erfolgsrate aus. Die Evaluation hat auch gezeigt, dass aoGf-Projekte leicht weniger wissenschaftliche Publikationen als Output ausweisen. Darum ist eine etwas umfassendere Beurteilung des Track Records der Gesuchstellenden, wie es z.B. in der DORA Declaration (San Francisco Declaration on Research Assessment) vorgesehen ist, notwendig.

Prozentualer Anteil aoGF-Gesuche nach Institutionen

(Oktober 2011 - Oktober 2015; N=10156)

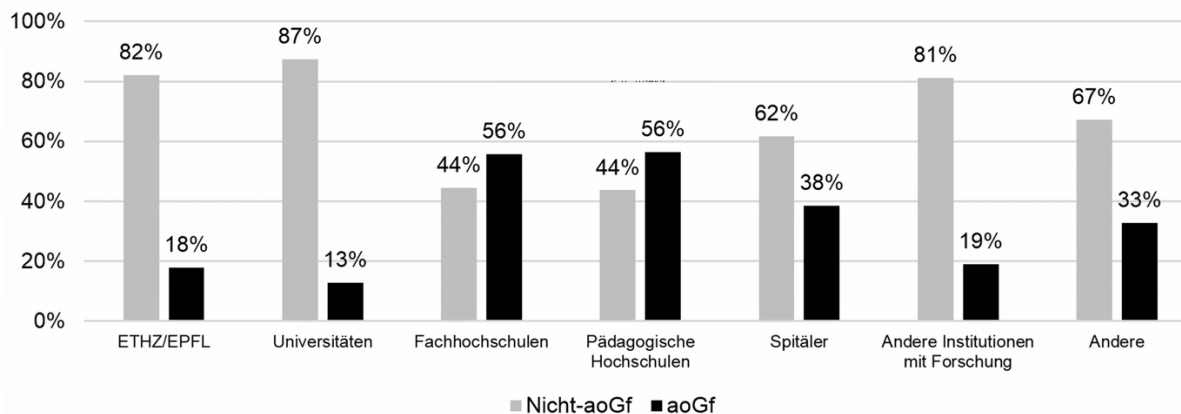


Abbildung 3. Prozentuale Anteile aoGf-Gesuche und Nicht-aoGf-Gesuche nach Institutionen

Erfolgsquoten nach SNF-Förderabteilungen

(Oktober 2011 - Oktober 2015; N=10156)

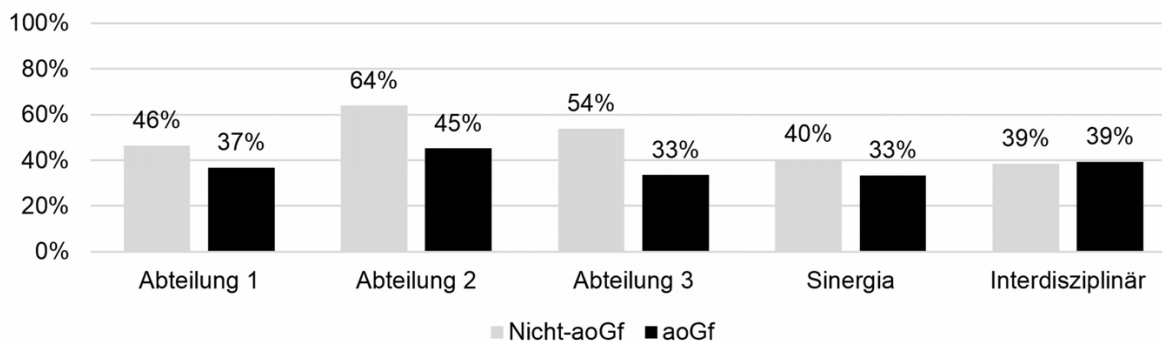


Abbildung 4. Erfolgsquoten nach Forschungsförderungsabteilungen des SNF.

Abteilung 1 = Geistes- und Sozialwissenschaften | Abteilung 2 = Mathematik, Natur- und Ingenieurwissenschaften |

Abteilung 3 = Biologie und Medizin | Sinergia = interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Forschungsgruppen |

Interdisziplinär = Abteilungsübergreifende Evaluation

- Die Analyse der Evaluationsverfahren hat auch gezeigt, dass die **ausserwissenschaftliche Bedeutung nicht systematisch als Diskussionspunkt in den Evaluationssitzungen** aufgenommen wird bzw. auch nicht in jedem Fall in allen schriftlichen Beurteilungen thematisiert wird.
- Die Evaluation zeigt weiter, dass in unterschiedlichem Ausmass für die Begutachtung der Gesuche in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung Experten mit praktischem Hintergrund beigezogen werden. Um eine adäquate Evaluation zu garantieren, ist ein **systematischer Einbezug mindestens einer Person aus der Praxis für die Begutachtung** notwendig.
- Kenntnisse des institutionellen Kontexts der Forschung an Fachhochschulen, Pädagogischen Hochschulen und an nicht-traditionellen Förderinstitutionen können sich auf die Beurteilung von Gesuchen mit Erkenntnisgewinn und Praxisorientierung positiv auswirken. Darum soll der **Vertretung und diversen Zusammensetzung von Evaluationsgremien** und des Forschungsrates grosse Bedeutung beigemessen werden. Die Evaluatoren stellen grundsätzlich einen Mangel an Referenten aus nicht-traditionellen Forschungsinstitutionen fest.
- Die durchschnittliche Erfolgsrate der aoGf-Gesuche wird speziell auch durch jene Disziplinen und Hochschulen mit hohem aoGf-Anteil und allgemein tiefen Erfolgsraten weiter reduziert.

3. Empfehlungen und weiteres Vorgehen

Technopolis stellt der Einführung der Kategorie aoGf grundsätzlich ein gutes Zeugnis aus, da diese auch einen Beitrag zur Erweiterung des Begriffs der Grundlagenforschung an sich leistet.

Festzuhalten ist, dass verschiedene Merkmale ein Forschungsprojekt als anwendungsorientiert kennzeichnen, die es bei einer Definition von anwendungsori-

entierter Grundlagenforschung zu berücksichtigen gilt. Eine eindimensionale Definition greift zu kurz.

In diesem Sinne formulieren die Evaluatoren und der SNF folgende Empfehlungen im Umgang mit aoGf-Gesuchen im Evaluationsprozess:

- Die aoGf-Typologie, die im Rahmen der Studie entwickelt wurde, um die Kategorie besser zu identifizieren, soll für die Kennzeichnung der Gesuche verwendet und umgesetzt werden;
- Der SNF soll die Vorgaben der DORA-Deklaration umsetzen;
- Der ausserwissenschaftlichen Bedeutsamkeit («broader impact») soll sowohl in den schriftlichen Beurteilungen als auch in den Diskussionen der Evaluationsgremien mehr Platz und Bedeutung eingeräumt werden;
- Experten und Expertinnen mit praktischem Hintergrund sollen bei der Gesuchsevaluation von aoGf-Gesuchen einbezogen werden;
- Es ist darauf zu achten, dass die Zusammensetzung der Entscheidungsgremien diverser wird.

Diese Empfehlungen werden vom SNF schrittweise umgesetzt, um die Spezifitäten von aoGf-Projekten stärker zu berücksichtigen und die Gesuche damit adäquat zu evaluieren.

Der Ausgangspunkt für die Einführung der neuen Kategorie «anwendungsorientierte Grundlagenforschung» bestand darin, in der Forschungsförderung eine Lücke zwischen reiner Grundlagenforschung und angewandter Forschung zu füllen. Die neue Kategorie dient nicht der Generierung eines neuen Forschungstypus, sondern sie trägt ganz wesentlich dazu bei, die Projekte zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung sichtbar und diskutierbar zu machen. ■

Silodenken ist passé: Den Forschungsplatz als eine Welt verstehen

Rudolf Minsch*

1. Einleitung

Einst, so scheint es, war die Welt einfach und die Rollen waren klar verteilt: Die Universitäten konzentrierten sich auf die erkenntnisorientierte Forschung, die nicht auf eine unmittelbare praktische Anwendung ausgerichtet zu sein brauchte. Das Ziel dieser Grundlagenforschung war die Gewinnung von Erkenntnissen einzig um der Erkenntnis willen und zur Befruchtung der Lehre. Demgegenüber stand die anwendungsorientierte Forschung, die einen direkten Nutzen des Erkenntnisgewinnes anstrebte und in die Entwicklung von konkreten Produkten oder Dienstleistungen zu münden hatte. Während die Grundlagenforschung also Aufgabe der Universitäten war, fokussierten sich die Privaten auf die anwendungsorientierte Forschung bzw. auf die Produktentwicklung. Gemäss diesem Modell ist es die Rolle der Hochschulen, Wissen zu schaffen und es der Privatwirtschaft zur Verfügung zu stellen, damit diese es in Wertschöpfung umsetzen kann. Entsprechend war die Vorstellung weit verbreitet, dass es sich beim Wissens- und Technologietransfer um einen linearen Prozess im Sinne einer Einbahnstrasse handelt.

Diese idealtypische Aufgabenteilung entsprach wohl nie ganz der Realität. Heute fokussieren insbesondere die Fachhochschulen auf die anwendungsorientierte Forschung und arbeiten hier häufig mit Privaten zusammen. Auch betreiben etliche Privatunternehmen Grundlagenforschung. Mit anderen Worten: Die Grenzen zwischen der Forschung der Privatwirtschaft und der Hochschulen verwischen sich immer mehr. In den letzten Jahren öffnete sich zudem in einzelnen Fachgebieten ein zeitlicher Graben zwischen der Grundlagenforschung und der anwendungsorientierten Forschung. Auf der Grundlage des von den Hochschulen erarbeiteten Wissens kann heute häufig nicht abgeschätzt werden, ob sich daraus früher oder später eine interessante Anwendung in der Wirtschaft realisieren lässt. Die Entwicklungsdauer – von der ursprünglichen Erfindung bis hin zum fertigen Produkt – ist heutzutage entsprechend deutlich länger als früher. Damit einhergehend hat sich auch das Risiko der Privaten, nach ersten Erkenntnissen aus der Grundlagenforschung mit der auf wirtschaftliche Anwendungen ausgerichteten Forschung zu beginnen, deutlich erhöht. Entsprechend besteht die Gefahr, dass das wirtschaftliche Potenzial des an den Hochschulen erarbeiteten Grundlagenwissens nicht genutzt wird.

