

Virtuelle Forschungsumgebungen für morgen

Um Wissenschaftlern die Infrastruktur bieten zu können, die sie für ihre Arbeit in der Zukunft brauchen, müssen Hochschulen und außeruniversitäre Institutionen ihre Kräfte bündeln und neue Wege beschreiten.

Von Uwe Schwiegelshohn

Nur dort, wo der Boden und das Angebot an Wasser und Licht ihren Bedürfnissen genügen, werden Pflanzen gedeihen und Frucht tragen. Genauso verhält es sich auch mit der Wissenschaft: Ein Forscher benötigt eine seinem Thema angemessene Umgebung, um herausragende Ergebnisse zu erzielen. Das war schon in der Antike so, wobei sich die erforderliche Infrastruktur im Lauf der Jahrhunderte freilich beträchtlich erweitert hat. Doch auch wenn wir heute von »virtuellen Forschungsumgebungen« sprechen, sind die Grundbedürfnisse doch erstaunlich gleich geblieben. Gelehrte brauchen vor allen Dingen eines: die Möglichkeit, sich mit anderen Experten ihres Fachs auszutauschen.

Weil diese beiden Grundpfeiler jeder Forschung Ende des 4. Jahrhunderts v. Chr. am Museion Alexandrias gegeben waren, wurde es zur zentralen Stätte antiker Gelehrsamkeit. Nirgends sonst beherbergte eine Bibliothek eine solche Vielzahl an Schriften – hunderttausende sollen es gewesen sein. Nicht anders als heute ermöglichten diese frühen Publikationen eine indirekte Kommunikation zwischen Forschern über Generationen hinweg.

Auf Grund seiner Bedeutung wurde das Museion oft von den Großen der Zeit geleitet, etwa von Eratosthenes, der den Erdumfang und die Schiefe der Ekliptik vermaß, oder von dem frühen Sprachwissenschaftler Aristophanes. Selbst längere Reisen und die damit verbundenen Gefahren schreckten Wissen Suchende nicht ab. Seine einzigartige Ausstattung verdankte das Museion dem Engagement des ptolemäischen Herrscherhauses. Obwohl die Wirtschaftsmacht ihres Landes noch nicht davon abhing, wissenschaftliche Erkenntnisse in technische Innovationen umzumünzen, legten diese Könige großen Wert darauf, den »Forschungsstandort« Alexandria

attraktiv zu machen und so in der Antike den Wettbewerb um die klügsten Köpfe zu gewinnen.

Während es damals nur wenige solcher Stätten der Gelehrsamkeit gab, änderte sich die Situation im Spätmittelalter deutlich. Mit dem Untergang des Römischen Reichs im 5. Jahrhundert war eine Phase weit gehender wissenschaftlicher Stagnation angebrochen. Nun aber wurden die antiken naturphilosophischen Erkenntnisse wiederentdeckt, und die Mächtigen ihrer Zeit gründeten Universitäten als neue Form, Studium und Forschung eine Heimat zu geben. Das Modell erwies sich als erfolgreich. Um 1230 gab es bereits etwa 20 solcher Einrichtungen in Europa, 1789 waren es schon 142. Im deutschen Sprachraum vollzog sich diese Entwicklung etwas langsamer. Bis 1400 gab es erst drei Universitäten, bis 1500 wuchs ihre Zahl aber auf zehn. Heute sind es in Deutschland allein ungefähr 100. Hinzu kommen noch andere Arten von Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen.

Niedergang der Bibliotheken

Auch in den mittelalterlichen Universitäten spielten die Bibliotheken eine tragende Rolle, und daran hat sich bis in die Gegenwart nichts geändert. Nach wie vor ist die Publikation das primäre Mittel, Forschungsergebnisse in der Fachwelt zu verbreiten. Seit der Erfindung des Buchdrucks durch Johannes Gutenberg Mitte des 15. Jahrhunderts lassen sie sich leicht vielfältigen – und dank des Aufkommens der Zeitungen und schließlich des Wissenschaftsjournalismus auch einer breiten Öffentlichkeit vermitteln.

