

2013

Bericht zur wissenschafts-
geleiteten Bewertung
umfangreicher **Forschungs-
infrastrukturvorhaben** für
die **Nationale Roadmap**
(Pilotphase)

Bericht zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung
umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben
für die Nationale Roadmap (Pilotphase)

DRS. 2841-13
2013

	Vorbemerkung	5
	Kurzfassung	7
A.	Zum Roadmap-Verfahren im Rahmen der Pilotphase	11
A.I	Zu Forschungsinfrastrukturen	11
A.II	Zum wissenschaftsgeleiteten Bewertungsverfahren	13
	II.1 Zu den Einzelbewertungen	15
	II.2 Zur vergleichenden Bewertung	17
B.	Einzelbewertung und vergleichende Bewertung	19
B.I	Natur- und Technikwissenschaften	20
	I.1 Die Wissenschaftslandschaft für Forschungsinfrastrukturen in der Astrophysik	20
	I.2 Cherenkov Telescope Array (CTA)	22
	I.3 Die Wissenschaftslandschaft für Forschungsinfrastrukturen in der Materialforschung	29
	I.4 European Magnetic Field Laboratory (EMFL)	30
B.II	Umweltwissenschaften	37
	II.1 Die Wissenschaftslandschaft für Forschungsinfrastrukturen in den Umweltwissenschaften	37
	II.2 In-service Aircraft for a Global Observing System (IAGOS)	41
	II.3 Cabled Ocean Observing System Frontiers in Arctic Marine Monitoring (Cabled OOS FRAM)	48
	II.4 European Plate Observing System (EPOS)	55
	II.5 Global Earth Monitoring and Validation System (GEMIS)	61
B.III	Biowissenschaften und Medizin	64
	III.1 Die Wissenschaftslandschaft für Forschungsinfrastrukturen in den Biowissenschaften und der Medizin	64
	III.2 European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology (EU-OPENSREEN)	69
	III.3 German Research Infrastructure of Imaging Technologies in Biological and Medical Sciences (German Euro-Biolmaging – GEBl)	76
	III.4 Integrated Structural Biology Infrastructure (INSTRUCT)	85
B.IV	Vergleichende Bewertung der Forschungsinfrastrukturkonzepte	94

4	C. Bilanz	99
	C.I Ausprägungen von Forschungsinfrastrukturen	100
	C.II Lebensphasen von Forschungsinfrastrukturen	103
	C.III Finanzierung von Forschungsinfrastrukturen	106
	C.IV Datenmanagement	111
	C.V Governance von Forschungsinfrastrukturen	116
	C.VI Fazit	122
	Abkürzungsverzeichnis	125
	Anhang	129
	Anhang 1 Ausführliche Projektbeschreibungen	133
	Anhang 2 Komplementäre und konkurrierende Forschungsinfrastrukturen	171

Vorbemerkung

Umfangreiche Forschungsinfrastrukturen sind neben den Forschenden und den Institutionen eine weitere unabdingbare Voraussetzung für ein leistungsfähiges Wissenschaftssystem. Vielfach ist die Wissenschaft auf den Einsatz solcher Forschungsinfrastrukturen angewiesen, um wissenschaftlich anspruchsvolle Fragestellungen bearbeiten und international anschlussfähige Spitzenforschung betreiben zu können. Forschungsinfrastrukturen sind in allen Disziplinen in Forschung, Lehre und Nachwuchsförderung unverzichtbar. Ihr Einsatz entfaltet häufig auch durch eine über den ursprünglichen Zweck hinausgehende Anwendung eine strukturbildende Kraft im Wissenschaftssystem. Zudem binden sie erhebliche Ressourcen nicht allein während der Investitionsphase, sondern über den gesamten Lebenszyklus für Betrieb und regelmäßige Erneuerung.

Aufgrund dieser weitreichenden Bedeutung von Forschungsinfrastrukturen wächst forschungs- und finanzpolitisch die Notwendigkeit, im nationalen und im europäischen Forschungsraum Entscheidungen über Einrichtung, Betrieb und Nutzung umfangreicher Forschungsinfrastrukturen abzustimmen. Um aus wissenschaftlicher Sicht die politischen Priorisierungsprozesse möglichst optimal vorzubereiten, sollte eine Abstimmung und Entscheidung der politisch Verantwortlichen auf der Grundlage der Ergebnisse einer wissenschaftsgeleiteten Bewertung erfolgen.

Auf europäischer Ebene hat vor mehr als zehn Jahren das *European Strategy Forum on Research Infrastructures* (ESFRI) | ¹ einen solchen Abstimmungsprozess initiiert, die Erarbeitung von Forschungsinfrastruktur-Roadmaps begonnen und damit vergleichbare Prozesse in den einzelnen europäischen Ländern angestoßen. Dieser Prozess treibt die europäische Koordinierung, die Priorisierung und die Umsetzung von Forschungsinfrastrukturvorhaben voran. Zur Unterstützung des ESFRI-Prozesses sind bereits von der Mehrzahl der europäischen Länder nationale Roadmaps erstellt worden.

| ¹ Vgl. http://ec.europa.eu/research/infrastructures/index_en.cfm?pg=esfri vom 24.08.2012.

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Sommer 2011 einen Pilotprozess für eine Nationale Roadmap in Deutschland initiiert. Dazu hat das BMBF den Wissenschaftsrat gebeten, im Rahmen des Roadmap-Pilotprozesses ein Verfahren zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturen zu entwickeln und durchzuführen. In der Pilotphase sind nur solche Forschungsinfrastrukturvorhaben bewertet worden, von denen ein Förderbeitrag seitens des BMBF angestrebt wird und die zugleich hinreichend konkretisiert sind, ohne dass über deren Förderung schon entschieden ist. Dabei wurden Vorhaben unterschiedlicher Reifegrade bewertet. Zusammen mit einer parallel, nicht vom Wissenschaftsrat durchgeführten Kostenprüfung liefert die wissenschaftsgeleitete Bewertung die Grundlage zur politischen Priorisierung der Vorhaben durch das BMBF. Letztere soll zur Nationalen Roadmap führen.

Im Juli 2011 hat der Wissenschaftsrat einen mandatierten Ausschuss „Wissenschaftsgeleitete Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturen für eine Nationale Roadmap (Pilotphase)“ eingesetzt, der ein wissenschaftsgeleitetes Bewertungsverfahren entwerfen und an ausgewählten Forschungsinfrastrukturvorhaben erproben sollte. Anschließend daran sollen Perspektiven zur Weiterentwicklung des Roadmap-Prozesses entwickelt werden. Im Januar 2012 sind die Forschungsinfrastrukturkonzepte in der Geschäftsstelle des Wissenschaftsrates eingegangen; die Bewertungen konnten im November des gleichen Jahres vom Ausschuss finalisiert werden.

Im Ausschuss haben viele – auch internationale – Sachverständige mitgearbeitet, die nicht Mitglieder des Wissenschaftsrates sind. Ihnen ist der Wissenschaftsrat zu außerordentlichem Dank verpflichtet. Ein besonderer Dank gilt auch den zahlreichen weiteren internationalen Gutachterinnen und Gutachtern, die sich an der differenzierten Einzelbewertung der Forschungsinfrastrukturvorhaben beteiligt haben.

Der hier vorliegende Bewertungsbericht richtet sich primär an das BMBF, aber auch mit konkreten Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Forschungsinfrastrukturvorhaben an deren Trägereinrichtungen in Deutschland. Darüber hinaus werden die wissenschaftlichen Gemeinschaften insgesamt und weitere politische Akteure im nationalen und internationalen Rahmen, die Wissenschaftsorganisationen sowie eine wissenschaftspolitisch interessierte breitere Öffentlichkeit adressiert.

Der Bewertungsbericht wurde vom Ausschuss am 14. Januar 2013 verabschiedet und dem Wissenschaftsrat während seiner Sitzungen vom 24. bis 26. April 2013 zur Kenntnis gegeben.

Kurzfassung

Im Rahmen der Pilotphase des Roadmap-Prozesses wurden neun vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zu diesem Zweck ausgewählte Forschungsinfrastrukturvorhaben wissenschaftsgeleitet bewertet. Dabei gehören zwei Vorhaben in das Gebiet der Natur- und Technikwissenschaften, nämlich das *Cherenkov Telescope Array* (CTA) und das *European Magnetic Field Laboratory* (EMFL). Vier Projekte sind in den Umweltwissenschaften angesiedelt, das *In-service Aircraft for a Global Observing System* (IAGOS), das *Cabled Ocean Observing System Frontiers in Arctic Marine Monitoring* (Cabled OOS FRAM), das *European Plate Observing System* (EPOS) und das *Global Earth Monitoring and Validation System* (GEMIS). Weiterhin stammen drei Vorhaben aus dem Bereich der Biowissenschaften und der Medizin, die *European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology* (EU-OPENSREEN), die *German Research Infrastructure of Imaging Technologies in Biological and Medical Sciences* (German Euro-BioImaging – GEBI) und die *Integrated Structural Biology Infrastructure* (INSTRUCT).

Wissenschaftsgeleitete Bewertung

Die wissenschaftsgeleitete Bewertung durch den vom Wissenschaftsrat mandatierten Ausschuss „Wissenschaftsgeleitete Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturen für eine Nationale Roadmap (Pilotphase)“ fand auf der Grundlage standardisierter Konzepte statt. Diese wurden von den verantwortlichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern anhand eines Leitfadens verfasst.^{| 2} Der wissenschaftsgeleitete Bewertungsprozess erfolgte in zwei aufeinander folgenden Phasen, einer qualitativen Einzelbewertung jedes Vorhabens und einer vergleichenden Gesamtbewertung. Beide Bewertungen orientieren sich an vier Bewertungsdimensionen. Die Dimensionen sind das „Wissenschaft-

^{| 2} Vgl. Wissenschaftsrat: Anlage zum Konzept für eine wissenschaftsgeleitete Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für eine Nationale Roadmap (Pilotphase) (Drs. 1766-11), Köln Dezember 2011, S. 27 ff.

liche Potenzial“, die „Nutzung“, die „Umsetzbarkeit“ und die „Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland“.

In der ersten Bewertungsphase wurden unter Mithilfe zumeist internationaler Gutachterinnen und Gutachter qualitative Einzelbewertungen der Forschungsinfrastrukturvorhaben erarbeitet. Dabei erhielten die für die Vorhaben verantwortlichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Gelegenheit, ihr Konzept mit den Gutachterinnen und Gutachtern sowie den Ausschussmitgliedern zu diskutieren. Das Ergebnis sind ausführliche Bewertungen, die neben den vier Dimensionen auch Reife und Dringlichkeit der Vorhaben einschätzen. |³

Die zweite Phase bestand in der vergleichenden Bewertung durch den Ausschuss. Dabei wurden alle als wissenschaftlich ausreichend begründet eingeschätzten Vorhaben disziplinen- und wissenschaftsgebietsübergreifend bewertet. In der Pilotphase erfüllten acht der neun Vorhaben die Voraussetzungen, um in das vergleichende Verfahren eintreten zu können. Jedes Vorhaben wurde in jeder der vier Bewertungsdimensionen getrennt vergleichend bewertet. Dabei gab es fünf Qualitätsstufen oder „Sterne“. Die Ergebnisse – zusammengestellt in einer tabellarischen Übersicht – umfassen das ganze Spektrum an Qualitätsstufen. |⁴ Es muss jedoch betont werden, dass sich daraus keine Gesamtreihung der Forschungsinfrastrukturvorhaben ableiten lässt.

Übergreifende Herausforderungen

Während des wissenschaftsgeleiteten Bewertungsprozesses haben der Ausschuss und die internationalen Sachverständigen übergreifende Herausforderungen identifiziert, die sich unterschiedlichen Forschungsinfrastrukturen stellen. Die wichtigsten sollen hier benannt werden, da der Ausschuss an dieser Stelle dringenden Analyse- und Handlungsbedarf sieht, um den Betrieb von Forschungsinfrastrukturen zu optimieren:

– **Das Feld der Forschungsinfrastrukturen** hat sich ausdifferenziert. Während zunächst allein Großgeräte wie beispielsweise Beschleuniger oder Forschungsschiffe als Forschungsinfrastrukturen firmierten, umfasst der Begriff heute neben verteilten Forschungsinfrastrukturen auch Sammlungen, Datenbanken, E-Infrastrukturen und die sogenannten sozialen Forschungsinfrastrukturen. Jede dieser Forschungsinfrastrukturen durchläuft unterschiedliche Lebensphasen. Der Roadmap-Prozess begleitet eine dieser Phasen im **Gesamt-**

|³ Kurzzusammenfassungen der Einzelbewertungen sind jeweils den ausführlichen Bewertungen vorangestellt und farbig hinterlegt.

|⁴ Die Ergebnisse sind in Kapitel B.IV dargestellt, S. 95 ff.

lebenszyklus einer Forschungsinfrastruktur, nämlich die Vorbereitungsphase bis zum Beginn ihrer Realisierung. Um der wachsenden Bedeutung der Forschungsinfrastrukturen für das Wissenschaftssystem gerecht zu werden, sollten stets die verschiedenen Ausprägungen und sämtliche Lebensphasen der Forschungsinfrastrukturen berücksichtigt werden.

- _ Die **Finanzierung von Forschungsinfrastrukturen** ist komplex und unübersichtlich. Dabei liegt die eigentliche Herausforderung in der nachhaltigen Finanzierung der Gesamtlebensdauer und Nutzung von Forschungsinfrastrukturen. Die Trägereinrichtungen können die Betriebskosten und die im Laufe der Lebensdauer anfallenden, vielfach nicht unerheblichen Neuerungskosten nicht immer tragen. Daher ist es bei der Entscheidung zur Förderung einer Forschungsinfrastruktur zum einen wesentlich, die Finanzierung der Gesamtlebensdauer im Blick zu behalten. Zum anderen sollten Pfadabhängigkeiten berücksichtigt werden, da über die langfristige Bindung von beträchtlichen Mitteln das gesamte Wissenschaftssystem beeinflusst wird.
- _ Die Bedeutung des **Datenmanagements** einer Forschungsinfrastruktur, d. h. die mit der Datenerhebung und -archivierung, dem Datenzugang und der Datenverarbeitung verbundenen Herausforderungen, werden vielfach unterschätzt. Die Forschungsinfrastrukturen sollten vor allem frühzeitig klare Zielsetzungen für ihr Datenkonzept entwickeln, aber auch dessen technische Realisierbarkeit sicherstellen und dabei die rechtlichen und ethischen Implikationen berücksichtigen. Darüber hinaus sollten die wissenschaftlichen *communities* die übergreifende Erarbeitung von Standards vorantreiben.
- _ Die Ausarbeitung der **Governance-Strukturen** tritt oftmals hinter derjenigen der wissenschaftlichen Fragestellung einer Forschungsinfrastruktur zurück, obwohl sie in vielerlei Hinsicht erfolgskritisch ist. Weder für den Zugang zu Forschungsinfrastrukturen, das Personal, das Management noch für zukünftige Evaluierungen (Stichwort *impact*) gibt es adäquate Standards oder ausreichend Modelle, die Orientierung bei der Konzeption und Bewertung einer Forschungsinfrastruktur geben.

Der begonnene Roadmap-Prozess ist komplex. Der Ausschuss begrüßt den Ansatz des deutschen Verfahrens, dass mit einer Aufnahme auf die Nationale Roadmap eine Förderung der Vorhaben in Aussicht gestellt werden soll. Im Anschluss an die Pilotphase sollte das begonnene Roadmap-Verfahren in Deutschland fortgesetzt und weiterentwickelt werden.

A. Zum Roadmap-Verfahren im Rahmen der Pilotphase

A.1 ZU FORSCHUNGSINFRASTRUKTUREN

Der dem Pilotverfahren des Roadmap-Prozesses zugrunde liegende Begriff von Forschungsinfrastrukturen beinhaltet „umfangreiche Instrumente, Ressourcen oder Serviceeinrichtungen für die Forschung in allen Wissenschaftsgebieten“. |⁵ Im Kontext des nationalen Roadmap-Prozesses fanden dabei allein solche Forschungsinfrastrukturen Berücksichtigung, die folgende Kriterien erfüllen: |⁶

- 1 – Forschungsinfrastrukturen sind von nationaler strategischer Bedeutung für das jeweilige Wissenschaftsgebiet. Sie werden nicht nur von den Trägerorganisationen genutzt, sondern stehen in einem erheblichen Umfang auch externen (internationalen) Nutzerinnen und Nutzern zur Verfügung. Forschungsinfrastrukturen von nationaler Bedeutung leisten zudem auch wichtige Beiträge zur Ermöglichung von Spitzenforschung in den jeweiligen Forschungsfeldern.
- 2 – Forschungsinfrastrukturen zeichnen sich durch eine lange Lebensdauer (in der Regel über 10 Jahre) aus.
- 3 – Forschungsinfrastrukturen erfordern bedeutende Investitions- und/oder Betriebskosten, deren nationaler Anteil sich in der Regel mindestens auf Ge-

|⁵ Wissenschaftsrat: Konzept für eine wissenschaftsgeleitete Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für eine Nationale Roadmap (Pilotphase) (Drs. 1766-11), Köln Dezember 2011, S. 8.

|⁶ Ebd., S. 8 f.

samtkosten von über 15 Mio. Euro in den ersten zehn Jahren aus öffentlichen Mitteln beläuft. |⁷

- 4 – Die Steuerung der Nutzung von Forschungsinfrastrukturen erfolgt über die Bewertung der wissenschaftlichen Qualität der beantragten Projekte in einem wissenschaftsgeleiteten und transparenten Begutachtungsverfahren mit externen Gutachterinnen und Gutachtern (*peer review*).

In vielen Ländern werden für die dortigen nationalen Roadmap-Verfahren vergleichbare Begriffsbestimmungen herangezogen. Dabei hat der dem ESFRI-Prozess zugrundeliegende Begriff die Definitionsanstrengungen entscheidend beeinflusst.

In Deutschland sind primär die Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e. V. (HGF) als Großforschungseinrichtungen für Bau und Betrieb von Großgeräten zuständig. Wie auch die hier vorliegenden und in der Vergangenheit vom Wissenschaftsrat evaluierten Forschungsinfrastrukturvorhaben zeigen, sind aber auch Universitäten und andere außeruniversitäre Forschungseinrichtungen an der Konzeption und dem Betrieb von Forschungsinfrastrukturen beteiligt. |⁸ Zum außeruniversitären Bereich zählen neben den Ressortforschungseinrichtungen und der bereits erwähnten HGF in diesem Zusammenhang die weiteren drei großen nationalen Forschungsorganisationen, die in ihren Instituten auch Forschungsinfrastrukturen betreiben: die Max-Planck-Gesellschaft (MPG), die Wissenschaftsgemeinschaft Wilhelm Gottfried Leibniz e. V. (Leibniz-Gemeinschaft, WGL) und die Fraunhofer-Gesellschaft e. V. (FhG). |⁹

Ein Überblick über bestehende Forschungsinfrastrukturen existiert für Deutschland bisher nicht. Es gibt jedoch Anstrengungen, in Europa solche Bestandsaufnahmen systematisch sowohl auf nationalstaatlicher Ebene |¹⁰ als

|⁷ Dabei sind die Geistes- und Sozialwissenschaften explizit eingeschlossen, für die bei den Investitionskosten auf eine Bagatellgrenze verzichtet werden sollte, Betriebskosten von 1,5 Mio. Euro pro Jahr aber vorausgesetzt werden. Vgl. ebd., S. 8.

|⁸ Vgl. Wissenschaftsrat: Stellungnahme zu neun Großgeräten der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung und zur Weiterentwicklung der Investitionsplanung von Großgeräten (Drs. 5363/02), Köln Juli 2002, S. 72. Beispielhaft sei hier das Forschungsflugzeug HALO (*High Altitude and LOng range research aircraft*) genannt.

|⁹ In der HGF sind 18 Zentren zusammengeschlossen. Eine zentrale Aufgabe war bisher der Betrieb von Großgeräten und die nationale Vorsorgeforschung. Die MPG betreibt an ihren rund 80 Instituten primär Grundlagenforschung. In der WGL sind derzeit 86 Einrichtungen mit unterschiedlichen Profilen organisiert, die vielfältige Aufgaben in Forschung und Dienstleistung mit einer in weiten Grenzen variierenden Gewichtung wahrnehmen. Die FhG betreibt in ihren rund 60 Instituten primär anwendungsorientierte Forschung.

|¹⁰ Vgl. beispielsweise: National Research Infrastructure Register (NEKIFUT) in Ungarn, https://regisztrar.nekifut.hu/en/ki_kereses/results vom 04.09.2012.

auch auf der Ebene der europäischen Union, wie die MERIL-Initiative |¹¹, zu erstellen. Für Deutschland sind die Initiative der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) |¹² und das Entstehen einer Kartierung der Forschungsinfrastrukturen an Ressortforschungseinrichtungen |¹³ zu nennen.

A.II ZUM WISSENSCHAFTSGELEITETEN BEWERTUNGSVERFAHREN

Die wissenschaftsgeleitete Bewertung ist Teil eines umfassenden Pilotprojekts, zu dem weiterhin eine wirtschaftliche Kostenprüfung und eine abschließende politische Priorisierung der Vorhaben seitens des zuständigen Ministeriums gehören. Das Verfahren der wissenschaftsgeleiteten Bewertung hat der vom Wissenschaftsrat eingesetzte Ausschuss „Wissenschaftsgeleitete Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturen für eine Nationale Roadmap (Pilotphase)“ entwickelt. Im Herbst 2011 hat er ein entsprechendes Konzept veröffentlicht |¹⁴ und es unmittelbar im Anschluss erprobt.

In einer Vorauswahl hatte das BMBF neun Vorhaben identifiziert und die Trägerinstitutionen zur Ausarbeitung eines Konzepts entlang des vom Ausschuss erstellten Leitfadens aufgefordert. Die neun Vorhaben entsprachen den eingangs dargestellten Kriterien für Forschungsinfrastrukturen im Roadmap-Prozess. Ausschlaggebend für die Auswahl des BMBF war die Tatsache, dass die Entscheidung über eine Förderung oder eine Beteiligung Deutschlands auf europäischer oder globaler Ebene anstand.

Die zur Bewertung vorliegenden Forschungsinfrastrukturkonzepte wurden drei Wissenschaftsgebieten zugeordnet. Zwei Projekte zählen zu den Natur- und Technikwissenschaften, vier zu den Umweltwissenschaften und drei zu den Biowissenschaften und der Medizin.

Parallel zu und unabhängig von der wissenschaftsgeleiteten Bewertung der Vorhaben durch den Wissenschaftsrat wurde jedes Vorhaben vom Projektträger

|¹¹ Vgl. <http://www.esf.org/activities/science-policy/research-infrastructures/meril-mapping-of-the-european-research-infrastructure-landscape.html> vom 30.08.2012.

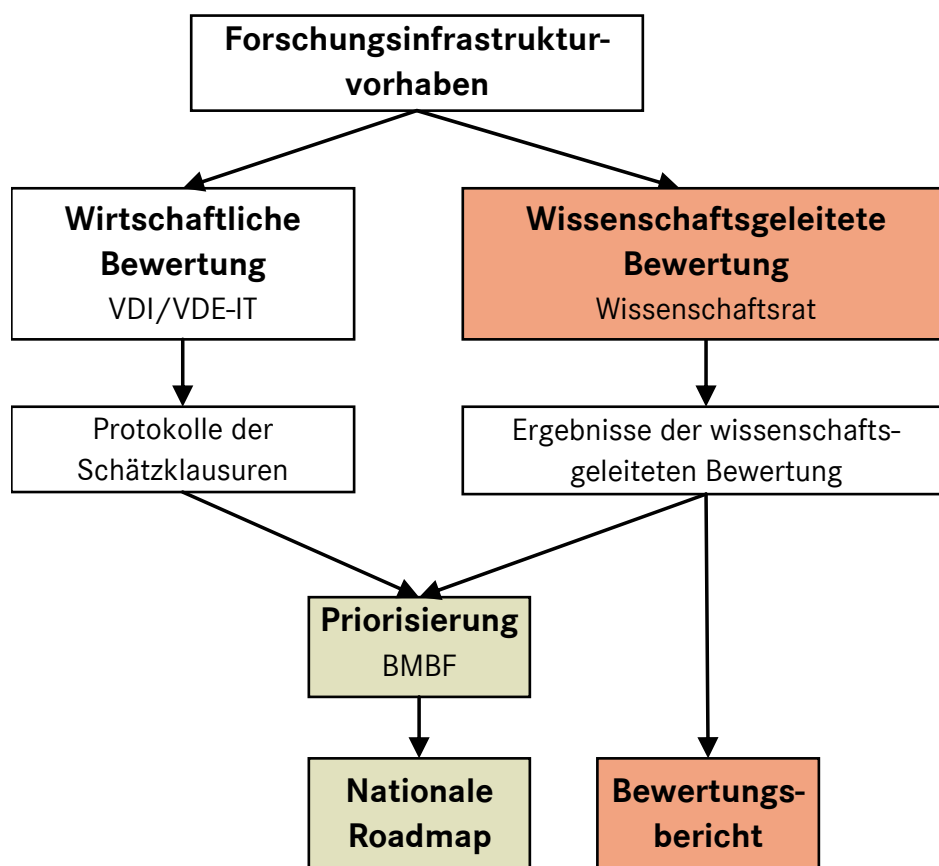
|¹² Vgl. http://www.dfg.de/foerderung/info_wissenschaft/info_wissenschaft_12_14/index.html vom 30.08.2012.

|¹³ Vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Rolle und künftigen Entwicklung von Bundeseinrichtungen mit FuE-Aufgaben, (Drs. 7702-07), Köln Januar 2007, S. 131 und Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Profilierung der Einrichtungen mit Ressortforschungsaufgaben des Bundes (Drs. 10295-10), Köln November 2010, S. 51.

|¹⁴ Wissenschaftsrat: Konzept für eine wissenschaftsgeleitete Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für eine Nationale Roadmap (Pilotphase) (Drs. 1766-11), Köln Dezember 2011.

VDI/VDE Innovation und Technik GmbH (VDI/VDE-IT) wirtschaftlich im Rahmen von sogenannten Schätzklausuren auf die zu erwartenden Kosten hin überprüft. Das BMBF wird auf der Grundlage der Ergebnisse der wissenschaftsgeleiteten und der wirtschaftlichen Prüfung sowie unter Berücksichtigung der gesellschaftspolitischen Bedeutung eine Priorisierung der Vorhaben vornehmen. In der Pilotphase soll mit der Aufnahme auf die Roadmap eine grundsätzliche Förderung für die weitere Ausarbeitung des Vorhabens oder für seine Realisierung in Aussicht gestellt werden. Die Übersicht in Abbildung 1 macht die Grundstruktur des gesamten Roadmap-Prozesses während der Pilotphase deutlich.

Abbildung 1: Übersicht über den Roadmap-Prozess



Die wissenschaftsgeleitete Bewertung der Vorhaben fand in zwei Phasen statt, der ausführlichen Einzelbewertung und der vergleichenden Bewertung der Forschungsinfrastrukturvorhaben. Inhaltlich orientierte sich die Bewertung in beiden Phasen an den vier Bewertungsdimensionen „Wissenschaftliches Potenzial“, „Nutzung“, „Umsetzbarkeit“ und „Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland“. Jedes der vorliegenden Forschungsinfrastrukturkonzepte wurde zunächst mit Hilfe internationaler Gutachterinnen und Gutachter einer ausführlichen Einzelbewertung unterzogen. Zugleich wurden die Konzepte in die internationale Landschaft der bereits existierenden und/oder geplanten konkurrierenden bzw. komplementären Forschungsinfrastrukturen eingeordnet. Um das gesamte Spektrum der relevanten Forschungsinfrastrukturen bzw.

-anstrengungen abzudecken, das für eine Einordnung nötig ist, liegt den zu diesem Zweck zusammengestellten Forschungsinfrastrukturen des Anhangs 2 zum Teil ein weiter gefasster Forschungsinfrastrukturbegriff zugrunde als der eingangs mit Blick auf das nationale Roadmap-Verfahren dargestellte (vgl. Kapitel A.I).

Auf der Grundlage der ausführlichen Einzelbewertungen, die auch Empfehlungen zur Weiterentwicklung der jeweiligen Forschungsinfrastrukturkonzepte enthalten, nahm der Ausschuss in jeder der vier Bewertungsdimensionen eine vergleichende Bewertung über alle Wissenschaftsgebiete hinweg vor. Diese beiden Verfahrensschritte werden im Folgenden näher beschrieben.

II.1 Zu den Einzelbewertungen

Anfang des Jahres 2012 wurden zu allen neun Forschungsinfrastrukturvorhaben der Pilotphase ausgearbeitete Konzepte eingereicht. Diese waren aufbauend auf einem einheitlichen, im Vorfeld vom Ausschuss ausgearbeiteten Leitfaden |¹⁵ von den verantwortlichen Trägereinrichtungen erstellt worden. Neben den Grunddaten und dem Realisierungsstand enthalten die Forschungsinfrastrukturkonzepte ausführliche Angaben zu Aspekten der vier Bewertungsdimensionen, die anhand detaillierter Fragen erhoben wurden.

Zu den vier Dimensionen zählt zunächst das **wissenschaftliche Potenzial**, das die Bedeutung des Vorhabens für die Erschließung neuer Forschungsfelder oder die Entwicklung bestehender Felder umfasst und es in Relation zur Leistung konkurrierender und komplementärer Forschungsinfrastrukturen setzt. Als weitere Dimension wird die **Nutzung** der Forschungsinfrastruktur bewertet, die zum einen die Größe und Herkunft der Nutzergruppen und zum anderen die Regelung des Zugangs zur Forschungsinfrastruktur beinhaltet. Die Dimension der **Umsetzbarkeit** umfasst sowohl primär auf die Forschungsinfrastruktur bezogene technische Voraussetzungen als auch die institutionellen und personellen Voraussetzungen der Trägereinrichtungen. In der vierten Bewertungsdimension **Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland** wird die Relevanz des Forschungsinfrastrukturvorhabens für die Rolle und das Interesse Deutschlands wie auch seine Auswirkung auf die Sichtbarkeit und Attraktivität der deutschen Wissenschaft beurteilt (Näheres zu den Dimensionen vgl. B.IV).

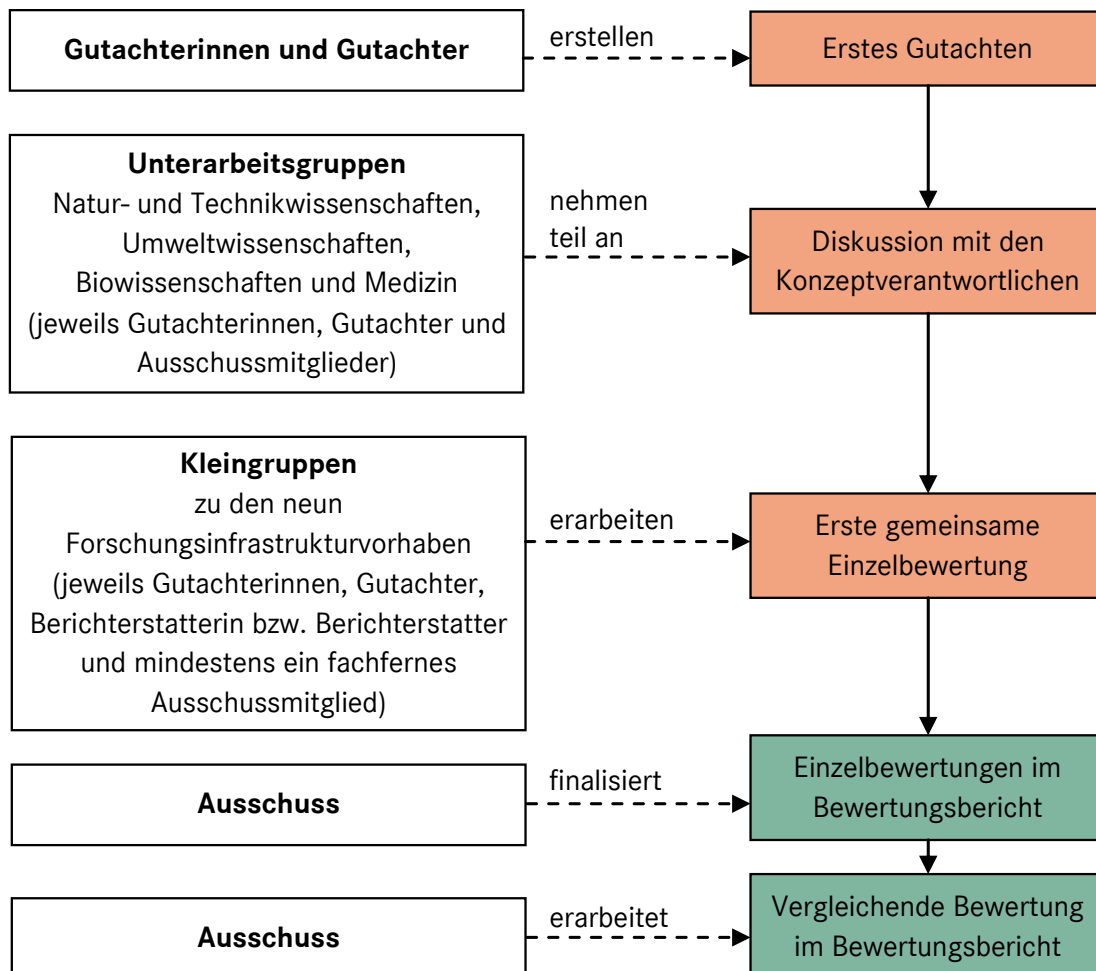
Die Differenzierung in der Darstellung der Forschungsinfrastrukturkonzepte und ihre Bewertung entlang der vier genannten Dimensionen dienten auch da-

| ¹⁵ Vgl. Wissenschaftsrat: Anlage zum Konzept für eine wissenschaftsgeleitete Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für eine Nationale Roadmap (Pilotphase) (Drs. 1766-11), Köln Dezember 2011, S. 27 ff.

zu, eine bessere Vergleichbarkeit der aus den unterschiedlichen Wissenschaftsgebieten stammenden Vorhaben zu erzielen.

In Abbildung 2 ist der Prozess der wissenschaftsgeleiteten Bewertung in einer Übersicht dargestellt, die Schritte werden im Folgenden näher erläutert.

Abbildung 2: Prozess der wissenschaftsgeleiteten Bewertung



Für jedes Konzept wurden drei auf die fachlichen Spezifika des Vorhabens ausgerichtete Gutachterinnen und Gutachter – größtenteils aus dem Ausland – gewonnen. Sie erstellten zunächst anhand der schriftlichen Unterlagen ein Gutachten zu dem jeweiligen Vorhaben. Um auch hier eine bestmögliche Vergleichbarkeit herzustellen, wurden die Gutachterinnen und Gutachter gebeten, sich ebenfalls an einem hierfür konzipierten Leitfaden zu orientieren. Zusätzlich wurde den Konzeptverantwortlichen die Möglichkeit gegeben, ihr Vorhaben mit den Gutachterinnen und Gutachtern und den Ausschussmitgliedern zu diskutieren. Dies geschah in Unterarbeitsgruppen zu den drei Wissenschaftsgebieten, erlaubte die Klärung offener Fragen und ermöglichte es, einen differenzierteren Gesamteindruck des Forschungsinfrastrukturkonzepts zu gewinnen.

Im Anschluss verständigten sich zunächst die Kleingruppen bestehend aus den Gutachterinnen und Gutachtern eines Vorhabens, einem fachnahen Mitglied

des Ausschusses, das als Berichterstatterin bzw. Berichterstatter fungierte, und mindestens einem weiteren, fachfernen Mitglied des Ausschusses auf eine erste gemeinsame Bewertung des Vorhabens. Dieses abgestimmte, vertrauliche Gutachten, das für alle neun Vorhaben in den jeweiligen Kleingruppen schriftlich erarbeitet wurde, bildete die Grundlage für alle weiteren Bewertungsprozesse seitens des Ausschusses. Die Einzelbewertungen, die sich in den Kapiteln B.I bis B.III befinden, und die jeweils dazugehörigen Kurzzusammenfassungen der Bewertungen basieren darauf. Die Einzelbewertungen enthalten auch Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Konzepte.

II.2 Zur vergleichenden Bewertung

Die vergleichende Bewertung stellte die zweite Phase des Bewertungsprozesses dar, in die jedoch nur die Forschungsinfrastrukturprojekte einbezogen wurden, die bestimmte Mindestanforderungen erfüllten. Wurde ein Forschungsinfrastrukturvorhaben von den Gutachterinnen und Gutachtern als unzureichend in Bezug auf das wissenschaftliche Potenzial bzw. die wissenschaftliche Fragestellung bewertet, war die Mindestvoraussetzung für den Eintritt in die vergleichende Bewertung nicht erfüllt. In einem solchen Fall erfolgte ausschließlich eine Einzelbewertung.

Die Bewertungsskala wurde für das Pilotverfahren auf ein bis fünf Sterne festgelegt. Eine Skala mit fünf Stufen erlaubt eine klare Differenzierung im oberen Bereich der Bewertungen. Eine Bewertung von einem Stern bedeutet, dass das Vorhaben als gerade ausreichend anzusehen ist, damit es in die vergleichende Bewertung eintreten kann. Die Anzahl der Sterne kann verbalisiert werden als ausreichend (*), befriedigend (**), gut (***), sehr gut (****) und herausragend (*****).

Die vergleichende wissenschaftsgeleitete Bewertung wurde innerhalb jeder Dimension separat über alle Vorhaben durchgeführt. Diese wurden zunächst über paarweise Vergleiche in jeder Dimension in eine Reihung gebracht. In einem zweiten Schritt wurden die Projekte dann in „Klassen“ unterteilt, die für die jeweils gleiche Anzahl an Sternen standen. Besonders hervorzuheben ist, dass nicht die ganze Bandbreite der Sterne abgedeckt sein musste. Das am besten bewertete Vorhaben musste nicht zwingend fünf Sterne erhalten, das schlechteste nicht notwendigerweise einen Stern. Das Ergebnis ist im Kapitel B.IV dargestellt.

Die Einzelbewertungen mit der vergleichenden Bewertung und den Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Konzepte bilden zusammen das Ergebnis des wissenschaftsgeleiteten Bewertungsverfahrens.

Abschließend sei betont, dass die wissenschaftsgeleitete Bewertung von Forschungsinfrastrukturkonzepten zwar einen wesentlichen, aber letztlich nur ei-

nen Ausschnitt in dem gesamten Lebenszyklus einer Forschungsinfrastruktur in den Blick nimmt. Sowohl der Prozess der Ideengenerierung und die Verständigung auf den Bedarf für ein bestimmtes Forschungsinfrastrukturprojekt seitens der *community* als auch der Realisierungsprozess und der Betrieb einer Forschungsinfrastruktur werden nicht berücksichtigt. Aufgrund der strukturbildenden Bedeutung von Forschungsinfrastrukturen für das Wissenschaftssystem, ihres hohen Ressourcenbedarfs über die Lebensdauer hinweg und der dadurch geschaffenen Pfadabhängigkeiten |¹⁶ sollte eine unabhängige wissenschaftsgeleitete Begleitung auch dieser Phasen entwickelt und erprobt werden.

| ¹⁶ Das bedeutet, dass die zu erwartende langfristige Bindung von Mitteln den Gestaltungs- und Entscheidungsspielraum in Zukunft einschränken wird und diese Konsequenzen daher systematisch berücksichtigt werden sollten.

B. Einzelbewertung und vergleichende Bewertung

Wie eingangs erwähnt sind die neun zur Bewertung anstehenden Forschungsinfrastrukturvorhaben drei Wissenschaftsgebieten zugeordnet worden: (1) den Natur- und Technikwissenschaften, (2) den Umweltwissenschaften sowie (3) den Biowissenschaften und der Medizin. Alle drei Gebiete umfassen sehr große Wissenschaftsbereiche. Sie können nicht in ihrer ganzen Breite im Rahmen des Bewertungsberichts dargestellt werden. Um jedoch denjenigen Adressaten, die nicht aus den wissenschaftlichen Fachgemeinschaften stammen, die Einsatzmöglichkeiten von Forschungsinfrastrukturen in dem jeweiligen Gebiet aufzuzeigen, wurde der Darstellung der Vorhaben und ihrer Bewertungen eine kurze Einführung in die drei Wissenschaftsgebiete vorangestellt. Diese fokussieren auf das Umfeld der zu bewertenden Forschungsinfrastrukturen und ihre Bedeutung für die Entwicklung des Gebietes. Im Fall der Natur- und Technikwissenschaften war es aufgrund der Heterogenität erforderlich, eine Binnendifferenzierung des Wissenschaftsgebietes in das Feld der Astrophysik (B.I.1) und das der Materialwissenschaften (B.I.3) vorzunehmen.