Der Schweizerische Nationalfonds (SNF) hat mit der sogenannten «anwendungsorientierten Grundlagenforschung» ein neues Gefäss geschaffen, in dem die Forschung auf zwei Beinen steht – dem Erkenntnisgewinn und der Anwendung (siehe Abb. 1). Sie soll die Brücke zwischen der Grundlagenforschung und der anwendungsorientierten Forschung schlagen. Auch in Bezug auf die Schweizer Förderinstitutionen ergibt sich hier eine Schnittstelle: Während sich der SNF auf die Förderung der Grundlagenforschung konzentriert und die KTI (ab 2018 Innosuisse) auf die anwendungsorientierte Forschung, müssen bei der anwendungsorientierten Grundlagenforschung die Kompetenzen beider Förderinstitutionen einfließen. Das neue Programm «Bridge» ist hier anzusiedeln. Bridge fördert junge Forschende, die aufbauend auf ihren eigenen Forschungsergebnissen eine Anwendung oder Dienstleistung entwickeln wollen. Zudem werden Projekte finanziert, die die Zusammenarbeit von Grundlagenforschung und angewandter Forschung fördern. Ziel ist es, das Innovationspotenzial von Forschungsergebnissen fruchtbar zu machen.

Abb. 1, welche SNF und KTI erstellt haben, zeigt das idealtypische, lineare Forschungsmodell.¹ Ausgehend

¹ Schweizerischer Nationalfonds / Kommission für Technologie und Innovation: Partnerschaft in der Forschungsförderung. Zusammenarbeit zwischen SNF und KTI. Aufgerufen am 6. April 2017: www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/Dossiers/dos_kti_broschuere_d.pdf

*economiesuisse, Hegibachstrasse 47, 8032 Zürich.

E-mail: rudolf.minsch@economiesuisse.ch



Rudolf Minsch, Dr. oec. HSG, ist Chefökonom und stv. Vorsitzender der Geschäftsleitung von economiesuisse. Er leitet innerhalb des Dachverbandes der Schweizer Unternehmen den Bereich Wirtschaftspolitik, Bildung, Gesundheit. Er ist Mitglied der Wettbewerbskommission und Präsident der Energieagentur der Wirtschaft; Referent an der Weiterbildungsstufe der Universität St. Gallen. Minsch ist Gastprofessor für Wirtschaftspolitik an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Chur, wo er bis zu seinem Stellenantritt bei economiesuisse vollamtlicher Professor für Volkswirtschaftslehre war. Rudolf Minsch hat an der Universität St. Gallen Volkswirtschaftslehre studiert und absolvierte im Anschluss daran das Program for Beginning Doctoral Students bei der Stiftung der schweizerischen Nationalbank in Gerzensee; danach vertiefte er seine Studien an der Boston University. Im Jahre 2002 promovierte er mit der Arbeit «Relative Prices and Inflation. An Empirical Analysis of Firm-Level Price Data from Selected Swiss Service Industries». Seit etlichen Jahren arbeitet Minsch mit verschiedenen Partnern zusammen in der angewandten Forschung mit den Schwerpunkten Geldpolitik, Konjunktur, Tourismus und Aussenhandelspolitik.

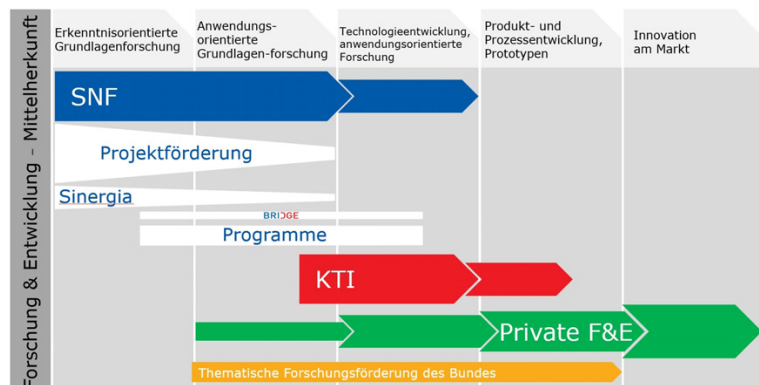


Abbildung 1. Partnerschaft in der Forschungsförderung. Quelle: KTI und SNF

von der erkenntnisorientierten Grundlagenforschung wird Wissen geschaffen, welches in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung so weit konkretisiert wird, dass sich Anwendungen abzeichnen. Neu kann bereits die Grundlagenforschung anwendungsorientiert vorangetrieben werden und im Idealfall dazu führen, dass neue Produkte oder Dienstleistungen im Markt erfolgreich sind und entsprechend eine hohe Wertschöpfung in der Schweiz erzielt wird.

2. Die Rolle der Privatwirtschaft in der Forschung

Die bisherigen Überlegungen mögen den Anschein erwecken, dass in erster Linie die öffentliche Hand für die Forschung zuständig sei. Dieser Eindruck vermittelt jedenfalls Abb. 1, in der die private Forschung und Entwicklung (F&E) flächenmässig kleiner dargestellt ist als diejenige der KTI. In der Realität sind die Grössenordnungen aber umgekehrt: Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in der Schweiz werden zu über 70 Prozent von der Privatwirtschaft ausgeführt. Oder anders ausgedrückt: Von den gut 22 Milliarden Franken Intramuros-F&E-Aufwendungen wird in Unternehmen in der Schweiz Forschung im Umfang von 15.6 Milliarden Franken betrieben. Demgegenüber führen Hochschulen lediglich rund 27 Prozent der Schweizer Forschungsvorhaben aus.²

Auch in Bezug auf die Finanzierung der Forschungs- und Entwicklungsausgaben sind die Grössenordnungen ähnlich. Rund 63 Prozent der gesamten F&E-Aufwendungen in der Schweiz werden durch die Schweizer Privatwirtschaft finanziert, rund 24 Prozent durch die öffentliche Hand. Auch das Ausland finanziert mit, wobei hier ebenfalls der Privatsektor dominant ist: Rund zehn Prozent der F&E-Ausgaben, die in der Schweiz investiert werden, stammen aus dem Ausland. Zusätzlich tragen Stif-

² Bundesamt für Statistik (2017): Schweizer Forschungsaktivitäten im Jahr 2015 auf Rekordniveau. Forschung und Entwicklung in der Schweiz 2015. Medienmitteilung vom 29. Mai 2017.

Tabelle 1. Intramuros-F+E-Aufwendungen, nach F+E-Wirtschaftszweig, 2000–2015.

In Millionen Franken zu laufenden Preisen und in %

F+E-Wirtschaftszweig	Millionen Franken				
	2000	2004	2008	2012 ^R	2015
Nahrungsmittel	392	501	124	61	72
Chemie	641	687	570	507	629
Pharma	1834	3566	4628	4999	5537
Metall	260	101	259	456	319
Maschinen	1793	1448	1311	1559	1589
Hochtechnologieinstrumente	295	438	587	1021	1053
IKT ¹ -Fabrikation	615	813	1140	1045	1143
IKT ¹ -Dienstleistungen	386	373	450	342	568
Forschung und Entwicklung	876	1386	1078	1912	2443
Andere	797	346	1832	2373	2307
Total	7888	9659	11979	14276	15660

^R = revidierte Daten, ¹ IKT: Informations- und Kommunikationstechnologien.

Quelle: BFS 2017, F+E Statistik

tungen oder andere nicht gewinnorientierte Organisationen rund zwei Prozent der Aufwendungen, wie Abb. 2 zeigt.³

Die Zahlen zeigen also, dass die Privatwirtschaft die Hauptlast der Schweizer F&E-Finanzierung übernimmt und die Forschung auch zu einem grossen Teil selber durchführt. Es ist besonders erfreulich und keineswegs selbstverständlich, dass die private Forschung nach wie vor an Bedeutung gewinnt. Seit 2008 steht die Schweizer Wirtschaft vor grossen Herausforderungen, doch die wirtschaftlichen Verwerfungen nach der Finanzmarktkrise, die Frankenaufwertung, die Euro-Krise und schwache europäische Märkte sowie die Aufhebung der Wechselkursgrenze haben die Investitionen der Unternehmen in Forschung und Entwicklung nicht gebremst. Im Gegenteil verdoppelten sich die Intramuros-Aufwendungen der Privatwirtschaft, wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, seit 2008 von damals rund 7.88 Milliarden Franken auf 15.55 Milliarden im Jahr 2015.

Obwohl das Investitionswachstum in der Gesamtschau sehr positiv zu bewerten ist, müssen doch zwei Einschränkungen gemacht werden: Auf der einen Seite lässt sich dieses Wachstum zum überwiegenden Teil auf das Engagement der Pharmaindustrie zurückführen. Hier wird seit Jahren mehr in Forschung und Entwicklung investiert. Seit 2012 wuchs dem-

³ Bundesamt für Statistik (2017): Forschung und Entwicklung (F+E)-Aufwendungen. 29. Mai 2017, aufgerufen am 15. Juni 2017 unter <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bildung-wissenschaft/technologie/indikatorsystem/zugang-indikatoren/w-t-in-jf-f-e-aufwendungen.assetdetail.2644558.html>

gegenüber der F&E-Bereich in der Maschinenindustrie oder auf dem Gebiet der Hochtechnologieinstrumente nur noch schwach. Besonders bedauerlich ist, dass gerade in der für die Zukunft an Bedeutung zunehmenden ICT-Branche das Wachstum nicht mit den Ansprüchen der Schweiz auf eine führende Rolle übereinzustimmen scheint. Positiv ist hingegen, dass Unternehmen, die ganz auf F&E ausgerichtet sind, ihre Forschungsaufwendungen in den letzten drei Jahren deutlich ausweiten konnten.

Wie einleitend erwähnt, sind die Grenzen in der Aufgabenteilung zwischen der Grundlagenforschung an den Hochschulen auf der einen und der anwendungsorientierten Forschung in der Privatwirtschaft auf der anderen Seite fließend. Zwar ist der Investitionsanteil der privaten Wirtschaft bei der experimentellen und angewandten Forschung offensichtlich am grössten, wie Abb. 3 zeigt. Doch seit 2008 ist ein deutlicher Trend ersichtlich: Die Aufwendungen der Privaten für die Grundlagenforschung steigen stark an. Zwischen 2012 und 2015 haben sich diese mehr als verdoppelt. Von den gesamten 15,6 Milliarden Franken, welche die privaten Unternehmen in der Schweiz investieren, fliessen derzeit gut 3.5 Milliarden in die Grundlagenforschung. Zum Vergleich: Der gesamte ETH-Bereich verfügt über ein Jahresbudget von rund 2.5 Milliarden Franken, das Budget des Nationalfonds beträgt rund eine Milliarde.