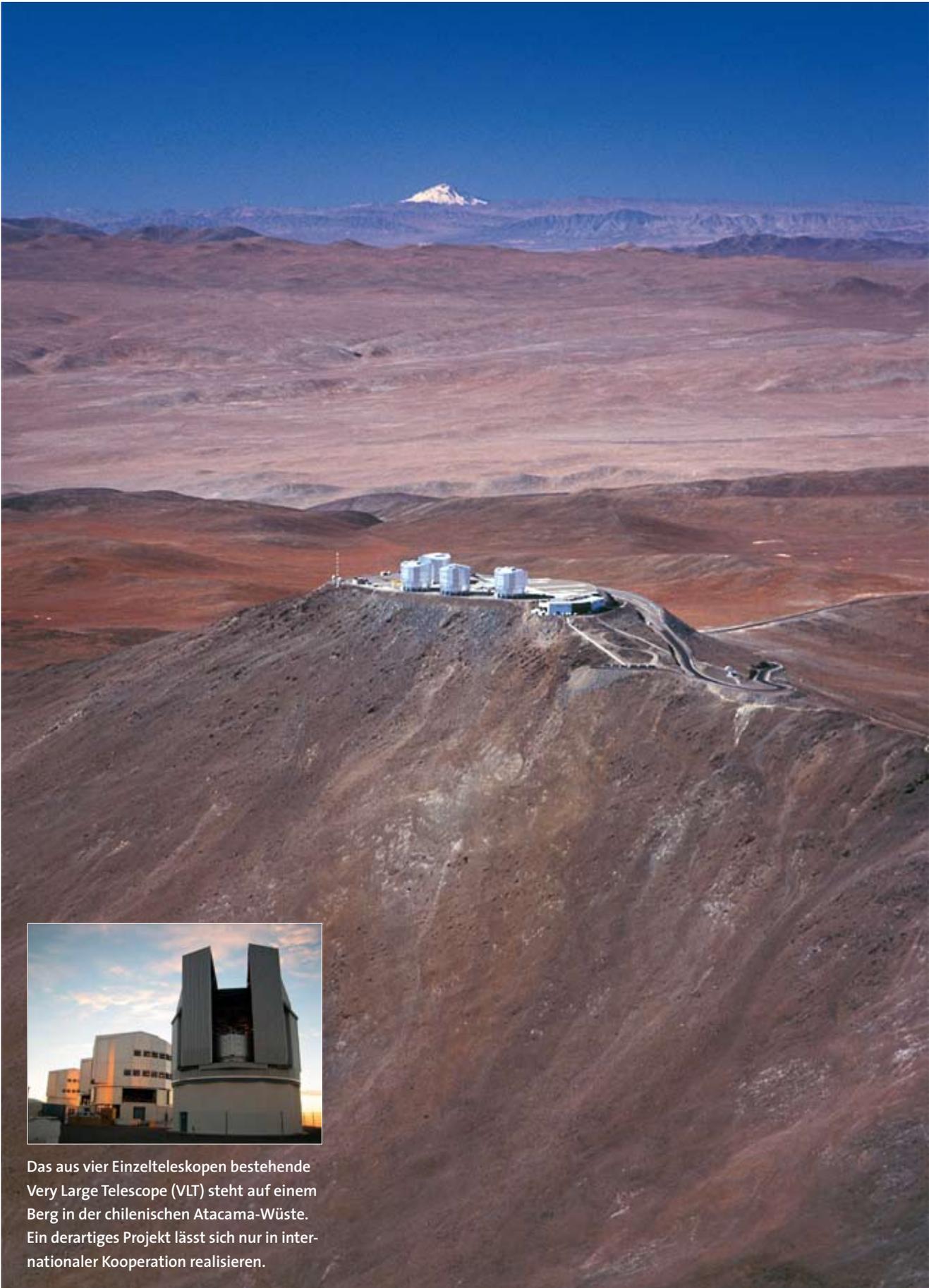
Dennoch gab es seit den Zeiten Galileo Galileis (1564–1642) eine strukturelle Veränderung: Schriften – und damit die Bibliotheken – verloren mit der Einführung von