Der allgemeinen Einführung in die Wissenschaftsgebiete folgen jeweils eine Kurzdarstellung des Vorhabens, eine zusammenfassende Bewertung des Vorhabens (farbig unterlegt) sowie eine ausführliche Bewertung, die auch Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Konzepts enthält.

Sowohl im Rahmen der Einführung als auch im Kontext der Bewertungen wird auf konkurrierende und komplementäre Forschungsinfrastrukturprojekte Bezug genommen. Weitergehende Informationen zu diesen bereits bestehenden oder in Planung befindlichen Vorhaben finden sich im Anhang 2.

Zudem sind die ausführlichen Darstellungen der bewerteten Forschungsinfrastrukturvorhaben dem Anhang 1 zu entnehmen. Diese Beschreibungen sind in der englischen Fassung mit den verantwortlichen Trägereinrichtungen abgestimmt. Sie wurden auf der Basis der eingereichten Konzepte erstellt.

Der Bereich der Natur- und Technikwissenschaften umfasst eine Reihe wissenschaftlicher Disziplinen wie Physik, Astronomie, Chemie, Biologie und Ingenieurwissenschaften. Die Forschungsgegenstände reichen von den kleinsten Bausteinen der Materie bis hin zu den größten Gebilden im Universum sowie die fundamentalen Wechselwirkungen.

Dieser heterogene Wissenschaftsbereich setzt sich aus einer enormen Anzahl unterschiedlichster Forschungsfelder zusammen, an deren Grenzen es Überschneidungen und Kooperationen geben kann. Im Folgenden wird der Fokus auf den beiden Forschungsfeldern liegen, die mit den beiden in den Roadmap-Prozess eingebrachten Forschungsinfrastrukturen im Zusammenhang stehen, nämlich Astrophysik und Materialforschung.

1.1 Die Wissenschaftslandschaft für Forschungsinfrastrukturen in der Astrophysik

Die Begriffe „Astronomie“ und „Astrophysik“ werden oft synonym verwendet. Dieser Konvention wird hier Folge geleistet. Allgemein lässt sich sagen, dass die Astrophysik sich mit den grundlegenden Fragen zum Universum befasst, also mit Entstehung, Eigenschaften und Entwicklung des Universums und all seiner Bestandteile.

Historisch gesehen basierte die Astrophysik auf Beobachtungen, die bis Mitte des vorigen Jahrhunderts auf den optischen Wellenlängenbereich beschränkt waren, d. h. auf Sterne und interstellares Gas, die ihre Kontinuumsheelligkeit oder Spektrallinien in diesem Bereich des elektromagnetischen Spektrums aussenden. Mit der Erschließung weiterer, nichtoptischer Wellenlängenbereiche – vom Boden aus mithilfe der Weiterentwicklungen von Detektoren im Radio- und Nahinfrarotbereich oder mithilfe von Weltraumteleskopen – begann die Differenzierung der Astrophysik in verschiedene Teildisziplinen entsprechend der jeweiligen Wellenlängenbereiche. Die Astronomie wurde somit unterteilt in die Forschungsbereiche Radioastronomie, Infrarotastronomie, optische Astronomie, Röntgenastronomie und Gammastrahlen-Astronomie. Da sich die Forschung mittlerweile verstärkt auf Forschungsgegenstände und Prozesse hin orientiert, hat sich diese Einteilung nun erneut geändert. Die meisten Astronominen und Astronomen konzentrieren sich in ihrer Forschung auf Objekte, arbeiten also objektorientiert, wie beispielsweise an massereichen Sternen, Galaxien u. a. m. Hierfür nutzen sie Informationen aus dem gesamten elektromagnetischen Spektrum, unter anderem Gammastrahlen vom energiereichsten Ende des Spektrums, und auch Teilchen der kosmischen Strahlung. Vervollständigt wird die Palette an astrophysikalischen Forschungswerkzeugen durch die theoretische und numerische Astrophysik, um ein größtmögliches

Verständnis der untersuchten Phänomene zu ermöglichen. In der jüngeren Vergangenheit entwickelte sich die moderne Astronomie hin zu einer größeren Interdisziplinarität, verbunden nicht nur mit der Physik sondern auch Chemie, Biologie, Mineralogie und des Weiteren mit Einfluss auf die Ingenieur- und Materialwissenschaften sowie die Elektronik.

Beispiele für derzeitige Forschungsfragen sind die Entdeckung und nähere Untersuchung von Planeten außerhalb unseres Sonnensystems und die Erforschung schwarzer Löcher, von denen bekannt ist, dass sie im Zentrum der meisten Galaxien existieren. Auch das Alter und die Entwicklung von Strukturen im Universum sowie dessen Ausdehnung werden erforscht. Die Astrophysikerinnen und Astrophysiker sind zudem auf der Suche nach Erkenntnis über das Wesen der sogenannten dunklen Materie, die unsichtbar, aber durch ihre Gravitationswirkung indirekt beobachtbar ist. Zusammen mit der dunklen Energie, einer noch ungeklärten Kraft, die für eine beschleunigte Ausdehnung des Universums verantwortlich ist, gehört die dunkle Materie generell zu den rätselhaftesten Forschungsfragen in Astronomie und Physik.

Das noch recht junge Feld der Hochenergie-Gammastrahlen-Astronomie (Photonenenergien im Bereich von Gigaelektronvolt bis zu Hunderten von Teraelektronvolt), das das energiereichste Ende des elektromagnetischen Spektrums untersucht, hat sich in den vergangenen zwanzig Jahren entwickelt. Die detektierten Gammastrahlen erlauben einen komplementären Blick auf die oben genannten Forschungsobjekte und eröffnen sogar neue Forschungsfelder wie die Untersuchung aktiver galaktischer Kerne.

Es ist unerlässlich, Beobachtungen zu erforschender Phänomene mithilfe komplementärer Instrumente durchzuführen. Ebenso müssen neue Verfahren oder Beobachtungsansätze umfassend geprüft werden. In der Hochenergie-Gammastrahlen-Astronomie werden satelliten- oder erdgebundene Forschungsinfrastrukturen eingesetzt. Letztgenannte arbeiten mit abbildenden Atmosphären-Cherenkov-Teleskopen, Wasser-Cherenkov-Experimenten oder Luftschauerexperimenten, die sich hauptsächlich der Erforschung des Ursprungs kosmischer Strahlung widmen. Das Projekt *Cherenkov Telescope Array* (CTA) hat den Bau einer Anordnung von bodenbasierten abbildenden Atmosphären-Cherenkov-Teleskopen zum Ziel. Es ist für die Untersuchung hochenergetischer kosmischer Strahlung ausgelegt, um mehr über ihren Ursprung im All und die damit verbundenen astronomischen Fragestellungen in Erfahrung zu bringen. Weitere wichtige Bestandteile der Forschungslandschaft sind E-Infrastrukturen zur Verarbeitung der Beobachtungsdaten. Im Anhang 2.1 sind die wichtigsten der zu CTA komplementären Forschungsinfrastrukturen in der Astrophysik zusammengestellt.

Innerhalb der deutschen astrophysikalischen *community* sind die Priorisierungsprozesse für große Forschungsinfrastrukturen weniger wohldefiniert und

transparent als beispielsweise in den USA und den Niederlanden, wo die *communities* in Abständen von zehn Jahren strategische Berichte als kontinuierliche Pläne erarbeiten. Unter der Ägide der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) stellt eine Expertengruppe des Rats Deutscher Sternwarten (RDS) Denkschriften zusammen, in denen die aktuelle Situation der deutschen Forschungseinrichtungen zur Astrophysik zusammengefasst wird. Die letzte Denkschrift erschien 2003 |¹⁷ und eine neue befindet sich derzeit in Planung. Die Denkschrift dient vorrangig der Aktualisierung astrophysikalischer Forschungsinitiativen. Sie dient nicht explizit der Forschungsinfrastrukturplanung.

1.2 Cherenkov Telescope Array (CTA)

1.2.a Kurzbeschreibung von CTA

Über die letzten Jahrzehnte hat die Astrophysik äußerst empfindliche Instrumente mit zunehmender Effizienz und immer größeren Photonensammelflächen entwickelt. Für Finanzierung, Aufbau und Verwaltung der entsprechenden Teleskope bedarf es internationaler Konsortien oder Organisationen (wie ESO und ESA). Während der vergangenen Jahre hat sich die Hochenergie-Gammastrahlen-Astronomie in ein globales wissenschaftliches Projekt entwickelt. Unter deutscher Führung sind derzeit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus nahezu 30 Ländern weltweit an CTA beteiligt. |¹⁸

Bei CTA handelt es sich um eine Anordnung bodenbasierter Teleskope zur Untersuchung der kosmischen Gammastrahlung. Durch die Untersuchung dieser hochenergetischen Photonen lassen sich die energiereichsten Strahlungsquellen des Universums erkunden, denn Gammastrahlen entstehen in Supernova-Überresten, schwarzen Löchern und aktiven Galaxien. Zusätzlich zur optischen und zur Radioastronomie eröffnet die Hochenergie-Gammastrahlen-Astronomie ein neues Wellenlängenfenster für die erdgebundene astrophysikalische Forschung.

CTA basiert auf zwei Vorgängerprojekten, H.E.S.S. in Namibia und MAGIC auf La Palma. |¹⁹ Bei der Umsetzung dieser Projekte spielten deutsche Institute eine führende Rolle. CTA soll an zwei getrennten, noch nicht feststehenden Standor-

|¹⁷ Deutsche Forschungsgemeinschaft: Status und Perspektiven der Astronomie in Deutschland 2003-2016. Denkschrift, Bonn 2003, http://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/geschaeftsstelle/publikationen/status_perspektiven_astronomie_2003_2016.pdf vom 20.06.2012.

|¹⁸ Näheres zu CTA vgl. ESFRI: *Strategy Report on Research Infrastructures*. Roadmap 2010, Luxemburg 2011, S. 68.

|¹⁹ Näheres zu den Projekten *High Energy Stereoscopic System* (H.E.S.S.) und *Major Atmospheric Gamma-Ray Imaging Cherenkov Telescopes* (MAGIC) in Anhang 2.1.

ten erbaut werden. Ein Standort wird sich auf der Südhalbkugel befinden, wo der direkte Blick auf das galaktische Zentrum gegeben ist. Es soll aus vier großen (23 m Durchmesser), 23 mittleren (12 m) und 32 kleinen (4-6 m) Teleskopen bestehen und sich über eine Fläche von fast zehn Quadratkilometern erstrecken. Der andere Standort wird auf der Nordhalbkugel sein, mit vorrangigem Schwerpunkt auf der Erforschung extragalaktischer Objekte und der Frühzeit des Universums. Derzeit sind 4 große und 17 mittlere Teleskope geplant, die auf einer Fläche von einem Quadratkilometer errichtet werden sollen.

CTA wird durch ein internationales Konsortium der für dieses Forschungsfeld weltweit wichtigsten Expertengruppen errichtet. Es wird als offene Einrichtung betrieben werden, die vorrangig Konsortiumsmitgliedern zugänglich sein wird. Um auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern mit einem Arbeitsschwerpunkt in anderen Wellenlängenbereichen innerhalb der Astronomie sowie in anderen Teilgebieten der Physik die Nutzung von CTA und seiner Daten zu ermöglichen, ist eine Vorverarbeitung der Daten durch die Beschäftigten des CTA-Observatoriums geplant. Trotz der Verwendung von bereits ausgereifter Technik wird CTA eine erhöhte Empfindlichkeit und eine Verbreiterung des Energiebereichs erzielen, mit einer Verbesserung um jeweils eine Größenordnung. So soll mit CTA ein neues Zeitalter der Hochenergie-Beobachtungen eingeläutet werden.

Auch wenn durch die heutigen Gammastrahlen-Teleskope bereits über 100 Quellen hochenergetischer Gammastrahlung entdeckt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass CTA diese Anzahl noch signifikant steigern wird, was zu einem besseren Verständnis der bei solch hohen Energien ablaufenden physikalischen Prozesse führen wird. Zu den drängendsten Forschungsfragen, die mit CTA angegangen werden sollen, gehören das massive schwarze Loch im Zentrum der Milchstraße, die mögliche Beobachtung von dunkler Materie, energetische Prozesse und deren Konsequenzen für den energetischen Zustand des frühen Universums wie etwa die Bildung massereicher schwarzer Löcher im Zentrum großer Galaxien sowie Fragen der fundamentalen Physik. Auch die Entdeckung neuer Typen von Strahlungsquellen ist zu erwarten, wie es auch bisher für alle neu eröffneten spektralen Wellenlängenbereiche der Fall war.

Die folgenden deutschen Institute beteiligen sich an CTA: DESY Zeuthen als Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft, das Max-Planck-Institut (MPI) für Physik, München, das MPI für Kernphysik, Heidelberg, die Humboldt-Universität Berlin, die Universitäten in Bochum, Erlangen-Nürnberg, Hamburg, Heidelberg, Potsdam, Tübingen und Würzburg sowie die Technische Universität Dortmund.

Es ist vorgesehen, dass Deutschland 28 % der geplanten Gesamtinvestitionskosten von 186 Mio. Euro (für den Zeitraum 2014-2018), also 52 Mio. Euro, bereitstellt. Nach Fertigstellung beider Observatorien werden die jährlichen Betriebs- und Wartungskosten zwischen 15 und 20 Mio. Euro betragen.

Eine detaillierte Beschreibung des Vorhabens entlang der Bewertungsdimensionen ist im Anhang 1.1 zu finden.

1.2.b Bewertung von CTA

Zusammenfassung

Wissenschaftliches Potenzial. Wissenschaftlich ist CTA durch seine Einzigartigkeit von herausragender Bedeutung. Aufgrund der deutlich gesteigerten Detektorsensitivität und der höheren zugänglichen Photonenenergie wird ein verbessertes Verständnis der hochenergetischen Prozesse im Universum ermöglicht. Die Untersuchungen in dem für die Gamma-Astronomie erstmalig in dieser Qualität zugänglichen Energiebereich werden die aktuelle Astro- und Hochenergiephysik mannigfaltig beeinflussen. CTA ist eine wichtige Ergänzung zu zurzeit im Aufbau befindlichen Großteleskopen in anderen Spektralbereichen.

Nutzung. An CTA ist die weltweite *community* dieses spezialisierten Teilgebietes der Physik beteiligt. Es wird in diesem Energiebereich das Hauptobservatorium weltweit für astro- und hochenergiephysikalische Fragestellungen werden. CTA soll als offenes Observatorium betrieben werden. Dies stellt eine wesentliche Verbesserung gegenüber der früheren Praxis in bodenbasierter Gamma-Astronomie dar, was erhebliche organisatorische Herausforderungen mit sich bringt.

Umsetzbarkeit. Die wissenschaftliche Expertise der Trägereinrichtungen in Deutschland ist von höchstem Niveau und wird es ermöglichen, dieses Projekt erfolgreich durchzuführen. Das CTA-Konsortium greift dabei auf weitreichende Erfahrungen mit bodenbasierter Gammastrahlen-Astrophysik zurück. Das bereits laufende Projekt CTA basiert auf verstandenen und ausgereiften Technologien und kann nach der abschließenden Klärung der Standortfrage umgesetzt werden.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland. Bei den Vorläuferprojekten spielten deutsche Institute eine führende Rolle. Ihre wissenschaftliche Expertise ist weltweit anerkannt, wodurch sie sich zu höchst attraktiven Ausbildungsstätten für den wissenschaftlichen Nachwuchs entwickelt haben. Deshalb wird CTA mit Sicherheit die Attraktivität und Sichtbarkeit Deutschlands als Standort für Wissenschafts- und Technologieentwicklung erhalten und verstärken. Eine zeitnahe Umsetzung sichert die Führungsrolle Deutschlands in diesem Gebiet.

Wissenschaftliches Potenzial

Wissenschaftlich ist CTA durch seine Einzigartigkeit von herausragender Bedeutung. Beobachtungen können mit einer um mindestens eine Größenord-

nung gesteigerten Sensitivität durchgeführt werden. Dadurch lassen sich hoch-energetische Prozesse im Universum, wie sie beispielsweise in schwarzen Löchern, explodierenden Sternen und kollidierenden Galaxien stattfinden, besser verstehen. Diese Beobachtungen könnten auch Aufschluss über das Rätsel der dunklen Materie geben.

Die mit CTA durchgeführte Forschung wird Auswirkungen auf weite Bereiche der heutigen Astrophysik und Hochenergiephysik haben. Diese Projektion kann mit den hohen Zitationszahlen der Veröffentlichungen begründet werden, die im Umfeld von H.E.S.S. und MAGIC entstanden sind. CTA wird eines der wenigen Hauptobservatorien weltweit sein, die als Nutzereinrichtungen in verschiedenen Spektralbereichen betrieben werden, wie ALMA (*Atacama Large Millimetre Array*), E-ELT (*European Extremely Large Telescope*), JWST (*James Webb Space Telescope*), SKA (*Square Kilometre Array*), LOFAR (*Low Frequency Array*) und die zukünftigen weltraumgestützten Röntgenmissionen. |²⁰ Durch die vorgeschlagene Betriebsweise in Verbindung mit einer nutzerfreundlichen Vorverarbeitung der Daten wird die komplementäre Nutzung von CTA durch eine breite *community* sichergestellt. CTA wird folglich Synergien innerhalb des breiten Spektrums der Astrophysik ermöglichen.

Da die astrophysikalische Forschung auf Beobachtungen im gesamten elektromagnetischen Spektrum und auf dem Nachweis von Teilchen beruht, arbeiten Teleskope und Detektoren für bestimmte Spektralbereiche per se komplementär. Dies zeigt sich beispielsweise an der bereits heute bestehenden panchromatischen Zusammensetzung der Beobachtungen von Forschungsobjekten. Was die konkurrierenden Infrastrukturen im hochenergetischen Gammabereich angeht, so werden die internationale Zusammensetzung des CTA-Konsortiums und die wesentlich verbesserte Sensitivität der Beobachtungen dafür sorgen, dass CTA mindestens während des kommenden Jahrzehnts einzigartig bleibt.

CTA wird in erster Linie der Hochenergie-Gammastrahlen-Astronomie gewidmet sein. Die Entwicklung neuer, innovativer Anwendungsmöglichkeiten der Infrastruktur während der Lebensdauer des Projekts ist wahrscheinlich. Zum Beispiel wurde die heutige Generation von Cherenkov-Arrays, obwohl sie demselben Forschungsfeld gewidmet ist, auch schon für Messungen des primären Flusses von Elektronen und schweren Kernen der kosmischen Strahlung sowie für die Suche nach schnellen optischen *transients* eingesetzt. In diesem Sinne wird CTA vielfältig einsetzbar sein.

|²⁰ Näheres zu den Observatorien und weiteren komplementären Forschungsinfrastrukturen im Anhang 2.1.

CTA wurde in den jüngsten europäischen Strategieplanungen für die Astronomie (ASTRONET |²¹, ASPERA |²²) als eine der bedeutendsten Forschungsinfrastrukturen anerkannt und ist in der ESFRI-Roadmap |²³ aufgeführt. Auch nationale Strategiepläne (wie die Denkschrift der DFG von 2003) erwähnen das Potenzial von Projekten der Hochenergie-Astrophysik, wobei CTA nicht ausdrücklich genannt wird, weil die Denkschrift vor der Gründung des CTA-Konsortiums erschienen ist.

Zwar stützt sich das Design von CTA weitgehend auf bestehende Technologie, die Lebensdauer von 10 bis 20 Jahren bedeutet jedoch, dass während des Betriebs mit Sicherheit Verbesserungen des Designs und Nachrüstungen von Instrumenten vorgeschlagen und umgesetzt werden. Es ist Potenzial für innovative Technologien vorhanden, so dass erwartet wird, dass die Infrastruktur einen Prüfstand für Neuentwicklungen in den Bereichen Elektronik, Optik, mechanische Sensorik und Stabilität, Atmosphärenüberwachung sowie für Datenverarbeitung und -analyse darstellen wird. Insbesondere könnte sie weitere Auswirkungen auf den Bereich der Photodetektoren-Entwicklung haben.

Nutzung

CTA wird hauptsächlich von den beteiligten Gruppen genutzt werden, steht aber auch anderen astronomischen Forschungsgruppen aus aller Welt offen. Die Nutzergruppe ist zweifellos ausreichend groß und wissenschaftlich versiert, um CTA voll ausnutzen zu können. Es besteht ausreichendes Engagement hochqualifizierter Gruppen innerhalb der deutschen *community*. Der Betrieb von CTA als offenes Observatorium stellt eine bedeutende Verbesserung dar. Dies wird erhebliche organisatorische Herausforderungen mit sich bringen und eine geeignete Finanzierung des Betriebs erfordern. Das wissenschaftliche Personal, insbesondere Postdoktorandinnen und Postdoktoranden, das für den Betrieb von CTA und die Bereitstellung des Nutzerservices zuständig ist, muss auch wissenschaftliche Anerkennung finden. Die Beteiligung an Veröffentlichungen oder die Vergabe garantierter Beobachtungszeiten sind sorgfältig zu erwägen.

Auch wenn das Konzept zur Regulierung des Datenzugangs im Detail noch nicht ausgearbeitet ist, soll es vielfältigen Forschungsgruppen den Datenzugang ermöglichen, auch Astronominnen und Astronomen, die mit niederenergetischen Gammastrahlen- und mit Röntgen-Instrumenten arbeiten. Das Konsorti-

|²¹ ASTRONET: *The ASTRONET Infrastructure Roadmap: A Strategic Plan for European Astronomy*, 2008, S. 28-30.

|²² ASPERA: *Astroparticle Physics. the European strategy*, 2008, S. 35 und ASPERA: *European Roadmap for Astroparticle Physics*. Edition 2011, S. 19-22.

|²³ Vgl. ESFRI: *Strategy Report on Research Infrastructures*. Roadmap 2010, Luxemburg 2011, S. 68.

um plant außerdem, durch den Hauptsitz in Deutschland umfangreiche Datenverarbeitungskapazitäten sowie die nötigen Auswertungs- und Analysewerkzeuge insbesondere auch für fachferne Nutzerinnen und Nutzer zur Verfügung zu stellen. Es besteht die Absicht, wissenschaftlichen Endnutzerinnen und -nutzern ein Astronomie-Standardprodukt anzubieten. Um dies zu erreichen, ist ein umfangreiches Datenauswertungsteam erforderlich. Es muss geklärt werden, welche Dienstleistungen das Konsortium zur umfassenden Versorgung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zahlreicher Fachrichtungen und zur Bereitstellung öffentlicher Datenprodukte erbringen soll.

In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass die Arbeit an solchen Forschungsinfrastrukturen attraktiv ist und diese eine außergewöhnliche Trainingsumgebung für Studierende darstellen. Das Forschungsfeld vermittelt ihnen eine breite Palette an Fähigkeiten. Diese betreffen einerseits den Entwurf, Bau und Betrieb von Detektoren sowie die Entwicklung von Photosensoren und der damit in Verbindung stehenden signalverarbeitenden Elektronik und andererseits den Umgang mit Daten sowie mit Werkzeugen zur Modellbildung und Simulation. Außerdem gibt es viele Möglichkeiten für Projektarbeiten an der vordersten Front der Wissenschaft, die sich sowohl für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe als auch für fortgeschrittene Studierende eignen, um das oft bereits bestehende intrinsische Interesse an der Astrophysik weiter zu stärken.

Umsetzbarkeit

Die Trägerinstitutionen in Deutschland verfügen über höchste wissenschaftliche Expertise und sind in der Lage, das Projekt erfolgreich durchzuführen. Die Standorte der Max-Planck-Gesellschaft in Heidelberg und München waren die führenden deutschen Einrichtungen innerhalb der sehr erfolgreichen Projekte H.E.S.S. und MAGIC. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DESY verfügen über sehr viel Erfahrung in der erdgebundenen Gammastrahlen-Astrophysik; das DESY selbst führt seit vielen Jahren Projekte in internationaler Zusammenarbeit durch. Alle beteiligten außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Universitäten verfügen über hohe technische Expertise.

Das ganze CTA-Konsortium besitzt viel Erfahrung in der bodenbasierten Gammastrahlen-Astrophysik; seine Mitglieder waren an der Entwicklung, Errichtung und dem Betrieb der heutigen Generation von Cherenkov-Teleskop-Arrays beteiligt. Das Projekt befindet sich seit mehreren Jahren in der Entwicklungsphase, während der detaillierte Projektstudien durchgeführt wurden. Das Konsortium ist im Hinblick auf Vorbereitung und Prototypenbau weit fortgeschritten. CTA hat sich in technischer Hinsicht für einen konservativen Ansatz entschieden, wobei alle wichtigen Teilsysteme (Optik, Mechanik, Lichtsensoren, Elektronik, Triggerung) auf verstandenen und ausgereiften Technologien beruhen. Auch das Verfahren selbst ist erprobt, und die beteiligten Institute besit-

zen die nötige Expertise zur erfolgreichen Durchführung des Projekts. Trotzdem wird der Arbeitsaufwand für die Bereitstellung von Software und für die Datenverwaltung beträchtlich sein, da dieses Projekt größer ist als seine Vorläufer.

Darüber hinaus müssen Finanzierungsmodelle für eine starke Einbeziehung von Hochschulgruppen erarbeitet werden, denn diese sind von großer Bedeutung für die Ausbildung von Studierenden sowie die Außenwirkung des Projekts.

Die Governance-Struktur von CTA befindet sich noch in der Entwicklung. Folglich ist der Zeitplan für CTA sehr ehrgeizig, denn auch Standortwahl, Datenzugsregelungen und finanzielle Verantwortlichkeiten sind noch nicht abschließend geklärt. Diese wichtigen Entscheidungen müssen rechtzeitig getroffen werden, sind jedoch zum Ende der dreijährigen europäischen Finanzierungsphase 2013 angesetzt.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

CTA baut auf den Erfolgen der Projekte H.E.S.S. und MAGIC auf, in denen deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine führende Rolle spielen. Die wissenschaftliche Expertise der deutschen Institute ist weltweit anerkannt. Sie tragen führend zum wissenschaftlichen Ertrag und zur Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern in diesem Forschungsfeld bei. Deshalb wird CTA die Attraktivität und Sichtbarkeit Deutschlands als Standort für Wissenschafts- und Technologieentwicklung und seine Führungskompetenz in globalen Wissenschaftsprojekten erhalten und verstärken. Ein erfolgreich arbeitendes CTA würde trotz eines nur 20 % umfassenden Personalanteils als ein in Deutschland verankertes Observatorium angesehen, das über eine hohe internationale Präsenz verfügt und dessen Ergebnisse mit internationaler Anerkennung rechnen können.

Der internationale Aspekt des Projekts ist hier zu unterstreichen. Die wissenschaftliche Arbeit in einer großen internationalen Kooperation ermöglicht Studentinnen und Studenten unschätzbare Erfahrungen im Projektmanagement und ist daher sehr attraktiv.

Gesamtbewertung

Das Projekt CTA ist von herausragender Bedeutung für die Wissenschaft. Es handelt sich um ein von Wissensdrang getriebenes Projekt der Grundlagenforschung mit Potenzial für neue Einsichten, da es in einen Energiebereich vordringt, der nie zuvor mit solch hoher Instrumentenauflösung zugänglich war. Die Technologie ist ausgereift, denn sie baut auf früheren Erfahrungen mit Cherenkov-Gammastrahlen-Teleskopen unter deutscher Führung auf. Die Pro-

jektstufen von Simulations- und Designstudien über die Erarbeitung eines Gesamtkonzepts bis hin zum konkreten Design und Bau von Prototypen sind bereits durchlaufen. Nach Abschluss der Standortwahl ist das Projekt für die Umsetzung bereit und benötigt nun Unterstützung für den Übergang in die nächste Projektphase.

Dieses Vorhaben vereint die weltweite wissenschaftliche *community* des Forschungsfelds der Hochenergie-Gammastrahlen-Astronomie und schließt alle wichtigen Gruppen ein. Als solches ist es einzigartig. CTA ist eine wichtige Ergänzung zu im Aufbau befindlichen Großteleskopen in anderen Spektralbereichen sowie zu bestehenden Observatorien. Es wird einer großen Nutzergemeinschaft über die Gammastrahlen-Astronomie hinaus zur Verfügung stehen. Eine weitergehende Einbeziehung stärker anwendungsorientierter Forschungseinrichtungen und der Ingenieurwissenschaften sollte gefördert werden, da eine verstärkte Zusammenarbeit zusätzliche Synergieeffekte schaffen würde.

Eine erhebliche Verzögerung von CTA würde den Verlust der zeitlichen Überlappung mit derzeit schon betriebenen erd- und weltraumgebundenen Teleskopen, ein Nachlassen der Dynamik im Forschungsfeld und den Verlust der führenden Rolle Deutschlands bedeuten. Falls die Infrastruktur keine Unterstützung durch Deutschland erhält, würde dies wohl das Ende des Projekts bedeuten.

I.3 Die Wissenschaftslandschaft für Forschungsinfrastrukturen in der Materialforschung

Die Materialforschung befasst sich mit Struktur, Synthese, Verarbeitung und Eigenschaften von Materialien. Genauer gesagt untersucht sie hauptsächlich Materialien, die in gegenwärtigen oder zukünftigen Anwendungen zum Einsatz kommen sollen (z. B. Metalllegierungen, Polymere, Keramik, Verbundstoffe, Naturmaterialien, photonische Materialien, Halbleiter). Dieses stark fachübergreifende Forschungsfeld umfasst alle naturwissenschaftlichen Disziplinen, also Physik, Chemie und Biologie, sowie die Ingenieurwissenschaften. Traditionelle Hauptziele der Materialforschung sind die Charakterisierung und Herstellung von komplexen, zumeist künstlichen Stoffen. Die moderne Grundlagenforschung in den Materialwissenschaften zielt beispielsweise auf ein besseres Verständnis der Beziehungen zwischen Struktur und Eigenschaften auf Quanten- und Atomebene sowie auf ein besseres Verständnis des Übergangs von der Quantenmechanik mit ihrer Beschreibung der grundlegenden Bausteine der Materie über Materialfehler bis hin zu makroskopischen Eigenschaften und Materialversagen. Die experimentellen und theoretischen Forschungsansätze decken diese Größenskalen von der Quanten- und Atomebene (z. B. Quanten-Design von LEDs) bis hin zur makroskopischen Dimension (z. B. Materialien für Industriemaschinen oder Enderzeugnisse) ab.

Ein Material besitzt mechanische, magnetische, elektronische, chemische und optische Eigenschaften, welche bei Bauwerkstoffen, funktionellen und biologischen Materialien wichtig sind. Beispiele für gegenwärtige Anwendungen und Produkte, bei denen die materialwissenschaftliche Entwicklung entscheidend ist, sind Mikro- und Nanoelektronik (z. B. mobile Kommunikation), Energieumwandlung (z. B. Turbinen), Mobilität (z. B. Leichtbauweise), Medizin (z. B. Implantate), Sicherheit (z. B. Kraftwerke), magnetische Materialien (z. B. zur Datenspeicherung oder Stromrichter) und photonische Materialien (z. B. Festkörperbeleuchtung), um nur einige zu nennen. Die Materialwissenschaft ist eng mit der Entwicklung und Prüfung neuer Produkte verknüpft.

Die Forschungsinfrastrukturen in den Materialwissenschaften sind äußerst unterschiedlich und umfassen Elektronenmikroskope mit atomarer Auflösung, Atomsonden-Tomographen, Magnetfeldlabore, Freie-Elektronen-Laser, Synchrotronstrahlungsanlagen, Neutronenquellen oder große Parallelrechnerinfrastrukturen. Die Forschungsinfrastruktur *European Magnetic Field Laboratory* (EMFL) ermöglicht die Untersuchung der Eigenschaften von Materialien in hohen Magnetfeldern. Ziel des spezifischen Vorhabens am Hochfeld-Magnetlabor Dresden ist die Entwicklung eines vollständig supraleitenden Magneten für die Erzeugung statischer Magnetfelder. Komplementäre und konkurrierende Infrastrukturen für die Forschung in hohen Magnetfeldern, um die es hier vorrangig geht, sind Netzwerke von Laboren und Einrichtungen für entweder nur gepulste oder nur statische Felder. Das Vorläuferprojekt *EuroMagNET II*, die wichtigste konkurrierende Infrastruktur am *Magnet Lab* der *Florida State University* in Tallahassee sowie die verschiedenen komplementären Infrastrukturen in diesem Bereich sind in Anhang 2.2 aufgelistet.

1.4 European Magnetic Field Laboratory (EMFL)

1.4.a Kurzbeschreibung von EMFL

Magnetfelder liefern eine weitere grundlegende thermodynamische Zustandsvariable zusätzlich zu z. B. Druck und Temperatur. Ihr Einsatz erlaubt somit die Untersuchung einer Reihe elektromagnetischer Eigenschaften und Merkmale von Materialien. Magnetfelder dienen der Forschung in der Physik, in den Material- und Ingenieurwissenschaften sowie in der Biologie und der Chemie; sie werden aber auch für industrielle Anwendungen genutzt. Eine Reihe elektromagnetischer Phänomene in Materialien sind nicht ausreichend erforscht, wie etwa die Hochtemperatur-Supraleitung und Phasenübergänge aufgrund elektronischer Eigenschaften.

Bei dem hier und im Konzept als EMFL bezeichneten Forschungsinfrastrukturvorhaben handelt es sich um ein spezielles Infrastrukturprojekt am Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD). Es ist nicht zu verwechseln mit dem größeren

EMFL-Netzwerkinfrastrukturvorhaben, das aus einem Zusammenschluss von vier großen europäischen Magnetfeldlaboren besteht. |²⁴ Das EMFL-Netzwerk kann bei der Beantwortung einiger grundlegender offener Fragen der Materialwissenschaften hilfreich sein. Zudem könnte es zur Entwicklung, Prüfung und Charakterisierung neuartiger Materialien beitragen und Expertise zur Konstruktion vollständig supraleitender Magnete erarbeiten.

Die im Rahmen des Roadmap-Prozesses betrachtete EMFL-Infrastruktur am HLD plant den Bau und den Betrieb zweier vollständig supraleitender Magnete zur Erzeugung von statischen Magnetfeldern über 30 Tesla, sogenannte 30+ Tesla-Magnete. Die Obergrenze für handelsübliche statische Magnete liegt derzeit bei etwa 22 Tesla. Manche Labore erzielen mithilfe von Spezialkonstruktionen bis zu 45 Tesla in statischen Feldern. Mit gepulsten Magnetfeldern lassen sich fast 100 Tesla erreichen. Ziel des EMFL-Projekts am HLD ist die Entwicklung von Magneten, die aufgrund ihrer supraleitenden Eigenschaften weniger Energie verbrauchen und homogenere hohe Magnetfelder ermöglichen. Der Bau dieser zwei neuen 30+ Tesla-Magneten soll das europäische EMFL-Netzwerk stärken.

Die Baukosten der als Prototypen zu verstehenden 30+ Tesla-Magnetanlagen am HLD werden auf 19 Mio. Euro geschätzt (für die Jahre 2013-2015). Die Betriebskosten für einen Zeitraum von fünf Jahren (2016-2020) werden in der Größenordnung von 16 Mio. Euro liegen.

Eine detaillierte Beschreibung des Vorhabens entlang der Bewertungsdimensionen ist im Anhang 1.2 zu finden.

I.4.b Bewertung von EMFL

Zusammenfassung

Wissenschaftliches Potenzial. Das mit dem Projekt des HLD als Teil von EMFL angestrebte bessere Verständnis elektromagnetisch relevanter Materialeigenschaften könnte zum technologischen Fortschritt in verschiedenen Anwendungsbereichen beitragen. Der Einsatz der neuen Magnete in Kombination mit Freie-Elektronen-Lasern und anderen Strahlenquellen birgt langfristig Potenzial für neue Entdeckungen. Mit dem Projekt könnte eine international heraus-

| ²⁴ Die verteilte Forschungsinfrastruktur EMFL umfasst vier Standorte: Das deutsche HLD, bis dato ausschließlich für Experimente in hohen gepulsten Magnetfeldern genutzt, das französische *Laboratoire National des Champs Magnétique Intenses – Toulouse* (LNCMI-T), ebenfalls für Experimente in gepulsten Magnetfeldern, das französische *Laboratoire National des Champs Magnétique Intenses – Grenoble* (LNCMI-G) für Experimente in statischen Magnetfeldern und das niederländische *High Field Magnet Laboratory* (HFML) in Nijmegen, ebenfalls spezialisiert auf statische Magnetfelder. Näheres zum Gesamtprojekt EMFL vgl. ESFRI: *Strategy Report on Research Infrastructures*. Roadmap 2010, Luxemburg 2011, S. 71.

ragende Infrastruktur geschaffen werden, um Anschluss in einem sich schnell entwickelnden und hoch wettbewerblichen Umfeld zu finden.

Nutzung. Die Infrastruktur ist auf ein wichtiges Spezialgebiet der materialwissenschaftlichen Grundlagenforschung beschränkt. Sie bietet aber unterschiedlichsten Disziplinen eine Plattform für neuartige Experimente. Die vorgesehenen Zugangsregeln sind angemessen gestaltet.

Umsetzbarkeit. Das technisch schwierige und anspruchsvolle Vorhaben befindet sich in einer frühen Phase. Wichtige technische Fragen sowie die Integration in den europäischen Verbund EMFL müssen ausgearbeitet werden. Aufgrund der bisherigen Leistungsbilanz des HLD beim Bau gepulster Magnete kann erwartet werden, dass die Erweiterung auf sehr hohe statische Felder gelingen kann. Entscheidend für den Erfolg ist auch eine angemessene Personalausstattung.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland. Die neue Forschungsinfrastruktur wird vornehmlich die Fähigkeiten des HLD verbessern und somit seine Rolle im europäischen Konsortium stärken. Das Vorhaben hat das Potenzial, die Attraktivität Deutschlands als Standort für Magnetfeldforschung zu erhöhen und mögliche Technologieentwicklungen zu initiieren.

Wissenschaftliches Potenzial

Das HLD ist als Teil des EMFL-Netzwerkes für die Grundlagenforschung in den Materialwissenschaften gut aufgestellt. Da magnetische Felder regelbare, grundlegende experimentelle Parameter darstellen, ist die Infrastruktur von entscheidender Bedeutung für die Erforschung von Materialeigenschaften. Durch die Nutzung von Hochtemperatur-Supraleitern zur Erzeugung von statischen Feldern von (letztlich) 30+ Tesla, werden Felder von wesentlich besserer Homogenität und Stabilität im Vergleich zu denen, die durch Ohm'sche Technologie möglich sind, erzeugt. Dies wird schließlich zu Experimenten höherer Qualität führen. Das Instrument wird mehreren Zwecken dienen, mit Schwerpunkt auf den grundlegenden Aspekten der Materialwissenschaften hinsichtlich der elektromagnetischen Eigenschaften. Die Einrichtung birgt das Potenzial für unerwartete Entdeckungen in den Bereichen Supraleitung, Supraleitung an Grenzflächen, Quantenspinsysteme, topologische Isolatoren und andere Aspekte der grundlegenden Materialwissenschaften. Idealerweise können diese Entdeckungen langfristig zu Neuentwicklungen bei funktionellen Materialien beitragen. Die Kombination des geplanten hohen Gleichstrom-Magnetfelds mit den bestehenden Freie-Elektronen-Lasern und anderen Strahlungsanlagen (wie Neutronen- oder Synchrotron-Röntgenquellen) birgt langfristig Potenzial für neue Entdeckungen. Die Bedeutung der wissenschaftlichen Fragestellungen aus den

verschiedenen *communities* in den Materialwissenschaften, der Physik sowie der Chemie hätten im Konzept überzeugender ausgearbeitet werden sollen.

Vom Design supraleitender Magnete kann das gesamte Forschungsfeld zu Hochstrom- und Hochfeldquellen sowie zu gesteuerter Stromversorgung profitieren. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass neue Konzepte in der Magnettechnologie erarbeitet werden. Die technologischen Entwicklungen könnten die Möglichkeit eröffnen, ein Interesse der Wirtschaft an der Magnettechnologie zu wecken. Die erfolgreiche Realisierung der Magnete aus supraleitenden Materialien könnte letztlich zu erheblichen Energieeinsparungen in unterschiedlichen, anspruchsvollen Anwendungen führen.

Das neue Instrument am HLD ist als Mehrzweckplattform ausgelegt. Die Herstellung eines Magnetfelds mit hoher Feldstärke ist sehr spezifisch; um die einzelnen Forschungsziele zu erreichen wird es allerdings notwendig sein, ein breites Spektrum anderer extremer Bedingungen hinsichtlich Temperatur, Druck, chemischer Zusammensetzung usw. erzeugen zu können. Die Infrastruktur ist so ausgelegt, dass verschiedenartige Anwendungen unterstützt werden können. Es ist davon auszugehen, dass über die Lebensdauer des Projekts die Vielfalt der Betriebsweisen und damit auch der Nutzungsarten zunehmen werden.