Abb. 4 informiert über die Forschungsart nach Sektor. Mit 3.5 Milliarden Franken steuert die Privatwirtschaft über 40 Prozent an die gesamte in der Schweiz stattfindende Grundlagenforschung bei.

Wieso nimmt die Bedeutung der Grundlagenforschung in der Privatwirtschaft so stark zu? Diese auf den ersten Blick überraschende Entwicklung könnte natürlich darauf zurückzuführen sein, dass der Fragebogen des Bundesamtes für Statistik BFS unverständlich formuliert ist oder dass die Umfrageteilnehmer Grundlagenforschung und angewandte Forschung unterschiedlich definieren und voneinander abgrenzen. In der Tat lässt sich im Konkreten keine trennscharfe Linie zwischen diesen beiden Welten ziehen. Einiges hängt von der individuellen Einschätzung der Umfrageteilnehmer ab. Es kann also nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass sich die Einschätzung in den letzten Jahren etwas verändert und den Trend mitgeprägt hat. Die Tatsache jedoch, dass das BFS den Fragebogen in diesem Punkt nicht verändert hat, spricht gegen diese These. Trotzdem sind die Resultate mit einer gewissen Vorsicht zu interpretieren. Mit dieser Relativierung im Hinterkopf lassen sich folgende Treiber für den Trend hin zu mehr privater Grundlagenforschung ausmachen:

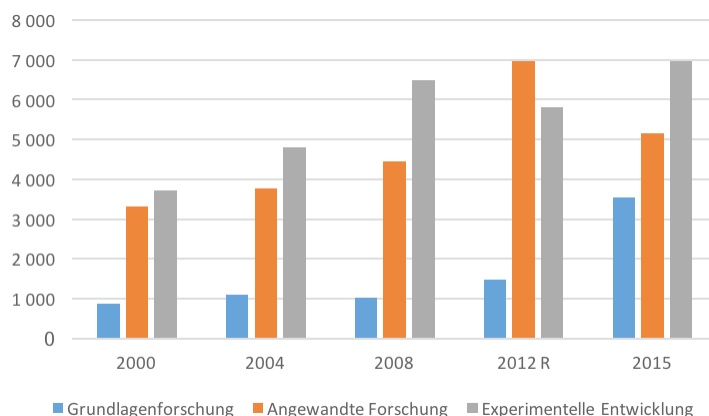


Abbildung 3. Forschung in der Privatwirtschaft 2000–2015. Quelle: BFS 2017

Erstens hat die Komplexität einer Produkteentwicklung in den letzten Jahren stark zugenommen, weil die Menge an Informationen generell stark angestiegen ist. Die Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung können entsprechend nur mit einem hohen Risiko zu marktfähigen Produkten weiterentwickelt werden. Entsprechend schwierig ist es, die richtigen Weichenstellungen für die anwendungsorientierte Forschung vorzunehmen, ohne selber über Wissen der Grundlagenforschung zu verfügen. Das führt zu einem auf den ersten Blick paradoxen Ergebnis: Je länger die Entwicklungszeit dauert und je unsicherer der Forschungserfolg ist, desto mehr investieren Unternehmen in die Grundlagenforschung. Das Paradox löst sich aber auf, wenn berücksichtigt wird, dass Unternehmen nur durch den engen Kontakt zur Grundlagenforschung am Ball bleiben und die Gefahr vermeiden können, von unerwarteten Entwicklungen überrannt zu werden.

Zweitens sind je nach Geschäftsfeld die geistigen Eigentumsrechte für den wirtschaftlichen Erfolg ausschlaggebend. Gerade in der Pharmaindustrie, aber auch in der Medizintechnik und teilweise auch in der Maschinenindustrie sind die geistigen Eigen-

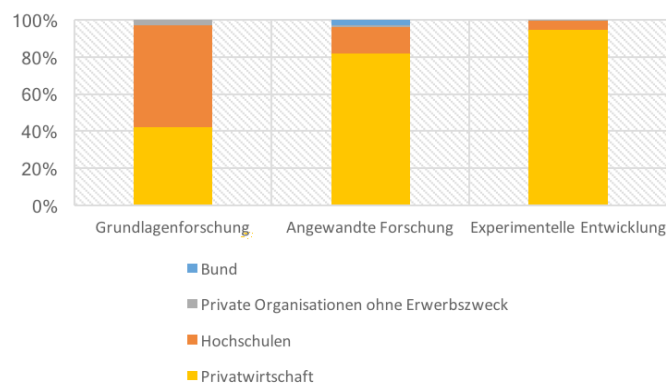


Abbildung 4. Intramuros-Forschung und Entwicklung (F&E)-Aufwendungen in der Schweiz nach Sektor und Forschungsart, 2015. Quelle: BFS 2017

tumsrechte zentral. Da die Grundlagenforschung der öffentlichen Hochschulen in der Regel für alle zugänglich ist, können diese Kenntnisse auch alle Mitbewerber nutzen. Hingegen führt die eigene Entwicklung eines Wirkstoffes, der später zu einem neuen Medikament führt, zu einem grossen Wettbewerbsvorteil. Grosse Pharmafirmen haben die Grundlagenforschung auch deshalb ausgebaut, weil sie sonst riskiert hätten, Entwicklungen zu verschlafen. Hinzu kommt, dass Hochschulen in den letzten Jahren verstärkt eigene Patente geschützt haben.

Drittens haben grosse Technologiekonzerne in den letzten Jahren ihre Präsenz in der Schweiz ausgebaut, wie etwa Google oder Walt Disney. Diese Entwicklung setzt eine Tradition fort: So forscht IBM seit über 50 Jahren in Rüschlikon. Weil Schweizer Hochschulen erfreulicherweise in Lehre und Forschung in der Informationstechnik stark sind, setzen internationale Grosskonzerne auf den Standort Schweiz und betreiben hier ebenfalls IT-Grundlagenforschung.

3. Verstärkte Kooperationen zwischen Privaten und Hochschulen zur Stärkung des Forschungsclusters Schweiz

Welche Konsequenzen ergeben sich nun für den Forschungsplatz Schweiz aus der Tatsache, dass sich die ursprünglich angedachten Forschungsaufgaben von Hochschulen und Privaten zusehends vermischen und überlappen? Braucht es Regeln, wenn Hochschulen und Private sowohl in der Grundlagenforschung als auch in der anwendungsorientierten Forschung tätig sind und in Kooperationen miteinander arbeiten?

Grundsätzlich befruchten sich Hochschulen und Private gegenseitig, wenn sie in der Schweiz Forschung betreiben. Aufgrund der Kleinheit unseres Landes profitieren alle vom Forschungscluster: Hochschulen und Private sind auf qualifizierte Mitarbeiter, Spitzenforscher und Forschungsmanager angewiesen, welche im Idealfall beide Welten kennen. Jede Forscherin einer Hochschule, welche den Weg in ein Unternehmen findet, stärkt den Forschungscluster Schweiz. Die Erfahrung, die eine solche Person in der Firma erwirbt, kann sie bei einem Stellenwechsel mitnehmen, so dass das nächste Unternehmen davon profitiert. Ökonomisch spricht man hier von positiven externen Effekten. Umgekehrt profitieren Hochschulen von einer Zusammenarbeit mit der privaten Wirtschaft, weil sie dadurch Kenntnis der relevanten Problemstellungen in der Praxis erhalten. Auch können sie vom Forschungscluster profitieren, indem Personen mit Industrieerfahrung wieder zurück an die Hochschule kommen und Lehre und Forschung befruchten. Gerade die Fachhochschulen

sind auf diesen Know-how-Rückfluss angewiesen. An den Universitäten und ETHn wird von diesem Rückfluss leider zu selten Gebrauch gemacht. Das «In-and-Out» zwischen Privatwirtschaft und Hochschulen, welches in den USA weit stärker verbreitet ist, könnte auch hierzulande die Synergiepotenziale besser erschliessen und den Forschungscluster Schweiz stärken.

Ein nicht zu unterschätzender Vorteil dieses Clusters besteht darin, dass Private und Hochschulen gewinnbringend und auf Augenhöhe kooperieren können. Dabei sind verschiedene Kooperationsformen möglich. Erstens bilden strategische Partnerschaften die Möglichkeit, langfristig in einer «Public Private Partnership»-Initiative die Kräfte zu bündeln: So hält die öffentliche Hand (ETH-Bereich, Bund, Kantone) an der als Aktiengesellschaft organisierten CSEM (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA – Recherche et Développement) rund ein Viertel des Aktienkapitals. Die restlichen drei Viertel der Mittel stammen aus der Privatwirtschaft. Beim Kooperationsmodell der ETH Zürich mit der IBM in Rüschlikon ist die IBM Eigentümerin des Gebäudes, die ETH Zürich mietet Räumlichkeiten für mindestens zehn Jahre. Die sich im Aufbau befindenden Innovationsparks im Rahmen von «Switzerland Innovation» werden – jeweils auf die regionalen Gegebenheiten ausgerichtet – von der öffentlichen Hand und Privaten gemeinsam getragen. Basel lebt seit Jahrzehnten eine enge Zusammenarbeit mit der Pharmaforschung (z.B. Friedrich Miescher Institute und System X). Zweitens befruchten sich die Projektpartner auch in kurzfristigeren Forschungsk Kooperationen gegenseitig. Und auch in diesen Fällen ist der Wissens- und Technologietransfer häufig ein Austausch und nicht wie in Abb. 1 suggeriert ein einseitiger Transfer von Hochschulwissen in die Wirtschaft. Letzterer ist bei der Auftragsforschung durch Hochschulen aber relevant. Drittens profitieren Hochschulen und Wirtschaft von Kooperationen bei qualifizierenden Arbeiten (Bachelor, Master, Dissertation). Dadurch können Studierende praxisrelevante Fragen behandeln, und die Unternehmen bleiben in Kontakt mit den Hochschulen. Viertens profitieren Hochschulen von Spenden und Sponsoring bis hin zum Lehrstuhlsponsoring aus der Privatwirtschaft und verfügen somit über zusätzliche Mittel, um ihre Forschungskompetenzen zu verstärken. Auch dies baut den Forschungscluster Schweiz aus.