Experiment und Beobachtung ihre Alleinstellung im Erkenntnisprozess. Dieser Trend setzt sich bis in die Gegenwart fort, in der neben den Bibliotheken als weitere Querschnittsfunktion die Rechenzentren zur Verarbeitung von Forschungsdaten aufkamen. Inzwischen wendet eine typische technische Universität durchschnittlich weniger als zwei Prozent ihres jährlichen Etats für die Ausstattung ihrer Bibliothek auf, hingegen über fünf Prozent für Laborräume und technische Einrichtungen. Dies war und ist die Konsequenz einer veränderten Forschungslandschaft, in der sich die Natur- von den reinen Geisteswissenschaften lösten und größeren Raum einnahmen.

Da Experimente disziplinspezifisch sind, erfordern sie unterschiedliche Forschungsumgebungen. Angesichts einer wachsenden Zahl von Teildisziplinen wird es für eine Universität immer aufwändiger, das ganze Spektrum der Wissenschaften abzubilden, auch wenn sich Forschungsumgebungen bei vergleichbaren Fragestellungen durchaus ähneln.

Mitunter benötigen wissenschaftliche Instrumente spezifische Einsatzorte. Dazu gehören astronomische Teleskope, die einen dunstfreien Himmel erfordern (siehe Foto rechts), oder die polaren Beobachtungsstationen und Forschungsschiffe der Klimaforscher. Die effiziente Nutzung dieser weit entfernten Beobachtungsstandorte verlangt, große Datenvolumina von dort schnell zu den jeweiligen Wissenschaftlern an ihren Heimatuniversitäten zu übermitteln.

Während Gelehrte noch Anfang des 20. Jahrhunderts in Briefwechseln Informationen austauschten und Theorien diskutierten, wollen Forscher heute mit anderen ohne Verzögerung und unabhängig vom Aufenthaltsort in Verbindung treten können. Das leisten die modernen, globalen Kommunikationssysteme, darunter vor allem das Internet. Hierfür



KLEINES FOTO: ESO, GROSSES FOTO: ESO, GERHARD HILDEPOLL



Das aus vier Einzelteleskopen bestehende Very Large Telescope (VLT) steht auf einem Berg in der chilenischen Atacama-Wüste. Ein derartiges Projekt lässt sich nur in internationaler Kooperation realisieren.

die technische Infrastruktur bereitzustellen, ist ebenfalls eine Kernkompetenz der Rechenzentren. Sie versetzen nicht nur Wissenschaftler – vorwiegend Naturwissenschaftler – aus unterschiedlichen Einrichtungen und Ländern in die Lage, gemeinsam zu forschen und zu veröffentlichen, sie unterstützen auch den zunehmend interdisziplinären Charakter der Wissenschaft. Fragt man beispielsweise, welche Auswirkungen die globale Erwärmung und die mit ihr einhergehenden Veränderungen von Lebensräumen auf die Verbreitung von Krankheiten haben werden, sind Spezialisten verschiedener Fachrichtungen gefragt.

Von modernen Forschungsumgebungen wird erwartet, dass sie eine solche Vernetzung unterstützen. Das Vorhandensein der genannten Kommunikationssysteme allein genügt dafür nicht mehr. Ebenso wichtig wird die Kompatibilität zwischen früher isoliert funktionierenden Laboren. Das erfordert die Einrichtung und Pflege möglichst standardisierter Schnittstellen, was ebenfalls in die Kompetenz der Rechenzentren fällt und ihre Bedeutung noch steigert.