Auf nationaler Ebene ist das HLD das einzige Zentrum für Magnetfelder mit hoher Feldstärke. Auch in Europa ist es führend im Bereich gepulster Magnetfelder hoher Feldstärke, was jedoch nicht in direktem Bezug zum aktuellen EMFL-Projekt am HLD steht. Weltweit gibt es rund ein Dutzend Hochfeld-Magnetlabore, die statische oder gepulste Magnetfelder im höchsten erzielbaren Feldstärkenbereich herstellen. Nur das *Magnet Lab* der *Florida State University* in Tallahassee, welches Teil des *National High Magnetic Field Laboratory* (NHMFL) ist, stellt eine echte Konkurrenz für die neue EMFL-Infrastruktur am HLD dar. |²⁵ An diesem Labor wird derzeit die Weiterentwicklung der Hybridtechnologie, also die Verbindung von Supraleitern mit Ohm'schen Magneten, vorangetrieben, um vergleichbar hohe statische Felder zu erzeugen. Trotzdem stellt das aktuelle Vorhaben des HLD eine einzigartige und komplementäre neue Forschungsinfrastruktur dar. Sollte es keine Finanzierung erhalten, so blieben die USA weiterhin führend bei der Forschung zu Hochfeldmagneten mit hochtemperatur-supraleitenden Drähten. Ein Aufholen der asiatischen Länder in der Zukunft wäre denkbar.

| ²⁵ Näheres zu konkurrierenden und komplementären Forschungsinfrastrukturen in Anhang 2.2.

Die weltweit bestehenden Hochfeld-Magnetlabore sind mit dem aktuellen Andrang der Nutzerinnen und Nutzer aus den Bereichen Physik, Chemie und Materialwissenschaften überlastet. Das HLD hat bereits eine Nutzergemeinschaft aufgebaut, die sicherlich auch die neue Infrastruktur in Anspruch nehmen wird. Als Autorinnen und Autoren der veröffentlichten Aufsätze sind bislang oft Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des HLD genannt, was auf umfangreiche interne Mitarbeit und Nutzung schließen lässt.

Zusätzlich zu der Nutzung innerhalb Deutschlands wird die geplante Infrastruktur die Kapazitäten des europäischen EMFL-Konsortiums ausweiten. Auch Nutzerinnen und Nutzer aus anderen Ländern, darunter vor allem aus Portugal, Großbritannien, Österreich, Polen und Spanien, werden ebenfalls indirekt von dieser Ausweitung profitieren. Die potenzielle Nutzergruppe ist groß, international zusammengesetzt und reicht über die genannten Länder hinaus. Es handelt sich hier um ein bedarfsorientiertes Vorhaben, das zu einem äußerst passenden Zeitpunkt in der Entwicklung der neu entdeckten supraleitenden und magnetischen Materialien kommt (wie Pnictiden und Materialien, die den kolossalen Magnetoresistiven Effekt aufweisen).

Das HLD hat eine erfolgreiche Nutzerplattform für hohe gepulste magnetische Felder geschaffen. Das Team in Dresden hat sämtliche Verwaltungs- und Wissenschaftsprozesse eingerichtet, um eine große, heterogene Nutzergruppe bei der Durchführung schwieriger Experimente zu unterstützen. Die zukünftigen Nutzerinnen und Nutzer können bei Planung und Durchführung von Experimenten von der Fachkompetenz vor Ort profitieren, wie dies derzeit für gepulste Felder der Fall ist. Die vorgesehenen Zugangsregelungen sind angemessen, der anscheinend mögliche „Schnellzugang“ für zeitkritische Experimente sollte jedoch besser bekannt gemacht und erklärt werden.

Wie alle großen Einrichtungen bietet auch das HLD Ausbildungschancen für Studierende bzw. Doktorandinnen und Doktoranden. Diese Funktion ist sehr wichtig und gewinnt angesichts der globalen Aufstellung großer Forschungsinfrastrukturen zunehmend an Bedeutung. Das vorliegende Vorhaben wird eine Ausbildung in einer Reihe interdisziplinärer Forschungsfelder erfordern, was ohne effektive Forschungsinfrastruktur schlicht unmöglich wäre.

Umsetzbarkeit

Das Vorhaben ist technisch schwierig, ehrgeizig und befindet sich in einer frühen Phase. Viele der derzeit für niedrigere Felder verwendeten Verfahren müssen für den Einsatz bei sehr hohen und gepulsten Magnetfeldern angepasst und ausgedehnt werden. Die am HLD beschäftigten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind hierfür gut gerüstet. Angesichts der guten Ergebnisse, die das

HLD in der Vergangenheit beim Bau von Magneten für gepulste Felder erzielt hat, kann angenommen werden, dass die Ausweitung auf sehr hohe statische Felder funktionieren wird. Dies gilt vor allem dank der durch die Projektpartner am Standort Dresden eingesetzten Strategie kontinuierlicher Verbesserung. Da sich das existierende Fachwissen des HLD stark auf gepulste und nicht auf statische Felder konzentriert, müssen die Kompetenzen für Design und Bau von Gleichstrom-Hochfeldmagneten in Dresden für dieses Projekt neu aufgebaut werden. Allerdings hat bisher keine Einrichtung der Welt die erforderlichen Kompetenzen zum Bau von Magneten, die ausschließlich auf der Hochtemperatur-Supraleiter-Technologie beruhen. Die Entwicklungsstrategie basiert auf einem stufenweisen Verbesserungsprozess zur Steigerung der Leistung des Instruments von 25 auf mehr als 30 Tesla, um so das Risiko zu mindern. Unterstützung erhält das HLD durch die Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden (IFW), welches über hervorragende Fachkenntnisse zu supraleitenden Materialien verfügt. Einer der ersten Schritte bei der Entwicklung des Magnetdesigns sollten die Prüfung und Bewertung der verschiedenen Materialien für Drähte oder Platten sein, da es sich hierbei um wichtige Schlüsseltechnologien handelt. Darüber hinaus sollte das HLD baldmöglichst eine praktische Bewertung von Spulen, Bauteilen und Anlagen durchführen. Da die Produktion und Prüfung der supraleitenden Drähte und Platten entscheidend für den Erfolg des Vorhabens sind, hätte die Verfügbarkeit des dafür benötigten Produktionsprozesses detaillierter ausgearbeitet werden sollen.

Die vorgesehenen drei zusätzlichen Vollzeitäquivalente für die Vorbereitungs- und Bauphase sind nicht ausreichend. Das Team muss in erheblichem Umfang durch bereits am Institut vorhandene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unterstützt werden, da eine ausreichende personelle Ausstattung ebenfalls entscheidend zum Erfolg beiträgt. Zudem wird es nötig sein, interne Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Technikerinnen und Techniker mit mindestens mittelfristigen Verträgen einzustellen, um ein effektives Anlagenmanagement und Kontinuität zu gewährleisten. Einige dieser Fragestellungen zu Betrieb und Design sind langfristig von Interesse und müssen besser umrissen und in die Kosten- und Personalplanung einbezogen werden. Außerdem lässt sich, auch wenn derzeit ein erfahrener Wissenschaftler die Betriebsleitung der Einrichtung innehat, ein professionelles Projektmanagement nur begrenzt erkennen, was jedoch über den Erfolg dieses ehrgeizigen Vorhabens entscheiden kann.

Kostenschätzungen und Zeitplan erscheinen wenig begründet und recht optimistisch. Da es sich bei der Entwicklung von 30+ Tesla-Magneten um ein Projekt mit hohem technischem Risiko handelt, muss hier mehr Transparenz geschaffen werden.

Die neue Einrichtung wird in erster Linie die Kapazitäten und Kompetenzen des HLD ausweiten und damit dessen Position innerhalb des europäischen EMFL-Konsortiums stärken. Die Governance des Projekts am HLD entspricht den wissenschaftlichen und technischen Zielen. Ein effizientes und detailliertes Governance-Konzept, das insbesondere ein professionelles Investitions-, Projekt- und Nutzungsmanagement am HLD, aber auch auf der europäischen Ebene des EMFL-Netzwerkes einschließt, wurde allerdings bisher noch nicht erstellt. Um die grundlegenden Governance-Leitlinien bis Ende 2013 auszuarbeiten, wurden EU-Mittel eingeworben. Ein Organisationsrahmen, der über die derzeitige Netzwerkstruktur hinausgeht, wird dringend benötigt, um das EMFL auf Augenhöhe mit dem NHMFL in Florida und den neuen Bestrebungen in asiatischen Ländern positionieren zu können. Die EMFL-Partnereinrichtungen sollten sich dringend um eine enge Koordinierung der Entwicklung der wissenschaftlichen Infrastruktur und der Versuchsmethoden bemühen. In Zukunft müssen Kooperationen sorgfältiger dokumentiert werden, insbesondere solche mit dem IFW und den anderen EMFL-Partnerlaboren, etwa durch *letters of support*. Eine solche Dokumentation ist bisher nicht erfolgt.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Deutschland kann herausragende Ergebnisse in einer Reihe verwandter Technologiefelder vorweisen, was eine ausgezeichnete Grundlage für die mittel- und langfristige Entwicklung dieser nationalen Versuchseinrichtung bilden wird. Das Vorhaben am HLD besitzt das Potenzial, Deutschland noch attraktiver als Forschungsstandort zu und mit Magnetfeldern hoher Feldstärken zu machen und den Anstoß für mögliche technologische Entwicklungen zu geben. Der mit dem gepulsten Magnetfeld am HLD erreichte Weltrekord von 91,4 Tesla fand internationale Beachtung und diente als Ansporn für andere Labore.

Das mit dem Projekt des HLD angestrebte bessere Verständnis elektromagnetisch relevanter Materialeigenschaften könnte zum technologischen Fortschritt in verschiedenen Anwendungsbereichen beitragen, wie beispielsweise zu Energie, Mobilität und Gesundheitswesen.

Gesamtbewertung

Magnetfelder mit hoher Feldstärke haben sich zu einem wichtigen Forschungsinstrument entwickelt. Die am HLD geplante Infrastruktur wird die Kapazitäten und Kompetenzen des europäischen EMFL-Konsortiums ausweiten, indem sie letztlich ein Magnetfeld von höherer Qualität zu geringeren Betriebskosten liefert.

Ebenso wie die Harmonisierung des EMFL befindet sich auch das Vorhaben am HLD noch in der Frühphase. Das Herstellen eines supraleitenden 30+ Tesla-Magneten stellt eine technische Herausforderung dar und wird neue Verfah-

renstechniken erfordern. Es ist auch wahrscheinlich, dass dabei neue Materialien für Anwendungen im Bereich der Supraleiter gefunden werden. Einige Vorstudien wurden bereits durchgeführt, bislang erfolgte allerdings noch keine Risikobewertung. Außerdem wurden wichtige technische Aspekte noch nicht vollständig ausgearbeitet. Insbesondere die Fähigkeit zur Erzeugung der nötigen supraleitenden Materialien scheint entscheidend für den Erfolg des Vorhabens.

Mit dem Projekt könnte eine international herausragende Infrastruktur geschaffen werden, um den Anschluss in einem sich rasch entwickelnden und hoch wettbewerbsfähigen Umfeld zu finden. Der Hauptkonkurrent NHMFL ist derzeit das führende Labor für hohe magnetische Felder. Andere sehr gut aufgestellte Zentren entwickeln sich gerade in Asien.

B.II UMWELTWISSENSCHAFTEN

Die Umweltwissenschaften werden von einem breiten Spektrum an wissenschaftlichen Disziplinen wie Physik, Chemie, Biologie, Geologie, Geographie, angewandte Mathematik, Informatik und Ingenieurwissenschaften getragen. Ziel ist die Erforschung von Umweltsystemen. In diesem Kapitel sollen nach einer allgemeinen Einleitung drei spezifische Forschungsfelder der Umweltwissenschaften eingehender betrachtet werden, zusammen mit den entsprechenden Forschungsinfrastrukturen des Roadmap-Prozesses.

II.1 Die Wissenschaftslandschaft für Forschungsinfrastrukturen in den Umweltwissenschaften

Die umweltwissenschaftliche Forschung trägt in einem breiten räumlichen und zeitlichen Rahmen Erkenntnisse zum System Erde zusammen. Ein wichtiges Forschungsfeld ist die zugrunde liegende Dynamik von und die Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen der Umwelt, wie etwa das Klimasystem und dessen Veränderungen, Funktionen von Ökosystemen oder der Wasserkreislauf und seine Rolle bei der Bereitstellung ausreichender Wassermengen für natürliche und bebaute Lebensräume.

Untersuchungen zu Umweltprozessen in einzelnen Bereichen oder Sphären werden heute zunehmend im Kontext des komplexen, stark verflochtenen Systems Erde betrachtet. Wird von dem Gesamtsystem Erde ausgegangen, so erfordert dies einen holistischen Ansatz zu Fragestellungen und Ergebnissen, bei dem nicht nur die Forschung in den traditionellen, fest umrissenen Feldern der Umweltwissenschaften gefördert wird, sondern auch eine Integration dieser Forschungsarbeit im größeren Rahmen des Systems Erde. Dies beinhaltet, dass auch sozioökonomische und soziokulturelle Aspekte sowie die Bedürfnisse einer ganzen Reihe von *stakeholders* hinzugezogen werden.

Der nachhaltige Umgang mit natürlichen und bebauten Lebensräumen, einschließlich der eng mit ihnen verflochtenen sozioökonomischen und soziokulturellen Systeme, erfordert eine solide wissenschaftliche Grundlage zur Bereitstellung von Informationen für die angewandte Wissenschaft, die Ingenieurwissenschaften und für Entscheidungen zu wichtigen gesellschaftsrelevanten Themen. Letztere wären etwa Klimawandel, Gesundheit und Diversität von Ökosystemen, landwirtschaftliche Produktion, natürliche und anthropogene Gefahren sowie Wasserressourcen, um nur einige zu nennen. Um diese Anforderungen erfüllen zu können, müssen neuartige Instrumente und Technologien zum Verständnis von Umweltprozessen sowie für die Überwachung, Prävention, Abmilderung von und Anpassung an Umweltrisiken und die Auswirkungen menschlicher Aktivität entwickelt werden. |²⁶

Aufgrund ihrer inhärent systemorientierten Ausrichtung tendieren die Umweltwissenschaften zur Überbrückung der Grenzen zwischen vielen Disziplinen im Bereich Naturwissenschaften, Lebenswissenschaften, Medizin, Ingenieurwissenschaften oder Sozial- und Geisteswissenschaften. Aus diesem Grund werden in den Umweltwissenschaften zunehmend transdisziplinäre Forschungsansätze gewählt.

Der Klimawandel ist eine der vielen globalen Herausforderungen, welche deutlich die Notwendigkeit einer transdisziplinären Zusammenarbeit aufzeigen. Eigenschaften und Bestandteile der Atmosphäre wie Wasserdampf, Wolken, Spurengase und Aerosole spielen eine entscheidende Rolle im Energiehaushalt der Erde, der den wichtigsten Klimafaktor darstellt. Gleichzeitig interagiert das Klimasystem stark mit den Ozeanen, der Kryosphäre, der Biosphäre und der Anthroposphäre, die ihrerseits mit ihren komplexen, stark gekoppelten gegenseitigen Wechselwirkungen Auswirkungen auf zahlreiche zeitliche und räumliche Aspekte der Atmosphäre haben.

Um mehr Erkenntnisse über das hochkomplexe System Erde, seine Dynamik und Wechselbeziehungen sowie seine Reaktionen auf natürliche und anthropogene Störungen zu gewinnen, bedarf es immer komplexerer umfangreicher Forschungsinfrastrukturen. Hierzu gehören erdgebundene Infrastrukturen (zum Beispiel Seismometer-Arrays, Fernerkundungslabore oder Stationen zur Messung biotischer Parameter), Satelliten, luftgestützte Infrastrukturen (z. B. langfristige Flugzeugbeobachtungen oder spezifische luftgestützte Forschungseinrichtungen, die während spezieller Feldversuche zum Einsatz kommen), Forschungsschiffe, automatische Meeresbeobachtungsplattformen sowie lokale

| ²⁶ Vgl. unter anderem: ESFRI: *Strategy Report on Research Infrastructures*. Roadmap 2010, Luxemburg 2011, S. 28 und HGF: *Helmholtz-Roadmap für Forschungsinfrastrukturen*. Stand 2011, Bonn 2011, S. 17.

Beobachtungsstationen in Seen oder im Ozean. Besonders wichtig für einen umfassenden, systemorientierten Ansatz sind zudem Beobachtungssysteme, die verschiedene Geräte, Instrumente und ganze Infrastrukturen zusammenfassen. Auch Netzwerke und Integrationsprogramme zur Untersuchung oder zum Verstehen bestimmter Teile des Systems Erde können als wichtige Forschungsinfrastrukturen dienen.

Zum umfassenden Verständnis des Systems Erde und seiner zukünftigen Entwicklung werden immer komplexere Daten benötigt. Numerische Simulationen und Modelle erfordern große Datenverarbeitungskapazitäten und im Umgang mit Modellen geschultes Personal. Aus diesem Grund sind auch E-Infrastrukturen entscheidende Bestandteile der Forschungsinfrastrukturlandschaft im Bereich der Umweltwissenschaften. In den Anhängen 2.3, 2.4 und 2.5 findet sich eine unvollständige Liste komplementärer Forschungsinfrastrukturen im Bereich der Umweltwissenschaften.

Zur Einbettung der bewerteten Forschungsinfrastrukturen wird hier eine Kategorisierung der Umweltwissenschaften vorgenommen, die sich an den Schlüsselkomponenten des Systems Erde orientiert.

Atmosphäre

Die Atmosphärenforschung untersucht die Zusammensetzung der Atmosphäre, die Entwicklung der atmosphärischen Strömungen und Wettersysteme, die Interaktion der Atmosphäre mit anderen Komponenten des Systems Erde sowie die Auswirkungen menschlichen Handelns auf diese Aspekte der Atmosphäre. Dies umfasst eine breite Palette von physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen, die von der Erdoberfläche und der planetaren Grenzschicht (die untersten rund 1.000 m) bis zu den oberen Schichten der Troposphäre (die Schicht von 0 bis 10 km Höhe) und der Stratosphäre (die Schicht von 10 bis 50 km Höhe) reichen. Bekannte Beispiele für aktuelle Forschungsfelder sind der globale und regionale Klimawandel, die Zukunft der stratosphärischen Ozonschicht, die Vorhersage extremer Wetterereignisse oder das grundlegende Verständnis der Interaktionen zwischen Aerosolen, Wolken und Niederschlag. Für die Forschung im Bereich Atmosphärenwissenschaften benötigt man langfristige Beobachtungen von hoher Qualität mithilfe von Instrumenten der Fernerkundung, aber auch Messungen vor Ort sowie eine intensive Zusammenarbeit der beobachtungsgestützten, theoretischen und numerisch modellierenden Forschung.

Eine der vier betrachteten Forschungsinfrastrukturen im Bereich Umweltwissenschaften ist *In-service Aircraft for a Global Observing System* (IAGOS), ein Beobachtungssystem an Bord von Verkehrsflugzeugen. Das primäre Ziel besteht in der Gewinnung von Erkenntnissen über langfristige Änderungen der Zusammensetzung der Atmosphäre in der Region der oberen Troposphäre und un-

teren Stratosphäre (also im Höhenbereich von etwa 8 bis 12 km). Überwachung, Verständnis und Modellierung dieser potenziellen Veränderungen sind essenziell für die Arbeit zu wichtigen Problematiken im Zusammenhang mit Luftqualität, Klimarückkopplungen und Klimawandel.

Hydrosphäre

Die Meere und Ozeane sind ein wichtiger, aber immer noch stellenweise unerforschter oder wenig erforschter Teil der Erde, der über zwei Drittel der Erdoberfläche bedeckt. Einige Teile der Weltmeere, ihre Physik, Biogeochemie, Ökologie usw. befinden sich immer noch im Erkundungsstadium. Die Ozeane sind Lagerstätten für eine Reihe von wertvollen Rohstoffen, deren Verteilung bisher wenig erforscht ist. Technologien für einen umweltfreundlichen Abbau stehen erst am Anfang der Entwicklung. Auch zu den Küstenbereichen, also den Übergangszonen zwischen Binnengewässern (Süßwasser) und Meeresgewässern (Salzwasser) besteht noch viel Forschungsbedarf, da diese Bereiche stark von Menschen genutzt werden und dadurch zunehmenden und teilweise schnellen Veränderungen ausgeliefert sind, die ihre prinzipielle Funktion und Nutzbarkeit stark beeinträchtigen können.

Die Forschungsinfrastruktur *Cabled Ocean Observing System Frontiers in Arctic Marine Monitoring* (Cabled OOS FRAM) gehört zur Kategorie der lokalen bzw. regionalen Beobachtungssysteme. Es wird ein Unterwasser-Kabelobservatorium umfassen, um eine kontinuierliche ganzjährige Meeresbeobachtung in der Framstraße zu ermöglichen, einer Schlüsselregion, die den Nordatlantik mit der von Meereis bedeckten Arktis verbindet.

Geosphäre

Zu den zentralen Forschungsfeldern im Bereich der festen Erde gehören Geologie, Geophysik und Geochemie. Einer der wichtigsten Aspekte dabei ist das Verständnis der Lithosphäre, der oberen Schicht der festen Erde bis zu einer Tiefe von etwa 75 bis 300 km samt der dort auftretenden geologischen Vorgänge und Strukturen. Die Lithosphäre wird von der Erdkruste und dem darunter liegenden lithosphärischen Mantel gebildet. Sie besteht aus voneinander getrennten Platten, die auf der plastisch verformbaren Asthenosphäre aufliegen und sich permanent in Bewegung befinden. Diese Plattentektonik ist ein einzigartiges Merkmal des Planeten Erde und verantwortlich für das Auftreten von Erdbeben, Vulkanausbrüchen und den damit verbundenen Naturkatastrophen. Die Kenntnis von Aufbau und Dynamik der Lithosphäre ist zudem eine unabdingbare Voraussetzung für das Auffinden neuer natürlicher Ressourcen wie Erdöl-, Erdgas- oder Metallagerstätten. Forschung im Bereich der festen Erde befasst sich mit Erdsystemprozessen in weiten räumlichen und zeitlichen Skalen. Die Forschungsthemen reichen von der Jahrmillionen währenden Entstehung der

Kontinente und Weltmeere bis hin zu plötzlichen Ereignissen wie Felsstürzen und Erdbeben, die innerhalb von Minuten oder Sekunden stattfinden. Die räumlichen Dimensionen dieser Ereignisse reichen von tausende Kilometer langen tektonischen Platten bis hin zu Prozessen im Nanometerbereich, wie sie auf der Oberfläche von Mineralien ablaufen.

Es gibt zwei Forschungsinfrastrukturprojekte, die vorrangig der Forschung im Bereich der festen Erde zuzuordnen sind. Der deutsche Teil des *European Plate Observing System* (EPOS) zielt auf die langfristige Messung von Plattenbewegungen und seismischen Aktivitäten mit hoher räumlicher Auflösung. Dieses Projekt ist in erster Linie auf Risikoüberwachung und die Verminderung von Katastrophenfolgen ausgelegt. Ziel des *Global Earth Monitoring and Validation System* (GEMIS) ist die Beobachtung von wichtigen geologischen und ökologischen Prozessen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung sowie die Messung kritischer abiotischer und biotischer Parameter.

II.2 In-service Aircraft for a Global Observing System (IAGOS)

II.2.a Kurzbeschreibung von IAGOS

Qualitativ hochwertige und langfristige Beobachtungen der atmosphärischen Zusammensetzung im Bereich der Troposphäre und unteren Stratosphäre (also in Höhen von bis zu 12 km) sind unabdingbar für die Überwachung und das Verständnis zeitlicher Veränderungen und Trends. Solche Trends wirken sich stark auf Klima und Luftqualität der Zukunft aus. Um Vermeidungs- oder Minderungsstrategien entwickeln zu können, ist es entscheidend, sie früh zu erkennen und zu verstehen. Die genauesten Beobachtungen von Wasserdampf, Spurengasen und Aerosolen können in diesem Bereich der Atmosphäre durch Vor-Ort-Messungen mit Flugzeugen, welche die Fernerkundung vom Boden und durch Satelliten ergänzen, gewonnen werden. Das Vorhaben IAGOS basiert auf und ergänzt zwei Vorläuferprojekte, bei denen atmosphärische Messungen an Bord von Linienpassagierflugzeugen vorgenommen wurden. |²⁷

Am Vorhaben werden bis zu 20 Langstreckenflugzeuge beteiligt sein, von denen jedes weltweit während rund 500 Flügen pro Jahr mit vollautomatischen Instrumenten Messungen zu wichtigen reaktiven Gasen und Treibhausgasen (z. B. Kohlendioxid und Methan) sowie zu Staub- und Wolkenpartikeln durchführen wird. Zusätzlich wird einmal pro Monat ein Flugzeug mit einem Frachtcontai-

| ²⁷ Näheres zu IAGOS vgl. ESFRI: *Strategy Report on Research Infrastructures*. Roadmap 2010, Luxemburg 2011, S. 35. Näheres zu den Vorläuferprojekten MOZAIC (*Measurements of OZone, water vapour, carbon monoxide and nitrogen oxides by in-service Airbus airCraft*) und CARIBIC (*Civil Aircraft for the Regular Investigation of the atmosphere Based on an Instrument Container*) in Anhang 2.3.

nersystem eingesetzt, das die Messung einer großen Bandbreite von Atmosphärenbestandteilen mithilfe neuester Messgeräte erlaubt. Dieser zweigeteilte Ansatz von IAGOS ist kosteneffizient, da die Fluggesellschaften die Messgeräte kostenlos an Bord mitführen.

IAGOS will einen Beitrag zur Lösung mehrerer komplexer und dringlicher Probleme der Umweltwissenschaften leisten, etwa zu Klima-Chemie-Wechselwirkungen, dem atmosphärischen Kohlenstoffkreislauf und der Regeneration der stratosphärischen Ozonschicht. Zu den langfristigen Zielen von IAGOS gehört die Identifikation rascher, unerwarteter Änderungen in der Zusammensetzung und/oder Dynamik der atmosphärischen Zirkulation, was entscheidend sein wird, um rechtzeitig auf zukünftige Umweltveränderungen reagieren zu können. Die im Vorhaben gewonnenen Daten werden über ein bereits eingerichtetes zentrales Onlineportal für die gesamte Wissenschaft frei verfügbar sein.

IAGOS wird koordiniert vom Forschungszentrum Jülich (FZJ). Zu den Partnern gehören Forschungsinstitute und Hochschulen mit Schwerpunkt auf Atmosphärenwissenschaften in Deutschland, Frankreich und Großbritannien, außerdem Wetterdienste, spezialisierte Unternehmen und Fluggesellschaften. Deutschland hat bereits während der Vorbereitungsphase von IAGOS die Führung übernommen. Die Mehrzahl der neuartigen Messsysteme für das Vorhaben wurde von deutschen Einrichtungen entwickelt.

Es ist vorgesehen, dass Deutschland rund 50 % der Gesamtkosten tragen wird (Investitions- und Betriebskosten von 2012-2021), dies bedeutet einen deutschen Beitrag in Höhe von 51 Mio. Euro.

Eine detaillierte Beschreibung des Vorhabens entlang der Bewertungsdimensionen ist im Anhang 1.3 zu finden.

II.2.b Bewertung von IAGOS

Zusammenfassung

Wissenschaftliches Potenzial. IAGOS wird die Entwicklung der Atmosphärenwissenschaften stärken. Die Infrastruktur ist für die Untersuchung der Atmosphärenchemie und ihre Veränderungen unverzichtbar und wird das wissenschaftliche Verständnis von einigen der wichtigsten Umweltprobleme wesentlich verbessern. IAGOS wird andere Programme ergänzen und durch seine einzigartige Instrumentation grundlegend zu einem globalen Beobachtungsnetzwerk beitragen.

Nutzung. IAGOS wird von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus der Atmosphären- und Klimaforschung und von öffentlichen Entscheidungsträgern weltweit genutzt werden. Die Daten sind kostenfrei zugänglich und wer-

den einer Vielzahl von Zwecken dienen. Es existiert bereits ein großes etabliertes Nutzernetzwerk.

Umsetzbarkeit. Die wissenschaftliche Expertise der Trägereinrichtungen erfüllt höchste internationale Standards. IAGOS ist solide geplant und ausgereift. Da das Projekt eine natürliche Fortsetzung vorangegangener Aktivitäten darstellt, ist die Technologie im Wesentlichen vorhanden und die Erfolgswahrscheinlichkeit hoch. Es handelt sich um einen kosteneffizienten und bewährten Ansatz.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland. Deutschland ist ein attraktiver Standort für diese Art der Forschung. IAGOS wird Deutschlands Sichtbarkeit und seine führende Position in diesem Feld – in Europa und weltweit – verstärken. Mittels IAGOS wird Deutschland eine zentrale Rolle sowohl bei der Messung als auch bei der Interpretation dringend benötigter globaler Atmosphären Daten spielen.

Wissenschaftliches Potenzial

IAGOS wird die Weiterentwicklung der Atmosphärenwissenschaften vorantreiben. Es ist von grundlegender Wichtigkeit, um die Atmosphäre zu erforschen und zu erkunden, wie ihre Zusammensetzung das Klima beeinflusst und wie sich ihre Eigenschaften mit der Zeit ändern. Die hier relevanten Forschungsfelder liegen in der Atmosphärenchemie und -physik sowie in den Klimawissenschaften. Das Vorhaben wird eine einzigartige und wichtige Plattform darstellen, die zu einem besseren Verständnis der atmosphärischen Veränderungen und ihrer Auswirkungen auf das Klima, die Luftqualität und die oxidierenden bzw. reinigenden Fähigkeiten der Atmosphäre führen wird. Die Forschungsinfrastruktur soll für verschiedene Bereiche genutzt werden: Verbesserung der globalen (und regionalen) Klima- bzw. Transportmodelle, grenzüberschreitende Verteilung von Luftverunreinigungen, Sicherheitsprobleme aufgrund von Vulkanemissionen und die potenzielle Identifizierung rascher, unerwarteter Veränderungen in Zusammensetzung und/oder Dynamik der atmosphärischen Zirkulation.

Dieses Vorhaben ist sehr wichtig, um eine Infrastruktur für die Forschung bereitzustellen, die mithilfe von speziellen Forschungsflugzeugen (z. B. HALO, HIAPER, Geophysica), die typischerweise für wenige Wochen spezifischen Forschungsfragen nachgehen, nicht realisiert werden könnte. |²⁸ Es baut auf den

|²⁸ Näheres zu *High Altitude Long range research aircraft* (HALO), *High-performance Instrumented Airborne Platform for Environmental Research* (HIAPER), Geophysica sowie zu weiteren komplementären Projekten in Anhang 2.3.

Vorläuferprojekten MOZAIC und CARIBIC sowie auf einem bestehenden Projekt in Japan auf, bei denen bereits in kleinerem Maßstab Linienflugzeuge eingesetzt wurden. IAGOS könnte ein wichtiger und einzigartiger Bestandteil des globalen Observationssystems werden, das geschaffen werden muss, um verstehen zu können, wie Klima und Atmosphäre sich aufgrund menschlicher Einflüsse ändern. Es wird die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu einigen der wichtigsten oben genannten Umweltprobleme unserer Zeit stark verbessern. Was die räumliche und zeitliche Abdeckung sowie die Bandbreite der Messgrößen angeht, so wird das Vorhaben als Ergänzung zu anderen Programmen und bestehenden erd- oder weltraumgebundenen Ansätzen fungieren, indem es eine einzigartige Instrumentation liefert.

Es ist davon auszugehen, dass IAGOS für eine ganze Reihe wissenschaftlicher Forschungsprogramme und für Erfordernisse operativer Natur von Nutzen sein wird. Die mithilfe dieser Infrastruktur erhobenen Daten werden einer breiten Palette von Zwecken dienen, vom grundlegenden Verständnis chemischer, physikalischer und dynamischer Prozesse über die Entwicklung integrierter Modelle bis hin zur Prognosenerstellung und der Ermittlung von Betriebsrisiken für wirtschaftliche Zwecke. Zwar ist die durch IAGOS gelieferte Stichprobendichte (in Abhängigkeit vom Flugverkehr) nicht optimal für alle wissenschaftlichen Belange, dennoch stellt sie eine deutliche Verbesserung gegenüber der aktuellen Situation dar. Dabei sind die Kosten dank der Unterstützung durch die Fluggesellschaften relativ gering. Die Strategie für die Zukunft besteht in der Einführung verbesserter und neuer Messtechnologien sowie einer breiteren vertikalen und horizontalen Stichprobennahme. Sobald die Infrastruktur ausgebaut ist und breit genutzt wird, sollten weitere Anwendungen in Betracht gezogen werden, um den sich entwickelnden Bedürfnissen zu entsprechen.

Die langfristige Komponente dieses Vorhabens ist wichtig für das Verständnis der atmosphärischen Veränderungen, die vermutlich mit der Zeit und vielleicht stufenweise auftreten werden; um diese Veränderungen ausfindig zu machen, bedarf es eines kontinuierlich funktionierenden Beobachtungsnetzwerks, das vorhanden sein muss, ehe die Veränderungen auftreten. IAGOS wird einen grundlegenden Beitrag zu einem solchen globalen Beobachtungsnetzwerk leisten, der sich noch steigern lässt, wenn in Zukunft mehr Flugzeuge und Partnerorganisationen einbezogen werden.

Nutzung

Die Forschungsinfrastruktur wird durch akademische Atmosphären- und Klimaforscherinnen und -forscher und öffentliche Akteure weltweit genutzt werden. Das große Interesse an den Vorläuferprojekten MOZAIC und CARIBIC vermittelt eine gute Vorstellung von dem zu erwartenden Interesse an einer weiter ausgebauten Forschungsinfrastruktur wie IAGOS. Die erzielten Ergebnisse kön-

nen sowohl durch Regierungsbehörden als auch kommerziell genutzt werden und so nationalen und regionalen Emissionsregistern und Fluggesellschaften zugute kommen.

Dieses Vorhaben wird von einer großen Gruppe von Forscherinnen und Forschern unterstützt, die alle davon profitieren würden. Deutlich wird dies aus einer Reihe von Unterstützungsschreiben von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie von operationellen Vorhersagezentren aus aller Welt.

Die geplante zentrale Datenbank, die allen Nutzenden kostenlos zur Verfügung steht, ist als geeignet anzusehen und wird zahlreichen Zwecken dienen. Um eine einfache Nutzung zu gewährleisten, ist es entscheidend, dass die Datenanforderung auf Abfragebasis möglich ist, dass Standard-Grafiken erzeugt werden können und dass eine eindeutige Vorgehensweise zur Einarbeitung von Änderungen bestehender Daten und zur Verwaltung unterschiedlicher Versionen festgelegt wird. All diese Aufgaben übernimmt das CNRS (*Centre national de la recherche scientifique*, Frankreich). Zwischen den Personen, welche die Daten erheben, den Zuständigen für die Entwicklung der Datenbanken und der Zugangsportale sowie den Nutzenden muss eine enge Zusammenarbeit geschaffen werden. Es ist daher zu empfehlen, Workshops für alle Datennutzenden zu organisieren. Dies wird einerseits die Wissenschaft beleben und andererseits die Diskussion zu Verbesserungen der Instrumente oder Datenportale anregen.

IAGOS wird hervorragende Forschungsmöglichkeiten für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler bieten und weiterhin die Beteiligung von Studierenden z. B. im Rahmen von Qualifikationsprojekten fördern. Viele der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die voraussichtlich an IAGOS teilnehmen werden, verfügen über sehr enge Beziehungen zu Ausbildungs- und Forschungseinrichtungen, was sie für die Anwerbung und Ausbildung von Studentinnen und Studenten prädestiniert. Auch koordinierte Bemühungen zur Bekanntmachung des Vorhabens in der Öffentlichkeit sind wünschenswert und sollten in den nächsten Projektstufen skizziert werden.

Umsetzbarkeit

Die wissenschaftliche Expertise der Trägereinrichtung entspricht höchsten internationalen Standards, was durch die seit langem durchgeführte Forschungsarbeit von hoher Qualität in diesem und verwandten Feldern belegt wird. Das Vorhaben IAGOS ist gut geplant und ausgereift. Da es sich auf natürliche Weise aus vorhergehenden Projekten entwickelt hat, ist die Technologie im Wesentlichen schon vorhanden und die Erfolgswahrscheinlichkeit hoch. Es handelt sich um einen kostengünstigen Mechanismus, der sich bei den Vorgängerprogrammen bewährt hat. Viele, wenn nicht sogar alle technischen Innovationen bestehen bereits, und technische Alternativen wurden berücksichtigt. Die vorgese-

hene Pilotphase erscheint für die Prüfung und den Einbau der neuen Instrumente angemessen.

Zu begrüßen ist die Existenz eines wissenschaftlichen Beirats, der beim Setzen von Prioritäten zu Forschungsfragen und Finanzentscheidungen unterstützend tätig sein wird. Besonders hilfreich wird dies bei der Frage sein, ob das Instrumentenpaket eine optimale Balance zwischen Möglichem und Machbarem in den einzelnen Forschungsbereichen erzielt (z. B. reaktive Chemie, Ozon, Wasser, Treibhausgase, Aerosole und andere relevante Indikatoren).

Es besteht das Risiko, dass die Unterstützung der Fluggesellschaften in Zukunft nachlassen könnte. Allerdings sind wie schon bei MOZAIC mehrere Fluggesellschaften beteiligt, was dieses Risiko mindert. Zwar hat sich der angenommene Personalbedarf für die Vorgängerprojekte von IAGOS als ausreichend für deren Erfolg erwiesen, trotzdem sollte genauer festgehalten werden, inwiefern sich diese Anforderungen mit der zukünftigen Entwicklung von IAGOS ändern werden.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

IAGOS könnte Deutschlands wichtigster Beitrag zu einem globalen System für die Beobachtung der Atmosphäre werden. Das verleiht dem Vorhaben eine hohe wissenschaftliche und politische Bedeutung und wird sogar Deutschlands Rolle bei Gestaltung und Verwendung globaler Datensätze stärken. Über IAGOS wird Deutschland eine zentrale Rolle bei der Erhebung und Auswertung von dringend benötigten globalen Datensätzen zur atmosphärischen Zusammensetzung der freien Troposphäre spielen. Deutschland ist bereits heute ein attraktiver Standort für diesen Forschungsbereich. Die neue Infrastruktur wird Deutschlands führende Rolle in diesem Bereich in Europa und weltweit noch stärker zum Ausdruck bringen. Mit dem Vorhaben stünden Deutschland und deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Zentrum einer bedeutenden wissenschaftlichen Infrastruktur.

Zwar ist Deutschland flächenmäßig kein sehr großes Land, es hat jedoch ähnlich wie Japan den Vorteil recht enger Arbeitsbeziehungen zwischen Wissenschaft und Industrie, darunter eben die Möglichkeit, Verträge mit Fluggesellschaften zu schließen, die das Vorantreiben von Projekten wie IAGOS möglich machen, und die anderswo, etwa in den USA, bisher schwieriger umzusetzen waren.

Die Synergieeffekte im Rahmen der erforderlichen Multidisziplinarität (Teildisziplinen der Atmosphärenwissenschaften, Ingenieurwissenschaften usw.) werden aller Voraussicht nach sehr stark sein. Würde der Infrastruktur die Finanzierung verweigert, würden dieses Fortschritte verhindert und die Bedeutung der deutschen Wissenschaft beim Liefern neuer Erkenntnisse und Beiträge zum

Verständnis des Klimasystems der Erde und des Klimawandels eingeschränkt. Zudem würde die Forschungszusammenarbeit innerhalb Deutschlands, der EU und im Ausland geschwächt und die Vorteile Deutschlands und deutscher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zunichte gemacht, die bei der Entwicklung ähnlicher Programme in kleinerem Maßstab errungen werden konnten.

Gesamtbewertung

Das Konzept zu IAGOS wurde als erfolgversprechend, ausgereift und aktuell begutachtet. IAGOS wird eine sehr wichtige Lücke beim Verständnis und der Überwachung der Zusammensetzung unserer Atmosphäre im Zusammenhang mit dem Klimawandel schließen. Das Vorhaben ergänzt bestehende erdgebundene Observatorien und Satellitenbeobachtungen durch einmalig genaue und ausführliche Vor-Ort-Beobachtungen in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre. Es gibt weltweit keine vergleichbare Infrastruktur, was die Bedeutung von IAGOS noch mehr unterstreicht.