Diese kurze Auflistung zeigt die Vielfalt an Kooperationsformen zwischen Privaten und Hochschulen. Es wäre natürlich naiv, davon auszugehen, dass die Auflösung der Aufgabenteilung zwischen Grundlagenforschung an den Hochschulen und anwendungs-

rierter Forschung in der Wirtschaft im Verbund mit dem Ausbau der Kooperationen zwischen beiden Forschungspartnern in jedem Fall unproblematisch und reibungslos erfolgt. In den letzten Jahren häuften sich kritische Voten in Medien und Öffentlichkeit. Diese beziehen sich grob auf zwei Spannungsfelder: Zum einen wurde kritisiert, dass die Wirtschaft zu starken Einfluss auf die Hochschulen nehme und daher die Unabhängigkeit der Hochschulforschung in Gefahr sei. Zum anderen wurde seitens der Privatwirtschaft kritisiert, die Hochschulen würden den Wettbewerb in der anwendungsorientierten Forschung verfälschen und Private aus dem Markt drängen.

Betrachten wir zunächst den zweiten Vorwurf. Problempunkte ergeben sich bei der anwendungsorientierten Forschung dann, wenn Hochschulen private Unternehmen auf dem freien Markt konkurrenzieren und Dienstleistungen zu Preisen anbieten, welche nicht die vollen Kosten decken. Gerade bei den FHS besteht ein inhärentes Spannungsfeld. Der Auftrag der FHS besteht ja gerade darin, anwendungsorientierte Forschung und Dienstleistungen anzubieten, welche im Grundsatz auch von der Privatindustrie selber oder durch externe Firmen erstellt werden können. Solange der durch den Gesetzgeber formulierte Forschungsauftrag an die FHS gilt, bleibt dieses Spannungsfeld bestehen. Es lässt sich nur lösen, wenn die Hochschulen ihren Kunden stets die vollen Kosten in Rechnung stellen. Dies beinhaltet auch eine gewisse *Royalty fee* für das Benutzungsrecht des Hochschulnamens, denn die Hochschulangehörigen und Institute profitieren wesentlich vom weitgehend über Steuergelder aufgebauten Renommée ihrer Institution. Auch sollten sich die FHS auf diejenigen Aufträge konzentrieren, die eben nicht durch die Privatwirtschaft erbracht werden können, und bei denen sie ihr Know-how am besten einbringen können.

Das zweite Spannungsfeld betrifft die Ausgestaltung der Kooperationen. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Wirtschaft ein elementares Interesse an der Unabhängigkeit der Hochschulen hat. Nur diese garantiert Exzellenz. Ganz gleich welcher Art die Kooperation zwischen den beiden Seiten ist – die Unabhängigkeit muss sichergestellt sein. Damit dies aber gelingt, sind Hochschulen und Unternehmen gleichermaßen gefordert, zu Beginn der Zusammenarbeit die Spielregeln eindeutig zu formulieren. Dazu gehört auf der einen Seite als zentrale Bedingung die Unabhängigkeit der Forschung, welche nicht verhandelbar ist. Die Wirtschaft hat auch das Publikationsinteresse der Hochschulen anzuerkennen. Auf der anderen Seite muss gewährleistet sein, dass Be-

triebs- und Geschäftsgeheimnisse der Unternehmen geschützt werden. Wie mit solchen Geheimnissen im konkreten Fall umgegangen wird, muss ebenfalls *ex ante* explizit geregelt werden. Einige Hochschulen haben in den letzten Jahren einen «*Code-of-Conduct*» erarbeitet, gemäss dem sie mit Externen zusammenarbeiten wollen.⁴ Solche Regeln sind sehr zu befürworten. Sie schaffen Transparenz und sorgen schon vor den Vertragsverhandlungen für eine gewisse Synchronisation der Erwartungshaltungen beider Vertragsparteien. Besonders wichtig sind solche verbindlichen und transparenten Regeln auch für die Öffentlichkeit, denn sie schaffen Vertrauen und verbessern das Verständnis in der Bevölkerung, dass Hochschulen und Private und damit das Land wie hier skizziert von Kooperationen profitieren. Gerade für in der Öffentlichkeit stehende mittlere bis grosse Unternehmen ist es entscheidend, dass sie bei einem Engagement mit Schweizer Hochschulen keinen Reputationsschaden erleiden. Es wäre fatal für den Forschungscluster Schweiz, wenn Unternehmen lieber mit ausländischen Hochschulen kooperierten, weil dort die Öffentlichkeit solchen Zusammenarbeitsformen positiver gegenüber eingestellt ist als hierzulande.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Private und Hochschulen bereichern sich gegenseitig und machen gemeinsam den Forschungsplatz Schweiz aus. Die ursprünglich angedachte Aufgabenteilung zwischen Hochschulen, die sich auf die Grundlagenforschung konzentrieren und der angewandte Forschung und Produktentwicklung, die in der Privatwirtschaft erfolgt, hat sich weitgehend aufgelöst. In den letzten Jahren forschten Hochschulen vermehrt im anwendungsorientierten Bereich und Unternehmen betätigen sich verstärkt in der Grundlagenforschung. Das Bild, dass die Hochschulen das Wissen erschaffen, welches dann in die private Wirtschaft diffundiert, ist nicht mehr zeitgemäss. Was aber bleibt sind unterschiedliche Kompetenzen und Zielsetzungen, die sich jedoch gegenseitig befruchten.

Die Bedeutung von Kooperationen zwischen Hochschulen und Privaten nimmt zu. Gefordert sind hier klare *ex ante*-Regelungen, welche sowohl die Bedürfnisse der Privaten wie den Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen als auch diejenigen der Hochschulen wie die nicht verhandelbare Unabhängigkeit der Forschung festlegen. Transparenz schafft Vertrauen auch in der Öffentlichkeit. Dieses ist eine wichtige Voraussetzung dafür, dass Unternehmen

⁴ Solche Richtlinien bzw. vorgefasste Kooperationsverträge gibt es z.B. an den Hochschulen Uni Basel, EPFL, BFH.

weiterhin mit hiesigen Hochschulen kooperieren können und wollen.

Die Schweiz hat einen lebendigen Forschungscluster mit vielfältigen Kompetenzen in Hochschulen und Privatwirtschaft. Diesem Cluster ist Sorge zu tragen, denn Forschung und Innovation werden in Zukunft noch bedeutsamer und darüber entscheiden, ob die Schweiz auch künftig zu den wettbewerbsfähigsten und reichsten Ländern dieser Welt gehört. Sie kann sich dann im internationalen Konkurrenzkampf der Forschungsstandorte behaupten, wenn sie die notwendige kritische Masse erreicht. Neben ausreichenden öffentlichen Mitteln für die Schweizer Hochschulen sind auch die Rahmenbedingungen für die Unternehmen zentral. Diese entscheiden darüber, ob die Privatwirtschaft auch künftig ihren bedeutsamen Teil zum Forschungscluster Schweiz beitragen kann.

Sowohl Hochschulen als auch Private sind entsprechend auf hochqualifiziertes Personal aus der ganzen Welt angewiesen. Ohne Exzellenz ist es nicht möglich, trotz hohem Lohnniveau und generell hohen Kosten in der Schweiz Wissen erfolgreich in Wertschöpfung umzusetzen. Tendenzen zur Abschottung des Schweizer Arbeitsmarkts sind daher für beide Seiten höchst gefährlich. Hochschulen und Privatwirtschaft sitzen im selben Boot. Die Synergien und Komplementaritäten lassen sich noch besser ausnützen, wenn Forscher einfacher und häufiger zwischen den Welten wechseln und so die Forschungswelt zu einer machen: Silodenken war gestern, die Zukunft gehört einem erleichterten In und Out zwischen Hochschulen und Privatwirtschaft. ■

Forschungsfreiheit und Utilitarismus

Gernot Kistorz*

Naturae enim non imperatur, nisi parendo

Francis Bacon: *Novum Organum* (1620, zitiert bei T. Withold, S. 149)

1. Einleitung

Während der Diskussionen über den Forschungsartikel der schweizerischen Bundesverfassung titelten vor einigen Jahren mehrere Medienorgane, darunter auch eine der angesehenen Zürcher Tageszeitungen «Das Ziel ist Forschung für alle». Die Mehrdeutigkeit, ob gewollt oder ungewollt, mag zunächst zu der Idee verleiten, jeder solle forschen – auch das ist vertretbar, wenn man unter Forschung den allgemeinen Wunsch nach Klärung beliebiger Sachverhalte (*inquiry* statt *research* in der angloamerikanischen Fachliteratur) versteht. Gemeint war natürlich, dass (zumindest die aus öffentlichen Mitteln geförderte) Forschung allen zu dienen habe. Diese utilitaristischen Ideen entsprungene, im politischen Diskurs gebetsmühlenartig erhobene Forderung degradiert gelernte Forscher (die sich durch ein entsprechendes Studium qualifiziert haben) zu einem «Geschlecht erfinderischer Zwerge, die für alles gemietet werden können.»¹ Schleiermacher (zitiert bei Rüegg²) charakterisiert das Universitätsstudium für alle Fakultäten dadurch, «dass nämlich die Idee des Erkennens, das höchste Bewusstsein der Vernunft, als ein leitendes Prinzip in dem Menschen aufwacht». Die Idee des Erkennens, die *wissenschaftliche* Neugier, sollte sorgfältiger bewertet, geschützt und gepflegt werden als die stark verbreitete menschliche Neugier³ der heute zunehmend medienmanipulierten Allgemeinheit – selbst in einer Gesellschaft, der das Wort «Elite» anrühlich vorkommt. Die Leistungen der «freien», auf die Grundlagen fokussierenden Forschung für Staat und Gesellschaft waren und sind weder steuerbar noch vorhersehbar, aber unverzichtbar.

Im Folgenden soll untersucht werden, wie sich Forschungsfreiheit und Forschungssteuerung auf das Forscherindividuum auswirken, ein Aspekt, der auch in wichtigen Beiträgen⁴ zum Thema «Freiheit der Forschung» wenig Beachtung findet. Vor lauter gesellschafts- und wirtschaftspolitischen Argumenten und Erwägungen werden die Auswirkungen auf die

einzelnen Menschen als Träger der Forschung kaum bedacht.