Die wachsende Anzahl der Universitäten und die immer aufwändigere technische Ausstattung lässt freilich die Kosten steigen. So entstand der Begriff der Forschungsinfrastruktur, die neben der Qualität der darin erhaltenen Forschungsumgebungen auch organisatorische Aspekte wie die Kosteneffizienz berücksichtigt. Eines der ersten Beispiele da-



Das Studium von Schriften bildete im Mittelalter die Basis aller Gelehrsamkeit (oben: ein Hörsaal der Pariser Sorbonne im 15. Jahrhundert). Mit dem Aufkommen des Experiments im 16. Jahrhundert verloren Bibliotheken an Bedeutung. Manche Forschungsfragen

für waren die in den 1970er Jahren entstandenen deutschen Bibliotheksverbände. Zunächst wurden Zentralkataloge geschaffen, in denen ein Titel nur einmal aufgeführt ist, was die Katalogpflege vereinfacht. Später kam die Onlinefernleihe hinzu, die einzelne Büchereien entlastete, weil nun keine mehr ein komplettes Literaturangebot vorhalten musste. Dank der modernen Kommunikationstech-

nik verlängert sich die Wartezeit nur geringfügig.

Eine weitere Neuentwicklung ist die virtuelle Forschungsumgebung, die annähernd die gleiche Funktionalität wie eine ideal ausgestattete lokale aufweist, obwohl nicht mehr alle Komponenten am Standort existieren. Voraussetzung ist eine gesteuerte Kooperation zwischen den Trägern der lokalen Umgebungen und die Vernetzung der einzelnen Forscher untereinander. Somit ist die typische Forschungsumgebung von heute immer eine virtuelle, da sie unterschiedliche Standorte verbindet.

Das betrifft insbesondere wissenschaftliche Experimente, die aus Kostengründen nur an wenigen oder gar nur an einem Ort durchgeführt werden können. Man denke etwa an die Projekte aus dem Bereich der Teilchenphysik am Large Hadron Collider (LHC) am CERN (Europäische Organisation für Kernforschung) in der Nähe von Genf. Solche Organisationen wurden gegründet, um Großexperimente durchzuführen. Sie sind in der Regel durch öffentliche Mittel finanziert und bilden eine wesentliche Säule von Forschungsinfrastrukturen. Umfangreiche und den angeschlossenen Wissenschaftlern zugänglich zu machende Datenvolumina entstehen aber auch durch die Digitalisierung von Literatur und Kultur oder im Zuge einer Vielzahl klei-



Im 3. Jahrhundert v. Chr. avancierte die Universität Alexandrias zu einem Zentrum des Wissens. Von christlichen Fanatikern zerstört, wurde sie im 4. Jahrhundert n. Chr. andersorts neu gebaut. Polnische Archäologen glauben, einige der Hörsäle entdeckt zu haben.



erfordern die Konzentration von Experimentiereinrichtungen an einem Ort (im Bild oben der LHC am CERN). Von dort müssen die Ergebnisse über Kommunikationsnetzwerke zu den über die ganze Welt verteilten Wissenschaftlern weitergeleitet werden.

nerer Studien mit aufwändigen Bilddaten wie in der Medizin. Diese Informationen werden in der Regel in großen Archiven gesammelt und wiederum anderen Forschern zur Verfügung gestellt.

Sowohl aus dem Interesse der Beteiligten als auch aus Effizienzgründen sollten all diese Daten möglichst vielen Gruppen zugänglich sein. Damit entsteht ein Bedarf an virtuellen Forschungsumgebungen, die institutionsübergreifend aufgebaut sind. Im Gegensatz zum erwähnten Bibliotheksverbund oder zum Rechenzentrum wären diese zwar disziplinspezifisch, durch Synergieeffekte würden aber die Kosten reduziert.