IAGOS ist ein Nachfolgeprojekt und eine Ergänzung der beiden während des vergangenen Jahrzehnts erfolgreich durchgeführten Projekte MOZAIC und CARIBIC. So wird eine komplementäre Messstrategie entstehen, dank derer aussagefähige globale Datenerhebungen zu den wichtigsten reaktiven Gasen und Treibhausgasen vorgenommen werden können, und darüber hinaus neuartige und technisch anspruchsvolle Messungen weiterer Spurengase. Diese wertvollen Messergebnisse wird IAGOS zu niedrigen Kosten liefern, dank der langfristigen Einbeziehung und Beteiligung mehrerer Fluggesellschaften.

Diese Infrastruktur wird sich zu einem Hauptpfeiler der Atmosphären- und Umweltwissenschaften in Deutschland und der EU entwickeln. Angesichts der dringenden Notwendigkeit, Daten zur Überwachung von Umweltveränderungen zu gewinnen und Klimamodelle zu validieren, wird sie zudem eine sehr wichtige Rolle für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in aller Welt spielen. Mit der Finanzierung des IAGOS-Projekts würde eine entscheidende Infrastruktur für eine langfristige internationale Forschungszusammenarbeit geschaffen, die sich mit einigen der dringlichsten Umweltprobleme von heute befasst.

Das FZJ ist hochqualifiziert für die Rolle als Trägereinrichtung und verfügt über die nötigen Kompetenzen und Kapazitäten. Dank der Vorgängerprojekte ist IAGOS reif für die Umsetzung. Die vorgesehene Entwicklung neuer Messgeräte ist gut begründet und wird mit hoher Wahrscheinlichkeit erfolgreich verlaufen. Längerfristig wäre auch zu prüfen, ob das Vorhaben nicht zur Lösung einer noch breiteren Palette wissenschaftlicher Fragen beitragen kann als bisher vorgesehen und ob es das Potenzial besitzt, auf neue, strategische Anforderungen eingehen zu können.

II.3.a Kurzbeschreibung von Cabled OOS FRAM

Die Forschungsinfrastruktur Cabled OOS FRAM ist ausgelegt als lokales Kabelobservatorium in der Framstraße, einer Schlüsselregion, die den Nordatlantik mit der mit Meereis bedeckten Arktis verbindet. Sie besteht aus einem Tiefseekabel mit Knotenpunkten und Verteilerdosen für Anschluss und Stromversorgung von modularen Sensorplattformen, das von Spitzbergen als Uferstation bis hinauf nach Grönland reicht. An dieses Kabel werden fest eingebaute und bewegliche Sensorplattformen angeschlossen, die Beobachtung und Probenentnahme vor Ort ermöglichen, sowie eine integrierte E-Infrastruktur für den Zugang zu Daten und Proben. Die Infrastruktur ist für die Überwachung physikalischer, chemischer und biologischer Daten für die Analyse von Wasserbewegungen, Stofftransport und chemischen Reaktionen in der Framstraße konzipiert.

Diese Kabelinfrastruktur ist eng verbunden mit einem autonomen Beobachtungssystem der Helmholtz-Gemeinschaft mit Namen FRAM (*Frontiers in Arctic Marine Monitoring*) |²⁹, das zurzeit entwickelt wird. Dieses System wird zwei bereits bestehende Observatorien in der Framstraße, HAUSGARTEN und HAFOS |³⁰, mit modernen, autonomen Sensornetzwerken ausstatten.

Die Tiefsee-Kabelinfrastruktur FRAM – nur auf diese wird im Folgenden Bezug genommen – wird eine kontinuierliche Messung von Wasserbewegung, Stofftransport und chemischen Reaktionen zwischen den Wasserkörpern des Arktischen und des Atlantischen Ozeans ermöglichen. Mithilfe kontinuierlicher Messungen im Sommer und Winter wird ein vollständiges Bild dieser Prozesse entstehen, das auch physikalische und chemische Daten umfasst. Die Messinstrumente für biologische Daten werden später folgen, sobald sie technisch hinreichend ausgereift sind. Die Verfügbarkeit zuverlässiger, ganzjähriger Messungen dieser Größen ist eine grundlegende Voraussetzung für ein besseres Verständnis des Wärme- und Stoffaustauschs in dieser sensiblen Region, die in den vergangenen Jahrzehnten sehr stark vom Klimawandel beeinflusst wurde. Das verkabelte Beobachtungssystem ist Teil der Antwort auf die übergreifenden Herausforderungen der integrierten Erdbeobachtung in Zeiten, die von raschen Umweltveränderungen geprägt sind.

|²⁹ Vgl. HGF: Helmholtz-Roadmap für Forschungsinfrastrukturen. Stand 2011, Bonn 2011, S. 21.

|³⁰ Näheres zu den Projekten HAUSGARTEN und HAFOS (*Hybrid Arctic/Antarctic Float Observation System*) in Anhang 2.4.

Nach dem aktuellen Konzept soll die Infrastruktur FRAM die Messdaten verschiedener Messsysteme zusammenführen, die am Meeresboden und in der Wassersäule arbeiten. Darüber hinaus wird es möglich sein, ferngesteuerte Fahrzeuge (wie *crawler* und Gleiter) und andere Geräte an den Dockingstationen der Infrastruktur aufzuladen, sodass sie über lange Zeiträume arbeiten können, auch über den arktischen Winter hinweg.

Die übergreifende Projektleitung für diese vorgeschlagene nationale Forschungsinfrastruktur hat das Alfred-Wegener-Institut (AWI) inne, zusammen mit dem Konsortium Deutsche Meeresforschung (KDM). Deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler hätten bevorzugt Zugang zu dieser Infrastruktur; sie stünde jedoch auch der internationalen Meeresforschung zur Verfügung.

Die Baukosten der Infrastruktur werden auf 140 Mio. Euro geschätzt, die Bauzeit wird voraussichtlich sieben Jahre betragen. Die jährlichen Betriebskosten nach Fertigstellung sind mit rund 6,5 Mio. Euro angesetzt.

Eine detaillierte Beschreibung des Vorhabens entlang der Bewertungsdimensionen ist im Anhang 1.4 zu finden.

II.3.b Bewertung von Cabled OOS FRAM

Zusammenfassung

Wissenschaftliches Potenzial. Verkabelte Infrastrukturen stellen gegenwärtig den technisch einzig möglichen Weg dar, um ganzjährig in klimatisch relevanten eisbedeckten Regionen fortlaufend Messungen von kritischen physikalischen, biogeochemischen und biologischen Parametern durchzuführen. FRAM überzeugt als zukunftsweisende und herausragende Initiative, die zu völlig neuartigen Ergebnissen führen wird. Die hohe Geschwindigkeit der gegenwärtigen Umweltveränderungen erfordert eine schnelle Umsetzung.

Nutzung. FRAM ist vielseitig einsetzbar und flexibel. Sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene existiert für die Infrastruktur eine Nutzergemeinde, die Forschung, Industrie und Entscheidungsträger umfasst. Der Echtzeitzugang zu multidisziplinären Daten von hoher Qualität wird für die Wissenschaft sehr attraktiv und auch wertvoll für Ausbildungszwecke sein. FRAM schafft die Grundlage für Vorhersagemodelle, für die Suche und Gewinnung von Rohstoffen sowie für die Entwicklung von Anpassungsstrategien an Umweltveränderungen.

Umsetzbarkeit. Das AWI ist eine international führende Einrichtung der Polarforschung mit exzellenter wissenschaftlicher und technischer Expertise. Strategien zur Einbindung anderer europäischer Partner sollten konkretisiert werden. Das technische Konzept ist fundiert.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland. Deutschland ist führend in der Polarforschung sowie in den Meereswissenschaften der hohen Breiten und ist anerkanntermaßen leistungsfähig in der Entwicklung mariner Technologien. FRAM baut diese Führungsrolle mit einer für Europa und die Arktis einzigartigen Infrastruktur aus und wird ein Leuchtturm für die Untersuchung des Umweltwandels in der Arktis sein.

Wissenschaftliches Potenzial

Verkabelte Infrastrukturen stellen gegenwärtig den technisch einzig möglichen Weg dar, um ganzjährig in klimatisch relevanten, entlegenen, eisbedeckten Regionen fortlaufend Messungen mit der zeitlichen Auflösung durchzuführen, die zur Erfassung der Variabilität von entscheidenden physikalischen, biogeochemischen und biologischen Eigenschaften der Wassersäule notwendig ist. Die mobilen Geräte sind äußerst wichtige komplementäre Hilfsmittel zum Kabel, um die räumliche Abdeckung zu vergrößern. Die beiden Verfahren ergänzen sich besonders gut und schaffen so ein integriertes System, das erheblich nützlicher ist als die Summe seiner Teile, wenn diese getrennt betrieben würden.

Folgende überzeugende Gründe sprechen für ein Kabelobservatorium: (1) der Strombedarf für neue biogeochemische Sensoren zur Untersuchung von Prozessen und der Entwicklung von Ökosystemen; (2) der Bedarf an Echtzeitdaten für das Messen plötzlicher Ereignisse und für die Modifizierung der Probennahme; (3) der Strombedarf für vertikale *profiler*, sodass sie ganzjährig betrieben werden können (im Batteriebetrieb unmöglich) und damit die entscheidende vertikale Auflösung erreicht werden kann (in einigen Ökosystemen finden die wichtigsten Aktivitäten intermittierend und in sehr dünnen Schichten von 0,2 bis 2,0 m statt); (4) die Notwendigkeit leistungsfähiger Messinstrumente, um ununterbrochene Zeitreihen zu gewährleisten, z. B. indem ein Gleiter die Messungen übernimmt, falls ein verankertes Gerät ausfällt.

Bedenken gibt es bei der Frage nach den Auswirkungen auf die Umwelt und einer möglichen Beeinflussung der zu erforschenden Parameter, die durch die Platzierung einer solchen Struktur auftreten können. Möglicherweise könnten hier erste Erfahrungen von existierenden benthischen Observatorien genutzt werden.

Es ist weithin anerkannt, dass benthische Observatorien für signifikante Fortschritte in der Meeresforschung nötig sind. Infolgedessen wurden zunehmend internationale Meeresobservatorien eingerichtet, von denen jedes einen anderen Forschungsschwerpunkt besitzt – die Polarregion ist bisher nicht darunter. Die Auswirkungen des globalen Klimawandels lassen sich nicht mithilfe eines einzigen Unterwasser-Kabelobservatoriums messen. Deshalb ist es wichtig, dass

diese Infrastruktur wie geplant an ein globales Netzwerk von Observatorien angekoppelt wird. |³¹

Mit FRAM wird es deutlich bessere Möglichkeiten geben, herauszufinden, wie der Ozean in hohen Breiten sich verändert und welche lokalen, regionalen und globalen Auswirkungen dieser Wandel in der nahen Zukunft haben wird. FRAM füllt eine wichtige Lücke und wird es Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern dank besserer (ganzjähriger) Messungen ermöglichen, die zunehmenden globalen Veränderungen zu verstehen und besser vorherzusagen. Ein großer Vorteil ist es, dass in Ökosystemen ablaufende Prozesse wie Nährstoffdynamik, Biodiversität, Genomik und Wechselwirkungen im Nahrungsnetz in diesem Vorhaben mit eingeschlossen sind. Die Entwicklung von Sensoren und automatischer Probennahme sowie die Fixierung dieser Parameter sind für die erste Projektphase geplant. Für derartige Messungen werden derzeit weltweit Entwicklungen und technische Innovationen vorangetrieben. In einem zukünftigen Konzeptentwurf wird klarzustellen sein, welche zusätzlichen Parameter anhand des Kabelobservatoriums gemessen werden können. Insbesondere muss in der ersten Projektphase ein Konzept entwickelt werden, wie die Messungen biologischer Parameter erzielt werden sollen.

FRAM wird ganz besonders wichtige und neuartige Beiträge für die Forschung in der Arktis (in nahezu allen Teildisziplinen der Meereswissenschaften) sowie für Wirtschaft und Bildung liefern. FRAM ist vielfältig einsetzbar und flexibel. Es überzeugt als zukunftsweisende und herausragende Initiative, die zu völlig neuartigen Ergebnissen führen wird. Es wird jedoch eine Herausforderung darstellen, ausreichend flexibel zu bleiben, um neu entstehende Forschungsfragen angehen zu können, und gleichzeitig die Zeitreihen der Schlüsselparameter aufrecht zu erhalten. Zu diesem Zweck muss eine Leitlinie entwickelt werden, in der festgehalten ist, welche Beobachtungen über lange Zeit aufrechterhalten werden müssen, um die klimarelevanten wissenschaftlichen Ziele zu erreichen. Dies bedeutet, dass ein Teil der Infrastruktur (z. B. bestimmte Sensoren, ein Teil der pro Tag von den *profilers* angelegten Profile) als unabdingbar für das Verständnis der langfristigen Variabilität angesehen wird und daher nur mit einer sehr guten Begründung anderen Aufgaben zugewiesen werden darf.

Nutzung

Auf nationaler und internationaler Ebene existiert eine Nutzergemeinschaft, die sich aus Forschenden, der Industrie und anderen Interessenträgerinnen und

|³¹ Näheres zu globalen Netzwerken von Observatorien und anderen komplementären Forschungsinfrastrukturen in Anhang 2.4.

-trägern zusammensetzt. Zwar liegen bereits zahlreiche Unterstützungserklärungen und Interessensbekundungen führender Forschungseinrichtungen und anderer *stakeholder* vor, dennoch muss die Angemessenheit der Kapazitätsanforderungen noch im Einzelnen geprüft werden. Aus diesem Grund muss in der ersten Projektphase eine Kapazitätsanpassung stattfinden.

Es sind drei Zugangsstufen und Nutzergruppen vorgesehen: Nutzerinnen und Nutzer, die bestimmte Teile und Sensoren der bestehenden Infrastruktur des Ozeanbeobachtungssystems neuen Aufgaben zuweisen dürfen, Nutzerinnen und Nutzer, die ihre eigenen Instrumente innerhalb der existierenden Ozeanbeobachtungssystem-Infrastruktur einsetzen dürfen, und Nutzerinnen und Nutzer von Daten. Zur letzten Gruppe gehören auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die Ozean- und Klimamodelle erstellen. Es ist ein offener und unmittelbarer Zugang zu den Daten geplant. Auch Qualitätskontrolle und -beurteilung werden in der Verantwortung des FRAM-Programms liegen. Es ist noch festzuhalten, ob diese Leitlinie auch Daten von nutzereigenen Messgeräten (im Gegensatz zu Messgeräten von FRAM) umfasst, denn eine solche Einbeziehung würde einen enormen, nicht eingeplanten Arbeitsaufwand bedeuten. Wichtig ist auch, dass zwischen den einzelnen Stufen der Qualitätskontrolle und -beurteilung gewisse Zeitspannen liegen müssen. Die Bedingungen für den Datenzugang und das geplante Beurteilungsverfahren müssen noch genauer ausgeführt werden. Zudem ist eine genaue Beschreibung über die Art und Weise notwendig, wie die externen Nutzerinnen und Nutzer Informationen über und Zugang zu der sich entwickelnden Datenbank und den kontinuierlichen Datenfluss bekommen können.

Diese Art interdisziplinärer Daten und die Qualität und Quantität der Daten wird, zusammen mit der Möglichkeit des direkten Zugangs, für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler höchst attraktiv sein. Dies gilt ganz besonders für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler, die sich mit den wichtigsten Fragestellungen der Meeresforschung befassen, für die ein interdisziplinärer Ansatz notwendig ist und/oder für die Technologien gebraucht werden, die derzeit aufgrund des Batteriebetriebs lediglich wenige Wochen am Stück einsetzbar sind. Die Möglichkeiten zur Einbeziehung von Studierenden und der allgemeinen Öffentlichkeit in die Meeresforschung sind ebenfalls sehr gut, da die Bilder und Geräusche aus der Tiefsee nahezu in Echtzeit auf jedem Computer weltweit empfangen werden können. Dies wird für Schülerinnen und Schüler sowie Studierende aller Stufen faszinierend sein und lässt sich höchst nutzbringend in Lehrinhalte integrieren. Die Einrichtung sollte ein Webportal für Unterrichtszwecke einrichten, mit Messungen in Echtzeit und fortgeschrittenen Übungen für Studentinnen und Studenten und attraktiven, informativen Übungsinhalten für Schülerinnen und Schüler und die Allgemeinheit.

Das AWI ist eine international führende Einrichtung zur Polarforschung mit hervorragender wissenschaftlicher und technischer Expertise und gehört zu den besten weltweit. Die Konzeptverantwortlichen verfügen über sehr viel Erfahrung in Organisation und Betrieb von Megaprojekten und umfangreichen Infrastrukturen. Es kann davon ausgegangen werden, dass sie in der Lage sein werden, eine effiziente und flexible Managementstruktur aufzubauen. Im Fall einer Finanzierung des Vorhabens müsste das Governance-Konzept jedoch noch weiter ausgearbeitet werden. Strategien für die Einbindung anderer europäischer Partner sollten festgelegt werden. Da der technische Beirat einen großen Teil der Verantwortung tragen wird, sind seine endgültigen Grundregeln mit großer Sorgfalt zu erarbeiten.

Im Vergleich mit ähnlichen Vorhaben der vergangenen zehn Jahre (z. B. die US-amerikanische *Ocean Observatories Initiative*) ist der vorliegende Plan sehr detailliert ausgearbeitet und für dieses Stadium auf einem fortgeschrittenen Niveau. Das technische Konzept ist solide. Allerdings wird nicht näher auf die Einzelheiten der geplanten Infrastruktur eingegangen, z. B. wie viele Verankerungen vorgesehen sind, mit welchen Sensoren diese bestückt werden usw. Dies muss noch ausgearbeitet werden, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Finanzierung und der langfristigen Anlage einer solchen Forschungsinfrastruktur, deren Potenzial erst dann voll ausgeschöpft wird, wenn sie über mehrere Dekaden betrieben werden kann. Angesichts der kontinuierlichen Weiterentwicklung von Informationstechnologien und Datenübertragungsmethoden werden die optimalen technischen Lösungen und Vorgehensweisen am sinnvollsten während der ersten Projektphase ausgewählt.

Der zusätzliche Personalbedarf für Koordinierung, Einsatz und Wartung der mit dem Konzept des FRAM-Kabelobservatoriums einhergehenden einzigartigen Infrastruktur ist angemessen. Die Pläne zur Anwerbung und Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses sind in der derzeitigen Phase vollkommen ausreichend.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Deutschland nimmt eine führende Position in der Polarforschung sowie in den Meereswissenschaften der hohen Breiten ein und ist anerkanntermaßen leistungsfähig in der Entwicklung mariner Technologien. FRAM baut diese Führungsrolle mit einer für Europa und die Arktis einzigartigen Infrastruktur aus. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Infrastruktur begabte Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler anziehen und die Arktisforschung bekannter machen wird, wodurch die sehr starke nationale und internationale Anwerbung an deutschen Forschungseinrichtungen noch zunehmen wird.

Es ist offensichtlich, dass Veränderungen des Meeresspiegels, der Meeresströmungen und des Wettergeschehens große Auswirkungen auf die Bevölkerung in Deutschland und Europa haben werden. Die klimatischen Veränderungen in der Arktis bieten aber auch Chancen zum Abbau neuer natürlicher Ressourcen, ermöglichen neue Verkehrsrouten und haben Einfluss auf die politische Stabilität. Mithilfe der geplanten Infrastruktur lassen sich Anpassungsstrategien auf eine solidere wissenschaftliche Basis stellen. Darüber hinaus können die technischen Innovationen auch positive Nebeneffekte für die deutsche Industrie haben.

Eine Infrastruktur in der vorgeschlagenen Dimension wird auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene ein bedeutender Leuchtturm sein. Es ist leicht vorstellbar, dass sie die deutsche Forschungslandschaft zum Wandel des Meeresklimas beherrschen wird, was Finanzierung, Logistik, Politik und öffentlichen Bekanntheitsgrad angeht, und aufgrund dessen bereits bestehende Strukturen in gewissem Maße unterminieren könnte. Über diese mögliche Auswirkung müssen sich die Konzeptverantwortlichen im Klaren sein.

Bei einer Nichtumsetzung von FRAM hätte Deutschland (und Europa) unter anderem die Chance verspielt, seine Führungsrolle innerhalb der arktischen Meeresforschung zu festigen, denn andere bedeutende Akteure (u. a. die USA, Kanada, Japan, Korea und China) investieren derzeit massiv in diesen Forschungsbereich, und das nicht nur aus wissenschaftlichen Gründen.

Gesamtbewertung

Das vorgeschlagene Kabelobservatorium FRAM wird als ambitionierte, relevante und zur rechten Zeit kommende Infrastruktur betrachtet. Dessen Umsetzung ist mittels eines angemessenen zweistufigen Prozesses geplant, der sich in eine Vorbereitungs- und eine Bauphase gliedert. Derzeit befindet sich das Vorhaben erst in der Konzeptphase, wird bei seiner Umsetzung jedoch einen bedeutenden Schritt vorwärts in der Erforschung der Veränderungen des Meeressystems darstellen. Der Standort in der Framstraße ist gut gewählt. Die geographische Position von FRAM ist an einem Ort geplant, der entscheidende Bedeutung für Wissenschaft und Wirtschaft hat, und zwar über zahlreiche Disziplinen und Anwendungsbereiche hinweg. FRAM bietet sicher völlig neue, bahnbrechende Möglichkeiten und ist für Europa und die Arktis einzigartig.

Das Vorhaben ist von herausragender Bedeutung für die Meeres- und Klimafor schung. Im Falle seiner Umsetzung wäre es ein Leuchtturm für Erforschung, Verständnis und Überwachung von Umweltveränderungen in der Arktis. Es bietet die Grundlage für die Entwicklung von Vorhersagemodellen, Suche nach und Gewinnung von natürlichen Ressourcen und Anpassungsstrategien an Umweltveränderungen, die für die Bevölkerung in Deutschland, Europa und der ganzen Welt dringend benötigt werden. Die Infrastruktur wird eine zentrale

Rolle bei der Aufrechterhaltung und dem weiteren Ausbau der Führungsrolle des Alfred-Wegener-Instituts und der deutschen Polarforschung allgemein innerhalb der internationalen Polar- und Klimawissenschaften in den kommenden Jahren spielen.

Angesichts der Geschwindigkeit der klimatischen Veränderungen ist eine rasche Umsetzung geboten. Es besteht dringender Bedarf an hochmodernen Einrichtungen und wissenschaftlichen Ansätzen zur Beurteilung der Veränderungen der Arktis. Da die Änderungen im Arktischen Ozean längst stattfinden und dringend intensiver als bisher untersucht werden müssen, wäre sogar eine frühere Umsetzung von FRAM wünschenswert. Der Plan sollte jedoch nicht beschleunigt werden, falls dies den Erfolg gefährden würde.

II.4 European Plate Observing System (EPOS)

II.4.a Kurzbeschreibung von EPOS

Um das Risiko des Eintretens von Naturkatastrophen wie Erdbeben und Vulkanausbrüchen einschätzen zu können, sind Erkenntnisse über die Struktur der Erdkruste und des oberen Erdmantels wichtig. Dank Verbesserungen bei den seismischen Bildgebungsverfahren lassen sich mittlerweile dreidimensionale Modelle des Erdaufbaus mit einer Präzision erstellen, die noch vor wenigen Jahren unerreichbar war. Auch beim Verständnis von Erdbeben und Vulkanen hat es große Fortschritte gegeben. Vulkanausbrüche und deren Nebenwirkungen (wie Aschewolken) lassen sich in der Regel sehr gut vorhersagen. Erdbebenvorhersagen sind bisher noch nicht möglich, allerdings lässt sich das allgemeine seismische Risiko in einem bestimmten Gebiet einschätzen. Für Risikoeinschätzung und rasche Frühwarnung ist jedoch ein sofortiger Zugriff auf geophysikalische Daten aus Europa und angrenzenden Gebieten notwendig. Dies ist derzeit nicht möglich, da die Messgeräte von verschiedenen nationalen Einrichtungen betrieben werden.

Mit EPOS würde sich diese Situation ändern. Das Grundkonzept besteht im Aufbau einer Infrastruktur, in der die bestehenden seismischen und geodätischen Stationen und Netzwerke zusammengefasst und ausgebaut werden. EPOS ist ein integriertes europäisches System zur Beobachtung der festen Erde (Erdkruste und Erdmantel) unterhalb Europas und der angrenzenden Gebiete. Es verbindet seismische und geodätische Messungen mit Beobachtungen des lokalen Magnetfelds. Die bestehenden Einrichtungen in Europa sollen vernetzt und durch zusätzliche Instrumente erweitert werden, wie mobile Seismometer-Arrays oder Seismometer auf dem Meeresgrund. Ein neues elektronisches Infrastrukturportal soll den freien Zugang zu allen Daten sicherstellen.

Ein solches Netzwerk wird vor allem im Mittelmeerraum dringend benötigt, wo hohe seismische Risiken bestehen. Beim Erdbeben von Messina im Jahr 1908

und dem darauf folgenden Tsunami kamen beispielsweise über 100.000 Menschen ums Leben. Aufgrund der höheren Bevölkerungsdichte wären die Auswirkungen eines vergleichbaren Ereignisses in naher Zukunft noch schwerwiegender, sofern keine verlässliche Frühwarnung möglich wird.

In Deutschland ist das Risiko für Erdbeben und Vulkanausbrüche zwar geringer, aber dennoch vorhanden. Ein großes Problem bei der Nutzung von Geothermie und der möglichen Speicherung von Kohlendioxid im Erdreich stellt die Gefahr dar, hierdurch seismische Aktivitäten auszulösen. Darüber hinaus könnten detaillierte Darstellungen der Struktur der Erdkruste unterhalb Deutschlands nützlich bei der Suche nach neuen Vorkommen von Erdöl, Erdgas und Erzen sein. Angesichts steigender Preise für fossile Energieträger und Metalle lohnt sich mittlerweile auch der Abbau kleinerer Vorkommen, die vor einigen Jahren noch wirtschaftlich uninteressant waren. Um diese zu finden, ist eine genaue Auskartierung der Struktur der Erdkruste notwendig.

Deutschland würde mit seinem Beitrag drei Ziele verfolgen: Das erste ist die Zusammenfassung der bestehenden geophysikalischen und geodätischen Infrastrukturen und Laborkapazitäten in Deutschland zu einer einzigen Infrastruktur für Geowissenschaften mit einer gemeinsamen Nutzerunterstützung. Das zweite ist die Erweiterung der bestehenden Infrastruktur um zusätzliche Bestandteile, und drittens soll eine neue E-Infrastruktur geschaffen werden, um die erhobenen Daten zusammenzuführen und der breiten Nutzergemeinschaft zur Verfügung zu stellen.

Im Rahmen von EPOS ist Deutschland für das Arbeitspaket „Technische Infrastruktur“ zuständig, das vom GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) führend betreut wird. Mehr als 20 europäische Länder sind an EPOS beteiligt.

Die geschätzten Gesamtinvestitionskosten der Bauphase betragen 500 Mio. Euro^{|32}, und Deutschland soll rund 27 Mio. Euro beitragen (bei einem zugrunde gelegten Bauzeitraum von fünf Jahren). Der deutsche Anteil an den jährlichen Betriebskosten liegt bei ca. 0,9 Mio. Euro für die fünf auf die Errichtung folgenden Jahre.

Eine detaillierte Beschreibung des Vorhabens entlang der Bewertungsdimensionen ist im Anhang 1.5 zu finden.

^{|32} Vgl. ESFRI: *Strategy Report on Research Infrastructures*. Roadmap 2010, Luxemburg 2011, S. 33.

Zusammenfassung

Wissenschaftliches Potenzial. EPOS wird den Deckungsgrad seismischer Beobachtungen in Europa vergrößern und es der geophysikalischen *community* erlauben, die Struktur des Erdinneren in einem höheren Detailgrad zu sehen. Das Vorhaben wird die Suche nach neuen natürlichen Ressourcen unterstützen und einen vereinheitlichten Echtzeitzugang zu seismischen, geodätischen und magnetotellurischen Daten aus Europa schaffen.

Nutzung. Die Instrumente sind vielseitig verwendbar und flexibel. Die E-Infrastruktur wird einen umfassenden, harmonisierten und effizienteren Datenzugang sowie die Integration bereits existierender Daten erlauben. Weltweit wird eine große wissenschaftliche *community* darauf zugreifen. Weiteres Interesse von Seiten öffentlicher Entscheidungsträger und der Industrie ist absehbar. Der *open-access*-Zugang wird positiv bewertet. EPOS ermöglicht eine deutlich bessere Risikoabschätzung natürlicher Gefahren. Aufgrund des seismischen Risikos im Mittelmeergebiet ist die Umsetzung dringlich.

Umsetzbarkeit. Das Grundkonzept von EPOS ist gut durchdacht und überzeugend. Das Projekt ist technisch umsetzbar, wobei noch viele Einzelheiten auszuarbeiten sind. Insbesondere muss ein der geplanten Nutzung entsprechender Aufbau der E-Infrastruktur entwickelt werden. Das GFZ Potsdam und seine Partner verfügen über die notwendige Qualifikation, Erfahrung und die entsprechende Ausstattung.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland. EPOS wird die Sichtbarkeit und Attraktivität Deutschlands als hochrangigen geowissenschaftlichen Forschungsstandort erhöhen. Dadurch würde Deutschland eine Führungsposition in der Seismologie unter anderen europäischen Ländern erzielen. Die Forschungsinfrastruktur ist einzigartig für Europa und ergänzt *EarthScope* in Nordamerika.

Wissenschaftliches Potenzial

Das Gesamtkonzept der Entwicklung einer Forschungsinfrastruktur zur Zusammenfassung von Netzwerken für seismische und geodätische Beobachtungen, eng verknüpft mit ähnlichen europäischen und internationalen Projekten, überzeugt. EPOS wird den Deckungsgrad seismischer Beobachtungen in Europa vergrößern und es so der geophysikalischen *community* erlauben, die Struktur des Erdinneren in einem höheren Detailgrad zu sehen. Dies wird wahrscheinlich neue Erkenntnisse liefern, die sogar zu einem Paradigmenwechsel führen könnten.

Gesellschaftlicher Nutzen liegt vor allem in der Vorhersage von und Frühwarnung vor Naturkatastrophen. In dieser Hinsicht ist die Forschungsinfrastruktur von großer Bedeutung. Sie wird zudem Möglichkeiten bei der Suche nach neuen natürlichen Ressourcen eröffnen, einschließlich einer möglichen zukünftigen Nutzung der Ergebnisse durch die Industrie.

Die E-Infrastruktur wird als grundlegender Bestandteil der geplanten Forschungsinfrastruktur einen offenen und integrierten Zugang per Internet zu den Erdbeobachtungsdaten ermöglichen. Der harmonisierte Zugriff auf diese Daten stellt einen Mehrwert dar, da er das Potenzial für umfassenden und effizienteren Zugang und Nutzung der bestehenden Daten seismischer Sensoren (Archive) birgt.

Es gibt keine Infrastruktur, die in direkter Konkurrenz zu EPOS stünde. Das US-amerikanische Projekt *EarthScope* ist in vielerlei Hinsicht vergleichbar mit und komplementär zu EPOS. |³³

Nutzung

Die Daten werden weltweit durch eine große wissenschaftliche *community* genutzt werden. An den bereitgestellten harmonisierten Beobachtungen und Beobachtungsprodukten wird großes Interesse bestehen. Die mögliche Nutzergruppe reicht von Geowissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern bis zu öffentlichen Akteuren sowie der Industrie.

Die Instrumentenplattform (z. B. tragbare Seismometer) lässt sich leicht an verschiedene Anwendungen und Umgebungen (Land oder Meer) anpassen, was die Plattformen der Infrastruktur vielfältig einsetzbar und sehr flexibel macht. Eine stärkere Abstimmung auf europäischer Ebene beim Einsatz von Instrumenten, z. B. von mobilen Seismometer-Arrays wäre jedoch wünschenswert. Außerdem sind unbedingt Mechanismen für eine wettbewerbliche und wissenschaftsgeleitete Projektbewertung für die Nutzung der Instrumente vorzusehen. Zu diesem Zweck sollte ein internationaler Beirat eingerichtet werden.

Das Konzept des offenen Zugangs zu den erhobenen Daten wird positiv bewertet, da eine offene Bereitstellung von seismischen und geodätischen Beobachtungsdaten einen starken Stimulus für die internationale Zusammenarbeit über die einzelnen Disziplinen der Geowissenschaften hinweg darstellen würde. Es fehlt allerdings noch ein vollständiges, überzeugendes Konzept zu der Frage, ob und in welcher Form es Zugangsbeschränkungen, Lizenzen und Gebühren geben soll. Dies muss so rasch wie möglich erarbeitet und mitgeteilt werden. Die

| ³³ Näheres zu komplementären Projekten in Anhang 2.5.

Verfahren bedürfen noch der Umsetzung. Die finanziellen Konsequenzen des offenen Zugangs müssen genau durchgerechnet werden, da sie voraussichtlich höher liegen werden als geplant und neue Finanzierungskonzepte erforderlich machen könnten.

Auch ein Konzept zu den verschiedenen „Informationsprodukten“ (für verschiedene Nutzergruppen) bzw. zu bestimmten Dienstleistungen für Nicht-Experten fehlt noch und sollte erstellt werden. Ein der geplanten Nutzung entsprechender Aufbau der E-Infrastruktur muss entwickelt werden. Klärungsbedarf besteht insbesondere hinsichtlich der Rechenleistung und der Portal- und Softwareschnittstelle. Für das Design der E-Infrastruktur ist es erforderlich, eine umfassende Studie zu Nutzerinnen und Nutzern sowie zu Nutzungsarten durchzuführen.

Diese Infrastruktur wird für die Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern sowie von Studierenden in Deutschland und Europa sehr nützlich sein. Die E-Infrastruktur könnte als Datenquelle für geowissenschaftliche Studien dienen und darüber hinaus als Gegenstand von Forschungseminaren und Abschlussarbeiten in der Geophysik und Geoinformatik gewählt werden. Die Zusammenfassung und Verfügbarkeit von Daten in einer Datenbank wird sehr nützlich für Studentinnen und Studenten sein, indem z. B. Daten in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden. So würde dies die geophysikalische Forschung anregen, und die E-Infrastruktur könnte sich zu einer der attraktivsten Ressourcen in diesem Bereich entwickeln. Es wäre jedoch wünschenswert, ein gründliches Konzept über die akademische Nutzung der Infrastruktur, sowie über die Anwerbung und Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern zu erstellen.

Umsetzbarkeit

Als Anbieter von Ausrüstung und Technologie sind das GFZ und seine Partner gut qualifiziert und mit Sicherheit in der Lage, die Infrastruktur zu verwalten und zu betreiben. Das Projekt ist technisch machbar, und es werden, wie das ähnlich angelegte, komplementäre Projekt *EarthScope* in Nordamerika zeigt, keine grundlegenden technischen Neuerungen benötigt. Dennoch wären gewisse Fortschritte bei den Instrumenten wünschenswert, etwa zur Verbesserung von deren Leistungsfähigkeit, Empfindlichkeit usw. Der Reifegrad der vorgeschlagenen Ansätze (elektronische Plattformen und Architekturen, Sensoren, Rechenleistung) kann zum jetzigen Zeitpunkt jedoch nicht vollständig beurteilt werden, da hierfür mehr technische Einzelheiten und nähere Erläuterungen nötig wären.

Eine Herausforderung in Bezug auf Innovationen ist die Zusammenführung der Daten (in Massen anfallende Daten, unterschiedliche Semantiken, Bezugssysteme usw.). Da die benötigte Software und Rechner-Hardware noch nicht

ausreichend definiert wurde, kann derzeit nicht gänzlich bewertet werden, ob die Kompetenzen der Projektpartner ausreichend sind. Hier besteht also noch Klärungsbedarf.

Die umrissene Governance-Struktur ist sehr vorläufig. Sie wird noch weiter auszuarbeiten sein, z. B. hinsichtlich der Richtlinien zu Datenzugang, Lizenzen usw. Auch die Pläne zu Management, Anwerbungs- und Ausbildungsstrategien, Arbeits- und Wartungsbedarfen sind noch genauer auszuführen.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Die Geowissenschaften spielen in Deutschland traditionell eine große Rolle. In der Vergangenheit haben mobile Instrumente aus Deutschland für die Seismologie an Land und auf dem Meeresboden und für magnetotellurische Untersuchungen anderen europäischen Ländern als Vorbild gedient. Das GFZ als Trägerinstitution der geplanten Infrastruktur ist international anerkannt und war unter anderem führend bei der Entwicklung des Deutsch-Indonesischen Tsunami Frühwarnsystems (GITEWS – *German-Indonesian Tsunami Early Warning System*). Die vorliegende neue Infrastruktur wird eine öffentlichkeitswirksame wissenschaftliche Aktivität darstellen und die Sichtbarkeit und Attraktivität Deutschlands als hochrangigem geowissenschaftlichen Forschungsstandort erhöhen. Dadurch würde Deutschland eine Führungsposition in der Seismologie unter anderen europäischen Ländern erzielen. Die bestehenden Einrichtungen in Deutschland würden durch die Zusammenführung existierender und geplanter Teil-Infrastrukturen europäische Bedeutung erlangen. Die Infrastruktur hätte das Potenzial, der internationalen Gemeinschaft exzellente wissenschaftliche Ergebnisse zu liefern. Ein direkter gesellschaftlicher Nutzen besteht darüber hinaus in einer besseren Einschätzung des Risikos von Naturkatastrophen und in der Hilfe bei der Suche nach natürlichen Ressourcen.

Die Rolle Deutschlands in der Verantwortung für das Arbeitspaket „Technische Infrastruktur“ erscheint angemessen und durchaus realistisch. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass die deutschen Kapazitäten zu Sensor- und Geoinformationstechnologien weitestgehend mobilisiert werden, indem man nicht nur ein Forschungsinstitut, sondern eine Reihe von Forschungs- und Industrie-einrichtungen einbezieht, die über ausreichende Kapazitäten für eine solche Infrastruktur verfügen.

Gesamtbewertung

Das grundlegende Konzept für EPOS ist gut durchdacht und überzeugend. EPOS wird einheitlichen Zugang in Echtzeit zu seismischen, geodätischen und magnetotellurischen Messdaten aus ganz Europa bieten. Die Fähigkeit zur Einschätzung der Risiken von Naturkatastrophen wird hierdurch stark steigen. Die Infrastruktur wird auch bei der Suche nach neuen natürlichen Ressourcen hel-

fen und könnte zu erheblichen Fortschritten in den Geowissenschaften führen. Aufgrund der vor allem im Mittelmeerraum bestehenden Risiken ist die Umsetzung dringlich. Diese Forschungsinfrastruktur ist einzigartig in Europa und ergänzt *EarthScope* in Nordamerika. Das GFZ als führende Einrichtung und seine Partner sind gut qualifiziert und verfügen über die erforderliche Qualifikation, Erfahrung und die entsprechende Ausstattung. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Konzept für EPOS tragfähig ist. Derzeit lassen sich allerdings viele Aspekte des Projekts nicht abschließend bewerten, da viele Einzelheiten einschließlich technischer Details der weiteren Ausarbeitung bedürfen.

II.5 Global Earth Monitoring and Validation System (GEMIS)

II.5.a Kurzbeschreibung von GEMIS

Ein Ziel von GEMIS ist die Beobachtung wichtiger geologischer und ökologischer Prozesse mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung. Ein zweites Ziel ist die Messung kritischer abiotischer und biotischer Parameter. Diese geowissenschaftliche Forschungsinfrastruktur befindet sich in einem sehr frühen Entwicklungsstadium. |³⁴

Hauptschwerpunkt von GEMIS ist die Erkennung und Erforschung von Naturgefahren und die Beobachtung der Auswirkungen globaler Umweltveränderungen, was den Klimawandel, Trinkwassermangel, zunehmende Störungen der natürlichen Umwelt durch den Menschen und die wachsende Notwendigkeit zur Nutzung unterirdischer Räume für Abbau und Lagerung von Energiequellen und Material einschließt. Darüber hinaus ist geplant, die durch GEMIS erhobenen Daten für die Erstellung und Kalibrierung von Modellen zu nutzen, die den zukünftigen Zustand des Systems Erde vorhersagen können. Letzteres umfasst den Transfer von Erkenntnissen der Geowissenschaften in die Entscheidungsprozesse zu Fragen hinsichtlich der nachhaltigen Entwicklung des gesamten Planeten. Schlussendlich ist die Entwicklung von Sensorsystemen ein Ziel von GEMIS, die nötig sind, um zu überprüfen, ob die menschliche Nutzung bestimmter geologischer Strukturen gefahrlos möglich ist.