2. Mills Utilitarismus und das persönliche Glück

«*The greatest happiness for the greatest number*» für sich gelesen und als Leitmotiv adoptiert kann erforderlich machen, dass Einzelne durchaus in ihrem Glücksempfinden eine Minderung akzeptieren, wenn nur der Gesamtwert steigt (das Grundproblem einer Messbarkeit von Glück und Leid soll hier nicht weiter erörtert werden). Die neuere Weiterentwicklung der utilitaristischen Ideen in der praktischen Politik betont diese Interpretation vermehrt, gestützt auf zusätzliche Versuche der quantitativen Glücksbewertung (cf. Pareto-Logik). In «*On Liberty*» schränkt allerdings Mill⁵ selbst den Opferanspruch der Gesellschaft an das Individuum in zwei Schritten ein (a) «*over his own body and mind, the individual*

⁵ John Stewart Mill: *On Liberty* in: J.S. Mill: *On Liberty and Other Essays*, J. Gray, Herausgeb., Oxford University Press, 1991, 14–15.

* ETH Zürich, Dep. Physik, Otto-Stern-Weg 1, HPF G7, 8093 Zürich.

E-mail: kistorz@ethz.ch



Gernot Kistorz, Dr. rer. nat., geboren 1941 in Kattowitz/Oberschlesien, deutscher Staatsangehöriger, war von 1980 bis 2006 o. Professor für Physik an der ETH Zürich, Mitgründer (1983) und Vorsteher (1984/1986) der Abteilung Werkstoffe (heute Dep. Materials) und Vorsteher des Physik-Departements 1996/98. Seit April 2006 ist er emeritiert.

Studium der Physik an der Universität Göttingen. Diplom- und Doktorarbeit über Kristallplastizität. 1968–1971 Argonne National Laboratory, Illinois, USA: Plastizität und Supraleitung, 1971–1978 Institut Laue-Langevin, Grenoble, Frankreich: Neutronenstreuungsmethoden, Untersuchung von Kristalldefekten, Strahlungsschäden und Phasenumwandlungen. 1974–1978 Lehre, Universität Grenoble, 1978–1980 Max-Planck-Institut für Metallforschung in Stuttgart, Forschung und Lehre über Beziehungen zwischen Mikrostruktur und Eigenschaften realer Festkörper. Gastforscher am Argonne National Laboratory (1977, 1986), Gastprofessor an der Northwestern University, Evanston, Illinois (1995), an der Karls-Universität Prag (1996) und an der Universität Wien (2005). (Mit-) Herausgeber mehrerer Fachbücher und Tagungsbände und (Mit-) Autor zahlreicher wissenschaftlicher Arbeiten. 1993 und 1994 Präsident der Federation of European Materials Societies (FEMS). 2005–2012 Editor-in-Chief der acht Zeitschriften der «International Union of Crystallography», zurzeit Co-Editor «*Journal of Applied Crystallography*». Ehrenmitgliedschaften: Metals Science Society of the Czech Republic (1996), FEMS (2003), Deutsche Gesellschaft für Materialkunde (DGM, 2004). Heyn-Denkünze der DGM für «wegweisende Beiträge zur Einführung der Neutronenstreuung in der Materialforschung» 2005. Seit 2004 Generalsekretär der Vereinigung der Schweizerischen Hochschuldozierenden.

¹ Berthold Brecht: *Das Leben des Galilei* (Berliner Fassung), 14. Bild.

² Walter Rüegg: *Das Autonomieverständnis von Humboldts Universitätsmodell*. In: *VSH-APU Bulletin* 33, Nr. 1, April 2007, 17–23.

³ Kurt Bayerz: *Three arguments for scientific freedom*. In: *Ethical Theory and Moral Practice* 9, 2006, 377–398.

⁴ Torsten Withold: *Die Freiheit der Forschung – Begründungen und Begrenzungen*. Berlin: Suhrkamp 2012.

is sovereign» definiert eine Zone der persönlichen Integrität und Unverletzbarkeit für alle Menschen, die heute unter den Menschenrechten zusammengefasst gesehen werden kann, und (b) ausgehend von «...utility as the ultimate appeal on all ethical questions [...] utility in the largest sense, grounded on the permanent interests of man as a progressive being. Those interests, I contend, authorize the subjection of individual spontaneity to external control, only in respect to those actions of each, which concern the interest of other people.» gelangt Mill zu der Aussage, dass das Individuum auch in «actions» frei ist, solange diese Tätigkeiten nicht «hurtful» sind, also für andere keinen Schaden verursachen.⁶ Daraus lässt sich schliessen, dass für jedes Individuum das persönliche Glück nicht nur erstrebenswert, sondern auch erreichbar sein darf. Das Glück der Allgemeinheit wäre in der Tat sonst ein recht zweifelhaftes Konzept. In seiner Verteidigung des Utilitarismus unter Berufung auf die Epikureer in «Utilitarianism»⁷ betont Mill, dass menschliche Wesen Fähigkeiten haben, die über animalische Begierden hinausgehen. Einmal dieser Fähigkeiten bewusst (gemacht worden), werden sie kein Glück empfinden, wenn sie ihnen nicht nachgeben, sie nicht einsetzen können. Fähigkeiten einzusetzen ist auch im Interesse der Gemeinschaft erwünscht. Mill⁸ weist zudem darauf hin, dass verschärfte Kontrolle grösseren Schaden bringen kann als individuelle Freiheit zuzulassen, und erlaubt Selbstverwirklichung im Rahmen des Verträglichen, sogar wenn andere uns für «foolish» oder «perverse» halten mögen: «... a State which dwarfs its men, in order that they may be more docile instruments in its hands even for beneficial purposes – will find that with small men no great thing can really be accomplished.»⁹, denn «Genius can only breathe freely in an atmosphere of freedom.»¹⁰ Wie weit das Individuum gehen darf, muss wohl vor allem vom eigenen Gewissen entschieden werden. In Übereinstimmung mit anderen, die die höheren Sphären des Glücks kennen und einschätzen können, soll er/sie¹¹ einen edlen Charakter entwickeln, der auch das grösste Glück «altogether» unparteilich in alle Betrachtungen einbezieht.¹² Damit könnte das eigene Glück aus eigener Einsicht oder durch Mehrheitsbeschluss, angesichts der Glücksansprüche «insgesamt», gewis-

sen Einschränkungen unterliegen (bis zum Opfer des eigenen Glücks zugunsten des allgemeinen Glücks). Es dürfte jedoch letztlich unbestreitbar sein, dass ein System, das von Einzelnen unerträgliche Opfer verlangt, damit das Gesamtwohl steigt, als unmenschlich qualifiziert werden müsste.

Was folgt aus diesem Überlegungen für die wissenschaftliche Freiheit des (auf solche Freiheit durch geeignete Studien und Erfahrungen vorbereiteten) Individuums? Wie weit kann der freie Geist äusseren Direktiven unterworfen werden, ohne sich selbst aufzugeben und, wichtiger noch, welche Reaktionen können ausgelöst werden, wenn aus einem freien Geist ein ausführendes Dienstorgan gemacht werden soll oder auch nur ein vermeintlich irreversibler «Trend» zu diesem Ziel die Gemüter erhitzt?

3. Wissenschaft als Beruf

In seinem wegweisenden Vortrag zu diesem Thema definiert Max Weber¹³ für den Wissenschaftler Qualitäten, die auch heute noch verlangt werden: Es gilt, «nur der Sache zu dienen» mit der Tugend der «schlichten intellektuellen Rechtschaffenheit». Zur Wissenschaft gehöre das innere Feuer, die Leidenschaft für die Disziplin der Wahl und der Wunsch nach Erkenntnis «um ihrer selbst willen». Aus der Sicht eines erfahrenen, aber vielleicht naiv gebliebenen Physikers von heute kann und sollte das immer noch gelten¹⁴, und man findet auch nach wie vor junge Menschen, die sich mit dieser Vorstellung in ein Studium begeben. Dabei sind sie sich wohl bewusst, dass das wachsende Verlangen der Öffentlichkeit – seien es die Medien für ihre Leser, Hörer und Seher, die politischen Parteien für ihre potentiellen Wähler oder die Legislative und Exekutive aus echter oder gespielter Verantwortung für das Gemeinwesen – nach Transparenz ein Forscherleben in «Einsamkeit und Freiheit», wie es im 19. Jahrhundert umschrieben wurde, nur in sehr seltenen Ausnahmefällen zulassen wird.¹⁵ Das Interesse der Öffentlichkeit an der Forschung und den Forschenden ist berechtigt, vor allem wenn es um die aus öffentlichen Geldern finanzierte Forschung geht, die vor allen anderen Typen der Forschung noch der Freiheit verpflichtet sein könnte. Schon Max Weber hat die Universitäten seiner Zeit als «staatskapitalistische Betriebe» bezeichnet, ohne aber den Freiraum, der den Hoch-

⁶ John Stuart Mill: Utilitarianism /Der Utilitarismus (Englisch / Deutsch), Stuttgart: Reclam, [1871] 1976, Chapter II, Paragraph 19.

⁷ Ibid., Chapter II, Paragraph 4.

⁸ John Stewart Mill: On Liberty. In: J.S. Mill: On Liberty and Other Essays, J. Gray, Herausgeb., Oxford: Oxford University Press, 1991, 16–17.

⁹ Ibid., 129.

¹⁰ Ibid., 72 (Hervorhebung im Original).

¹¹ Im Folgenden ist die maskuline Form generisch zu verstehen.

¹² John Stuart Mill: Utilitarianism /Der Utilitarismus (Englisch / Deutsch), Stuttgart: Reclam, [1871] 1976, Chapter II, Paragraphs 9, 18.

¹³ Max Weber: Wissenschaft als Beruf. In: Wissenschaft als Beruf 1917/1919, Politik als Beruf 1919. Studienausgabe der Max-Weber-Gesamtausgabe Band I/17, Wolfgang J. Mommsen und Wolfgang Schluchter in Zusammenarb. mit Birgitt Morgenbrod, Herausgeb. Tübingen: J.C.B. Mohr, 1994.

¹⁴ Gernot Kostorz: Physik als Beruf. In: VSH-AEU Bulletin 39, Nr. 3/4, November 2013, 14–20.