Rechnen in der Wolke

Virtuelle Forschungsumgebungen sollen vor allem notwendige Dienste für die beteiligten Wissenschaftler anbieten, angefangen von der Verbindung zu anderen Forschern, wissenschaftlichen Geräten oder Datenspeichern an weit entfernten Orten bis hin zur Bereitstellung und Pflege benötigter Software für die Auswertung von Messergebnissen. Es wäre ineffizient, wenn solche Software von jedem Wissenschaftler selbst erstellt werden müsste, wie dies in der Vergangenheit oft der Fall war. Nachdem aber jetzt die Institutionsgrenzen einmal aufgebrochen sind, bietet es sich an, sie auch hier zu überschreiten. Bei

den LHC-Experimenten ist das durch das so genannte Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) – ein aus miteinander kommunizierenden Rechnern auf der ganzen Welt bestehendes Netzwerk – bereits in Ansätzen geschehen.

Das erfordert eine dienstleistungsorientierte Softwaretechnologie. Ein Beispiel dafür ist das so genannte Cloud Computing. Eine solche »Rechnerwolke« besteht aus einem Netzwerk von Computern, aus dem ein Anbieter die nachgefragten Ressourcen dynamisch zuweist. Letzterer weiß also nicht mehr, wo konkret jene Maschinen stehen, die seine Daten oder eine bestimmte Software vorhalten – all das bleibt ihm wie hinter einer Wolke verborgen.

Hier bietet sich eine weitere Chance für die Hochschulen, Kosten zu sparen und gleichzeitig ein Mehr an Infrastruktur zu bieten. Gegenwärtig versorgen ihre Rechenzentren noch die vor Ort arbeitenden Forscher. Angesichts der Fragmentierung der Hochschullandschaft in viele Disziplinen mit jeweils nur einer kleinen Zahl von Wissenschaftlern pro Universität lässt sich auf diese Weise kaum die nötige hohe Auslastung erreichen. Vernünftiger wären Rechenzentrumsverbände analog den Bibliotheksverbänden; erste Schritte in diese Richtung wurden sowohl innerhalb von Bundesländern als auch

über Bundesländergrenzen hinweg schon unternommen.

Im Extremfall könnte ein Rechenzentrum die gesamte Infrastruktur stellen – beziehungsweise als eigenständiges Unternehmen ausgegliedert werden; man spricht von Infrastructure-as-a-Service. Dieser Ansatz ist vor allem in solchen Fächern sinnvoll, die die verfügbare Technologie möglichst optimal ausnutzen wollen. Geht es dagegen nur um die Ausführung von bestimmten Programmen, etwa zur statistischen Auswertung, ist das Konzept Software-as-a-Service interessanter. Ein Forscher könnte dann eine speziell für seine Aufgabenstellung entwickelte Software verwenden, ohne sich um deren Implementierung kümmern oder selbst über die notwendige Hardware verfügen zu müssen.

Das würde auch die lokalen Rechenzentren entlasten, da sie in Zukunft kaum in der Lage sein werden, die Vielzahl unterschiedlicher Anwendungssoftware für die jeweils wenigen Nutzer bereitzustellen und zu pflegen. Zudem sinkt das Risiko, dass ein in einem Projekt entwickeltes Verfahren vergessen und in einem anderen neu entwickelt wird.

Die entstehende Forschungsinfrastruktur besitzt dann zwei Komponenten, deren Zusammenspiel noch nicht geklärt ist: Auf der einen Seite übernimmt die Universität disziplinübergreifend die Strukturierung der Forschungsumgebung vor Ort, auf der anderen arbeitet der Träger einer virtuellen disziplinspezifischen Forschungsumgebung über die Grenzen der Institutionen hinweg. Offen sind bis jetzt die Mechanismen der Zusammenarbeit und die Finanzierung solcher Infrastrukturen. Um den Forschungsstandort Deutschland auch für die Zukunft gut zu positionieren, sollten diese Fragen so schnell wie möglich gelöst werden. ☺

DER AUTOR



Uwe Schwiegelshohn

leitet das Institut für Roboterforschung der Technischen Universität Dortmund, wo er sich vor allem auf die Gebiete Grid Computing und autonome mobile Roboter

konzentriert. Er ist zudem Prorektor für den Geschäftsbereich Finanzen der Hochschule. In diesem Rahmen befasst er sich auch mit fakultätsübergreifenden Fragen der Strukturentwicklung.