Das Konzept für GEMIS umfasst ein Beobachtungssystem mit drei Komponenten: (1) erdgebundene Multi-Parameter-Observatorien zur Messung physikalischer, chemischer und biotischer Zustandsgrößen, Ströme und Parameter, (2) ein System von Mini-Satelliten für globale Hochpräzisionsbeobachtungen nahezu in Echtzeit und (3) ein Zentrum für den Betrieb der Infrastruktur und das sogenannte *capacity development*. GEMIS ist als Mehrzweckplattform konzi-

| ³⁴ Vgl. HGF: Helmholtz-Roadmap für Forschungsinfrastrukturen. Stand 2011, Bonn 2011, S. 19.

piert, bei der nach der Einrichtung der grundlegenden Infrastrukturkomponenten die Nutzerinnen und Nutzer zusätzliche Sensoren und Messgeräte integrieren können. Sie wird zudem neue Daten und wissenschaftliche Erkenntnisse zu allen Disziplinen der Geowissenschaften liefern, etwa für Geophysik, Geodäsie, Fernerkundung, Geologie oder Klimaforschung. Der gemeinsame Betrieb von GEMIS bietet die Möglichkeit zum *capacity development* sowohl in Entwicklungs- als auch in Schwellenländern.

Führende und bisher einzige teilnehmende Einrichtung ist das GeoForschungs-Zentrum Potsdam.

Die Gesamtkosten werden 416 Mio. Euro betragen; hierin eingeschlossen sind zehn Betriebsjahre zu je 7 Mio. Euro. Für die Vorbereitungsphase werden 3,5 Mio. Euro benötigt.

Eine detaillierte Beschreibung des Vorhabens entlang der Bewertungsdimensionen ist im Anhang 1.6 zu finden.

II.5.b Bewertung von GEMIS

Zusammenfassung

Wissenschaftliches Potenzial. Die Zielrichtung und die Grundidee von GEMIS sind nicht deutlich geworden. Dem Projekt fehlt eine übergreifende wissenschaftliche Fragestellung. Angesichts der vorliegenden Konzeptfassung ergeben sich viele Fragen und Bedenken. Diese beinhalten beispielsweise die Rechtfertigung der gemeinsamen Platzierung von Sensoren, um geologische Risiken und globale Umweltveränderungen simultan zu beobachten. Die Rechtfertigung für den Start einer großen Anzahl neuer Satelliten ist ebenfalls unklar.

Umsetzbarkeit. Die Hauptverantwortlichen haben Erfahrung in der Entwicklung und Implementierung von langfristigen Beobachtungsstandorten und -anlagen. Jedoch ist nicht absehbar, wie aus dem vorliegenden Konzept ein voll funktionsfähiges System entwickelt werden kann, ohne grundlegend das Ziel, die Bestandteile des Beobachtungssystems sowie die Strategien für Implementierung und Bereitstellung einer nachhaltigen Datensammlung zu verändern. GEMIS befindet sich in einer sehr frühen Entwicklungsphase, so dass viele Einzelheiten fehlen. Eine Förderung der Vorbereitungsphase scheint nicht ausreichend zu sein, um das Projekt weiterzuentwickeln. Den verantwortlichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern wird empfohlen, in enger Anbindung an die *community* ihr Vorhaben neu zu überdenken.

Wissenschaftliches Potenzial

Dieses Projekt eines kombinierten Netzwerks erd- und satellitengebundener Beobachtungen befindet sich in einer sehr frühen Entwicklungsphase. Die Ziel-

richtung und die Grundidee und die Rechtfertigung der Infrastruktur sind nicht deutlich geworden. In dem noch sehr oberflächlichen Konzept fehlen viele Einzelheiten. Problematische Details konnten nicht geklärt werden, was nur eine sehr allgemeine Bewertung des Konzepts erlaubt.

Der Forschungsinfrastruktur fehlt eine übergreifende wissenschaftliche Fragestellung, was die Einschätzung, ob und wie sie einen wesentlichen Beitrag zu den großen Herausforderungen im Bereich der Geo- und Umweltwissenschaften leisten könnte, unmöglich macht. Angesichts der vorliegenden Konzeptfassung der Forschungsinfrastruktur ergeben sich viele Fragen und Bedenken. Diese beinhalten erstens die Rechtfertigung der gemeinsamen Platzierung von Sensoren, um geologische Risiken und globale Umweltveränderungen simultan zu beobachten. Zweitens wird keine angemessene Begründung für den Start einer großen Anzahl neuer Satelliten gegeben. Und schließlich bestehen Mängel beim Design des Beobachtungssystems auf der Grundlage einer Reihe wissenschaftlicher Fragestellungen, die aus dem übergeordneten Ziel abgeleitet werden könnten. Es fehlt sowohl eine Diskussion der Ergebnisse bestehender Beobachtungsstationen in Entwicklungsländern als auch eine Erklärung des Prozesses zur Identifikation neuer Partner, die überzeugt hinter dem offenen Datenzugang (*open data*) stehen würden.

Umsetzbarkeit

Die Hauptverantwortlichen haben Erfahrung in der Entwicklung und Implementierung von langfristigen Beobachtungsstandorten und -anlagen. Daher bestehen auch keinerlei Vorbehalte technischer oder operativer Natur im Hinblick auf die Umsetzung der vorgeschlagenen Forschungsinfrastruktur. Vielmehr gibt es Bedenken, dass das Konzept der Forschungsinfrastruktur aus einer institutionellen Perspektive anstatt aus einem wissenschaftlichen Bedarf heraus entwickelt worden sein könnte.

Es ist nicht absehbar, wie aus dem vorliegenden Konzept ein voll funktionsfähiges System entwickelt werden kann, ohne grundlegend das Ziel, die Bestandteile des Beobachtungssystems sowie die Strategien für Implementierung und Bereitstellung einer nachhaltigen Datensammlung zu verändern.

Gesamtbewertung

Angesichts des Fehlens von (1) konkreten wissenschaftlichen Fragestellungen und Herausforderungen für das vorgeschlagene Beobachtungssystem, (2) einem Design für das Beobachtungssystem und (3) einem Konzept zu Umsetzung und Betrieb erscheint eine Förderung der Vorbereitungsphase nicht ausreichend zu sein, um das Projekt weiterzuentwickeln. Den verantwortlichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern wird empfohlen, in enger Anbindung an die internationale *community* ihr Vorhaben neu zu überdenken.

Die Biowissenschaften und die Medizin umfassen eine Vielzahl von wissenschaftlichen Disziplinen, deren Gegenstand Lebensprozesse, lebende Organismen und deren Aufbau sowie die Beziehungen zwischen Organismen und der Umwelt sind. Im Folgenden wird vorrangig auf die drei Forschungsfelder eingegangen, denen die hier behandelten Forschungsinfrastrukturen zugeordnet werden können.

III.1 Die Wissenschaftslandschaft für Forschungsinfrastrukturen in den Biowissenschaften und der Medizin

Zu den Forschungszielen der Biowissenschaften und der Medizin gehören die Aufklärung der strukturellen und funktionalen Mechanismen biologischer Phänomene, der Wissenstransfer zwischen Grundlagenforschung und klinischer Anwendung, die Prinzipien zur Erhaltung der Gesundheit sowie die Prävention und Behandlung von Krankheiten. Aufgrund der raschen Entwicklung neuer Technologien in der biomedizinischen Forschung (wie beispielsweise Genomsequenzierung, personalisierte Medizin, Hochdurchsatz-Technologien mit sogenannten Micro-Arrays und Bildgebungstechnologien) können nun auch zunehmend Fragestellungen komplexer Systeme untersucht werden. Die Biowissenschaften und die Medizin haben sich dabei von datenarmen hin zu datenreichen Disziplinen entwickelt, die zunehmend hoch entwickelte bioinformatische Werkzeuge (*tools*) und Datenbanken nutzen. Hierdurch verändert sich das Wesen der biomedizinischen Forschung vermehrt in Richtung umfangreicher, technologiegeleiteter Studien, die in besonderem Maß auf geeignete Forschungsinfrastrukturen angewiesen sind. Bisher allerdings konnten die neuen „omics“-Technologien wie Genomik, Proteomik und Metabolomik nicht zufriedenstellend für die Translation von Erkenntnissen in die Gesundheitswissenschaften, die Pharmakologie und die Medizin genutzt werden. So hat beispielsweise die Genomsequenzierung nicht zu einer wesentlichen Zunahme von validierten therapeutischen Zielmolekülen (*targets*) geführt. Eine Schlüsselherausforderung der nächsten zwanzig Jahren wird es daher sein, eine Brücke zwischen Grundlagenforschung und praktischer Anwendung in den Gesundheitswissenschaften, der Pharmakologie und der Medizin zu schlagen.

Der Schwerpunkt der in diesem Roadmap-Prozess behandelten Forschungsinfrastrukturen liegt auf der chemischen Biologie, die sich mit der Identifizierung neuartiger chemischer und physikalischer Werkzeuge befasst (EU-OPENSREEN), auf der biomedizinischen Bildgebung zur nichtinvasiven Visualisierung biologischer Prozesse (GEBI) und auf der Strukturbiologie, die biomolekulare Strukturen und Funktionen mit höchstmöglicher Auflösung analysiert (INSTRUCT).

An diese Felder, die an der Spitze interdisziplinärer biomedizinischer Forschung stehen, knüpft sich die Erwartung, dass sie den Biowissenschaften und der Medizin zu einem tiefer greifenden Verständnis biologischer Prozesse verhelfen werden. Von grundlegender Bedeutung für Untersuchungen in der modernen Biologie und Medizin sind chemisch definierte, biologisch aktive Moleküle, die als Sonden für biologische Prozesse als Grundlage für die Entwicklung hochspezifischer Medikamente dienen können. In der chemischen Biologie erfolgt die gezielte Entdeckung biologisch aktiver kleiner Moleküle größtenteils durch systematisch durchgeführte umfangreiche Hochdurchsatz-Screenings von Substanzbibliotheken mithilfe von spezifischen biologischen Tests (*bioassays*), um so bestimmte zelluläre Reaktionen zu erkennen. Dieser Ansatz erfordert technisch und logistisch anspruchsvolle Screening-Einrichtungen mit hochmodernen Verfahren und Datenbanken. Mit den chemischen Sonden können, zusammen mit modernen Bildgebungstechnologien wie z. B. moderner Lichtmikroskopie, Magnetresonanztomographie (MRT) und Positronen-Emissions-Tomographie (PET), biologische Funktionen in physiologischen und pathologischen Kontexten untersucht werden, von einzelnen Molekülen und Zellen bis hin zu Ganzkörperaufnahmen von Tieren und Menschen. Angesichts des schnellen Fortschritts bei den bildgebenden Verfahren, der Entwicklung neuer Technologien und der zunehmend höheren Anforderungen an die wissenschaftliche Kompetenz bei der Nutzung bildgebender Instrumente ist der Zugang zu Bildgebungsanlagen in den Biowissenschaften und der Medizin inzwischen unabdingbar geworden. Die Strukturbiologie ermöglicht die Abbildung von dreidimensionalen Strukturen biologischer Makromoleküle auf atomarem Niveau. Damit erlaubt sie die Untersuchung biologischer Funktionen und schafft gleichzeitig die Grundlage für die strukturgeleitete Entwicklung von Arzneimitteln. Die Strukturbiologie verwendet aufwendige technische Ansätze und Apparaturen – zum Beispiel Röntgenkristallographie, Kernspinresonanz und Elektronenmikroskopie – deren Bau und Betrieb mit erheblichen Kosten verbunden sind.

Diese Technologien werden von den Biowissenschaften und der Medizin immer stärker nachgefragt. Aus diesem Grund sind zentrale Infrastrukturen vonnöten, um so den Zugang zu hochmodernen Geräten zu ermöglichen und die Infrastrukturinvestitionen möglichst wirksam einzusetzen. Auch geeignete E-Infrastrukturen für die Verwaltung und Speicherung großer Datenmengen sind ein wesentlicher Bestandteil von Forschungsinfrastrukturen in den Biowissenschaften und der Medizin. In den Anhängen 2.6, 2.7 und 2.8 sind wichtige konkurrierende und komplementäre Forschungsinfrastrukturen der drei Forschungsfelder zusammengestellt, die im Fokus dieses Roadmap-Prozesses stehen.

Chemische Biologie ist ein übergeordneter Begriff, der eine große Bandbreite von Forschungsmethoden und Teilbereichen insbesondere an der Schnittstelle von Chemie, Biologie und Medizin umfasst. Diesen ist gemeinsam, dass die angewandten Methoden ein hohes Maß an chemischem und physikalischem Wissen voraussetzen und dass die Ergebnisse sich darauf auswirken, wie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Funktionsweise eines biologischen Systems verstehen. Die chemische Biologie liefert die grundlegenden Instrumente für Anwendungen in einer Vielzahl von Industriezweigen, die sich mit Gesundheit, Kosmetika und Hygieneartikeln, Biotechnologie, Landwirtschaft, Nahrung, Materialien, Sicherheit, Energie und Umwelt befassen. |³⁵ Ein kürzlich unternommener Versuch einer Klassifizierung der chemischen Biologie führte zu verschiedenen zentralen Untergruppen dieser Disziplin. |³⁶ Da es sich hierbei jedoch um ein Forschungsfeld handelt, das sich schnell weiterentwickelt, wurden auch Bereiche mit starkem Wachstum sowie neu entstehende Bereiche identifiziert.

Eine zentrale Herausforderung in der chemischen Biologie bleibt die Entdeckung und Optimierung neuartiger chemischer Werkzeuge. Hierfür gibt es viele Ansätze, aber der Einsatz von Hochdurchsatz-Screening-Techniken ist von besonderer Bedeutung, da Forscherinnen und Forscher mit diesen bisher wenig untersuchten Bereiche der Biologie nach neuen Werkzeugen zum Verständnis komplexer Prozesse durchsuchen können. Dementsprechend können in biologische Systeme eingeschleuste chemische Wirkstoffe in der biologischen Forschung als geeignete Werkzeuge dienen. Neben dieser Auswirkung auf das grundlegende Verständnis biologischer Prozesse und pathophysiologischer Bedingungen schaffen Investitionen in Hochdurchsatz-Screenings ein Schlüsselinstrument, um Wissenschaft und Industrie zusammenzubringen und um die in den Molekularwissenschaften erzielten großen Fortschritte auf Anwendungen in der Landwirtschaft, dem Gesundheitswesen und der Medizin zu transferieren. So trägt die Validierung von Wirkstoff-Zielmolekülen mithilfe von chemischen Werkzeugen zur Risikominderung und Schwerpunktsetzung bei Programmen zur Wirkstoffforschung bei. Die Wirkstoffforschung befindet sich gegenwärtig in einer Umbruchphase, und viele Pharmaunternehmen sehen in einer verbesserten Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie einen möglichen Lösungsweg. Beispiele für Bereiche, bei denen die Wirkstoffforschung

|³⁵ Altmann, K.-H. et al.: *The state of the art of chemical biology*, in: ChemBioChem, 10 (2009) 1, S. 16-29 und Bunnage, M. E. (Hrsg.): *New Frontiers in Chemical Biology. Enabling Drug Discovery*, Cambridge 2010.

|³⁶ Pirrie, L.; Westwood, N. J.: *Chemical Biology: What is Its Role in Drug Discovery?*, in: Kapetanovic, I. M. (Hrsg.): *Drug Discovery and Development, Present and Future*, Rijeka 2011, S. 193-230.

auf neuartige Ansätze angewiesen ist, sind multiresistente Erreger („ESKAPE-Pathogene“ |³⁷) und neurologische Störungen.

Die *European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology* (EU-OPENSREEN) leistet einen Beitrag zur Entwicklung von biologisch aktiven kleinen Molekülen, damit chemische Wirkstoffe für verschiedene Zwecke identifiziert, charakterisiert und optimiert werden können, unter anderem für die wichtigen Bereiche Wirkstoffentwicklung, Verbesserung der Lebensmittelproduktion und Erstellung diagnostischer Testverfahren.

Biomedizinische Bildgebung

Biologische und molekulare Bildgebungsverfahren ermöglichen die nichtinvasive Visualisierung biologischer Prozesse und molekularer Grundlagen menschlicher Erkrankungen in ihrem jeweiligen spezifischen Kontext in lebenden Zellen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung. Das sogenannte *bioimaging* wird zunehmend komplexer und reicht von einzelnen Zellen, Geweben und Organen bis hin zu Ganzkörperaufnahmen von Tieren und Menschen. Innovative biomedizinische Bildgebungstechnologien stellen unverzichtbare Instrumente in den Lebenswissenschaften dar, da sie sowohl bei biologischen Modellsystemen als auch bei Patienten Einblicke in die Funktionsweise lebender Systeme auf Molekül- und Organismusebene gewähren. Im Vergleich zu den sogenannten „omics“-Technologien, die die Dynamik, die Wechselwirkungen und den Zustand eines bestimmten Moleküls in seiner natürlichen Umgebung in dem entsprechenden zeitlichen Verlauf nur bedingt wiedergeben können, liefern Bildgebungstechnologien diesen funktionalen Kontext. Damit können sie bei der Identifizierung und Validierung von Biomarkern helfen und zudem Hochdurchsatztests für die Wirkstoffentwicklung zur Verfügung stellen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus der Grundlagen-, Translations- und klinischen Forschung mithilfe einer gemeinsamen Bildgebungsinfrastruktur in Forschung und Gesundheitswesen ermöglicht eine umgehende Übertragung der in Zellen erlangten grundlegenden biologischen Entdeckungen auf menschliche Krankheiten im Tiermodell und die klinische Anwendung.

Die *German Research Infrastructure for Imaging Technologies in Biology and Medical Sciences* (Euro-BioImaging – GEBI) will die in intakten lebenden Zellen stattfindenden molekularen Prozesse mit nanometergenauer Auflösung visualisieren und den Zugang zu den *state-of-the-art* Bildgebungstechnologien ermögli-

|³⁷ Als ESKAPE-Pathogene werden *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* und Arten der Gattung *Enterobacter* zusammengefasst.

chen: Von grundlegender biologischer Bildgebung in Zellen über molekulare Bildgebung in Tiermodellen *in vivo* zu medizinischer Bildgebung bei Menschen.

Strukturbiologie

Die Strukturbiologie zielt auf die Darstellung der dreidimensionalen Struktur biologischer Makromoleküle wie Proteine oder Nukleinsäuren mit höchstmöglicher Auflösung bis zur atomaren Ebene. Die Strukturbiologie stellt demzufolge einen integralen Bestandteil der Lebenswissenschaften dar, in dem die grundlegenden Informationen über den strukturellen Aufbau molekularer Bausteine bereitgestellt und damit die Grundlage für ein Verständnis biologischer Funktionen geschaffen wird. Zum Beispiel schafft der Zugang zu Informationen über den strukturellen Aspekt von Protein-Ligand-Wechselwirkungen eine entscheidende Voraussetzung für eine strukturbasierte Wirkstoffentwicklung. Dementsprechend haben die Entwicklung und die Erfolge der Strukturbiologie in den letzten Jahrzehnten die biologische Forschung und pharmazeutische Entwicklung beständig vorangebracht. Zu den notwendigen und komplementären Instrumenten der Strukturbiologie gehören die Röntgenkristallographie, die Kernspinresonanz und die Elektronenmikroskopie. Ein hochaktueller und entscheidender Schritt in diesem Forschungsfeld gilt der Kombination der komplementären Technologien mit dem Ziel, die Auflösungsbereiche zu verknüpfen und damit die Analyse von der Ebene einzelner Moleküle in die Systemebene von Zelle und Organismus zu erweitern. Ein solcher multidimensionaler (*multi-scale*) Ansatz mit kontinuierlicher Auflösung – von einzelnen Molekülen über Molekülkomplexe bis hin zu Zellorganellen – wird es ermöglichen, Zellen mit allen elementaren Bausteinen auf nahezu atomarer Ebene zu beschreiben und diesen Detailstrukturen Funktionen zuzuordnen. In Verbindung mit der Zellbiologie und der Systembiologie kann somit ein neuartiges integratives Verständnis der Bausteine biologischer Systeme erreicht werden.

Ziel der *Integrated Structural Biology Infrastructure* (INSTRUCT) ist es, Arbeitsgruppen auf nationaler und europäischer Ebene den Zugang zu strukturbiologischer Infrastruktur zu ermöglichen, damit strukturelle Informationen zu zellulären Prozessen in einem multidimensionalen Ansatz gewonnen werden können. Die Ausstattung reicht dabei von Einrichtungen für die Probenvorbereitung bis hin zu hochmodernen Geräten für die Kernspinresonanzspektroskopie, Röntgenkristallographie und Kryo-Elektronenmikroskopie.

III.2.a Kurzbeschreibung von EU-OPENSSCREEN

Das Forschungsfeld der chemischen Biologie ist aus den klassischen Disziplinen der Pharmakologie und der Zellbiologie hervorgegangen und untersucht die Auswirkungen exogen eingebrachter Wirkstoffe auf lebende Arten. Die heutige chemische Biologie analysiert biologische Prozesse mithilfe einer Reihe von hoch entwickelten chemischen Methoden und Werkzeugen (*tools*). Ziel von EU-OPENSSCREEN ist die Bereitstellung neuer biologisch aktiver Substanzen für alle Felder der Lebenswissenschaften. |³⁸ Diese Substanzen dienen den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern als Werkzeuge für die Untersuchung molekularer Mechanismen biologischer Prozesse. Die Ergebnisse sollen tiefe Einblicke in die Wirkungsweise dieser Substanzen geben und die Entwicklung neuer Medikamente und vieler anderer marktfähiger Produkte inspirieren.

Die Verwendung neuartiger chemischer Werkzeuge zur Untersuchung der zellulären Funktionen kann den Weg für die Verwertung durch die Industrie ebnen. Dies gilt vor allem für die mit Gesundheit befassten Wissenschaften, aber auch für die Agrarwissenschaft, die Biotechnologie, die Energiewissenschaft und die Tiermedizin. Die Entdeckung von chemischen Werkzeugen soll im Rahmen eines „Konsortialansatzes“ erfolgen. Dabei werden Chemikerinnen und Chemiker, die sich mit dem Aufbau und der Synthese neuartiger Substanzbibliotheken beschäftigen, mit Zellbiologinnen und -biologen zusammenarbeiten, die Hochdurchsatz-Screening-Techniken entwickeln und anwenden. Ein derartiger Ansatz hat sich bereits auf nationaler (deutscher) Ebene bewährt, und mit dem aktuellen Vorhaben soll nun das Programm unter Führung deutscher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf die europäische Ebene ausgedehnt werden.

Das Vorhaben ist gekennzeichnet durch einen offenen Zugang für die chemische und die biologische *community* und durch die Selbstverpflichtung, die Ergebnisse öffentlich zur Verfügung zu stellen. Dies steht im Gegensatz zu kommerziellen Screening-Einrichtungen, die Nutzungsgebühren verlangen und/oder Ergebnisse unter Verschluss halten. Es ist anzunehmen, dass der großen Nachfrage nach chemischen Instrumenten und deren Anwendung in der Zellbiologie nur mit einem derartigen öffentlich finanzierten und „offenen“ Ansatz erfolgreich begegnet werden kann.

|³⁸ Näheres zum europäischen Projekt EU-OPENSSCREEN vgl. ESFRI: *Strategy Report on Research Infrastructures*. Roadmap 2010, Luxemburg 2011, S. 57.

Dem EU-OPENSREEN-Konsortium sind bereits 18 Partner aus zwölf europäischen Ländern beigetreten. Das *European Molecular Biology Laboratory-European Bioinformatics Institute* (EMBL-EBI), eine in Großbritannien ansässige internationale Organisation, bringt dabei ihr einzigartiges Wissen im Bereich der Bioinformatik ein und wird die *European Chemical Biology Database* (ECBD) betreiben, die über Datenbrücken zu vielen anderen Datenbanken aus dem Feld der Lebenswissenschaften verfügt. Jeder der wissenschaftlichen Partner vertritt seine nationale chemisch-biologische *community*. In Deutschland sind dies das Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie (FMP), Berlin, das Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC), Berlin-Buch, und das Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI), Braunschweig.

Die Gesamtkosten für die Umsetzung des Vorhabens werden auf 54 Mio. Euro geschätzt (davon etwa 20 Mio. Euro Investitionskosten und etwa 34 Mio. Euro Betriebskosten für die Jahre 2014 bis 2018).

Eine detaillierte Beschreibung des Vorhabens entlang der Bewertungsdimensionen ist im Anhang 1.7 zu finden.

III.2.b Bewertung von EU-OPENSREEN

Zusammenfassung

Wissenschaftliches Potenzial. EU-OPENSREEN ist entscheidend, um neuartige Moleküle in den Lebenswissenschaften zu identifizieren und deren Wirkung zu verstehen. Die Entdeckung und Nutzung neuer chemischer *tools* ist eine unabdingbare Voraussetzung für ein Verständnis biologischer Prozesse, einschließlich menschlicher Krankheiten.

Nutzung. Diese Forschungsinfrastruktur wird besonders einen breiten akademischen Nutzerkreis in den Lebenswissenschaften unterstützen. Die Industrie wird von neuen chemischen Leitstrukturen und der Standardisierung von Testsystemen profitieren. Das Zugangsverfahren ist fundiert, das Qualitätsmanagement eine wesentliche Stärke dieses Vorhabens.

Umsetzbarkeit. EU-OPENSREEN ist ein sehr ausgereiftes Vorhaben, in dem die Forschungsinfrastruktur in Deutschland in die vorhandene europäische Infrastrukturlandschaft integriert werden soll. Die deutschen Partner haben auf diesem Gebiet sehr gute Erfahrung und werden die Führungsrolle in EU-OPENSREEN auf europäischer Ebene ausfüllen können.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland. EU-OPENSREEN wird eine der führenden offenen Screening-Einrichtungen der Welt sein und ist wesentlich für die chemische Biologie in Deutschland. Dieses Vorhaben wird es Deutschland ermöglichen, auf diesem überaus wichtigen Gebiet international Schritt zu halten.

EU-OPENSREEN ist weniger auf eine fest umrissene wissenschaftliche Fragestellung fokussiert, sondern befasst sich vielmehr mit einer umfassenderen Problematik in der Wissenschaft. Die zentrale Frage dabei lautet: Wie arbeiten Zellen? Wenngleich es viele Möglichkeiten gibt, um Antworten auf diese Frage zu finden, führt dieses Konzept überzeugend aus, dass die Verwendung von chemischen Werkzeugen zur Untersuchung der Zellfunktion mit erheblichen Vorteilen verbunden ist. So sind die Entdeckung und Nutzung neuer chemischer Werkzeuge eine unabdingbare Voraussetzung für das Verständnis biologischer Prozesse, einschließlich menschlicher Erkrankungen. Das ist ein äußerst starkes Argument, da sich hier die Möglichkeit eröffnet, die oftmals fehlende Verbindung herzustellen zwischen dem, was in einer offenen wissenschaftlichen Umgebung getan, und dem, was von der Industrie tatsächlich verwertet werden kann. Anders gesagt: Die Wissenschaft, die durch diese Infrastruktur ermöglicht werden wird, wird eine erhebliche Auswirkung auf die Gesundheitsagenda haben.

Diese Forschungsinfrastruktur wird die Anlaufstelle für die Entwicklung von Substanzen als Werkzeuge sein, um so zunächst die Biologie von Krankheiten besser zu verstehen, ehe ein Programm zur Wirkstoffforschung initiiert wird. Äußerst wichtige Anwendungsmöglichkeiten können antizipiert werden, die in den Bereichen der Infektionskrankheiten (ESKAPE-Erreger, die unter Umständen für die nationale Sicherheit relevant sein können), neurologische Erkrankungen (einschließlich Schizophrenie, Alzheimer, Autismus usw.), psychiatrische Erkrankungen (wie z. B. Depression, Demenz und Nervenleiden), Stoffwechselerkrankungen (Adipositas und Diabetes) sowie Krebs liegen. Diese Forschungsbereiche sind von zahlreichen großen Pharmaunternehmen aufgegeben worden. |³⁹ Dies spricht dafür, dass Synthese und Screening neuer chemischer Verbindungen erforderlich sind. So gibt es bei den neurologischen Erkrankungen keine neuen validierten Zielmoleküle. Dieses Infrastrukturvorhaben ist der erste Schritt hin zu der Entwicklung neuartiger chemischer Werkzeuge, um wichtige Engpässe bei der Wirkstoffforschung zu überwinden.

EU-OPENSREEN ist notwendig, um Daten über mehrere Projekte hinweg vergleichen zu können, und wird zur Etablierung gemeinsamer Standards für die Reinheit von Substanzen, der Entwicklung von biologischen Tests und dem Hochdurchsatz-Screening beitragen. Nur mit dieser Infrastruktur werden

|³⁹ Im Zusammenhang mit Infektionskrankheiten durchsuchten Großunternehmen sämtliche ihrer internen Substanzbibliotheken (mit über einer Mio. Substanzen) und konnten keine geeignete Substanz finden (Livermore, D. M.: *Discovery research: the scientific challenge of finding new antibiotics*, in: *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 66 (2011) 9, S. 1941-1944).

Screening-Daten, die europaweit generiert werden, zusammengeführt und für die wissenschaftliche *community* nutzbar gemacht werden. Zudem erhält die Informatik in dieser Infrastruktur einen bedeutenden Stellenwert, was die Entwicklung neuer und die Integration bestehender Datenbanken voranbringen wird. Neben der Screening-Technologie ist auch der Aufbau geeigneter chemischer Sammlungen von grundlegender Bedeutung. Dieser Bereich kann sich im Laufe der Zeit verändern, wenngleich auch nicht zu stark, da ein wichtiges Ziel darin besteht, Informationen über viele Screenings hinweg für einen festen Satz an Substanzen zu generieren.

Es sind zahlreiche Synergien vorhanden und mit einer Ausnahme – der geplanten *IMI European Lead Factory* |⁴⁰ – scheinen nur sehr wenige direkte Überlappungen zu bestehen. Auf den ersten Blick scheint es sich hierbei um ein Konkurrenzvorhaben zu EU-OPENSOURCE zu handeln und es könnte argumentiert werden, dass nicht beide Einrichtungen gebraucht werden. Allerdings wird das von IMI finanzierte Projekt an einem zentralen Standort in der EU angesiedelt werden und der Pharmaindustrie dienen. Dies mag durchaus eine hervorragende Idee sein, aber diese Daten werden der wissenschaftlichen *community* nicht zugänglich sein. Das ist ein Problem für die chemische Biologie in Europa. Wenn Wissenschaft und Industrie erfolgreich miteinander verzahnt werden sollen, dann muss die wissenschaftliche *community* dazu entsprechend in die Lage versetzt werden. Akademische Laboratorien werden die Möglichkeit zur Nutzung der Infrastruktur haben, um Projekte voranzubringen, die als „*out of the box*“ bezeichnet werden. Die Ergebnisse werden der gesamten *community* zur Nutzung zugänglich gemacht werden.

Nutzung

Diese Forschungsinfrastruktur wird insbesondere einen breiten akademischen Nutzerkreis in den Lebenswissenschaften unterstützen. Viele Biologiellabore haben gegenwärtig noch Bedenken, was die Verwendung von Hochdurchsatz-Screenings in ihrer Wissenschaft angeht. Wenn die Durchführung eines Screenings leichter bzw. zunächst einmal überhaupt zugänglich gemacht wird, kann angesichts der heute üblichen Bestrebungen zu Interdisziplinarität, Teamarbeit und einer Verbindung zu Anwendungen im Gesundheitsbereich erwartet werden, dass weitaus mehr Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das Hochdurchsatz-Verfahren in ihrer wissenschaftlichen Arbeit nutzen werden. Es ist äußerst wichtig, dass so viele der von EU-OPENSOURCE gesammelten Daten so schnell wie möglich der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Schließlich ist es genau diese Leistung, die EU-OPENSOURCE von der geplanten IMI-

|⁴⁰ Für weitere Informationen zu den komplementären Projekten siehe Anhang 2.6.

Einrichtung unterscheidet. Dieser Punkt stellt ein wesentliches Merkmal des Vorhabens dar und könnte bei zukünftigen Planungen weiter ausgebaut werden. Die Industrie wird von neuen chemischen Leitstrukturen und der Standardisierung von Testsystemen profitieren.

Die frühen Phasen der Wirkstoffforschung, die von EU-OPENSSCREEN unterstützt werden, müssen stark reguliert und professionell ausgeführt werden, damit die gewünschten Ergebnisse auch erzielt werden. Die verwertbaren Resultate dieser Arbeit bilden den Ausgangspunkt für die nächsten Schritte im Wertschöpfungsprozess; hier erzeugt die aktuelle Infrastruktur ihren größten Mehrwert. Insgesamt ist das vorgeschlagene Zugangsverfahren fundiert und das Qualitätsmanagement eine wesentliche Stärke dieses Vorhabens.

Die Finanzierung wird als gerade ausreichend bewertet. Wenn das Ziel das Zugänglichmachen des Screening-Verfahrens für die akademische *community* ist, dann muss diese Forschungsinfrastruktur von wissenschaftlicher Qualität und nicht vornehmlich von Finanzen geleitet sein. Gute administrative Fähigkeiten werden in allen Bereichen benötigt, aber die für die Nutzung erforderliche Kompetenz ist bereits vorhanden. Interne Schulungen zu Screening-Verfahren sind essenziell.

Umsetzbarkeit

Bei EU-OPENSSCREEN handelt es sich um ein sehr ausgereiftes Vorhaben, das die Forschungsinfrastruktur in Deutschland in die vorhandene europäische Infrastrukturlandschaft integrieren soll. Die deutschen Partner verfügen über viel Erfahrung in diesem Bereich und werden auf europäischer Ebene die führende Rolle in EU-OPENSSCREEN übernehmen. Für den Prozess gibt es einen klaren Zeitplan. Der Schwerpunkt des Forschungsinfrastrukturvorhabens liegt auf der Stärkung, Standardisierung und Zusammenführung bestehender Infrastrukturen mit dem Ziel, eine europäische Screening-Einrichtung zu schaffen. Dabei wird eine angemessene EU-weite Integration erreicht, die für den Erfolg des Vorhabens von entscheidender Bedeutung ist. Für den Beginn des Vorhabens ist eine Reihe relativ geringfügiger technischer Innovationen erforderlich. Dennoch handelt es sich um eine Forschungsinfrastruktur mit geringem Risiko, die hohe wissenschaftliche Leistungen verspricht. Im Vordergrund stehen bei EU-OPENSSCREEN Aufgaben der Implementierung und „Sozialisierung“. Alles scheint in einem kleineren Maßstab vorhanden zu sein, so dass der Schritt hin zur vollen Infrastruktur mit relativ wenig Risiko verbunden ist.

Ebenfalls entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung ist ein transparentes und qualitätsorientiertes Verfahren für die Auswahl derjenigen Projekte, die diese Forschungsinfrastruktur nutzen können. Zu klären sind in diesem Zusammenhang insbesondere die Fragen nach dem Auswahlmodus der Testentwicklung, nach dem Modus der Priorisierung von Projekten für den Bereich

„Chemische Optimierung von Treffersubstanzen (*hits*)“ und was dabei benötigt und wie es finanziert werden wird. Zudem ist darzulegen, wie mit der Frage des geistigen Eigentums effektiv umgegangen wird, damit sichergestellt ist, dass möglichst viele Daten aus den Testverfahren schnellstmöglich frei zugänglich gemacht werden.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Trägerinstitutionen bringen alle Voraussetzungen zur Leitung dieses Vorhabens mit, und die Personalausstattung ist für das Projekt geeignet. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verfügen über die nötige Expertise, um dem Vorhaben in Zusammenarbeit mit den anderen als exzellent eingestuften Einrichtungen aus ganz Europa zum Erfolg zu verhelfen. Die beteiligten Forschungsgruppen haben mehr als genug Erfahrung, um die benötigte E-Infrastruktur zu schaffen. Dies ist eine große Stärke dieses Vorhabens. Das EMBL-EBI ist ein weltweit führendes Zentrum für den Aufbau und die Pflege von Datenbanken.

Die Governance-Struktur scheint angemessen zu sein. Ein starker wissenschaftlicher Beirat und ein externes Gutachtergremium werden maßgeblich sein.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Eine Investition in eine chemisch-biologische Infrastruktur auf europäischer Ebene ist eine klare Notwendigkeit. Hinsichtlich der internationalen Rolle erscheint es sehr wahrscheinlich, dass europäische Konsortien an Boden verlieren werden, insbesondere als Folge des *Molecular Libraries Program* (MLP of the *National Institutes of Health*, NIH) in den USA. Dennoch wird EU-OPENSOURCE das MLP mit neuen Entwicklungen und möglichen Durchbrüchen ergänzen und könnte sich selbst als eine führende offene Screening-Einrichtung in der Welt positionieren. Dieses Vorhaben wird es Deutschland ermöglichen, in diesem überaus wichtigen Gebiet der chemischen Biologie international Schritt zu halten.

Zudem ist es eine gute Idee, die europäische Integration auch im Hinblick auf die wissenschaftlichen umfangreichen Forschungsinfrastrukturen voranzutreiben. Sofern es Deutschland gelingt, an der Spitze eines erfolgreichen Vorhabens im Bereich Screening zu stehen – und dieses in die Zukunft zu führen –, so wäre dies auch für die deutsche Wissenschaft als Ganzes äußerst positiv. Die Projekte sind zu komplex, als dass eine einzelne Disziplin allein einen größeren Durchbruch erzielen könnte. Deshalb muss die Wissenschaft die Art und Weise ändern, wie sie ihre Aufgaben wahrnimmt. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass der wissenschaftliche Nachwuchs in Deutschland nicht den Anschluss an das neue Modell wissenschaftlicher Forschung verliert. Auch das ist ein Punkt, der unbedingt hätte berücksichtigt werden sollen.

Die internationale Pharmaindustrie befindet sich im Umbruch und in einer Zeit erheblicher Unsicherheit. Ein möglicher Ausweg kann hier eine stärkere Zu-

sammenarbeit zwischen Industrie (einschließlich kleiner und mittlerer Unternehmen) und akademischen Institutionen sein. Sofern eine solche zustande kommt, wird dies durchaus auf Forschungsinfrastrukturen wie EU-OPENSOURCE zurückzuführen sein, da diese Infrastruktur die wissenschaftliche Forschung in den Biowissenschaften erleichtern wird. Das Vorhaben mag nicht das nächste Arzneimittel liefern, aber es ist gut möglich, dass es mit dem nächsten validierten Wirkstoff-Zielmolekül aufwartet, auf dessen Grundlage dann die Industrie das nächste Arzneimittel herstellt.

Gesamtbewertung

EU-OPENSOURCE ist von grundlegender Bedeutung für die Identifizierung neuartiger Moleküle in den Biowissenschaften und der Medizin und für das Verständnis ihrer Wirkung. Die Entdeckung und Nutzung neuer chemischer Werkzeuge ist eine unabdingbare Voraussetzung für das Verstehen biologischer Prozesse einschließlich menschlicher Krankheiten. Das Vorhaben legt damit das Fundament für die nächste Generation der Wirkstoffforschung.

Screening ist ein äußerst wichtiges Instrument in den Lebenswissenschaften und der Medizin. Mit der Einrichtung dieser Infrastruktur werden in Deutschland und in der EU sehr viel mehr Screening-Projekte durchgeführt werden, als dies sonst der Fall sein würde. Dies wiederum wird zur Entdeckung von mehr nützlichen chemischen Werkzeugen führen. Diese Forschungsinfrastruktur zu leiten, ist eine wirkliche Chance für Deutschland; die beteiligten deutschen Zentren sind alle hervorragend.

Hervorzuheben ist, dass die hier entwickelten Screening-Werkzeuge bei einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden können: bei den Lebens- und mit Gesundheit befassten Wissenschaften, aber auch bei der Forschung hinsichtlich erneuerbarer Energie, den Pflanzenwissenschaften, der Agrarwissenschaft und der Tiermedizin. Das Screening wird als Instrument bei allen Aspekten der Biotechnologie eine wichtige Rolle spielen. Es ist zu überlegen, ob zum Erreichen der Ziele des Konzepts ein Schwerpunkt erforderlich ist oder ob ein überzeugendes Argument dafür gefunden werden kann, die Breite der Anwendungen beizubehalten.