¹⁵ Kurt Bayerz: Three arguments for scientific freedom. In: Ethical Theory and Moral Practice 9, 2006, 377–398.

schulforschern seit der Humboldt'schen Universitätsreform (von Preussen ausgehend) prinzipiell zugestanden wurde, in Frage zu stellen – ganz im Gegenteil. Dieser Freiraum hatte sich in der Tat bewährt. So schreibt z.B. Walter Rüegg¹⁶: «Um 1900 war die deutsche Wissenschaft auf allen Gebieten führend. Dies lässt sich nicht mit einer besonderen Genialität deutscher Forscher erklären. Bahnbrechende Entdeckungen entstanden auch in andern Ländern. Doch selbst ein Claude Bernard oder ein Louis Pasteur mussten ihre Forschungen auf eigene Faust in Keller- bzw. Estrichräumen durchführen.» Die in Deutschland eingerichteten Laboratorien der experimentellen Wissenschaften galten als beispielhaft. Nach Rüegg waren aber nicht einfach «grosse Laboratorien mit reichlichen Mitteln» entscheidend, «sondern ihre Verankerung in der institutionellen Autonomie der Universität». Die Universität als Ort, wo Forschung auch immer im Hinblick auf die Lehre gesehen und gepflegt wird, förderte die intellektuelle Offenheit sowohl unter Gleichgestellten als auch zwischen den Forschergenerationen.

Heute ist (in Mitteleuropa) der Aufwand für die staatlichen Hochschulen und die öffentlich finanzierte Forschung um etwa zwei Grössenordnungen gestiegen, und Bildungspolitik ganz allgemein sowie Forschung als Wegbereiter für eine gute Zukunft (im Sinne des utilitaristischen Prinzips) interessieren alle, die mitzudenken sich vorgenommen haben. Der angehende Wissenschaftler ist also vorbereitet, dass sein Tun beobachtet und bewertet werden wird. Es kommt gelegentlich vor, dass Studienanfänger bereits stark «vorgepolt» in eine bestimmte Forschungsrichtung drängen, um sich mit ihren Talenten in den Dienst einer bestimmten Sache zu stellen. Manche dieser «Sachen» verlieren im Verlaufe des Studiums aus verschiedenen Gründen ihre anfänglich vermutete Bedeutung, und das erfolgreiche Studium sollte ohnehin auch den Blick auf neue Gebiete eröffnen, in denen die mitgebrachten Talente und manifest gewordenen Fähigkeiten ihre Erfüllung suchen können. Nach dem Einüben der Forschungsmethoden kommt man, je nach Fachgebiet in kleinerem oder grösserem Umfeld, mit der aktuellen Forschung direkt in Berührung. Hier kann es (spätestens) zu einer Ernüchterung kommen, denn nur in den seltensten Fällen ist der junge Forscher frei in der Wahl des Forschungsthemas. Offensichtlich ist die Forschung umso freier, je weniger sie kostet.¹⁷ Die «teure Forschung» ist oft auch die politisch wichtigere, und sie wird durch Programme gefördert, an denen der etablierte oder sich

etablierende Forschungsleiter, dem der Jungforscher sich zunächst einmal anzuschliessen hat, wohl oder übel teilnehmen muss: Andernfalls versäumt er nicht nur, persönlich einen Beitrag zur Lösung einer nationalen oder gar weltumspannenden Problematik zu liefern, ein Versäumnis, das einen Konflikt mit seinen ethischen Vorstellungen induzieren könnte, sondern er disqualifiziert oder benachteiligt sich im günstigeren Fall zudem für die Finanzierung anderer Projekte, ob fremder oder eigener Prägung. Der «pflegeleichte» Forscher ist methodisch auf der Höhe der Zeit und stellt sich strahlend jedem grossen Forschungsprojekt zur Verfügung. Der Erfolg gibt ihm Recht, die Publikationen und Berichte mehren sich, die Zahl der Zitationen steigt mit der Zahl der eigenen Mitarbeiter und der Zahl der am Projekt beteiligten Gruppen, und nur auf diese vordergründige Weise, die wertvolle Arbeitszeit in unbegrenztem Ausmass verschlingt (man forscht nicht mehr selbst, man lässt forschen...) gelingt es, falls man diese Option dann noch nicht aus den Augen oder gar aus dem Sinn verloren hat, sich bei den Geldgebern die (positive) Freiheit zu erwerben, auch einmal für eine ganz eigene Idee gefördert zu werden. Diese Art der Anpassung mag anfänglich schmerzen, aber sie stellt ein geringeres Mass der Glücksminderung dar als der harte Weg, sich mit «Originalität» (hier: ein Thema oder ein Vorgehen, das noch nicht in den Medien breitgetreten und nicht in der Fachwelt als «*Mainstream*» gehandelt wird) im Peer-Review-System durchzukämpfen. (Wenn man Pech hat, erscheint im Verlauf solcher langwierigen Kämpfe plötzlich von kollegialer Seite eine Vortragsankündigung oder gar eine Publikation zum vorgeschlagenen Thema...) Es soll hier nicht der Eindruck entstehen, dass dieser «eigensinnige» Weg gar nicht zum Ziel führt, aber er verlangt neben starker wissenschaftlicher Überzeugung (unbestreitbare Qualität vorausgesetzt) auch ein grosses Mass an Geduld und Beharrungsvermögen. Während Geduld in allen Stufen der Forschung eine Tugend ist, kann Beharrungsvermögen in Starrsinn ausarten, womit nicht nur das freie Spiel der Gedanken gefährdet wird, sondern auch das Verhalten gegenüber Kollegen und Mitarbeitern leidet. Keine Eigenschaft von Bewerbern für Hochschulpositionen wurde in den letzten Jahrzehnten mehr eruiert und eingefordert als die sog. Sozialkompetenz. Wenn sie anfänglich vorhanden zu sein scheint, sollte man sich mehr als bisher Gedanken machen, dass sie – ohne Verluste in der (ebenfalls immer nachgefragten) Kreativität – auch erhalten bleibe.

Es leuchtet wohl ein, dass jemand, der sich ausschliesslich von äusseren Anregungen leiten lässt, kein unabhängiger Forscher sein kann. Mit dem ständigen Erfüllungsnotstand, der bei grossen Projekten

¹⁶ Walter Rüegg: Das Autonomieverständnis von Humboldts Universitätsmodell. In: *VSH-APU Bulletin* 33, Nr. 1, April 2007, 17–23.

¹⁷ Mark B. Brown, David H. Guston: Science, Democracy, and the Right to Research. In: *Sci. Eng. Ethics* 15, 2009, 351–366.

fast immer gegeben ist, schwindet der akademische Geist der Offenheit und Unbefangenheit, der es den Jüngeren ermöglicht, sich ein solides berufliches Fundament zu schaffen. Dazu bedarf es, mehr als von aussen vorstellbar, einer sorgfältigen Führung mit Pflichten und Freiheiten. Bei den Pflichten liegt es in der Hand des Projektleiters, wie weit Teilaufgaben, auch pädagogischer, publizistischer und administrativer Art, an Jüngere übertragen werden. Schon hier setzt das Anpassungsproblem für die Jüngeren ein. Die hierarchische Abhängigkeit kann zu charakterlichen Deformationen führen, bei denen der Wunsch zur forscherschen Freiheit ganz in Vergessenheit gerät. Das ist nicht unbedenklich, denn manche Talente werden sicher (aus Sorge um die Karriere, die Familie, die Gesundheit etc.) auf diese Art verschüttet. Andererseits braucht der Forschungsbetrieb aber auch immer mehr gut ausgebildete Mitarbeiter ohne eigenen Forscherehrgeiz, die sich in den Dienst eines Programms stellen. (Das wird besonders deutlich an Grossforschungsanlagen, wo die methodisch Bewanderten einer wechselnden «Kundschaft» von aussen bei den Projekten helfen, ohne in jedem Fall alle Details der Fragestellung zu überblicken, aber auch in der Koordination und Projektbegleitung von grösseren Forschungskonsortien). Man kann gegebenenfalls auch so recht zufrieden sein. Will man jedoch eigene wissenschaftliche Ideen und Vorschläge verwirklichen, so müssen sie ins Programm passen oder so überzeugend vorgestellt werden, dass der Forschungsleiter sich voll dafür einsetzt. Dazu braucht er neben den materiellen Grundlagen (Salär, Ausstattung) auch mindestens einen Rest von Begeisterung für das Betreten von forscherschem Neuland...

Man erkennt, dass es für etablierte wie für angehende Forscherpersönlichkeiten grosses Ablenkungs- und Versuchungspotenzial gibt, das «Der Sache dienen» allzu wörtlich zu nehmen. Eigentlich sollte ja der «Sache an sich» gedient werden. So wie man einem gelernten Koch nicht ohne Not zumuten wird, sich als Seifensieder zu betätigen, mag man wohl zu dem Schluss kommen, dass sich die im Forscher erwachte Idee des Erkennens nicht ohne Zustimmung des Trägers auf beliebige Forschungsgegenstände übertragen lässt. Aus der persönlichen Perspektive mag eine Notlage oder das Gefühl ihres Herannahens eine Zustimmung erleichtern, aber wenn Motive dieser Art vorliegen, erfährt man nur sehr selten und sicher nicht im kollegialen Kreis davon. Man wird über die «Angepassten» sagen, dass der Weg selbst gewählt wurde, aber es könnte sich durchaus um Fälle von «vorausgehendem Gehorsam» handeln. Auf einen Auslöser derartiger Reaktionen, die zunehmend propagierte Idee der «partizipativen Forschung», wird weiter unten eingegangen.