Was die gesellschaftliche Wirkung angeht, so ist das wichtigste Argument, dass die Entdeckung und Nutzung neuartiger chemischer Werkzeuge den Weg zum Verständnis biologischer Prozesse, einschließlich menschlicher Krankheiten, ebnen kann. Ein besseres Verständnis biologischer Prozesse wird eine klare Definition und eine bessere Validierung von Zielmolekülen mit sich bringen, was wiederum zu neuartigen und wirksamen Medikamenten führen wird. Das verspricht einen möglichen Mehrwert zu dem, was in einer offenen, wissenschaftlichen Umgebung getan, und dem, was von der Industrie tatsächlich verwertet werden kann. Anders gesagt, diese Infrastruktur wird eine erhebliche Auswir-

kung auf die Gesundheitsagenda haben, insbesondere hinsichtlich der häufigsten Krankheiten mit unmittelbaren medizinischen Erfordernissen. Es zeichnen sich äußerst wichtige Anwendungen in den Bereichen Infektionskrankheiten, neurologische und psychiatrische Erkrankungen, Stoffwechselerkrankungen und Krebs ab. Diese Forschungsbereiche sind von zahlreichen großen Pharmaunternehmen aufgegeben worden. Dies unterstreicht die Notwendigkeit von Synthese und Screening neuer chemischer Verbindungen, da Bakterien nicht einfach verschwinden. Das wissenschaftliche Screening-Vorhaben wird mit der Einführung neuartiger Chemie, die bisher nicht verfügbar war, einen grundlegenden Wandel einläuten.

III.3 German Research Infrastructure of Imaging Technologies in Biological and Medical Sciences (German Euro-BioImaging – GEBI)

III.3.a Kurzbeschreibung von GEBI

Bildgebung hat sich zu einer zentralen Technologie der Lebenswissenschaften entwickelt, die die Grundlagen- und präklinische Forschung mit medizinischen Anwendungen und klinischen Studien verbindet. Mit den in jüngster Zeit erzielten Durchbrüchen bei der räumlichen Auflösung im Submikrometerbereich haben sich neue Perspektiven für die Visualisierung physiologischer Prozesse in Echtzeit und der molekularen Grundlagen von Erkrankungen des Menschen in Zellen und Geweben eröffnet. Die Anwendung dieser hochmodernen Bildgebungstechnologien bei der Untersuchung biologischer und medizinischer Fragen wird zu vielen Entdeckungen führen. Diese Anwendungen bilden selbst die treibende Kraft zur Entwicklung einer neuen Generation von noch besseren biomedizinischen Bildgebungstechnologien. Die Übertragung von bildgebenden Verfahren aus dem Zellbereich auf Mäuse und auf Menschen bietet neuartige Möglichkeiten für die Biomarker-Entwicklung, die Wirkstoffsuche und neue molekulare Behandlungskonzepte. Eine Herausforderung liegt darin, auch bei der klinischen Bildgebung von Krankheiten eine hohe zeitliche Auflösung zu erreichen.

Die deutsche Bildgebungsinfrastruktur, kurz GEBI genannt, soll auch einen Beitrag zu der entsprechenden europäischen Forschungsinfrastruktur Euro-BioImaging leisten, der Infrastruktur für Bildgebungstechnologien in den Lebenswissenschaften im Rahmen der europäischen Roadmap ESFRI |⁴¹. Die wichtigsten Ziele von GEBI sind dabei (1) die Einrichtung einer offen zugänglichen Forschungsinfrastruktur für biologische und medizinische Bildgebungstechnologien in Deutschland, die von elementarer biologischer zu molekularer und

|⁴¹ Vgl. ESFRI: *Strategy Report on Research Infrastructures*. Roadmap 2010, Luxemburg 2011, S. 58.

medizinischer Bildgebung reichen, (2) die Einrichtung starker Bildgebungstechnologiezentren zur Vorbereitung des deutschen Beitrags zu Euro-BioImaging, und (3) die Einrichtung eines koordinierenden sogenannten *hub* in Deutschland, der sowohl die medizinische als auch die biologische Bildgebung vertritt und die nationale und europäische Dimension der Forschungsinfrastruktur erfolgreich integriert. Erreicht werden sollen diese Ziele durch (1) eine umfassende Aufrüstung der fünf führenden Einrichtungen in der sogenannten *advanced light microscopy*, durch (2) die Einrichtung starker europäischer, offen zugänglicher Technologiezentren für die zwei biologischen Bildgebungstechnologien, bei denen Deutschland eine weltweit führende Rolle einnimmt, d. h. die hochauflösende Mikroskopie und Hochdurchsatz-Mikroskopie, und durch (3) die Gewährung eines offenen Zugangs zu hochmodernen molekularen und medizinischen Bildgebungstechnologien an verteilten Forschungsknoten.

Ähnliche nationale Bildgebungsinfrastrukturen werden gegenwärtig in vielen europäischen Mitgliedsstaaten aufgebaut, angetrieben von dem europaweiten Forschungsinfrastrukturvorhaben Euro-BioImaging. Die Knoten, die als Teil nationaler Infrastrukturen Mittel aus nationalen Haushalten erhalten, werden sich in einer äußerst wettbewerbsfähigen Lage befinden, wenn es um die Bewerbung als europäische Knoten gehen wird. 50 % der neu geschaffenen Kapazität wird für die externe Nutzung offen stehen.

Das *European Molecular Biology Laboratory* (EMBL), Heidelberg, wird als Koordinierungsstelle für GEBI fungieren, und die *communities* der medizinischen und der biologischen Bildgebung werden von ihren nationalen Koordinatorinnen bzw. Koordinatoren durch das Institut für Medizintechnologie (IMT, medizinische Bildgebung), Mannheim (Teil der Universität Heidelberg), und die Universität Konstanz (biologische Bildgebung) vertreten.

Die Gesamtinvestitionen für die Umsetzung der Infrastruktur werden auf 188 Mio. Euro geschätzt (davon etwa 94 Mio. Euro Investitionskosten und etwa 94 Mio. Euro Betriebskosten für fünf Jahre).

Eine detaillierte Beschreibung des Vorhabens entlang der Bewertungsdimensionen ist im Anhang 1.8 zu finden.

III.3.b Bewertung von GEBI

Zusammenfassung

Wissenschaftliches Potenzial. GEBI deckt einen dringenden Bedarf in den Lebenswissenschaften und ist in Europa einzigartig. Die vernetzte Infrastruktur für molekulare Bildgebung unter Einbeziehung neuester Technologien ist von entscheidender Bedeutung, um eine große Bandbreite krankheitsrelevanter Prozesse aufzuklären z. B. bei Krebs, Herzkrankheiten, Alzheimer und Diabetes.

Nutzung. Die Infrastruktur ist eine vielseitig einsetzbare Plattform, die neue wissenschaftliche Felder in den Lebenswissenschaften erschließt und einem erweiterten Nutzerkreis aus Grundlagenwissenschaften, angewandter Medizin und Industrie zur Verfügung steht. Das Zugangsverfahren ist fair, transparent und qualitätsgesichert. Das Ausbildungskonzept ist sehr überzeugend und hochwertig.

Umsetzbarkeit. Die wissenschaftliche und technische Expertise der beteiligten Einrichtungen ist exzellent. Das Vorhaben kann unmittelbar umgesetzt werden. Die Governance-Struktur überzeugt durch klar verteilte Befugnisse und Verantwortlichkeiten. Die gewählte *hub-and-node*-Struktur kann Modellcharakter für diese Art von Forschungsinfrastruktur entwickeln.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland. Das Vorhaben besitzt außergewöhnliches Potenzial und höchste Relevanz für Deutschland. Es wird Deutschlands führende Position in biomedizinischer Optik und Bildgebung weiter verstärken. Die Implementierung von GEBI ist von großer Dringlichkeit.

Wissenschaftliches Potenzial

Biomedizinische Bildgebungstechnologien spielen in der Biologie und Medizin eine zunehmend wichtige Rolle. So ist die nichtinvasive Begutachtung biologischer und medizinischer Proben, von der molekularen Ebene bis hin zur Organ- und Systemebene, bei der Untersuchung einer breiten Spanne von biologischen Prozessen und medizinischen Fragestellungen ein unabdingbares Instrument geworden. Biologinnen und Biologen versuchen inzwischen, nicht nur den molekularen Aufbau und die chemischen Reaktionen zu verstehen, sondern auch den funktionalen Kontext zu durchleuchten, in dem die Moleküle im Zusammenspiel die Grundlagen von biologischen Prozessen bzw. von Krankheiten darstellen. Deutschland hat für einige Aspekte der Visualisierung der molekularen Grundlagen von Erkrankungen des Menschen in Zellen und Geweben einen maßgeblichen Beitrag geleistet, aber dennoch gibt es weiterhin einen erheblichen Nachholbedarf bei der klinischen Bildgebung von Krankheiten. Auch wenn die räumliche Auflösung der MRT an die der biologischen Bildgebung heranreicht, bleibt sie im Hinblick auf die zeitliche Auflösung deutlich zurück. Es gibt viele weitere Brückentechnologien im Bereich mittlerer Auflösung, die im Rest der Welt stärker entwickelt sind. Viele dieser neuen Technologien sind sehr teuer und erfordern sehr spezielle Expertise. Deshalb scheint es begrüßenswert, Forschungsinfrastrukturen zu entwickeln, die einen breiten Zugang zu diesen Technologien und Verfahren ermöglichen.

Die vorgeschlagene deutsche Bildgebungsinfrastruktur GEBI deckt einen dringenden Bedarf in den Lebenswissenschaften. Zudem kann sie die treibende Kraft für neue Generationen von noch besseren biomedizinischen Bildgebungs-

technologien werden. GEBI will die Integration biologischer Informationen in medizinische Lösungen unter Verwendung bildgebender Verfahren betreiben. Dies wird als enorme gesellschaftliche Herausforderung für die ganze Welt anerkannt, da die in den letzten Jahrzehnten gesammelte große Menge biologischer Informationen einen nur unbefriedigenden Einfluss auf die medizinische Praxis hatte; durch das Verständnis von biologischen und pathologischen Funktionsprozessen mithilfe bildgebender Verfahren dürfte sich dies ändern. Die genannten Prozesse werden durch das Zusammenspiel von Molekülen, durch zelluläre Mechanismen sowie durch die Wechselwirkungen zwischen Organen und Systemen getrieben und gelenkt. Die modernen Bildgebungstechnologien erlauben die Beobachtung all dieser Aspekte vom Nanometerbereich hin zum gesamten Körper. Damit besitzt die Infrastruktur das Potenzial zur Entwicklung neuartiger Diagnoseinstrumente und Behandlungsmethoden, die sich auf eine sehr große Anzahl von medizinischen Problemen auswirken werden. Die verteilte Forschungsinfrastruktur für molekulare Bildgebung ist von entscheidender Bedeutung, um eine große Bandbreite krankheitsrelevanter Prozesse aufzuklären z. B. bei Krebs, Herzkrankheiten, Alzheimer und Diabetes.

GEBI ist in Europa einzigartig. Zu den komplementären Forschungsinfrastrukturen gehören die europäische Bildgebungseinrichtung ALMF (*Advanced Light Microscopy Facility*), die australische Einrichtung AMMRF (*Australian Microscopy & Microanalysis Research Facility*) sowie die beiden US-amerikanischen Einrichtungen ICMICs (*In vivo Cellular and Molecular Imaging Centers*, NIH) und SAIRP (*Small Animal Imaging Resource Programs*, NIH). |⁴²

Kooperationen deutscher Institute mit anderen Einrichtungen andernorts existieren bereits; es ist vorgesehen, derartige Synergien zwischen den beteiligten Institutionen und anderen zu stärken. Es bestehen bereits Infrastrukturen in kleinerem Maßstab, z. B. das deutsche BioImaging-Netzwerk an der Universität Konstanz. Die vorgeschlagene Infrastruktur wird alle diese Zentren zusammenfassen und als zentrale Anlaufstelle für Endnutzerinnen und -nutzer aus den Lebenswissenschaften zur Verfügung stehen.

Nutzung

GEBI wird vielen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern an Institutionen ohne große zentrale Serviceeinrichtungen den Zugang zu modernen Bildgebungseinrichtungen erleichtern. Die Nutzerinnen und Nutzer werden voraussichtlich aus allen Feldern der Biowissenschaften und der Medizin sowie aus benachbarten Disziplinen kommen, sowie aus allen großen deutschen For-

|⁴² Weitere Details siehe Anhang 2.7.

schungsinstitutionen, von allen Stufen der wissenschaftlichen Karriereleiter, aus internationalen Forschungsinstituten und der Industrie.

Die Infrastruktur ist eine vielseitige einsetzbare Plattform, die neue wissenschaftliche Felder in den Lebenswissenschaften und der Medizin erschließt und einem erweiterten Nutzerkreis aus Grundlagenwissenschaften, angewandter Medizin und Industrie zur Verfügung steht. Die beteiligten Institutionen gehen davon aus, dass über 75 % aller lebenswissenschaftlichen Forschungsgruppen Bildgebungstechnologien regelmäßig anwenden würden, wenn sie hinreichenden Zugang zu den Instrumenten und der zu ihrer Nutzung erforderliche Expertise hätten. Mit den vorliegenden Informationen ist es jedoch nicht möglich zu beurteilen, ob die berechnete Kapazität dem Bedarf angemessen ist.

Führende Unternehmen in diesem Feld haben starkes Interesse an einem Ausbau der bestehenden Zusammenarbeit mit den Konzeptverantwortlichen signalisiert und erklärt, die geplante Forschungsinfrastruktur mit der Bereitstellung von Geräten, bei der Durchführung von Schulungsmaßnahmen und bei der Weiterentwicklung ausgewählter Knoten zu Technologie-Versuchseinrichtungen zu unterstützen. Es wird angenommen, dass etwa 10 % der Nutzerinnen und Nutzer der GEBI-Knoten aus der Industrie kommen werden.

Die Anwendung von fortschrittlichen medizinischen Bildgebungstechnologien im Labor oder in der Klinik kann problematisch sein, wenn diese Bildgebungstechnologie sich an bestimmten nationalen Standorten befindet. Denn die Stärken der Bildgebung liegen oftmals in den wiederholten und serienmäßig durchgeführten Messungen an lebenden (Klein-)Tieren oder Menschen. Zur Lösung dieses Problems sollte die Einbeziehung zusätzlicher Partner in das Netzwerk in Betracht gezogen werden, um so einen verbesserten Zugang zu Standorten mit molekularer und medizinischer Bildgebung zu ermöglichen.

GEBI hat sich zum Ziel gesetzt, sowohl Nutzerinnen und Nutzer als auch das Management der Einrichtung und das technische Personal zu schulen und ein gemeinsames Forum zu etablieren, um so die Nutzung der bestehenden Infrastruktur bzw. einzelner Einrichtungen von einer rein internen Anwendung auch auf externe Nutzerinnen und Nutzer auszuweiten. Diese Koordinierung wird sicher dazu beitragen, dass der Schulungsbedarf der jeweiligen Einrichtung so effizient wie möglich durchgeführt wird.

Das Zugangsverfahren ist fair, transparent und qualitätsgesichert und orientiert sich an wissenschaftlichen Leistungen und technischer Machbarkeit der an der Forschungsinfrastruktur durchzuführenden Projekte.

Die Forschungsinfrastruktur wird entweder Dienstleistungen im Bereich Bildgebung anbieten oder die Nutzerinnen und Nutzer entsprechend schulen, damit diese die Experimente selbst durchführen können. Die Mitarbeiter- und Nutzer-schulung in den Bildgebungstechnologien stellt dabei ein zentrales Element der

vorgeschlagenen Forschungsinfrastruktur dar. Ein Schulungsplan, der die nötige Kompetenz zur Nutzung der Einrichtungen vermittelt, ist bereits vorhanden. Das Schulungsprogramm ist insgesamt überzeugend und hochwertig.

Umsetzbarkeit

Die einzelnen Zentren, die den *hub* und die Knoten dieser Forschungsinfrastruktur bilden, sind sehr gut entwickelt. Die meisten arbeiten seit Jahren in dem Bereich der biomedizinischen Bildgebung und bieten entsprechende Dienstleistungen für Nutzergruppen vor Ort an. Die Zusammenführung all dieser Gruppen in einer Dachorganisation ist eine neuartige Idee und wurde bisher nicht umgesetzt.

Bildgebungstechnologien, die dem neuesten Stand der Technik entsprechen, sind bereits vorhanden; es werden keine neuen technischen Innovationen zur Umsetzung dieser Forschungsinfrastruktur in Deutschland benötigt. Die vorhandenen Technologien reichen aus, um neuartige Forschung in den Lebenswissenschaften und der Medizin anzustoßen. Ein weiterer wichtiger Aspekt der vorgeschlagenen Infrastruktur ist es auch, dafür zu sorgen, dass neue Technologien rechtzeitig identifiziert werden und technische Innovation stattfindet. Dabei hebt das Vorhaben eine Strategie hervor, mit der Wissenschaft und Industrie in einem Innovationszyklusmodell verbunden werden.

Vorstudien im Zusammenhang mit Euro-BioImaging zur Prüfung der operativen Umsetzbarkeit sind solide und gut belegt. Da die zugrundeliegenden Bildgebungstechnologien bereits entwickelt, verwendet und verifiziert wurden, sind Vorstudien zur technischen Machbarkeit bzw. zur technischen Umsetzung nicht nötig.

Geeignete E-Infrastrukturen für die Komprimierung, Speicherung, Übertragung und Analyse von Daten haben sich zu einem entscheidenden Punkt für die Unterstützung der Bildgebungstechnologien in den Lebenswissenschaften entwickelt. Die erforderliche E-Infrastruktur einschließlich der Methoden und Werkzeuge der Bioinformatik sind wesentliche Bestandteile der Infrastruktur, um so zukünftige Nutzerinnen und Nutzer optimal bei der Speicherung und Analyse ihrer Daten zu unterstützen. Dies schließt die vor Ort bei den Knoten benötigten Infrastrukturen sowie zentral bereitgestellte Computing- und Datenhaltungsdienstleistungen bei den deutschen Trägerinstitutionen, die als *hub* fungieren, ein. Diese IT-Infrastrukturen sind mit entsprechenden laufenden Vorhaben auf europäischer Ebene verbunden. So wird der deutsche *hub* beispielsweise eng mit ELIXIR zusammenarbeiten, der europäischen lebenswissenschaftlichen Infrastruktur für biologische Informationen, und dabei von Syner-

gien profitieren können. |⁴³ Eine umfassende Integration all dieser elektronischen Ressourcen und die Einbeziehung neuer Cloud-Computing-Technologien werden für den Erfolg von GEBI von entscheidender Bedeutung sein.

Bei den beteiligten Einrichtungen handelt es sich durchweg um etablierte Zentren im Bereich biologischer und medizinischer Bildgebung, die bereits heute Dienstleistungen und Unterstützung für externe Nutzerinnen und Nutzer anbieten. Damit sind die relevanten Strukturen, – neben den Bildgebungsplattformen der Einrichtungen auch die Verwaltung und das kompetente wissenschaftliche Personal – zum Betrieb der Geräte vorhanden. Aus den *letters of support* der beteiligten Einrichtungen sowie aus den im Konzept dargelegten Details geht hervor, dass die Einrichtungen ein substantielles Interesse daran haben, Teil der deutschen Forschungsinfrastruktur zu werden.

Das Vorhaben selbst stellt ein Infrastrukturmodell dar und setzt gleichzeitig auf die Verfügbarkeit von hochmoderner Technologie an den Knoten, wo Dienstleistungen im Bereich biomedizinischer Bildgebung angeboten werden sollen. Dabei werden in dem Konzept große Summen für eine Aufrüstung der Einrichtungen und der Instrumente gefordert. Die Frage der Nachhaltigkeit nach der ersten Finanzierungsrunde muss noch beantwortet werden.

Angesichts der Tatsache, dass an der vorgeschlagenen Forschungsinfrastruktur eine Vielzahl eigenständiger Universitäten und Forschungszentren beteiligt ist, hängt der Erfolg dieses Netzwerks stark von einer geeigneten Verwaltungsstruktur und einem guten Governance-Konzept ab. So wird die richtige Governance-Struktur dafür sorgen, dass die Infrastruktur deutlich mehr als lediglich die Summe ihrer Teile ist (hier also die einzelnen Organisationen, die den *hub* und die Knoten darstellen). Vor dem Hintergrund der Philosophie dieses Hybridmodells ist die geplante Struktur sehr geeignet: Die Leiterinnen und Leiter der Knoten sind involviert und die Unabhängigkeit des *hub* wird durch den Exekutivausschuss gewahrt.

Allen beteiligten Institutionen – dem *hub* und den Knoten – stehen in ihren Forschungsfeldern führende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bzw. Ingenieurinnen und Ingenieure vor. Die wissenschaftliche und technische Expertise der beteiligten Einrichtungen ist exzellent. Das Vorhaben kann unmittelbar umgesetzt werden.

| ⁴³ Weitere Informationen zu ELIXIR (*European life-science infrastructure for biological information*) finden sich im Anhang 2.7.

Das Konzept konzentriert sich auf die Stärken der deutschen Forschungslandschaft: verschiedene optische Techniken (Mikroskopie), Hochfeld-MRT- und MR-PET-Bildgebung sowie translationale Nuklearmedizin. Umfangreiche Investitionen in die Aufrüstung und den Ausbau dieser Bereiche sowie deren Bereitstellung für in- und ausländische Forschende aus den Lebenswissenschaften und der medizinischen Forschung werden für die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und die Gewinnung neuer Fachkräfte (*brain gain*) entscheidend sein. Eine Stärkung der wissenschaftlichen Bildgebung in Bereichen, in denen Deutschland auf eine lange Tradition zurückblickt und in denen es bereits eine weltweit führende Rolle einnimmt, wird dazu beitragen, die Sichtbarkeit Deutschlands als Wissenschaftsstandort zu wahren und zu verstärken. GEBI bringt alle Voraussetzungen mit, um das Instrument zu werden, mit dem Deutschland seine Führungsrolle in biomedizinischer Optik und Bildgebungstechnologie verteidigen und ausbauen kann.

Das Infrastrukturvorhaben soll dazu beitragen, die Zersplitterung der bestehenden Infrastruktur zu überwinden, die derzeit aus einzelnen unabhängigen Institutionen besteht, die Dienstleistungen auf unkoordinierte Weise anbieten. Gegenwärtig gibt es keine konkurrierende Infrastruktur in Deutschland, aber andere Länder in Europa haben mit dem Aufbau derartiger Infrastrukturen begonnen mit dem Ziel, diese in die europaweite Euro-BioImaging-Struktur zu integrieren. Mit der vorgeschlagenen Infrastruktur wird Deutschland in die Lage versetzt, eine wichtige Rolle bei den europaweiten und weltweiten Vorhaben im Bereich Bildgebung zu spielen. Durch die Konzentration auf optische und MRT-Bildgebungstechnologien – zwei traditionell starke Bereiche der deutschen Forschung – setzt sich GEBI eindeutig realistische und angemessene Ziele. Der Aufbau von Bildgebungsinfrastrukturen auf dem neuesten Stand der Technik ist in Europa ohne einen deutschen Beitrag in diesen entscheidenden Bereichen nicht machbar. Bei mangelnder Unterstützung würde Deutschland einen strategischen Nachteil in Europa erleiden und seine führende Stellung bei der Entwicklung und Anwendung sowie Vermarktung von Bildgebungstechnologien nur schwer halten können. Zudem würde Deutschland eine hohe Zahl von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern an diejenigen Länder verlieren (*brain drain*), die bereits an dem Aufbau einer großen neuen Bildgebungsinfrastruktur arbeiten. Wenn GEBI nicht unterstützt wird, besteht die Gefahr, dass Deutschland einen Wettbewerbsvorteil in den Lebenswissenschaften verliert.

Schulungen sind ein wesentlicher Beitrag des Vorhabens, um wissenschaftlichen Nachwuchs in Deutschland auszubilden. Dies soll durch qualitativ hochwertige Trainingsprogramme für das Personal und die Nutzerschaft realisiert werden. Zudem soll der Zugang zu hochmodernen Bildgebungstechnologien nicht nur Forschenden im Bereich der Bildgebung sondern auch der Biowissen-

schaften und der Medizin gewährt werden. Die Nutzung der Einrichtungen ist auch für die Ausbildung von Studierenden notwendig, die an vielen Bildgebungsstudien beteiligt sind. Diese neue Generation von Forscherinnen und Forschern sowie Ingenieurinnen und Ingenieuren wird eine klare Vorstellung davon haben, was die wichtigen Fragen in den Lebens- und Gesundheitswissenschaften sind. Sie werden technologische Fortschritte vorantreiben.

Gesamtbewertung

Die biologische und medizinische Bildgebung hat eine lange Tradition in Deutschland, und deutsche Universitäten und Forschungsinstitute sind international bekannt für ihre Expertise in diesen Bereichen. Dies gilt insbesondere für Teildisziplinen der biomedizinischen Optik und Bildgebung, in denen deutsche Forscherinnen und Forscher wesentlich zum wissenschaftlichen Fortschritt beigetragen haben und eine Führungsrolle bei wissenschaftlichen und technologischen Innovationen einnehmen. Mit diesen Errungenschaften können biologische Systeme auf eine völlig neue und faszinierende Art und Weise untersucht werden, was zweifelsohne neue große Entdeckungen hervorbringen wird; diese wiederum werden zu einem besseren Verständnis der molekularen und zellulären Grundlagen vieler Krankheiten führen.

Dieses Forschungsinfrastrukturkonzept stützt sich auf die bestehende und einzigartige Expertise der teilnehmenden exzellenten wissenschaftlichen Zentren. So werden in dem Konzept auch die bestehenden, sich auf dem neuesten Stand der Technik befindenden biologischen und medizinischen Bildgebungsplattformen als Stärken ins Feld geführt; es wird die Absicht verfolgt, diese Ressourcen gemeinsam zu nutzen, für Schulungszwecke zu verwenden und weiter auszubauen sowie neue Fähigkeiten strategisch zu entwickeln und die Netzwerkarbeit zu verstärken.

GEBI stellt eine vielseitig einsetzbare Plattform dar, die auf eine Vielzahl von biologischen und medizinischen Anwendungen zugeschnitten ist und ein breites Spektrum an Nutzerinnen und Nutzern bedient. Das Zugangsverfahren ist transparent, fair und qualitätsgesichert.

Das Vorhaben ist ausgereift und die Konzeptverantwortlichen haben bereits damit begonnen, geschlossen und strategisch zusammenzuarbeiten. Zur Umsetzung von GEBI sind keine neuen technischen Innovationen erforderlich. Die Einrichtung einer geeigneten E-Infrastruktur ist eine zentrale Herausforderung für die vorgeschlagene Infrastruktur. Die Governance-Struktur überzeugt durch klar verteilte Befugnisse und Verantwortlichkeiten. Die gewählte *hub-and-node*-Struktur – ein koordinierender *hub* und verschiedene Knoten – kann zu einem Modell für diese Art von Forschungsinfrastruktur werden. Aus verschiedenen *letters of support* geht das große Engagement der beteiligten Institutionen hervor.

Das Vorhaben zeichnet sich durch außergewöhnliches Potenzial aus und besitzt für Deutschland höchste Relevanz. Es wird Deutschlands führende Position in den optischen Technologien und der biomedizinischen Bildgebung weiter verstärken. Die Implementierung von GEBI als wichtigem Teil von Euro-BioImaging ist für Deutschland von großer Dringlichkeit. So ist davon auszugehen, dass die Infrastruktur viele neue Entdeckungen sowie die Entwicklung neuartiger Bildgebungstechnologien ermöglichen wird, die sich unmittelbar auf wichtige gesellschaftliche Themen im Bereich des Gesundheitswesens auswirken werden. Zudem besitzt die Infrastruktur ein erhebliches Potenzial zur Stärkung der Gesundheitsbranche und damit verbundener technologischer Bereiche wie der Biooptik. Dies kann zu einem bedeutsamen wirtschaftlichen Nutzen für Deutschland führen.

III.4 Integrated Structural Biology Infrastructure (INSTRUCT)

III.4.a Kurzbeschreibung von INSTRUCT

Zu den zukünftigen Herausforderungen in der Strukturbio­logie zählt die Entwicklung eines stärker integrativen Verständnisses von biologischen Systemen, das über die Ebene der atomaren Struktur von Molekülen und Organellen hinausgeht. INSTRUCT hat es sich zum Ziel gesetzt, eine Brücke zwischen den klassischen hochauflösenden Methoden der Strukturbio­logie, der Zellbiologie und dem entstehenden Feld der Systembiologie zu schlagen. |⁴⁴ INSTRUCT will die Nutzung von Europas besten Forschungsinfrastrukturen in dem Bereich der Strukturfor­schung optimieren, um weiterhin an der Spitze der Entwicklung zu stehen. Institutionen der bedeutendsten europäischen Forschungseinrichtungen haben sich dem Vorhaben angeschlossen und gewährleisten damit, dass die europäische Strukturbio­logie Zugang zu hochmodernen Geräten hat. Das Vorhaben gilt als zentrales Element bei der Integration regionaler Stärken in das gesamteuropäische Forschungspotenzial.

Jedes INSTRUCT-Zentrum wird externen Nutzerinnen und Nutzern Zugang zu mindestens 20 % seiner gesamten Infrastrukturkapazität gewähren. Die Forschungsinfrastruktur steht Nutzergruppen aus denjenigen Ländern offen, die sich an INSTRUCT beteiligen und einen Jahresbeitrag in Höhe von 50 Tsd. Euro für die ersten beiden Jahre entrichtet haben. Der Zugang zu der Infrastruktur wird über einen Bewerbungsprozess geregelt werden. Während der dreijährigen Vorbereitungsphase von INSTRUCT (2008 bis 2011) wurde ein Online-System für das Einreichen von Forschungsanträgen eingerichtet, zudem wurden Vorstu-

|⁴⁴ Näheres zum europäischen Projekt INSTRUCT vgl. ESFRI: *Strategy Report on Research Infrastructures*. Roadmap 2010, Luxemburg 2011, S. 60.

dien erstellt und Machbarkeitsstudien durchgeführt. Weiterhin wurden ein Business-Plan und ein Finanzierungskonzept erarbeitet. Seit April 2011 befindet sich INSTRUCT in der Konstruktionsphase, an die sich die Betriebsphase anschließt. Die deutschen Partner haben gemeinsam ein *memorandum of understanding* unterzeichnet, um die Beteiligung an INSTRUCT ab 2012 zu ermöglichen; auch haben sich die Partner bereiterklärt, die Gebühren für den Zeitraum bis März 2013 zu zahlen, um das betriebsfähige Fortbestehen von INSTRUCT zu gewährleisten.

Deutschland ist in INSTRUCT stark vertreten, nämlich durch drei der insgesamt sieben Kernzentren sowie durch zwei assoziierte Zentren. Bei den Kernzentren handelt es sich um das Max-Planck-Institut (MPI) für Biochemie in Martinsried, das MPI für Biophysik in Frankfurt/Main, die Goethe-Universität Frankfurt, das *European Molecular Biology Laboratory* (EMBL) in Heidelberg und in Hamburg, das Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung in Braunschweig und das Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie in Berlin.

Die Investition für die Umsetzung der Infrastruktur wird auf rund 79 Mio. Euro geschätzt (davon etwa 37 Mio. Euro Investitionskosten und etwa 42 Mio. Euro Betriebskosten für den Zeitraum 2013 bis 2017).

Eine detaillierte Beschreibung des Vorhabens entlang der Bewertungsdimensionen ist im Anhang 1.9 zu finden.

III.4.b Bewertung von INSTRUCT

Zusammenfassung

Wissenschaftliches Potenzial. INSTRUCT verfolgt einen zukunftsweisenden multidimensionalen Ansatz in der Strukturbiologie in Europa. Mithilfe von INSTRUCT werden neue Ebenen des Verständnisses in den Biowissenschaften und der Medizin erreicht und damit Grundlagen unter anderem für neue Wege der gezielten Medikamentenentwicklung geschaffen.

Nutzung. INSTRUCT wird den Zugang zu Hochleistungs-Infrastrukturen für die Lebenswissenschaften eröffnen und deren Nutzung optimieren. Ein bezahlbarer Zugang zu dieser Forschungsinfrastruktur für eine breite Nutzergemeinschaft in Deutschland muss gewährleistet werden.

Umsetzbarkeit. Die beteiligten Institutionen sind weltweit führend auf ihrem Gebiet und bringen alle wissenschaftlichen und technischen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens mit. Entscheidend für den Erfolg wird sein, die vorhandene Erfahrung auf europäischer Ebene in das Projekt einzubeziehen und die einzelnen Aktivitäten unter dem Dach von INSTRUCT zusammenzuführen.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland. Strukturbiologie ist ein Wissenschaftsgebiet, in dem Deutschland traditionell als Wegbereiter fungiert hat und eine internationale Spitzenposition einnimmt. Nationale und internationale Nutzereinrichtungen für die Strukturbiologie, die einen breiten Zugang bereitstellen, müssen gefördert werden, da sie grundlegende *tools* in den Lebenswissenschaften darstellen. Die vorgeschlagene Forschungsinfrastruktur kommt zum richtigen Zeitpunkt.

Wissenschaftliches Potenzial

Die zentrale wissenschaftliche Fragestellung der Strukturbiologie ist in dem INSTRUCT-Vorhaben klar definiert. Es geht darum, dreidimensionale strukturelle Informationen zu zellulären Prozessen im Rahmen eines multidimensionalen Ansatzes – von der Auflösung auf atomarer Ebene (Röntgenstrahlen, Kernspinresonanz) über die molekulare Ebene (Elektronenmikroskopie) bis hin zur zellulären Ebene (Lichtmikroskopie, Elektronentomographie) – zu erhalten und dies vorzugsweise sogar in hoher zeitlicher Auflösung. Die größte Herausforderung dabei wird sein, die verschiedenen Größenskalen zu überbrücken und die mit den diversen Verfahren erhaltenen Informationen zueinander in Beziehung zu setzen, besonders wenn diese Verfahren in verschiedenen Maßstäben bei einer Zelle oder einem Organismus angewandt wurden. INSTRUCT strebt eine Kombination von *state-of-the-art*-Techniken an, um eine derartige Verbindung verschiedener Analyseskalen durch die Etablierung einer optimal abgestimmten (inter-)nationalen Infrastruktur erreichen zu können.

Ergebnisse, die aus Studien im Rahmen von INSTRUCT abgeleitet werden, haben das Potenzial, unser Wissen über elementare Komponenten von Zelle und Organismus erheblich zu erweitern, und damit die Grundlage für ein ursächliches Verständnis von Gesundheit und Erkrankungen des Menschen zu liefern. Der Ansatz von INSTRUCT ist hochspezifisch und beruht auf exzellenter Expertise im Bereich der Strukturbiologie. Er ist darauf ausgerichtet, biologisch wichtige Zielmoleküle (*targets*) mit verschiedenen Auflösungen zu entschlüsseln. Die in diesem Ansatz verwendeten Methoden decken eine enorme Bandbreite an Auflösungen ab. Dieses Vorgehen ist notwendig, um die analysierten Prozesse zu verstehen und sie in den Kontext übergeordneter Strukturen wie der Zelle einordnen zu können. Allerdings ist nicht ganz klar, wie die verschiedenen Ansätze in technischer und konzeptioneller Hinsicht zusammengeführt werden sollen. Zur Überbrückung der verschiedenen Größenskalen wird eine Einbeziehung von Ansätzen und Aspekten der molekularen Dynamik empfohlen.

Die Forschungsinfrastruktur INSTRUCT ist nicht nur für die Strukturbiologie, sondern in einem weiteren Sinne für praktisch jeden Aspekt der Lebenswissenschaften von grundlegender Bedeutung. Denn die Identifizierung und Analyse

molekularer Strukturen ist eine wichtige Voraussetzung dafür, um molekulare und zelluläre Funktionen zu verstehen, diese Prozesse rational zu beeinflussen und Strategien für eine kontrollierte Intervention bei pathologischen Veränderungen abzuleiten. Weiterhin ist die Forschungsinfrastruktur essenziell für die Biochemie. Entwicklungen in dem Bereich Proteinexpression und zellfreie Biosynthese werden die Analyse von Zielmolekülen ermöglichen, die bisher nicht zugänglich waren. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Wirkstoffentwicklung: Sobald mithilfe dieser Infrastruktur neue Strukturen zugänglich sind, können diese für die strukturbasierte Wirkstoffentwicklung zielgerichtet eingesetzt werden.

Die Strukturbiologie spielt seit vielen Jahren eine wichtige Rolle in Deutschland. INSTRUMENT stellt eine überzeugende Fortführung dieser Anstrengungen im Bereich Strukturbiologie dar, allerdings auf einer höheren Ebene und mit stärkerem Zugang für die externen Nutzerinnen und Nutzer. Bei isolierter Betrachtung jeder beteiligten Institution ist die INSTRUMENT-Forschungsinfrastruktur zwar nicht einzigartig. Durch die Kombination der verschiedenen Zentren mit ihren jeweiligen Technologien jedoch kann ein einzigartiges Maß an Synergieeffekten erreicht werden. Im Vergleich zu bestehenden Infrastrukturen kann die neue Infrastruktur bei der Beseitigung von Engpässen helfen, die Forschende ohne eigene strukturbiologische Ausstattung bislang beim Zugang zu den erforderlichen Apparaturen erfahren. Zur Bewältigung zukünftiger Herausforderungen sollte die Prozesskette von der Proteinherstellung zur Untersuchung mittels Kernspinresonanz/Röntgenstrahlen sowie zur In-situ-Analyse in Deutschland weiter gestärkt werden. In einer Fortschreibung dieses Konzepts ist es deshalb wesentlich, die Strategien weiter auszuführen, mit denen die verschiedenen Ansätze und die verteilte Expertise zusammengeführt werden sollen, um so höchstmögliche Synergieeffekte unter den beteiligten Institutionen zu erzielen.

In Europa gibt es nur wenige ähnlich gelagerte Initiativen. Lediglich zwei, die gesamteuropäische Initiative *Bio Nuclear Magnetic Resonance* (Bio-NMR) und das französische *Centre de Résonance Magnétique Nucléaire À Très Hauts Champs* (CRMN), stehen dabei tatsächlich in Konkurrenz zu dem Forschungsinfrastrukturvorhaben INSTRUMENT, insbesondere hinsichtlich der Kernspinresonanz (NMR). |⁴⁵

Nutzung

INSTRUMENT fördert den Zugang zu kostspieligen Einrichtungen auf dem neuesten Stand der Technik. So wird das Vorhaben externen Nutzerinnen und Nut-

| ⁴⁵ Weitere Informationen siehe Anhang 2.8.

zern die Durchführung von Forschungsprojekten erlauben, die andernfalls zum Beispiel aufgrund der hohen Gerätekosten nicht möglich sein würden, und führt damit potenziell zu wichtigen Fortschritten in diesem Bereich.

Die Strukturen von makromolekularen Komplexen und Membranproteinen sind die wirksamsten Zielmoleküle der Strukturbio­logie, die ganz besonders gefragt sind. Die Analyse ganzer Zellen mithilfe der Kryo-Elektronentomographie steht zwar noch ganz am Anfang, besitzt aber ein enormes Potenzial. Die entsprechende *community* aus Wissenschaft und Industrie hat eine angemessene Größe erreicht, um INSTRUCT umfassend zu nutzen.

Die Bereitstellung dieser Ressourcen für die große *community* der Strukturbio­logen (nach dem Beispiel der *beamlines* an Synchrotronen) wird auch für die Betreiber der Infrastruktur gewinnbringend sein, in dem die zusätzlichen Forschungsaktivitäten einen wesentlichen Beitrag zu ihrem wissenschaftlichen Profil leisten werden. Die Forschungsinfrastruktur wird, ähnlich wie die bestehende Infrastruktur im Bereich der Synchrotronstrahlung, eine nationale Führungsrolle einnehmen. Dies kann allerdings nur erreicht werden, wenn der Zugang auch für individuelle, kleinere Gruppen unkompliziert und kosteneffizient gestaltet wird. Innerhalb des integrativen Gesamtkonzepts wird entscheidend sein, dass der Zugang zu der Infrastruktur einem breiten Spektrum von Nutzerinnen und Nutzern mit komplementären wissenschaftlichen Themen gewährt wird.

Die Nutzung der Forschungsinfrastruktur, wie in dem Konzept dargelegt, scheint insgesamt gut geregelt. Es bestehen allerdings Bedenken hinsichtlich des Zugangsverfahrens, das durch ein übergeordnetes Prinzip innerhalb der Infrastruktur geregelt werden sollte, um so rechtzeitige und abgestimmte Entscheidungen zu treffen. Besonderes Augenmerk sollte auf klaren und transparenten Zugangsverfahren liegen, die in der kürzest möglichen Zeit bearbeitet werden und ein konstruktives Feedback für die potenziellen Nutzerinnen und Nutzer enthalten sollten. Die mit öffentlichen Mitteln geförderte Forschungsinfrastruktur sollte der breiten Nutzergemeinschaft voll und ganz zugänglich gemacht werden, wobei den Trägereinrichtungen die gleichen Zugangsrechte wie den externen Nutzerinnen und Nutzern zustehen sollten.

Das Governance-Konzept scheint insgesamt angemessen zu sein. Allerdings sollten die Instrumente als gemeinsame Einrichtungen aufgebaut und genutzt werden. So werden die meisten Nutzerinnen und Nutzer in hohem Maße auf ihre eigenen kleineren Geräte (Kernspinresonanz, Mikroskope, Röntgenquellen) angewiesen sein, um die in der Forschungsinfrastruktureinrichtung zu untersuchenden Proben vorzubereiten und zu optimieren. Deshalb ist auch eine angemessene Finanzierung der lokalen Gruppen und Initiativen sicherzustellen. Aus demselben Grund ist es ersichtlich, dass eine umfangreiche Forschungsinf-

rastruktur diese Einrichtungen nicht ersetzen kann. Vielmehr ergänzen und verstärken zentrale Infrastrukturen und lokale Aktivitäten sich gegenseitig.

INSTRUCT wird den Zugang zu hochmodernen Infrastrukturen ermöglichen und deren Nutzung durch Lebenswissenschaftlerinnen und Lebenswissenschaftler optimieren. Eine Nutzung wird jedoch nicht ohne fachliche Unterstützung erfolgen können. Dies gilt umso mehr, als das Konzept eine ganze Reihe von Technologien abdeckt, für die jeweils gründliche Fachkenntnisse und Anwendungserfahrung erforderlich sind. Umfassende Schulungen und Betreuung bei der Bedienung der Geräte werden deshalb notwendig sein. Die Durchführbarkeit und das erforderliche Wissen werden jeweils gesondert auf Basis des einzelnen Projekts für jedes Instrument und jede Infrastruktur zu bewerten sein. Aus diesem Grund ist es unerlässlich, das Personal an den verschiedenen Institutionen mit der nötigen Expertise auszustatten und regelmäßige Schulungsprogramme zu etablieren. Die Zentren haben geeignete Pläne dargelegt, mit denen Fachwissen vor Ort bereitgestellt werden soll, um so eine sinnvolle Erhebung und Auswertung von Daten zu gewährleisten. Auch bei dem Aufbau gemeinsamer Einrichtungen kann die Infrastruktur für *beamlines* an Synchrotronen wiederum als Vorbild dienen.

Insgesamt erfüllt diese Forschungsinfrastruktur zwei Funktionen: Zum einen werden zusätzlich zu bereits bestehenden Kursen Schulungen angeboten, wodurch sichergestellt wird, dass wissenschaftlicher Nachwuchs das Feld der Strukturbiologie entdeckt. Zum anderen werden Instrumente, die sowohl bei ihrer Anschaffung als auch bei ihrer Wartung mit hohen Kosten verbunden sind, kleineren Gruppen oder Nachwuchsforschergruppen zugänglich gemacht. Somit können die genannten Gruppen Projekte bearbeiten, die ohne diesen Zugang nicht möglich wären. Das setzt voraus, dass die Infrastruktur Nutzerinnen und Nutzern aus unterschiedlichen Wissenschaftsgebieten offen steht und dass die Schulungen gut organisiert sind. Forschung und Schulung werden für den wissenschaftlichen Nachwuchs, der dank seiner Arbeit in zahlreichen Kleinlaboren in Deutschland bereits über ein exzellentes Hintergrundwissen im Bereich der Strukturbiologie verfügt, äußerst förderlich sein.

Umsetzbarkeit

Bei INSTRUCT handelt es sich um ein sehr ausgereiftes Projekt. Die Trägerinstitutionen verfügen über die bestmögliche Expertise, um Forschung auf höchstem Niveau zu gewährleisten. Die Apparaturen, vor allem auch die der Bildgebung, werden in bestehenden Exzellenzzentren mit langjähriger Erfahrung installiert, und es bestehen keine größeren Bedenken hinsichtlich der Umsetzung. Einige Aspekte des Konzepts sind allerdings noch näher zu beleuchten, z. B. die gegenwärtige Umsetzung des multidimensionalen Ansatzes unter den deutschen Partnern und das Schulungskonzept auf nationaler Ebene. Wenn die

Prämisse lautet, eine Infrastruktur für die nahtlose Integration von Technologien zu schaffen, die Informationen in unterschiedlichster Auflösung liefern, dann sollten die Vorbereitung und Charakterisierung von Proben ein integraler Bestandteil dieses Infrastrukturvorhabens sein. Wünschenswert wäre auch eine stärkere Unterstützung der Forschenden bei der Erzeugung und Prüfung von Multiproteinkomplexen für eine strukturelle Charakterisierung. Es ist eine große Stärke der europäischen INSTRUCT-Initiative, dass die Massenspektrometrie-Einrichtungen in Oxford und Utrecht für die Nutzerinnen und Nutzer zugänglich sind.

Der Betrieb der Plattformen sollte durch engagierte und erfahrene Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gewährleistet werden. Aufgrund der vorgesehenen Schulungen und der Wartung der Anlagen wird der Personalbedarf sehr hoch sein. Jede der lokalen Trägerinstitutionen beantragt eine vollständige Forschungsgruppe (drei bis sechs zusätzliche Personen), was der Mitarbeiterausstattung eines typischen Lehrstuhls entspricht. Wenn der Dienstleistungscharakter der Einrichtungen betont werden soll, wären eher weniger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und mehr ausgewiesene (und gut ausgebildete) Fachkräfte sowie Ingenieurinnen und Ingenieure erforderlich. Zusätzlich sollte an eine langfristig angestellte wissenschaftliche Betriebsleitung (*scientific operator*) für jede Einrichtung gedacht werden. Weiterhin werden sowohl die Organisation eines so stark integrierten Ansatzes als auch die Bearbeitung der Anträge und die Zuteilung der Nutzerzeit zeitaufwendig sein. Um die Nutzung der Einrichtungen durch die große Nutzergemeinschaft zu gewährleisten, sollte entsprechendes Personal verfügbar gemacht werden. Die Finanzierung entsprechender Stellen ist für einen erfolgreichen und fortwährenden Betrieb dieser Infrastrukturen folglich als zwingend notwendig zu erachten.

Die Anforderungen an die E-Infrastrukturen sind sehr hoch. Bei allen Projekten wird mit enormen Datenmengen umzugehen sein. Zudem sollte beachtet werden, dass sich die Zentren an verschiedenen Orten befinden und damit ein Datenaustausch erschwert wird. Aus diesem Grund ist eine zuverlässige und gut gewartete elektronische Plattform unerlässlich.

Die Lehre ist zweifellos ein wichtiger Bestandteil einer derartigen Infrastruktur und sollte integraler Bestandteil eines entsprechenden Konzeptes sein. Kurse und Lehrprogramme werden zudem den zusätzlichen Nutzen haben, dass sie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus sehr unterschiedlichen Forschungsbereichen zusammenbringen und damit eine Plattform für eine zukünftige Zusammenarbeit bieten.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Die Strukturbiologie ist traditionell sehr stark in Deutschland. So wurden beispielsweise die ersten Ansätze zur Entschlüsselung der Strukturen von Mem-

branproteinen in Deutschland entwickelt. Die geplante deutsche Führungsrolle in dieser Forschungsinfrastruktur ist sehr angemessen und wichtig, um Deutschland in diesem Wissenschaftsfeld an der Spitze zu halten. INSTRUCT verfolgt eine zukunftsweisende multidimensionale Herangehensweise an die Strukturbiologie in Europa. Mit Ausnahme der korrelativen Mikroskopie ist jedoch nicht klar, wie dieser multidimensionale Ansatz von den verschiedenen deutschen Institutionen unter dem gemeinsamen Dach von INSTRUCT umgesetzt werden soll. Insbesondere ist zu klären, wie der Beitrag der jeweiligen beteiligten Gruppe aussehen wird und wie diese Beiträge integriert werden, um mehrere Ebenen umfassende Projekte zu molekularen Komplexen und zellulären Prozessen zu fördern und zu verfolgen.

Dieser Ansatz hat insgesamt zweifellos das Potenzial zum weiteren Ausbau der deutschen Führungsrolle in der Strukturbiologie. Zu den offensichtlichen Vorteilen von Deutschland als Wissenschaftsstandort gehören die vorhandene ausgezeichnete Ausstattung und die bestehende Grundfinanzierung bei vielen der international wettbewerbsfähigen Zentren, womit eine geeignete infrastrukturelle Grundlage gegeben ist. Ein weiteres Plus ist die Verfügbarkeit von gut ausgebildeten Fachkräften zum Betrieb und zur Wartung hochmoderner Geräte. Dieser Vorteil sollte mittel- und langfristig aufrechterhalten werden, und das Konzept von INSTRUCT kann eindeutig Teil einer solchen Anstrengung sein. INSTRUCT sollte vollständig in andere europäische Infrastrukturvorhaben integriert werden und es sollte deutlich gemacht werden, dass Überschneidungen vermieden werden. Insbesondere in den USA gibt es Bestrebungen, ähnliche Strukturen aufzubauen.

Insgesamt ist die vorgeschlagene Infrastruktur INSTRUCT einzigartig in ihrem Versuch, verschiedene Zentren mit komplementären Techniken zu kombinieren. Wird INSTRUCT erfolgreich umgesetzt, könnte es eine Führungsrolle in der Welt einnehmen.

Gesamtbewertung

Die Strukturbiologie ist ein Wissenschaftsbereich, in dem Deutschland traditionell eine Vorreiterrolle innehat und international an der Spitze steht. Die beteiligten Institutionen sind in ihrem jeweiligen Feld weltweit führend und verfügen über sämtliche wissenschaftliche und technische Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens. Ebenfalls ist klar, dass die technische Entwicklung in diesem Bereich rasant voranschreitet und große Investitionen in die Forschungsinfrastruktur erfordert, wenn diese Führungsrolle und die Integration in die EU-Infrastrukturlandschaft bestehen bleiben sollen. Es müssen nationale und internationale Einrichtungen für die Strukturbiologie mit breitem Zugang für Nutzerinnen und Nutzer finanziert werden – schließlich sind sie

unerlässliche Werkzeuge in den Lebenswissenschaften. Die vorgeschlagene Forschungsinfrastruktur kommt daher zum richtigen Zeitpunkt.

INSTRUCT verfolgt eine zukunftsweisende multidimensionale Herangehensweise an die Strukturbiologie in Europa. Die Integration der deutschen Strukturbiologie ist dabei ein grundlegender und notwendiger Schritt. Mit dem mehrere Ebenen umfassenden Infrastrukturansatz können Synergien zwischen den einzelnen Methoden und Instituten erzeugt werden; es ist anzunehmen, dass dieser Ansatz die Strukturbiologie erheblich voranbringen wird.

Die Integration der bestehenden Erfahrung auf europäischer Ebene in das Vorhaben und die Einbindung der einzelnen Exzellenzzentren unter dem gemeinsamen Dach von INSTRUCT werden für den Erfolg des Vorhabens entscheidend sein. Eine Voraussetzung für den fortwährenden und professionellen Betrieb der Einrichtungen und Instrumente ist langfristig angestelltes Personal; dafür sollte eine angemessene Finanzierung garantiert werden.

Die übergeordnete Governance-Struktur ist nicht vollständig transparent. Insbesondere die Prinzipien für einen koordinierten Zugang zu der Infrastruktur und die Kriterien, die eine dynamische Entwicklung des integrativen Netzwerks ermöglichen (Zugang/Ausschluss von neuen/nicht die Erwartungen erfüllenden Gruppen) bedürfen einer weiteren Erläuterung. Um mehr Zugangsmöglichkeiten zu erreichen und insbesondere um verschiedene Forschungsgruppen zu ermutigen, sollte ein Modell mit einer Koordinierungsstelle und mehreren Zentren (*hub-and-node*-Modell) anvisiert werden. Die Einbindung zusätzlicher Partner sollte in Betracht gezogen werden, Entscheidungen auf europäischer Ebene sollten in Einklang mit nationalen deutschen Interessen getroffen werden, und die zugrunde liegenden Kriterien sollten geklärt werden.

Insgesamt legt INSTRUCT den Schwerpunkt der Infrastrukturentwicklung auf einige wenige Exzellenzzentren in Deutschland. Dies ist aus wissenschaftlichen und technischen Gründen gerechtfertigt, aber es ist unerlässlich, dass einer breit aufgestellten Nutzergemeinschaft in Deutschland ein bezahlbarer Zugang zu dieser Forschungsinfrastruktur garantiert wird. Die Kombination aus *bottom-up*-Forschungsaktivitäten und breitem Zugang zu einer umfangreichen Infrastruktur verspricht einen anhaltenden und synergetischen Erfolg der Strukturbiologie. Der integrierte Ansatz eröffnet neue Möglichkeiten zur Verfolgung von Forschungsprojekten, die ohne eine derartige Großinfrastruktur nicht möglich wären. Dies ist besonders heute wichtig, wo die Entwicklung hin zur Integration einzelner Molekülstrukturen in ihren jeweiligen Zell- und Organismuskontext geht. Der Ansatz wird für eine neue Dimension von Verständnis in den Biowissenschaften und der Medizin sorgen und damit eine fundierte Grundlage für eine neue maßgeschneiderte Wirkstoffentwicklung schaffen. Deshalb ist es essenziell, dass diese Forschungsinfrastruktur angemessen finanziert wird.

Auf der Grundlage der Einzelbewertungen wurden alle Vorhaben in den vier Dimensionen vergleichend bewertet. Um in den Vergleich eintreten zu können, musste als Anforderung ein ausreichendes wissenschaftliches Potenzial erkennbar sein. Im Fall des *Global Earth Monitoring and Validation System* (GEMIS) konnte der wissenschaftliche Ansatz nicht überzeugen, so dass GEMIS nicht in die vergleichende Bewertung einbezogen wurde.

Um die Vorhaben möglichst solide miteinander vergleichen zu können, wurde im Vorfeld ein Leitfaden |⁴⁶ erarbeitet, der die Trägereinrichtungen dazu aufforderte, Fragen zu jeder Dimensionen mit ihren unterschiedlichen Aspekten zu beantworten und dadurch ihr Konzept aus diesen vier Perspektiven detailliert auszuarbeiten. Die vier Bewertungsdimensionen liegen auch den Einzelbewertungen der Forschungsinfrastrukturvorhaben zugrunde. Da sie aber besonders für die vergleichende Bewertung in allen ihren Aspekten betrachtet werden müssen, werden sie an dieser Stelle noch einmal ausführlicher erläutert.

Wissenschaftliches Potenzial ist vorhanden, wenn eine zentrale Fragestellung in dem jeweiligen Forschungsfeld bzw. in den beteiligten Forschungsfeldern mithilfe der Forschungsinfrastruktur angegangen werden kann. Dabei können ganze Forschungsfelder erschlossen und völlig neues Wissen generiert werden. Es können aber auch bestehende Felder weiterentwickelt werden. Bei der Bewertung des Potenzials wird auch berücksichtigt, welche Folgen es für die zu erwartende Genese von Wissen, für die angenommene Entwicklung von Innovationen und für die in Aussicht gestellten neuen Kooperationen hat, sollte die Forschungsinfrastruktur nicht gefördert werden. Ebenfalls zum wissenschaftlichen Potenzial gehört die Frage nach der Breite der Einsatzmöglichkeiten einer Forschungsinfrastruktur im Laufe ihrer Lebensdauer. Forschungsinfrastrukturen können sehr spezifisch mit Blick auf eine wissenschaftliche Fragestellung konzipiert sein. Es kann aber auch die Möglichkeit bestehen, flexibel zum Beispiel auf unvorhergesehene wissenschaftliche Entwicklungen reagieren zu können. Die Einordnung des Forschungsinfrastrukturkonzepts in die Landschaft der bestehenden und geplanten konkurrierenden wie auch komplementären Projekte erlaubt es einzuschätzen, welcher Mehrwert mit dem Vorhaben ver-

| ⁴⁶ Vgl. Wissenschaftsrat: Anlage zum Konzept für eine wissenschaftsgeleitete Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für eine Nationale Roadmap (Pilotphase) (Drs. 1766-11), Köln Dezember 2011, S. 27 ff.

bunden ist und ob es in Deutschland, Europa oder weltweit einzigartig sein wird.

Die Dimension der **Nutzung** einer Forschungsinfrastruktur umfasst zum einen die Größe und Internationalität der Nutzergruppe(n) und das Interesse, auch seitens der Industrie, an der neuen Forschungsinfrastruktur. Zum anderen spielt der Zugang, also Fragen der Zugangskriterien und des Zugangsverfahrens wie auch die Gestaltung von möglichen Nutzungsentgelten, eine Rolle. Entscheidend ist, dass ein transparentes und qualitätsbezogenes Zugangsverfahren entwickelt wird. Ferner müssen die Trägereinrichtungen dafür Sorge tragen, dass die Nutzerinnen und Nutzer über die nötige Kompetenz zur Realisierung ihrer Vorhaben mithilfe der Forschungsinfrastruktur verfügen oder diese erwerben können.

In der dritten Dimension, der **Umsetzbarkeit**, spielen technische, institutionelle und personelle Voraussetzungen eine Rolle. Zu den technischen zählen beispielsweise die Reife der zum Einsatz kommenden Technologien, die Machbarkeitsanalyse und Risikoabschätzung im Rahmen von Vorstudien, die Verfügbarkeit von E-Infrastrukturen für die langfristige Datenhaltung und die multidimensionale Auswertung der Messdaten. Voraussetzungen institutioneller Art sind die wissenschaftliche und administrative Kompetenz sowie die grundsätzliche Unterstützung durch die Trägereinrichtungen. Wesentlich sind hier auch die Governance-Strukturen, die entscheidend für den erfolgreichen Betrieb der Infrastruktureinrichtung sind. Im personellen Bereich sind Strategien zur Rekrutierung von technischem oder technisch-wissenschaftlichem Personal wie auch von wissenschaftlichem Nachwuchs gemeint.

In der **Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland** als vierte Dimension steht über die wissenschaftliche Qualität des Vorhabens hinaus das Interesse Deutschlands als Wissenschaftsstandort im Vordergrund. Gefragt wird nach der Position, die Deutschland in europäischen oder internationalen Vorhaben einnimmt, und danach, ob und wie die Leistungsfähigkeit, die Attraktivität und Sichtbarkeit des Wissenschaftsstandorts Deutschlands für renommierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie für wissenschaftlichen Nachwuchs und für wissenschaftlich-technisches Personal gesteigert werden kann. Diese Dimension kann allein aus einer nationalen Perspektive heraus bewertet werden.

Die gesellschaftspolitische Bedeutung des Vorhabens hingegen ist nicht Gegenstand der wissenschaftsgeleiteten Bewertung. Daher reicht eine gute Bewertung im wissenschaftsgeleiteten Bewertungsprozess nicht aus, um eine Finanzierungsentscheidung zu begründen. Dieser Aspekt spielt im politischen Raum eine wesentliche Rolle.

Nicht alle Aspekte einer Dimension sind für jede der Forschungsinfrastrukturkonzepte von Relevanz. Dazu ist die Vielfalt zu groß. So kann für manche Vorhaben beispielsweise durchaus ein Interesse seitens der Industrie erwartet werden, für andere ist dies, da sie allein erkenntnisorientiert ausgerichtet sind, eher unwahrscheinlich.

Zudem sind bestimmte Aspekte einer Dimension je nach Wissenschaftsgebiet bzw. Forschungsfeld unterschiedlich zu gewichten. Vor diesem Hintergrund ist die differenzierte Bewertung der jeweiligen Dimension auf das Urteil der *peers* angewiesen, um eine angemessene wissenschaftsgebiets- bzw. feldbezogene Einbettung leisten zu können.

Für die vergleichende Bewertung wurde eine Skala von einem bis fünf Sternen zugrunde gelegt, die mit ausreichend, befriedigend, gut, sehr gut und herausragend benannt werden können. Die vergleichende, ausschließlich dimensionsbezogene Bewertung hat zu dem in Tabelle 1 dargestellten Ergebnis geführt.

Tabelle 1: Ergebnis der dimensionsbezogenen vergleichenden Bewertung

Vorhaben	Wissenschaftliches Potenzial	Nutzung	Umsetzbarkeit	Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland
CTA	*****	***	****	*****
EMFL	***	**	*	***
IAGOS	****	****	*****	*****
FRAM	*****	****	****	*****
EPOS	***	****	***	****
EU-OPENSREEN	****	****	****	****
GEBI	****	*****	*****	*****
INSTRUCT	****	***	****	****

Abstufungen in der Vergabe bedeuten in der Regel, dass einzelne Dimensionen, wie z. B. die Umsetzbarkeit des Vorhabens, zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch Entwicklungsbedarf aufweisen. Die Vorhaben können sich also durchaus verbessern, indem sie beispielsweise ihre Governance-Strukturen weiter ausarbeiten. Hinweise zu diesem Entwicklungspotenzial finden sich in den ausführlichen Einzelbewertungen der Vorhaben. Sie enthalten zudem über diesen Aspekt hinausgehende Empfehlungen, die zur Verbesserung der Konzepte beitragen sollen.

Für ein angemessenes Verständnis der tabellarischen Übersicht sind zwei methodologische Hinweise wichtig. Es ist erstens entscheidend zu betonen, dass es sich in jeder Dimension um eine ordinale Reihung handelt, d. h. ein Vorhaben mit vier Sternen ist in der Bewertung besser als ein Vorhaben mit drei Sternen,

wobei die Größe des Unterschieds nicht quantifizierbar ist. Zweitens erfolgt die Bewertung unabhängig in jeder Dimension. Daher ist in der nach Dimensionen getrennten Bewertung eine Reihung anhand einer Summenbildung oder einer Durchschnittsberechnung aus den Dimensionen methodisch nicht gerechtfertigt. Vielmehr bildet die differenzierte Betrachtung zusammen mit der Einschätzung der Reife und der Dringlichkeit des Vorhabens die Grundlage für die politische Priorisierung.

C. Bilanz

Aufbauend auf den Erfahrungen des erfolgreich abgeschlossenen Verfahrens der wissenschaftsgeleiteten Bewertung soll im Folgenden eine Bilanz gezogen werden. Diese benennt zunächst Herausforderungen, die insbesondere während des wissenschaftsgeleiteten Bewertungsverfahrens als spezifisch für umfangreiche Forschungsinfrastrukturen sichtbar geworden sind. Ziel ist es, die über die Einzelbewertungen hinausgehenden im Verfahren gewonnenen Erkenntnisse zu bündeln. Hier sieht der Ausschuss dringenden Analyse- und Handlungsbedarf.

Eine Behandlung dieser übergeordneten Fragen ist aus zwei Gründen dringlich:

- _ Die identifizierten Herausforderungen beeinflussen unmittelbar den Erfolg der einzelnen Forschungsinfrastruktur. Die Art, wie sie bewältigt werden, wirkt sich auf das gesamte Wissenschaftssystem aus. So ist die Frage, wie beispielsweise die Nutzung von zugangslimitierten Forschungsinfrastrukturen geregelt ist, entscheidend für die Realisierung des mit der Forschungsinfrastruktur verbundenen wissenschaftlichen Potenzials, für ihre Rückbindung an die jeweiligen wissenschaftlichen *communities*, aber auch für die Leistungsfähigkeit des Wissenschaftssystems in Deutschland insgesamt.
- _ Auf der Ebene des Roadmap-Prozesses tragen Empfehlungen zur Bewältigung dieser Herausforderungen dazu bei, die Bewertung für die Gutachterinnen und Gutachter eindeutiger sowie für die beteiligten Konzeptverantwortlichen transparenter zu machen. Dies führt zu einer Qualitätssicherung und damit zu einer Verbesserung des Roadmap-Verfahrens in der Zukunft.

Der Wissenschaftsrat behält sich deshalb vor, diese Themenfelder in Zukunft eingehender zu behandeln.

Die wichtigsten, für Forschungsinfrastrukturen spezifischen Herausforderungen beziehen sich auf Aspekte wie Finanzierung (C.III), Datenmanagement (C.IV) sowie Governance (C.V). Ihre Analyse hat angesichts der fortschreitenden Europäisierung und Internationalisierung von Forschungsinfrastrukturen immer in einem nationale und fachliche Grenzen überschreitenden Kontext zu erfolgen.

Hintergrund dieser Analyse ist, dass sich das Feld der Forschungsinfrastrukturen ausdifferenziert hat (vgl. C.I). Das Feld muss daher in seiner ganzen Breite betrachtet werden. Darüber hinaus sollten Forschungsinfrastrukturen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg betrachtet werden. Denn sie durchlaufen unterschiedliche Phasen (vgl. C.II). Der Roadmap-Prozess begleitet nur eine Phase, nämlich die Vorbereitungsphase bis zum Beginn der Realisierung einer Forschungsinfrastruktur. Zunächst soll im Folgenden auf die Ausweitung des Feldes eingegangen werden.

C.I AUSPRÄGUNGEN VON FORSCHUNGSINFRASTRUKTUREN

Dem Roadmap-Prozess liegt, wie eingangs erläutert, ein spezifischer Begriff von Forschungsinfrastruktur zugrunde. Forschungsinfrastrukturen sind demnach umfangreiche Instrumente, Ressourcen oder Serviceeinrichtungen von nationaler strategischer Bedeutung, mit einer langen Lebensdauer, bedeutenden Investitions- bzw. Betriebskosten und einer qualitätsgesteuerten Zugangsregelung (vgl. A.I).

In der aktuellen wissenschaftspolitischen Debatte wird der Begriff vielfach weiter gefasst, was nicht zuletzt mit der Entwicklung neuer Typen von Forschungsinfrastrukturen zusammenhängt. Während zunächst allein Großgeräte wie beispielsweise Beschleuniger oder Forschungsschiffe als Forschungsinfrastrukturen firmierten, umfasst der Begriff heute neben verteilten Forschungsinfrastrukturen insbesondere auch Sammlungen, Datenbanken, E-Infrastrukturen und die sogenannten sozialen Forschungsinfrastrukturen. Die folgende Typologie zeigt die Bandbreite von Forschungsinfrastrukturen.

1 – Instrumente – Zentrale und verteilte Forschungsinfrastrukturen

Zu den Instrumenten zählen zunächst die „klassischen“ Großgeräte wie z. B. Teilchenbeschleuniger, Teleskope und Forschungsschiffe. Sie gehören in das Roadmap-Verfahren, sofern eine Investitionssumme von 15 Mio. Euro überschritten und der Zugang offen ist. Bei einer geringeren Investitionssumme stehen im deutschen Wissenschaftssystem in der Regel andere Förderinstrumente zur Verfügung. |⁴⁷

| ⁴⁷ (1) Großgeräte, die mehr als 200 Tsd. Euro (Universitäten) bzw. 100 Tsd. Euro (Fachhochschulen) bis maximal 5 Mio. Euro an Investitionskosten erfordern, werden entweder vom Land (Großgeräte der Länder (LAGG) nach Art. 143c GG) oder jeweils hälftig von Land und DFG (im Rahmen des Förderprogramms „Forschungsgroßgeräte“ (FUGG) nach Art. 91b GG) finanziert. Die DFG ist für die Begutachtung der Großgeräte zuständig. (2) Bei der Förderung von Großgeräten im Rahmen von Forschungsbauten, deren Investitionssummen unter 5 Mio. Euro liegen, beteiligen sich nach Art. 91b GG Bund und Land jeweils zur Hälfte an der

In den letzten Jahren werden neben den klassischen unilokalen Großgeräten auch Forschungsinfrastrukturkonzepte entwickelt, die auf eine Vielzahl von Instrumenten an unterschiedlichen Orten zurückgreifen, sogenannte verteilte Forschungsinfrastrukturen. Insbesondere in den Biowissenschaften und der Medizin haben sich bestehende Labore zu einer Forschungsinfrastruktur zusammengeschlossen und bilden über das gemeinsame Dach eine Infrastruktur, die wissenschaftliche Fragestellungen in einem abgegrenzten Feld verfolgt, eine einheitliche Governance-Struktur entwickelt und darüber hinaus auch die Nutzung der Infrastruktur zentral regelt. Insofern gehen verteilte Forschungsinfrastrukturen über Netzwerke oder Kooperationen hinaus.

2 – Ressourcen – Informationsinfrastrukturen

Als Ressourcen werden diejenigen Informationsinfrastruktureinrichtungen zusammengefasst, die für Forschung und Lehre relevante Daten, Informationen und Wissensbestände unter systematischen Gesichtspunkten sammeln, pflegen und für eine wissenschaftliche Nutzung zugänglich machen. Dazu gehören insbesondere wissenschaftliche Datensammlungen und Datenbanken, aber auch Archive, Bibliotheken und objektbezogene Sammlungen, seien es natürliche Objekte wie in Herbarien oder seien es kulturell geschaffene Objekte wie Bilder, Filme, Tondokumente – einschließlich ihrer Digitalisate.

Im Unterschied zu den Forschungsinfrastrukturen im Sinne von Großgeräten und verteilten Großgeräte-Zusammenschlüssen ist der Zugang zu Informationsinfrastrukturen in der Regel nicht limitiert, so dass es keiner Priorisierung ihrer Nutzung nach der Qualität der wissenschaftlichen Projekte bedarf. Eine fachgerechte Nutzung ist gleichwohl erforderlich.

3 – Serviceeinrichtungen – Informationstechnische Infrastrukturen

Für die Forschung wird die Unterstützung mittels zentraler informationstechnischer Infrastrukturen, der E-Infrastrukturen, immer wichtiger. Dabei handelt es sich um Hoch- und Höchstleistungsrechner sowie Hochleistungskommunikations- und Rechnernetzverbünde einschließlich der

Finanzierung. Die Begutachtung ist in der Verantwortung des Wissenschaftsrates. (3) Großgeräte mit einer Summe über 5 Mio. Euro werden wie Forschungsbauten behandelt und zunächst durch den Wissenschaftsrat und die DFG begutachtet. In der Regel erreichen diese Geräte nicht den Schwellenwert von 15 Mio. Euro; allein in Einzelfällen können die Investitionskosten auch die Grenze von 15 Mio. Euro überschreiten, wie zum Beispiel im Fall eines NMR-Zentrums. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle handelt es sich in der Regel um Forschungsinfrastrukturen, deren Zugang nicht offen ist, so dass nicht von einer nationalen Bedeutung ausgegangen werden kann.

für sie notwendigen Speichersysteme, Netzwerkverbindungen und Software, die beispielsweise für das *grid computing* oder für die Erfassung und Bearbeitung großer Datenmengen (*big data*) eingesetzt werden. Lokal genutzte persönliche Rechner oder kleinere, lokale Rechenzentren gehören allein schon aufgrund des beschränkten Zugangs nicht in diese Klasse.

Investitionen in Hoch- und Höchstleistungsrechner werden derzeit in Deutschland nicht im Rahmen des Roadmap-Prozesses entschieden. Die Förderung der Hochleistungsrechner erfolgt in einer eigenen Förderlinie im Rahmen des Forschungsbautenprogramms (gem. Art. 91b GG).^{| 48} Für die Höchstleistungsrechner gibt es ein eigenes Verwaltungsabkommen.^{| 49}

4 – Soziale Forschungsinfrastrukturen

Als ein Forschungsinfrastrukturtyp, der insbesondere, aber nicht ausschließlich für die Geistes- und Sozialwissenschaften von Relevanz ist, hat der Wissenschaftsrat die soziale Forschungsinfrastruktur als eigenen Typus beschrieben. Damit sind Begegnungs- und Forschungszentren gemeint, die für den Austausch über oder die Entwicklung von neuen Forschungsfragen geschaffen wurden.^{| 50} Beispiele dafür sind *Institutes for Advanced Study* oder das Mathematische Forschungsinstitut Oberwolfach.

Die hier getroffenen Unterscheidungen von Forschungsinfrastrukturklassen sind idealtypisch zu verstehen. Vielfach sind die Forschungsinfrastrukturen nicht eindeutig einer Klasse zuzuordnen. So können beispielsweise Zentren im Zusammenhang mit Großgeräten wie Beschleunigern als soziale Forschungsinfrastrukturen fungieren oder Serviceeinrichtungen können als verteilte Infrastrukturen angelegt sein. Gleichwohl lassen sich die Forschungsinfrastrukturkonzepte in ihrem Schwerpunkt unter eine der vier genannten Ausprägungen subsumieren.

Während im Roadmap-Verfahren die Konzepte primär dem ersten Typ von Instrumenten mit unilokaler oder verteilter Anlage zuzuordnen sind, hat sich der Wissenschaftsrat an anderer Stelle mit Informationsinfrastrukturen oder mit

^{| 48} Vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Einrichtung einer programmatisch-strukturellen Linie „Hochleistungsrechner“ im Rahmen der Förderung von Forschungsbauten an Hochschulen einschließlich Großgeräten nach Art. 91b Abs. 1 Nr. 3 GG (Drs. 8619-08), Berlin Juli 2008.

^{| 49} Näheres dazu vgl. Wissenschaftsrat: Strategische Weiterentwicklung des Hoch- und Höchstleistungsrechnens in Deutschland. Positionspapier (Drs. 1838-12), Berlin Januar 2012, S. 14 ff.

^{| 50} Vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zu Forschungsinfrastrukturen in den Geistes- und Sozialwissenschaften (Drs. 10465-11), Berlin Januar 2011, S. 18-21.

informationstechnischen Infrastrukturen auseinandergesetzt. |⁵¹ Die Schnittstellen der einzelnen Verfahren sollten in Zukunft genauer analysiert und aufeinander abgestimmt werden. |⁵² Mit Blick auf das Bewertungsverfahren im Rahmen des Roadmap-Prozesses sollte zudem geprüft werden, ob die Leitfäden zur Erstellung und zur Bewertung von Konzepten hinsichtlich der obigen Typologisierung von Forschungsinfrastrukturen differenziert werden müssen.

C.II LEBENSPHASEN VON FORSCHUNGSINFRASTRUKTUREN

Forschungsinfrastrukturen sind sowohl durch eine lange Entwicklungszeit bis zu ihrer Realisierung als auch durch eine lange Lebensdauer charakterisiert. Letztere umfasst in der Regel mindestens zehn Jahre, häufig sogar mehr. Der Roadmap-Prozess ist auf eine entscheidende Phase im Lebenszyklus einer Forschungsinfrastruktur fokussiert, nämlich auf die Vorbereitungsphase. Diese umfasst den Übergang von einer ersten Ausarbeitung eines Forschungsinfrastrukturvorhabens als „Skizze“ hin zu einem weiter entwickelten „Konzept“, das prinzipiell realisiert werden kann. Diesem hier relevanten Ausschnitt in der gesamten Lebensspanne einer Forschungsinfrastruktur ist die Bedarfsentwicklungsphase vorgeschaltet; anschließend an die Vorbereitungsphase folgen die Realisierungs- und die Betriebsphase bis zur Außerbetriebnahme der Forschungsinfrastruktur. Im Folgenden sei jede Phase kurz charakterisiert.

1 – Bedarfsentwicklungsphase

Bevor eine Forschungsinfrastruktur die Konzeptreife erreicht hat, geht ein Vorhaben zunächst durch eine Bedarfsentwicklungsphase. Sie dient dazu, Bedarfe innerhalb der wissenschaftlichen *communities* zu identifizieren, eine erste Idee für eine Forschungsinfrastruktur zu diskutieren und soweit weiterzuentwickeln, dass eine Skizze im Sinne eines frühen Konzepts entsteht. Der Ausschuss hält diese Phase für außerordentlich wichtig. Die Entwicklung eines solchen Bedarfs kann *bottom-up* getrieben sein, kann aber auch – beispielsweise durch eine themenorientierte Ausschreibung initiiert – *top-down* unterstützt werden. Die diskursive Beratung in den beteiligten *communities* kann unterschiedlich gestaltet sein. Workshops oder andere Veran-

| ⁵¹ Vgl. u. a. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020 (Drs. 2359-12), Berlin Juli 2012.

| ⁵² Beispielsweise beschäftigt sich die Allianz der Wissenschaftsorganisationen derzeit mit einer nationalen Hostingstrategie. Dabei geht es um Anforderungen an einen geeigneten „doppelten Boden“ zur dauerhaften Absicherung digitaler Verlagspublikationen an den Wissenschaftseinrichtungen über eine entsprechende eigene Infrastruktur (vgl. http://www.allianzinitiative.de/de/start/handlungsfelder/nationale_hosting_strategie/ vom 04.03.2013).

staltungen bieten die Möglichkeit, eine Idee weiter auszuarbeiten und alternativen Ansätzen gegenüberzustellen. Hierzu zählen aber auch Strategiepapiere, *white papers*, thematische Roadmaps etc., in denen sich die wissenschaftlichen *communities* auf inhaltliche Herausforderungen – zum Teil unter Berücksichtigung der notwendigen Forschungsinfrastrukturen – für die Zukunft des entsprechenden Wissenschaftsfeldes verständigen.

Über diese Selbstverständigungsprozesse wird die Grundidee für eine Forschungsinfrastruktur im Hinblick auf ihr wissenschaftliches Potenzial und ihre Unterstützung in den *communities* – auch über die nationalen Grenzen hinweg – geprüft. Erst mit einem klaren wissenschaftlichen Profil und dem entsprechenden Rückhalt in den relevanten wissenschaftlichen Gemeinschaften hat eine Idee für eine Forschungsinfrastruktur ausreichend Substanz, um zu einer Skizze ausgearbeitet werden zu können.

2 – Vorbereitungsphase

Konnte sich die Idee einer Forschungsinfrastruktur in ihren *communities* erfolgreich behaupten und der Bedarf für ein bestimmtes Vorhaben begründet werden, können die verantwortlichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sie weiter ausarbeiten. Diese Phase der Vorbereitung einer Forschungsinfrastruktur ist in der Regel relativ lang und kann mehrere Jahre umfassen. An ihrem Ende steht ein detailliertes Konzept für eine Forschungsinfrastruktur, das realisiert werden kann.

Es hat sich in der Pilotphase als sinnvoll erwiesen, dass Forschungsinfrastrukturvorhaben sowohl zu Beginn der Vorbereitungsphase in einem frühen Stadium als Skizze als auch an deren Ende als ausgereiftes Konzept den wissenschaftsgeleiteten Bewertungsprozess durchlaufen, um auf die Roadmap aufgenommen zu werden. Mit der Aufnahme auf die Nationale Roadmap soll in Deutschland die grundsätzliche Förderbereitschaft seitens des BMBF in Aussicht gestellt werden. Dabei kann eine Förderung der weiteren Ausarbeitung einer Skizze bis hin zu einem realisierungsreifen Konzept oder aber der Realisierung der Forschungsinfrastruktur dienen.

Falls das Vorhaben am Beginn der Vorbereitungsphase steht und es zunächst darum geht, Vorstudien zu finanzieren, sollte eine solche Skizze erneut eine vergleichende Bewertung durchlaufen. Erst auf der Grundlage eines ausgearbeiteten Konzepts, der Ergebnisse aus möglichen Vorstudien sowie einer weiteren wissenschaftsgeleiteten und wirtschaftlichen Bewertung kann fundiert über die Realisierung eines Vorhabens politisch entschieden werden.

Auch ein *upgrade*, sofern die Kosten 15 Mio. Euro überschreiten, sollte den Roadmap-Prozess einschließlich der wissenschaftsgeleiteten und der wirtschaftlichen Bewertung durchlaufen. Dabei ist auch zu prüfen, ob sich

nicht eine zukunftsweisende Alternative entwickelt hat, so dass die bestehende Forschungsinfrastruktur durch eine neue abgelöst werden sollte.

3 – Realisierungsphase

Je nach Forschungsinfrastrukturtyp lässt sich der Beginn der Realisierungsphase mehr oder weniger genau bestimmen. Bei verteilten Forschungsinfrastrukturen beispielsweise ist dieser Zeitpunkt nicht klar zu definieren, da an einzelnen Orten bereits bestehende Großgeräte einbezogen werden und damit kontinuierlich Forschung betrieben wird. In anderen Fällen kann die Realisierung eines singulären, lokalisierten Großgeräts vom ersten Spatenstich bis zur Inbetriebnahme genau definiert und damit die Realisierungsphase präzise abgegrenzt werden.

Die Realisierungsphase wird nicht durch den Roadmap-Prozess begleitet. In anderen Ländern, so zum Beispiel beim *Department of Energy* (DOE) in den USA, wird auch diese Phase durch einen Begleitprozess, die sogenannten „*Lehman Reviews*“ |⁵³, unterstützt. Sie wollen sicher stellen, dass über die gesamte Realisierungsphase einer Infrastruktur hinweg dafür Sorge getragen wird, dass die unterschiedlichen wissenschaftlichen, technischen, organisatorischen, finanziellen und zeitlichen Anforderungen im Zuge der Implementierung der Forschungsinfrastruktur miteinander in Einklang gebracht werden.