Zunächst soll aber noch der zweite von Max Weber genannte Aspekt, derjenige der Tugend der «schlichten intellektuellen Rechtschaffenheit», kurz angesprochen werden. Diese Qualität schwebt ja auch Mill vor – sogar für alle am gesellschaftlichen Prozess beteiligten Menschen. Der sich frei fühlende Wissenschaftler muss sich intellektuelle Rechtschaffenheit, d.h. absolute Ehrlichkeit und Unvoreingenommenheit in der Erhebung und Mitteilung von Daten, bei der Auswertung und Interpretation, aber auch hinsichtlich der Kenntnisaufnahme, Anerkennung und Würdigung der Leistungen anderer – alles im Rahmen der eigenen intellektuellen Möglichkeiten – nicht nur leisten dürfen, sondern er muss sie auch pflegen. «*The mental and moral, like the muscular powers, are improved only by being used.*»¹⁸

Dass im Rahmen von Forschungsprojekten auch Fälschungen und Plagiate (auch nicht identifizierte sog. Selbstplagiate, auch «*science recycling*» genannt) vorkommen, wird in letzter Zeit Dank der elektronischen Hilfsmittel häufiger entdeckt. Die Forschungsinstitutionen haben nahezu flächendeckend mit Verhaltensregeln und der Möglichkeit von verstärkten Kontrollen reagiert. So genanntes wissenschaftliches Fehlverhalten hat es auch früher schon gegeben. Dass es dazu kommt, war und ist vor allem eine Bestätigung, dass auch die Beschäftigung mit Wissenschaft nicht mit Sicherheit zu einem tugendhaften Verhalten führt. Ausserdem dienen solche Vorfälle aber leider auch als ein Argument gegen die oft von der Wissenschaft selbst zitierte Selbstregulierung; offenbar gibt es «Versager» im System. Wie gross die Quote der Sünder ist, lässt sich schwer abschätzen. Dort, wo genaue Nachprüfungen von der Natur der Fälschungen her möglich sind, liegen sie unter 2%. In manchen Gebieten mag die Dunkelziffer deutlich höher liegen, aber insgesamt ist die Selbstregulierung des Wissenschaftsbetriebs nicht in Gefahr. Jeder der beklagenswerten Fälle schädigt jedoch das Ansehen aller Forscher.

Neben Normen und Vorschriften sollte man sich verstärkt der Frage widmen, wodurch Forschende zu Fehlverhalten motiviert werden können, und ob einige dieser Motivationsquellen abgestellt werden können. Keine Diskussion benötigt der Fall, dass ein junger Forscher mangelhaft ausgebildet wurde und ohne gute Anleitung auf die Idee kam, schlicht Forschungsergebnisse zu fälschen: Es ist trivial, dass Resultate, die anderen wichtig erscheinen, dem Test der Reproduzierbarkeit standhalten müssen und dass diese Tests auch gemacht werden... In einem

¹⁸ John Stewart Mill: On Liberty. In: J.S. Mill: On Liberty and Other Essays, J. Gray, Herausgeb., Oxford: Oxford University Press, 1991, 65.

guten Forschungsteam sollte man auch das gelernt haben. Unethisches Verhalten bei Forschenden aller Altersklassen kann aus übertriebenem Ehrgeiz, Ungeduld oder Unzulänglichkeiten hinsichtlich der Anerkennung und Karriere oder Sorge um die Zukunft folgen. Zu den oben genannten Delikten kommen noch einige andere hinzu, für Autoren neben Selbstplagiaten die Salami-Publikationstechnik («Salami-Wissenschaft»: scheinbarweise Berichte, siehe z.B. Bornmann und Daniel¹⁹), die Bildung von Publikations- und Zitationskartellen (man publiziert gemeinsam mit befreundeten Kollegen und zitiert sich gegenseitig bevorzugt), die Unterdrückung wichtiger Zitate zum Thema und viele weitaus subtilere Versuche, der eigenen Arbeit mehr Zitate und den Autoren höheres Ansehen (bei «Web of Science» abrufbar als «Hirsch-Index») zu verschaffen. Diese fragwürdigen Versuche (die in der Tat vorerst wirksam sein können), den Erfolg zu beschleunigen, sind darauf zurückzuführen, dass die Leistungen der Forschenden immer noch vorrangig an der Anzahl von Publikationen und der Anzahl von Zitationen gemessen werden. Bei Bewerbungen um wissenschaftliche Positionen wie um Forschungsgelder wird oft zuerst auf diese Parameter geachtet. Dazu kommt die Qualität der Zeitschrift, in der publiziert wurde. Wiederum «helfen» numerische Methoden, hier die Ermittlung der durchschnittlichen Anzahl von Zitationen pro Artikel über einen gegebenen Zeitraum (der «*Impact factor*»). Es ist leicht zu zeigen, dass all diese Parameter zu groben Fehlschlüssen führen können, zumal die Adaptationsfähigkeit der «Benachteiligten», also statistisch gesehen mindestens der Hälfte der Population, keine Grenzen zu kennen scheint, wenn die recht simplen Mechanismen einmal erkannt sind. Es ist nur zu hoffen, aber schwer zu beweisen, dass nicht alle mitmachen... Wenn falsche Signale gesetzt werden, darf man sich nicht wundern, dass auch im Ansatz anständige Menschen zu fragwürdigen Mitteln greifen («Not macht erfinderisch»). Zur Qualitätssicherung müssen vermehrt entsprechend kompetente Experten sinnlos anmutende Überprüfungen und Nachforschungen vornehmen (siehe z.B.²⁰), denn digitale Methoden sind noch nicht zuverlässig genug. Alternative Methoden zur Bewertung von wissenschaftlicher Leistung und Qualität werden weltweit diskutiert, aber ein Konsens ist nicht in Sicht. Derweil entwickeln sich vermeintlich freie Wissenschaftler zu angepassten Profiteuren und beschäftigen sich gegenseitig zunehmend mit unpro-

duktiven Aufgaben. So entsteht allmählich eine neue «Klasse» von Wissenschaftlern, katalytisch angeheizt durch die steigende Zahl von anpassungsfähigen und –willigen Studierenden unterschiedlichster kultureller Prägung. Der «Zwerg» entschwindet in die Poesie.

4. Wie weiter?

Die Frage, wie man das Wissen der Forscher und ihre Fähigkeiten für die Gemeinschaft nutzt, ist so alt wie die Forschung selbst²¹ (d.h. so alt wie die Menschheit). Es geht vor allem um die Gewinnung und Nutzung «relevanter» Erkenntnisse. Relevanz, von der politischen Öffentlichkeit definiert, ist dabei starken Fluktuationen unterworfen, die häufig mit den Zeitkonstanten seriöser Forschung nicht kommensurabel sind. Das soll hier aber nicht weiter diskutiert werden, denn es geht primär um die Freiheiten des Individuums im Forschungsumfeld. Während sich die Nutzung bekannten Wissens bei oberflächlicher Betrachtung durch Auftragsforschung weiterentwickeln liesse, zeigt sich in der Praxis immer wieder, dass die Ausweitung der Grenzen des Wissens die grössere Herausforderung darstellt, sowohl für das Projekt als auch für den einzelnen Forscher. Selbst innerhalb von Industrieprojekten mit vermeintlich klar vorgegebenen Zielen sind fundamental neue Erkenntnisse möglich, manchmal auch unmittelbar erwünscht.²² Daraus zu schliessen, dass alle Forschung von aussen programmiert werden darf, solange nur genügend Freiraum in der täglichen Arbeit vorhanden ist, um neue Ideen zu entwickeln, ist jedoch verfehlt. Man verzichtet damit sicher auf eine Art von Kreativität, die neue, entscheidende Impulse aus dem (warum nicht auch spielerischen?) Umgang mit Problemen, Methoden und Ideen liefern kann. Die Tatsache, dass dieses Potenzial schwer einzuschätzen ist, darf nicht dazu führen, dass man es vernachlässigt. Die Forschergemeinschaft muss sich gegen eine totale Vereinnahmung und zu starke Ausrichtung auf «grosse» Ziele wehren. Nur durch Pluralität der Projekte und durch Möglichkeiten für neue, auch «kleine» Projekte kann sie intern dafür sorgen, dass die gewünschte Atmosphäre herrscht, in der ein Genius (*in statu nascendi*) frei atmen kann. Die Gesellschaft kann nicht die persönliche Freiheit zu jeder beliebigen Art von Forschung garantieren, aber sie muss Voraussetzungen schaffen, dass die Behinderungen der individuellen Freiheit, Forschungsziele zu entwickeln, minimal gehalten werden. Damit diese individuelle negative Freiheit gelebt werden kann, muss das den Steuerungsmechanismen unterliegende kollektive Umfeld selbst mehr Einsicht und Willen

¹⁹ Lutz Bornmann und Hans-Dieter Daniel: Multiple Publication on a Single Research Study: Does it pay? The Influence of Number of Research Articles on Total Citation Counts in Biomedicine. In: *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 58, 2007, 100–1107.

²⁰ The cost of salami slicing. In: *Nature Materials* 4, 2005, 1–2. (Editorial)

²¹ Torsten Wilholt: Die Freiheit der Forschung – Begründungen und Begrenzungen. Berlin: Suhrkamp 2012, Kap. 4 und 6.

²² Torsten Wilholt: Die Freiheit der Forschung – Begründungen und Begrenzungen. Berlin: Suhrkamp 2012, 109–110.

entwickeln, gerade für den Nachwuchs geeignete Rahmenbedingungen und verantwortungsbewusste Förderung im Alltag zu schaffen. Wenn Bayertz²³ eine Einschränkung oder gar den Verlust der individuellen Forschungsfreiheit im Rahmen der «organisierten» Wissenschaft konstatiert, so gibt er eine *de iure* zutreffende Beschreibung. Es muss und darf *de facto* anders sein. Dass die persönliche Freiheit als Forscher aber nie vollkommen sein kann, ergibt sich neben der anstellungsbedingten Unterordnung auch schon aus der Tatsache, dass man sich der kollegialen Bewertung und Auseinandersetzung stellen muss²⁴, um Anerkennung und vielleicht einmal Ruhm zu erlangen – neben der dem Menschen generell eigenen Neugier und der Freude am «Neuen» die wesentlichen Antriebe für Forschende. (Der wissenschaftliche Diskurs ist allerdings eher ein Teil der wissenschaftlichen Freiheit als eine Einschränkung.) Dass man, bezahlt aus öffentlichen Geldern, der Öffentlichkeit auf geeignetem Wege auch über die geförderte Tätigkeit Rechenschaft ablegen muss und innerhalb angemessener Fristen eine «Nützlichkeit» erkennbar sein sollte, darf nicht dazu führen, dass neue Ideen keine Chance haben. Forderungen, alle Forschung durch politische Willensbildung in den Dienst der Gesellschaft zu stellen (partizipative Forschung), sind in dieser Hinsicht nicht unterstützenswert. Man stelle sich (um ein Beispiel aus der Kunst zu wählen) vor, die Bürger der USA würden beschließen, alle Bildhauer als Steinmetze zur Fertigstellung des «*Crazy Horse*»-Monuments in Wyoming abzukommandieren und, wenn es der Bedarf verlangt, für einige Jahre nur noch Steinmetze auszubilden... Kein zivilisiertes Gemeinwesen käme auf solche Ideen.

Dass der Aufwand für die Wissenschaften üblicherweise höher ist als für die Künste, kann nicht die Forderung rechtfertigen, dass die Wissenschaften einer engeren politischen Führung unterliegen müssen. Politische Manöver zur Lenkung und Umlenkung von Forschungspotenzial ebenso wie Geheimhaltung von unbequemen Meinungen und Ergebnissen dienen nicht der Weiterentwicklung von Forschung und Forschern. Noch bedenklicher ist der Versuch, die Forschung auf erwünschte Resultate hin zu beeinflussen. Politiker und Bürgerbewegungen allein sind nicht in der Lage, die gesamte Forschung zu steuern. Die generelle Unsicherheit über langfristige Aussagen in allen Gebieten, die sich durch Forschung aufklären lassen, verlangt nach sorgfältigen, sachkundigen Erwägungen mit Gewährleistung einer Pluralität der Ansätze. Dazu genügt es nicht, dass sich jede

Partei mit einem «Hauswissenschaftler» schmückt, der, als Staatsbürger in seiner politischen Meinung frei, als vermeintlich unvoreingenommener Experte vorgeführt wird. Durch solche Auftritte verliert die gesamte Wissenschaft an Glaubwürdigkeit. Gerade bei brisanten Themen dürfen die Lösungsansätze auch unter Experten umstritten sein.

Politische Schwerpunktentscheidungen sind gerade bei «relevanten», d.h. die Menschen aktuell und unmittelbar betreffenden Forschungsaufgaben unumgänglich. Sie sollten sich aber auf globale Mittelzuweisungen beschränken. Die detaillierte Organisation sollte der zuständigen Forschergemeinschaft auch autonom zustehen.²⁵ Es werden gelegentlich Einwände erhoben, die Selbststeuerung der öffentlich geförderten Forschung mit ihren Expertengremien und Begutachtungsprozeduren sei ein undemokratischer «Selbstbedienungsladen» mit gegenseitigen Gefälligkeitsgutachten. Diese Gefahr besteht umso mehr, je kleiner die Anzahl der am Prozess Beteiligten ist. Die Entscheidungsprozesse sollten auf fachlich breiter Basis, möglichst, und bei kleinen Ländern zwingend, unter Einbeziehung internationaler Experten, stattfinden. Mehr Transparenz sollte an vielen Stellen möglich sein, d.h. Vertreter der Öffentlichkeit sollten die Abläufe miterleben, aber nicht entscheidend beeinflussen (anders z.B.²⁶). Erfolge sollten weniger in quantitativen Indikatoren und umfangreichen Dokumentationen gesucht werden, sondern durch verstärkten Austausch unter Peers (nicht durch Besuche berufsmässiger Reisegutachter), d.h. Expertenbesuche im Rahmen von (beiderseits verpflichtenden) «Reviews». Dabei sollten persönliche Begegnungen mit individuellen Forschern, nicht polierte Power-Point-Präsentationen, im Vordergrund stehen. Gerade für junge Wissenschaftler wäre ein solches Verfahren, das es hier und da schon lange gibt, eine wünschenswerte Herausforderung, eine Gelegenheit zu einer ernsthaften Standortbestimmung und eine Quelle von Chancen zur positiven Weiterentwicklung.

Die unbeschwerte, von Vernunft und Einsicht getragene Beschäftigung mit den Grundlagen in einem offenen, intellektuell herausfordernden Umfeld ist insbesondere für den Nachwuchs in jeder Wissenschaft die beste Basis für die Befähigung zu rationalem Handeln und respektvollem Umgang mit den Mitmenschen und der Natur. ■

²³ Kurt Bayerz: Three arguments for scientific freedom. In: *Ethical Theory and Moral Practice* 9, 2006, 377–398.

²⁴ Torsten Wilholt: Die Freiheit der Forschung – Begründungen und Begrenzungen. Berlin: Suhrkamp 2012, p.40.

²⁵ siehe Torsten Wilholt: Die Freiheit der Forschung – Begründungen und Begrenzungen. Berlin: Suhrkamp 2012, p. 347.

²⁶ Mark B. Brown, David H. Guston: Science, Democracy, and the Right to Research. In: *Sci. Eng. Ethics* 15, 2009, 351–366.



Professor of Computational Mechanics of Materials

The Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering (www.baug.ethz.ch) at ETH Zurich invites applications for the above-mentioned position.

The professorship covers the field of computational modelling of building materials. The focus should be on the analysis of the specific structural and chemical features as well as mechanical and interfacial properties of porous hybrid materials by cross-scale modelling approaches that are centred at the microstructural level, but interlink the molecular and the macroscopic scale. Candidates should hold a PhD in computational science, materials science, or materials engineering and have a strong engineering background. In addition, commitment to teaching undergraduate level courses (German or English) and graduate level courses (English) is expected.

Please apply online: www.facultyaffairs.ethz.ch

Applications should include a curriculum vitae, a list of publications, a statement of future research and teaching interests, and a description of the three most important achievements. The letter of application should be addressed to the **President of ETH Zurich, Prof. Dr. Lino Guzzella**. **The closing date for applications is 15 September 2017**. ETH Zurich is an equal opportunity and family friendly employer and is responsive to the needs of dual career couples. We specifically encourage women to apply.

Herausgeber und Verlag/Editeur: Vereinigung der Schweizerischen Hochschuldozierenden
 Association Suisse des Enseignant-e-s d'Université
 Associazione Svizzera dei Docenti Universitari
 Generalsekretariat: Prof. Dr. Gernot Kostorz
 Buchhalden 5, 8127 Forch
 Tel.: 044 980 09 49 oder/ou 044 633 33 99 (ETHZ)
 Fax: 044 633 11 05
 E-mail: vsh-sekretariat@ethz.ch
 Homepage: www.hsl.ethz.ch
 PC-Konto / ccp 80-47274-7

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Redaktion/Rédaction: Elisabeth Ehrensperger, Dr. rer. soc., Spitalackerstrasse 23, 3013 Bern
 E-Mail: elisabeth.ehrensperger@gmail.com

Layout: Print + Publish ETH Zürich, 8092 Zürich, E-Mail: print-publish@services.ethz.ch

Druck/Imprimerie: Print + Publish ETH Zürich, 8092 Zürich

Anzeigen/Annonces: Generalsekretariat
 Preise: Stellenanzeigen/Postes à pourvoir: CHF 250 (1/2 Seite/page), CHF 500 (1 Seite/page),
 andere Annoncen/autres annonces: CHF 500/1000

**Mitgliederbetreuung, Adressen/
 Service membres, adresses:** Generalsekretariat

Das Bulletin erscheint drei- bis viermal im Jahr und wird gratis an die Mitglieder versandt.
 Abonnements (CHF 65 pro Jahr inkl. Versand Schweiz) können beim Verlag bestellt werden.
 Le Bulletin apparait trois à quatre fois par an et est distribué gratuitement aux membres.
 Des abonnements sont disponibles auprès de l'éditeur (CHF 65 par an, frais de port compris en Suisse).

Vorstand/Comité directeur am 1. August / au 1^{er} août 2017

Präsident/Président: Prof. Dr. sc. nat. Christian Bochet, Université de Fribourg, Département de Chimie,
 Chemin du musée 9, 1700 Fribourg, Tel.: 026 300 8758, E-Mail: christian.bochet@unifr.ch

Vorstandsmitglieder/Membres du comité: Prof. Dr. Nikolaus Beck, Università della Svizzera italiana, Institute of Management,
 Via G Buffi 13, 6900 Lugano, Tel.: 058 666 44 68, E-Mail: nikolaus.beck@usi.ch
 Prof. Dr. Bernadette Charlier, Université de Fribourg, Centre de Didactique Universitaire,
 Bd de Pérolles 90, 1700 Fribourg, Tel.: 026 300 75 50, E-Mail: bernadette.charlier@unifr.ch
 Prof. (em.) Dr. phil. Hans Eppenberger, Wiesenweg 5, 5436 Würenlos,
 Tel.: 056 424 3256, E-Mail: hans.eppenberger@cell.biol.ethz.ch
 Prof. Dr. Norbert Lange, Université de Genève, Université de Lausanne, Ecole de Pharmacie, Sciences II,
 Quai Ernest Ansermet 30, 1211 Genève 4, Tél.: 022 379 33 35, E-Mail: norbert.lange@unige.ch
 Prof. Dr. (Ph.D.) Stephan Morgenthaler, Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL),
 Fac. Sciences de base (SB), Inst. de mathématiques (IMA), MAB 1473 (Bâtiment MA),
 Station 8, 1015 Lausanne, Tél.: 021 6934232, E-mail: stephan.morgenthaler@epfl.ch
 Prof. Dr. med. Dr. phil. Hubert Steinke, Universität Bern, Institut für Medizingeschichte,
 Bühlstrasse 26, 3012 Bern, Tel.: 031 631 84 29, E-Mail: hubert.steinke@img.unibe.ch

*Herausgegeben mit Unterstützung der Schweizerischen Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften (SAGW)
 Publié avec le soutien de l'Académie suisse des sciences humaines et sociales (ASSH)*



Assistant Professor (Tenure Track) of Inorganic Chemistry

The Laboratory of Inorganic Chemistry (LAC) (www.lac.ethz.ch) of the Department of Chemistry and Applied Biosciences (www.chab.ethz.ch) at ETH Zurich invites applications for the above-mentioned position. The research activities at the LAC encompass synthesis of inorganic compounds on the molecular and nanometre scale and characterisation of complex reaction systems with atomic and molecular level precision.

The new assistant professor is expected to develop an outstanding research programme in the broad area of molecular and/or physical inorganic chemistry. Research activities at the interface to other disciplines such as physics, materials, or biological sciences will be considered as an important asset. Collaboration with theoretical and experimental groups at ETH Zurich is encouraged, and teaching in the areas of Inorganic Chemistry and Organometallic Chemistry is expected at both the undergraduate and graduate level.

Assistant professorships have been established to promote the careers of younger scientists. ETH Zurich implements a tenure track system equivalent to other top international universities.

Please apply online at: www.facultyaffairs.ethz.ch

Applications should include a curriculum vitae, a list of publications, a statement of future research and teaching interests, and a description of the three most important achievements. The letter of application should be addressed to the President of ETH Zurich, Prof. Dr. Lino Guzzella. **The closing date for applications is 15 September 2017.** ETH Zurich is an equal opportunity and family friendly employer and is responsive to the needs of dual career couples. We specifically encourage women to apply.

***Die Stimme
der Hochschuldozierenden***



***La voix
des enseignant-e-s d'université***