4 – Betriebsphase

Forschungsinfrastrukturen werden in der Regel während des Betriebs durch wissenschaftliche Beiräte oder ähnliche Gremien begleitet. In Deutschland werden sie jedoch derzeit nicht systematisch und regelmäßig übergeordneten externen Evaluationen unterzogen. Angesichts der Bedeutung von Forschungsinfrastrukturen für das Wissenschaftssystem und angesichts ihres dauerhaft hohen Ressourceneinsatzes sollte geprüft werden, regelmäßige Evaluationen durchzuführen, um Qualität und Effizienz der Forschungsinfrastruktur zu steigern, aber auch um einen übergeordneten Lernprozess zu initiieren – zum Beispiel hinsichtlich Governance-Fragen. Mit Hilfe von fachgebietsspezifischen Strukturevaluationen können auch Lücken oder eine Überbelegung im Feld der Forschungsinfrastrukturen in bestimmten Wissenschaftsfeldern erkannt werden.

|⁵³ Vgl. http://science.energy.gov/~media/opa/pdf/processes-and-procedures/1201_Review_Process.pdf vom 17.12.2012.

Auf europäischer Ebene werden Anstrengungen unternommen, Indikatoren für Evaluationen und entsprechende Evaluationsverfahren zu erarbeiten. |⁵⁴ Erste Ergebnisse werden im Jahr 2013 erwartet.

Die folgende Übersicht fasst alle Lebensphasen einer Forschungsinfrastruktur zusammen (siehe Abbildung 3). Dabei handelt es sich um idealtypische Beschreibungen der Phasen, die in der Realität nicht immer trennscharf zu unterscheiden sind.

Abbildung 3: Lebensphasen einer Forschungsinfrastruktur



Internationale Erfahrungen zeigen, wie wichtig es ist, alle Phasen im Lebenszyklus einer Forschungsinfrastruktur zu begleiten.

C.III FINANZIERUNG VON FORSCHUNGSINFRASTRUKTUREN

Die Finanzierung von Forschungsinfrastrukturen gestaltet sich je nach Lebensphase unterschiedlich und ist zudem nicht über alle Typen und realisierten Forschungsinfrastrukturen hinweg einheitlich geregelt. Dies ist nicht allein auf europäischer oder globaler Ebene der Fall, sondern die Unterschiede werden auch auf nationaler Ebene deutlich.

1 – Zu den Vorbereitungskosten

Das Einwerben von Mitteln zur Finanzierung der Vorbereitung von Forschungsinfrastrukturen stellt angesichts der vergleichsweise geringen Höhe für viele Forschende eine zu bewältigende Herausforderung dar. Gleichwohl sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler insbesondere an Universitäten in der Regel darauf angewiesen, die nötigen Mittel extern einzuwerben, um eine Skizze zur Konzeptreife ausarbeiten zu können.

Kosten für die Vorbereitung von Forschungsinfrastrukturen können zum Teil von der Europäischen Union im Rahmen ihres Forschungshaushaltes

|⁵⁴ Im Jahr 2012 hat ESFRI eine *ad-hoc Expert Group on Indicators for the Evaluation of Research Infrastructures* eingesetzt. Grundlage bzw. Anlass dieser Aktivitäten bildete der von ESFRI veröffentlichte *Evaluation Report 2011*, in dem die Notwendigkeit einer solchen Evaluation begründet wird (vgl. http://ec.europa.eu/research/infrastructures/pdf/esfri_evaluation_report_2011.pdf vom 17.12.2012).

getragen werden, in der Regel hingegen nicht für Investition und Betrieb. |⁵⁵ Das 7. Forschungsrahmenprogramm (2007-2013) stellt insgesamt als Teil des Programms „Kapazitäten“ 1,7 Mrd. Euro |⁵⁶ für Forschungsinfrastrukturen bereit. Dadurch sollen neben der Finanzierung der Vorbereitungsphase für neue Forschungsinfrastrukturen bereits bestehende Forschungsinfrastrukturen optimiert und E-Infrastrukturen aufgebaut werden. |⁵⁷ Die Vorbereitung der meisten der hier bewerteten Forschungsinfrastrukturvorhaben wurde im 7. Rahmenprogramm gefördert. |⁵⁸ Die Fördersummen bewegen sich zwischen gut 3 Mio. Euro für IAGOS *European Research Infrastructure* und gut 5 Mio. Euro für Euro-BioImaging bzw. für CTA *Preparatory Phase*. |⁵⁹ Auch wenn die Fördersumme im kommenden Rahmenprogramm (Horizont 2020) auf rund 2,7 Mrd. Euro – einschließlich der Förderung von E-Infrastrukturvorhaben |⁶⁰ – erhöht wird, impliziert dies keine grundsätzliche Änderung der Förderstrategie. Vorbereitungen von Forschungsinfrastrukturen können auch national, z. B. durch Mittel des BMBF gefördert werden.

Die eigentliche Herausforderung liegt aber einerseits in der Finanzierung der Gesamtinvestitionskosten und andererseits in der Finanzierung der über die Lebenszeit anfallenden Betriebskosten, welche die Instandhaltungs- und Erneuerungskosten einschließen.

2 – Zu den Investitionskosten

Die Investitionskosten werden derzeit primär von den nationalen Akteuren getragen. In Deutschland sind die Aufwendungen des Bundes und der Länder zur Förderung von Forschungsinfrastrukturen nicht systematisch erfasst. Dies hängt auch mit der oben dargestellten Entwicklung von neuen Forschungsinfrastrukturtypen und mit der Begriffserweiterung zusammen (vgl. C.I).

|⁵⁵ Einige Länder in Europa können auch über die Vorbereitungsphase hinaus auf europäische Mittel zurückgreifen. Diese Mittel stammen in der Regel aus europäischen Strukturfonds, besonders dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE). Dieses Finanzierungsinstrument der europäischen Regionalpolitik verfolgt das Ziel, das Entwicklungsgefälle zwischen den Regionen in Europa bzw. den Mitgliedsstaaten zu verringern.

|⁵⁶ Vgl. BMBF: Bundesbericht Forschung und Innovation 2012, Bonn, Berlin 2012, S. 355-356.

|⁵⁷ Vgl. <http://www.forschungsrahmenprogramm.de/forschungsinfrastrukturen.htm> vom 19.12.2012.

|⁵⁸ IAGOS erhielt bereits im 6. Rahmenprogramm eine Förderung von 2,6 Mio. Euro.

|⁵⁹ Europäische Kommission, CORDIS (*Community Research and Development Information Service*), http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html vom 19.07.2012.

|⁶⁰ Vgl. Europäische Kommission: KOM (2011) 811 endgültig vom 30.11.2011.

Die Investition in Forschungsinfrastrukturen wird, sofern es sich um den deutschen Anteil an einem europäischen oder internationalen Projekt handelt, in der Regel vorwiegend vom BMBF oder anderen Bundesressorts getragen. In manchen Fällen übernehmen die Trägereinrichtungen oder die Länder einen Teil der investiven Kosten.

Bei einigen Vorhaben ist im Zuge der Realisierung eine enorme Steigerung der ursprünglich angesetzten investiven Kosten gegenüber dem ursprünglichen Ansatz festzustellen. Diese Entwicklung lässt sich weltweit beobachten und ist weder auf Deutschland noch auf Forschungsinfrastrukturen beschränkt. Sowohl der Bund als Hauptträger der Investitionskosten als auch die Länder und die Trägereinrichtungen selbst werden dadurch vor enorme Probleme gestellt. Daher begrüßt der Ausschuss grundsätzlich die Anstrengungen des BMBF, eine höhere finanzielle Planungssicherheit erzielen zu wollen, indem schon während der Vorbereitungsphase eine wirtschaftliche Prüfung vorgenommen wird. Eine solche Kostenermittlung sollte – wie auch bei der Planung umfangreicher Industrieanlagen üblich – in definierten Abständen fortgeschrieben werden, um mit fortschreitendem Planungsstand die Vorhersagegenauigkeit zu erhöhen. Dafür sind im internationalen Kontext entsprechende Begleitprozesse erfolgreich entwickelt worden.

Mit Blick auf unterschiedliche Finanzierungsquellen, die gerade bei vernetzten Forschungsinfrastrukturen auch im nationalen Rahmen bereits jetzt oder in Zukunft für die Implementierung eine Rolle spielen können, ist es erforderlich, die Schnittstellen zu klären und die verschiedenen Förderformen und -linien möglichst aufeinander abzustimmen. |⁶¹ Eine Koordinierung der unterschiedlichen Fördermaßnahmen insbesondere mit den Investitionsvorhaben der großen Wissenschaftsorganisationen ist notwendig.

3 – Zu den Betriebskosten

Auch die Kosten des laufenden Betriebes nach Implementierung werden primär auf nationaler Ebene getragen, jedoch – anders als Betriebskosten, die schon während der Investitionsphase anfallen – nicht in größerem Umfang aus Mitteln des BMBF. |⁶² Sie speisen sich aus unterschiedlichen Quel-

|⁶¹ Beispielsweise hat die DFG 2011 eine neue Förderlinie „Gerätezentren – *Core facilities*“ eingerichtet. Sie zielt auf die Öffnung von bereits vorhandenen Einrichtungen an Universitäten und sieht eine modellhafte Unterstützung von geeigneten Zentren oder Netzwerken von nationaler oder internationaler Bedeutung vor. Es werden keine Geräte, sondern die Entwicklung eines wissenschaftsadäquaten Managements und einer fundierten Nutzerunterstützung finanziert. Das Finanzierungsvolumen von 150 Tsd. Euro jährlich mit einer Laufzeit von zunächst drei Jahren dient einer Anschubfinanzierung.

|⁶² Indirekt kann eine Finanzierung der Betriebskosten durch die Mittel des Bundes und der Länder über den Haushalt der Wissenschaftsorganisationen erfolgen.

len. Vielfach ist der Betrieb jedoch nicht ausfinanziert, wie es auch bei einigen der vorliegenden Konzepte zu beobachten ist. Dies hängt nicht allein mit einem absoluten Anstieg der Kosten zusammen, sondern zugleich mit einer Veränderung des Verhältnisses von Betriebs- zu Investitionskosten. Unterschiedliche Gründe haben dazu geführt:

- *Verschiedene Typen von Forschungsinfrastrukturen.* Während bei den klassischen Großgeräten (vgl. zentrale Instrumente in Kapitel C.I) als Faustregel rund 10 % der Investitionskosten für den jährlichen Betrieb kalkuliert wurden, liegt der Anteil für die jährlichen Betriebskosten bei den anderen Typen an Forschungsinfrastrukturen zumeist deutlich höher. Bei den hier bewerteten Konzepten trifft dies nicht allein, aber vor allem auf die biomedizinischen Vorhaben zu. Beispielhaft lassen sich an dieser Stelle das Teleskop CTA als klassische Forschungsinfrastruktur und INSTRUCT als verteilte (biomedizinische) Forschungsinfrastruktur gegenüberstellen. Für CTA werden die jährlichen Betriebskosten auf 8 bis 11 % der Investitionskosten beziffert, während für INSTRUCT 23 % angegeben werden. |⁶³ Dies rührt bei verteilten Infrastrukturen auch von einem höheren Beratungs-, Koordinierungs- und Managementaufwand her, der auch entsprechend qualifiziertes Personal benötigt. Im Fall von Forschungsinfrastrukturen in den Geistes- und Sozialwissenschaften wie auch im Fall der sozialen Infrastrukturen sind die für den Betrieb der Infrastruktur erforderlichen Kosten in der Regel sogar die entscheidenden. |⁶⁴
- *Personalbedarf.* Das Vorhalten von Personal für die Nutzung bzw. den Betrieb von Forschungsinfrastrukturen ist vielfach aufgrund ihrer Komplexität aufwendiger geworden. Es besteht ein zunehmender Bedarf an ausgebildetem wissenschaftlich-technischem (Service-)Personal, das auch externe Nutzerinnen und Nutzer beim Einsatz der Forschungsinfrastruktur unterstützt oder die Untersuchung in deren Auftrag durchführt. Auch die Bereitstellung aufbereiteter Daten oder die Entwicklung von Auswertungssoftware muss personell gewährleistet werden. Die Einrichtungen der großen Wissenschaftsorganisationen sind meist besser aufgestellt als die Universitäten, um die nötigen personellen Ressourcen und Strukturen über einen langen Zeitraum zu garantieren. Dies hängt auch mit der Finanzierungssituation der Universitäten zusammen, die ein langfristiges

|⁶³ Diese Angaben basieren auf den eingereichten Forschungsinfrastrukturkonzepten und wurden nicht durch die Schätzklausuren validiert.

|⁶⁴ Vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zu Forschungsinfrastrukturen in den Geistes- und Sozialwissenschaften (Drs. 10465-11), Berlin Januar 2011, S. 24 f.

Engagement sehr erschwert, weil angesichts der beschränkten Grundmittel in hohem Maße auf zeitlich befristete wettbewerblich vergebene Projektmittel zurückgegriffen werden muss. |⁶⁵

- *Erneuerungs- und Energiekosten.* Die Energiekosten steigen beständig und können, da es in der Regel um Leistungsanforderungen an der äußersten Grenze des technisch Machbaren geht, nicht einfach durch entsprechend energiesparende Geräte kompensiert werden. Dieser Kostenfaktor schlägt besonders bei energieintensiven Forschungsinfrastrukturen, vor allem bei informationstechnischen Forschungsinfrastrukturen oder bei Forschungsinfrastrukturen, die für ihr Datenmanagement entsprechende Kapazitäten aufbauen müssen, zu Buche. Die Kosten für bestimmte Materialien wie Kupfer, Stahl oder seltene Erden, die für Ersatzbeschaffungen benötigt werden, unterliegen erheblichen Schwankungen und stellen daher angesichts der langen Lebensdauer einen nur schwerlich zu kalkulierenden Faktor dar. Zudem verkürzen sich aufgrund der schneller fortschreitenden technologischen Entwicklung die Erneuerungs- bzw. Verbesserungszyklen sowohl für Instrumente und Geräte selbst als auch für Werkzeuge der Datenauswertung. Gleichwohl sollen die entstehenden Kosten wie auch realistische Risikomargen bereits im Rahmen der Konzepterarbeitung bestmöglichst abgeschätzt werden, auch wenn sie sich während der Laufzeit einer Forschungsinfrastruktur verändern können.

Sowohl der Anstieg der Investitionskosten als auch die Strukturveränderungen im Betrieb einer Forschungsinfrastruktur betreffen das gesamte Wissenschaftssystem. Bei der hier vorliegenden Auswahl von neun Forschungsinfrastrukturkonzepten sind elf HGF-Institute als Trägereinrichtungen beteiligt, davon sechs federführend. Die MPG ist mit zehn Instituten, davon drei federführend, vertreten. Neben drei Instituten der Leibniz-Gemeinschaft, eines davon federführend, sind Universitäten in zahlreichen Fällen (23) Kooperationspartner. Bei drei Vorhaben haben insgesamt vier Universitäten die Federführung zur Ausarbeitung von Forschungsinfrastrukturkonzepten übernommen.

Die Kosten für die Nutzung von Forschungsinfrastrukturen setzen sich zum einen aus den Kosten des durchgeführten Forschungsprojekts und zum anderen

| ⁶⁵ Hintergrund ist, dass der „Anteil der Drittmittel an den Hochschulen (...) bis 2008 auf fast 20 % des Gesamtbudgets angewachsen (ist), während er 1995 noch bei 11 % lag. (...) Auf einen Euro Drittmittel entfielen im Jahr 1995 knapp zwei Euro Grundmittel für die Forschung, im Jahr 2008 nur noch 85 Cent“. (Bericht des Vorsitzenden des Wissenschaftsrates zu aktuellen Tendenzen im Wissenschaftssystem (2011): Neuere Entwicklungen der Hochschulfinanzierung in Deutschland, http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/VS_Bericht_Juli_2011.pdf vom 12.09.2012).

aus einem Anteil an den Betriebskosten der benutzten Forschungsinfrastruktur zusammen. Zum Teil übernehmen die Träger der Forschungsinfrastrukturen die Kosten für die Nutzung durch Externe oder es werden Nutzungsgebühren erhoben, die anteilig die Betriebskosten abdecken. Förderinitiativen wie zum Beispiel die vom BMBF geförderte Verbundforschung unterstützen – insbesondere für physikalische Untersuchungen – kooperative Projekte von Forschungsgruppen an nationalen und internationalen Forschungszentren und -infrastrukturen. Allerdings scheinen die Förderprogramme nicht ausreichend zu sein. In Einzelfällen hat eine kritische Finanzierungssituation sogar dazu geführt, dass erfolgreiche, universitäre Forschergruppen ihre Ansätze haben fallen lassen müssen.

Die eigentliche Herausforderung liegt folglich in der nachhaltigen Finanzierung der Lebenszeitkosten und der Nutzung von Forschungsinfrastrukturen. Angesichts der Komplexität und Unübersichtlichkeit der Finanzierungssituation sieht der Ausschuss hier Analysebedarf. Besonders zwei Aspekte sollten Berücksichtigung finden:

- *Finanzierung der Gesamtlebensdauer.* Bei der Entscheidung geht es darum, die Gesamtlebensdauer einer Forschungsinfrastruktur, die auch mehrere Gerätelebenszyklen umfassen kann, zu berücksichtigen. Beispielsweise entwickeln in den Umweltwissenschaften viele Forschungsinfrastrukturen ihr wissenschaftliches Potenzial erst dann vollständig, wenn sie über mehrere Jahrzehnte hinweg betrieben und Langzeit-Datenreihen aufgenommen werden können. Dies erfordert die Planung und Berücksichtigung von Ersatzbeschaffungen für Geräte und von möglichen Reinvestitionen über die ersten zehn Jahre hinaus. Bei manchen Forschungsinfrastrukturen ist auch Vorsorge für nicht unbeträchtliche Dekommissionierungskosten zu treffen, wie dies beispielsweise für Forschungskernreaktoren der Fall ist.
- *Pfadabhängigkeiten.* Die zu erwartende langfristige Bindung von Mitteln über mehrere Lebenszyklen führt zu Pfadabhängigkeiten, die systematisch berücksichtigt werden sollten, da sie den Gestaltungs- und Entscheidungsspielraum in Zukunft einschränken. Dies betrifft sowohl die Förderung innerhalb einzelner Wissenschaftsgebiete als auch die Ressourcen, die im Gesamtsystem für Forschungsinfrastrukturen, ihren Betrieb und ihre Nutzung zur Verfügung stehen.

C.IV DATENMANAGEMENT

Die Aggregation und Analyse von Daten ist ein integraler Bestandteil von Forschungsinfrastrukturen. Das damit verbundene Datenmanagement ist in den Forschungsgebieten sehr unterschiedlich weit vorangeschritten. Es umfasst ver-

schiedene Aspekte wie (1) Datenerhebung und -archivierung, (2) Datenzugang sowie (3) Datenverarbeitung bis hin zu den notwendigen technischen Voraussetzungen dafür. Einzelne Forschungsfelder wie die Astrophysik oder die Erdsystemforschung haben in dieser Hinsicht Vorbildfunktion, da es hier bereits konkrete Entscheidungskriterien für die Langzeitarchivierung von Daten gibt. |⁶⁶ Auch die Veröffentlichung von Forschungsdaten als eigenständige Publikationen beginnt sich zu entwickeln – ein Trend, den der Ausschuss begrüßt. |⁶⁷ In vielen Bereichen jedoch werden die Herausforderungen, die mit dem Datenmanagement sowie seinen technischen Voraussetzungen verbunden sind, systematisch unterschätzt. Dies zeigte sich auch im Zuge des Bewertungsprozesses der hier vorliegenden Infrastrukturkonzepte. Daher sollen im Folgenden die Herausforderungen kurz benannt werden.

1 – Datenerhebung und -archivierung

Datenerhebung und langfristige Archivierung bewegen sich im Spannungsfeld, in dem der Datenbedarf einerseits durch konkrete wissenschaftliche Fragestellungen begründet und die Datenerhebung andererseits möglichst umfassend angelegt sein sollte. Denn eine umfassende Erhebung und anwendungs offene Archivierung aller Daten befördert interdisziplinäre und bei der Datenerfassung noch weitgehend offene Forschungsfragestellungen sowie durch Langzeitdatenreihen sichtbar werdende Trends. Darüber hinaus bleiben dadurch Daten für nachfolgende Generationen und deren heute unabsehbaren Forschungsfragestellungen erhalten. In einer Lösung dieses Spannungsverhältnisses liegt eine erste große Herausforderung, für die jedes Forschungsinfrastrukturvorhaben individuell ein Konzept entwickeln muss.

Schon bei der Datenerhebung, -sammlung und -archivierung gilt es, Standards einzuführen und einzuhalten, um qualitativ hochwertige Daten zu erzeugen sowie diese für die Archivierung langfristig nutzbar und miteinander vergleichbar zu machen. |⁶⁸ Dazu bedarf es einerseits einer konsequenten Erfassung und Speicherung aller notwendigen Metadaten und an-

| ⁶⁶ Vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020 (Drs. 2359-12), Berlin Juli 2012, S. 59.

| ⁶⁷ Vgl. ebd., S. 39 und 54.

| ⁶⁸ Besonders deutlich wird dies in den Umweltwissenschaften, wo lange Zeiträume umfassende, nachvollziehbar kalibrierte Datenreihen geradezu eine Erfolgsvoraussetzung für den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess sind, insbesondere wenn sämtliche erfassten Daten zu einer einzigen Datenbank zusammengeführt werden sollen, um ein System untersuchen zu können. Dies wird derzeit für das System Erde angestrebt, wo eine einzige globale Datenbank erstellt wird. Vgl. Ziele und Strategien von GEOSS (*Global Earth Observation System of Systems*), siehe Anhang 2.3.

dererseits einer entsprechenden Softwareumgebung. Standards und Rahmenbedingungen der Datenerfassung, also beispielsweise welches Gerät bei welcher Einstellung zur Messung benutzt wurde und mit welcher Fehlerverteilung in den Daten zu rechnen ist, müssen in den Metadaten erfasst und ebenfalls archiviert werden. Dazu ist ein breiter Konsens über das Datenmodell eine wichtige Voraussetzung. Die nachträgliche Ergänzung ist fast unmöglich, und die Harmonisierung schon vorhandener Daten ist außerordentlich zeitaufwendig. |⁶⁹ Die Erfassung der Metadaten ist notwendig, aber nicht hinreichend für eine erfolgreiche Langzeitarchivierung. Um die Daten auch Jahrzehnte später lesen und richtig interpretieren zu können, bedarf es der entsprechenden Systemsoftware, die mit der dann weiter entwickelten Hardware noch kompatibel ist.

Im Zuge der Ausarbeitung eines Forschungsinfrastrukturvorhabens sollte daher mit Blick auf die Datenerhebung und -archivierung ein übergeordnetes Konzept entwickelt werden, das das Spannungsverhältnis von spezifischen Forschungsfragen und offener Datenerhebung reflektiert. Zudem sollte es eine konsequente und weitestgehend einheitliche Erfassung von Metadaten nach einem von der wissenschaftlichen *community* akzeptierten standardisierten Datenmodell mit explizit definierter Semantik vorsehen. |⁷⁰ Schließlich sollte es auch hinsichtlich der entsprechenden Softwareumgebung Vorsorge tragen.

2 – Datenzugang

Damit einmal erfasste Daten möglichst gewinnbringend für die Gesellschaft eingesetzt werden können, sollten Forschungsdaten – zumindest aus öffentlich finanzierten Projekten – breit zugänglich und nutzbar gemacht werden. Darüber herrscht weitgehende Übereinstimmung zwischen wissenschaftlichen *communities*, Regierungen, Förderorganisationen und anderen mit Forschung befassten Organisationen. Der offene Zugang zu Forschungsdaten (*open data*) wird daher immer mehr zum Standard. |⁷¹

|⁶⁹ Vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020 (Drs. 2359-12), Berlin Juli 2012, S. 53-58.

|⁷⁰ Falls diese Standards noch nicht vorliegen, bedarf es einer Anstrengung der gesamten *community*.

|⁷¹ Vgl. bspw. OECD: *OECD Principles and Guidelines for Access to Research Data from Public Funding*, 2007, <http://www.oecd.org/science/scienceandtechnology-policy/38500813.pdf> vom 29.08.2012; Swan, A.: *Policy Guidelines for the Development and Promotion of Open Access*, Unesco 2012, <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002158/215863e.pdf> vom 29.08.2012; Arbeitsgruppe *Open Access* in der Allianz der deutschen Wissenschaftsorganisationen: *Open Access. Positionen. Prozesse. Perspektiven*, Oktober 2009, <http://www.allianzinitiative.de/fileadmin/openaccess.pdf> vom 26.10.2012; Allianz der deutschen Wissenschaftsorganisationen: Grundsätze zum Umgang mit Forschungsdaten, Juni

Trotz aller Vorteile des *open-data*-Zugangs und des legitimen Interesses der *communities* an einem solchen |⁷² sollte darüber die Wahrung des geistigen Eigentums (*intellectual property rights*) und vor allem die Anerkennung von Prioritätsrechten in geeigneter Weise gesichert sein. Dazu wurden schon Lösungsansätze entwickelt, wie die folgenden Punkte zeigen:

- _ *Persistente Identifikation von Datensätzen.* Die Einführung von sogenannten persistenten Identifikatoren sowohl für Datensätze (Stichwort: *digital object identifier*, DOI) |⁷³ als auch für Forschende |⁷⁴ kann die Zuschreibung der Urheber ermöglichen und zugleich eine rasche Nutzung sicherstellen. Für die Forschenden entsteht ein Reputationsgewinn durch die bloße Veröffentlichung von Daten. Dies dient als Anreiz für eine rasche Publikation aber auch dafür, wirklich vollständige und gut dokumentierte Datensätze zu publizieren, so dass deren Nachnutzbarkeit gesichert ist. Ohne eine sichere Identifikation der Daten und deren Zuordnung zu den jeweiligen Urhebern könnten bei sofortiger Offenlegung der Daten ohne eine gewisse Embargofrist andere Forschergruppen die Daten schneller auswerten und die Resultate zuerst veröffentlichen.
- _ *Vertragliche Reglementierungen.* Im Vorfeld geplanter Studien sollte versucht werden, der Forderung nach einem *open-data*-Konzept bei gleichzeitiger Wahrung von Prioritäts- und Eigentumsrechten durch entsprechende vertragliche Reglementierungen zu begegnen. Dies spielt insbesondere in den Biowissenschaften und in der Medizin eine wichtige Rolle, wenn es beispielsweise um die Entwicklung pharmakologischer Zielmoleküle (*target compounds*) geht und wird zum Teil bereits so umgesetzt.
- _ *Daten für die Weiterentwicklung der Forschungsinfrastruktur.* Für sämtliche Forschungsinfrastrukturen stellt sich die Frage, wie mit Erkenntnissen

2010, <http://www.allianzinitiative.de/de/handlungsfelder/forschungsdaten/grundsaeetze/> vom 08.02.2012.

|⁷² Die Forderung nach *open data* wird oftmals rigoros durchgesetzt, um einen möglichst zeitnahen und öffentlichen Zugang zu einem großen Anteil der erhobenen Daten bereitzustellen. Die Wissenschaftler des *Human Genome Project* waren hier vorbildlich, da sie sich schon 1996 auf die sogenannten *Bermuda Principles* einigten. Sämtliche ermittelten Gensequenzen mussten innerhalb von 24 Stunden in der dafür vorgesehenen Datenbank öffentlich gemacht werden, vgl. <http://www.genome.gov/25520385> vom 31.07.2012. Die Offenheit, die vielfach gleichzeitig als weitgehende Kostenfreiheit verstanden wird, hat auch weitere Vorteile: Sie erhöht die Legitimität und Sichtbarkeit der Forschung, fördert interdisziplinäre Projekte und ermöglicht Wiederholungsanalysen, die sowohl zur Selbstkontrolle der Wissenschaft als auch zu Ausbildungszwecken geschätzt werden.

|⁷³ Vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020 (Drs. 2359-12), Berlin Juli 2012, S. 57.

|⁷⁴ Vgl. beispielsweise das Projekt ORCID, <http://about.orcid.org/> vom 22.08.2012.

umgegangen werden soll, die in direktem Zusammenhang mit der Forschungsinfrastruktur, also deren Weiterentwicklung, technischer Ausstattung usw. stehen. Hier sollte das Interesse der Infrastruktur vor dasjenige der Nutzerinnen und Nutzer gestellt werden, indem die Rechte an der Nutzung solcher Erkenntnisse an der Infrastruktur selbst verbleiben. |⁷⁵

- _ *Datenschutz.* Die Frage des Datenschutzes trifft nicht ausschließlich aber vornehmlich auf Forschungsinfrastrukturen aus dem biomedizinischen und dem sozialwissenschaftlichen Bereich zu. Es handelt sich um personenbezogene Informationen von Patientinnen und Patienten bzw. Probandinnen und Probanden. Um sie – entsprechend dem *open-data*-Konzept – auch einem anderen Nutzerkreis zur Verfügung stellen bzw. öffentlich zugänglich machen zu können, müssen sie zum Teil aufwendig anonymisiert werden. |⁷⁶

Es ist deutlich geworden, dass die Forderung nach einer Realisierung von *open-data*-Strategien die Forschungsinfrastrukturen vor ganz neue Herausforderungen stellt. Die damit verbundenen rechtlichen und ethischen Implikationen sowie die notwendigen Sicherheitsstandards sollten in das Konzept einer Forschungsinfrastruktur aufgenommen werden.

3 – Datenverarbeitung

Die Nutzung von Forschungsdaten schließt meist mit ein, dass auf ihnen aufbauend Modelle entwickelt und getestet oder Simulationen durchgeführt werden. |⁷⁷ Simulationen sollen beispielsweise eine möglichst genaue Projektion zukünftiger Klimaentwicklungen oder wirtschaftlicher Veränderungen leisten; sie können auch ein effizienteres Design kostspieliger Experimente ermöglichen oder diese teilweise ganz ersetzen. Die häufig aufwendig zu programmierende, modellgestützte Auswertungssoftware für Forschungsdaten wird von manchen Trägereinrichtungen selbst entwickelt, gepflegt und zur Verfügung gestellt. Solches Zugänglichmachen von Soft-

|⁷⁵ Beispielsweise hat das amerikanische *Department of Energy* (DOE) eine Regelung erlassen, in der festgelegt wird, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die externe Nutzerinnen und Nutzer an Nationallaboren sind, wissenschaftliche Ergebnisse verwerten und publizieren dürfen. Für die Forschungsinfrastruktur relevante Ergebnisse verbleiben jedoch an der Forschungsinfrastruktur selbst. Vgl. <http://techtransfer.energy.gov/docs/NonProprietaryUserAgreementClassWaiver.pdf> vom 22.08.2012.

|⁷⁶ Vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020 (Drs. 2359-12), Berlin Juli 2012, S. 53-58.

|⁷⁷ Simulationswissenschaften werden als eine von mehreren möglichen Forschungsformen betrachtet. Vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020 (Drs. 2359-12), Berlin Juli 2012, S. 36 f.

ware und Auswertungsmethoden, das zum Verständnis der an einer Forschungsinfrastruktur gewonnenen Ergebnisse wesentlich sein kann, sollte bei der Erarbeitung von Forschungsinfrastrukturkonzepten berücksichtigt werden. Dafür müssen personelle und technische Ressourcen vorgesehen werden.

Eine zentrale Erkenntnis des Roadmap-Verfahrens ist, dass die Herausforderungen der Datenverarbeitung zumeist unterschätzt werden. Dies gilt auch für die damit zusammenhängenden notwendigen technischen bzw. elektronischen Voraussetzungen wie Rechen-, Speicher- und Kommunikationsressourcen. Beispiele zeigen, dass diese informationstechnischen Infrastrukturen zunehmend eine wichtige Rolle in der Forschung und bei Forschungsinfrastrukturen spielen. |⁷⁸ Hinzu kommt die rasante Entwicklung dieser Technologien, der modellgestützten Auswertung von Forschungsdaten und der daraus abgeleiteten Ergebnisse insbesondere im Rahmen von Simulationen.

In Zukunft sollte daher bei der Planung und Umsetzung von Forschungsinfrastrukturkonzepten systematisch bedacht werden, wie und mit welchem Ziel Daten verarbeitet werden sollen und welche informationstechnischen Voraussetzungen dafür erforderlich sind.

C.V GOVERNANCE VON FORSCHUNGSMFRASTRUKTUREN

Die Governance von Forschungsinfrastrukturen umfasst ein weites Feld unterschiedlichster Regelwerke, welche die Organisation und Entscheidungskompetenzen von Planung, Errichtung, Betrieb und Nutzung einer Forschungsinfrastruktur bestimmen. Zugangsverfahren zu Versuchs- und Beobachtungsreihen müssen festgelegt werden. Dies schließt auch Verwaltungsstrukturen wie den wissenschaftlichen Beirat, das Direktorium und das Management über alle Lebensphasen hinweg mit ein. Zusätzlich können auch die Rechtsform und die Mission der Forschungsinfrastruktur sowie ihre Einbettung in übernationale Konsortien als Aspekte der Governance angesehen werden. |⁷⁹

Einer der Hauptkritikpunkte an nahezu allen im Roadmap-Verfahren betrachteten Forschungsinfrastrukturvorhaben ist ein unzureichend ausgearbeitetes Governance-Konzept. Obwohl gute Governance entscheidend zum (langfristi-

| ⁷⁸ Vgl. beispielsweise das Projekt BioMedBridges, das als gemeinsame E-Infrastruktur von zehn biomedizinischen Projekten der ESFRI-Roadmap fungieren soll, <http://www.biomedbridges.eu/> vom 31.10.2012.

| ⁷⁹ Vgl. <http://www.ictresearchinfrastructures.eu/research-infrastructures/future-ict-research-infrastructures/#governance> vom 07.08.2012.

gen) Erfolg eines Vorhabens beiträgt, steht sie häufig im Schatten der wissenschaftlichen Fragestellung. Auch wenn erste übergreifende Empfehlungen für Governance-Strukturen vorliegen, |⁸⁰ ist es offensichtlich geworden, dass hier noch Analysebedarf besteht. Aspekte von Governance, die im Rahmen des Bewertungsprozesses besonders diskutiert wurden, betreffen den Zugang zu Forschungsinfrastrukturen sowie die Personalstruktur, die Bedeutung des Managements und die Erfassung des *impacts* einer Forschungsinfrastruktur. Speziell diese Aspekte seien im Folgenden näher beschrieben. Sie decken nur einen Teilbereich der Governance von Forschungsinfrastrukturen ab.

1 – Zugang zu Forschungsinfrastrukturen

Unter dem Zugang zu einer Forschungsinfrastruktur wird hier die Gelegenheit zur Nutzung einer Forschungsinfrastruktur in einem dreifachen Sinne verstanden, nämlich im Sinne des Einsatzes der dort vorgehaltenen Geräte (beispielsweise ein Magnetresonanztomograph, in dem eine Probe vermessen werden soll), im Sinne der Einreichung von zu untersuchenden Proben |⁸¹ sowie im Sinne der Modifikation der in die Forschungsinfrastruktur eingebetteten Geräte (beispielsweise die Integration einer neuen Boje bei Meeresbeobachtungssystemen). Konsens besteht, dass „(d)er Zugang zu den Forschungsinfrastrukturen (...) über die wissenschaftliche Qualität gesteuert werden (soll).“ |⁸² Allerdings sind zahlreiche Details offen, die im Folgenden kurz adressiert werden sollen.

- *Anteil externer Nutzung.* Die Forschungsinfrastruktur sollte grundsätzlich der gesamten *community* offen stehen. Zu welchem Anteil die bestehende Kapazität für eine externe Nutzung bereitsteht, kann nicht allgemein vorgegeben werden. Es ist jedoch zentral, dass ein ausreichender Anteil der Nutzungszeit und der Nutzungsmöglichkeiten extern in Anspruch genommen werden kann.
- *Ausgestaltung des Zugangs.* Über die Vergabe von Nutzungszeiten und -möglichkeiten sollte im Rahmen eines wissenschaftsgeleiteten Zugangsverfahrens entschieden werden. Dafür sollten klare Regelungen – fest-

|⁸⁰ Das Forum der *European Intergovernmental Research Organisations* (EIROforum) hat sich in seinem 2010 vorgelegten Bericht mit Governance-Aspekten beschäftigt, vgl. http://www.eiroforum.org/downloads/201003_policy_paper.pdf vom 07.08.2012. Auch das *Global Science Forum* (GSF) der OECD hat 2010 dazu einen Bericht veröffentlicht, vgl. <http://www.oecd.org/sti/sci-tech/47027330.pdf> vom 12.03.2013.

|⁸¹ Dies ist vor allem dann erforderlich, wenn für die Nutzung der Geräte einer Forschungsinfrastruktur speziell geschultes und erfahrenes wissenschaftlich-technisches Personal benötigt wird.

|⁸² Wissenschaftsrat: Konzept für eine wissenschaftsgeleitete Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für eine Nationale Roadmap (Pilotphase) (Drs. 1766-11), Köln Dezember 2011, S. 9.

gehalten in einer Nutzerordnung – entwickelt werden. |⁸³ Die Festlegung von Zeitkontingenten, also reservierten Nutzungszeiten, für die Trägereinrichtung, für Nutzer mit Eigenfinanzleistungen |⁸⁴, für Financiers oder für die Industrie muss angemessen ausgestaltet sein, so dass ein offener Zugang für alle potenziellen Nutzergruppen, insbesondere universitäre, gewährleistet bleibt. |⁸⁵

- _ *Externes review committee.* Die Verantwortung für das Zugangsverfahren sollte ein unabhängig arbeitendes externes *review committee* übernehmen. Dabei variieren sowohl die Zusammensetzung eines solchen Gremiums als auch seine genaue Funktion sehr stark. Es ist jedoch wichtig, dass es transparent nach den vereinbarten Regelungen und nach wissenschaftlicher Qualität unabhängig von der institutionellen Zugehörigkeit der potenziellen Nutzerinnen und Nutzer entscheidet.
- _ *Erhebung von Nutzergebühren.* Der Konflikt, einerseits freien Zugang gewähren zu wollen und andererseits die Finanzierung des Betriebs sicherzustellen, ist bei den Forschungsinfrastrukturträgern erkannt, dennoch gibt es noch keine allgemein überzeugende Lösung. Dies ist insbesondere für die Einbeziehung von Universitäten, kleinen Forschergruppen und Gruppen aus strukturschwachen Ländern von großer Bedeutung, da diese durch Gebühren von den Forschungsinfrastrukturen abgehalten werden könnten.
- _ *Trainings- und Beratungsangebote.* Um den Zugang zu hochwertig ausgestatteten Forschungsinfrastrukturen nach den neuesten technologischen und methodisch-wissenschaftlichen Standards für eine breite wissenschaftliche *community* zu öffnen, ist es unbedingt erforderlich, Trainings- und Beratungsangebote vorzuhalten. Wiederum sind besonders kleinere Forschergruppen an Universitäten und in der Industrie oder Forschende aus strukturschwachen Ländern auf entsprechend spezialisierte Trainingsangebote bzw. methodische Beratung und Begleitung ganz besonders angewiesen, um ihre wissenschaftlichen Untersuchungen realisieren

|⁸³ Die DFG hält beispielsweise in ihren Anforderungen an Nutzungsordnungen von Gerätezentren auch nur grobe Richtlinien fest, vgl. http://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/programme/wgi/nutzungsordnungen_geraetezentren.pdf vom 31.07.2012.

|⁸⁴ Diese Art der Eigenfinanzbeteiligung ist beispielsweise in der Astronomie für Instrumentierungen weit verbreitet.

|⁸⁵ Insbesondere in der Meeresforschung hat sich auf europäischer Ebene der Tauschhandel von Nutzungszeiten, das sogenannte Bartering, zwischen den Forschungsinfrastrukturbetreibern etabliert. Vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur zukünftigen Entwicklung der deutschen marinen Forschungsflotte (Drs. 10330-10), Lübeck November 2010, S. 54-57.

zu können, besonders wenn sie zuvor nur wenig Erfahrungen mit Forschungsinfrastrukturen gewinnen konnten.

2 – Personal von Forschungsinfrastrukturen

Die Betreuung und Instandhaltung von Forschungsinfrastrukturen auf dem neuesten Stand der Technik erfordert hoch qualifiziertes technisches und wissenschaftlich-technisches Personal.

– *Technisches Personal.* International wird die hohe Qualität des technischen Personals in den Einrichtungen in Deutschland hervorgehoben. Dieser hohe Standard hängt sowohl mit der sehr gut entwickelten und sehr differenzierten akademischen und dualen Berufsausbildung in allen Bereichen der Technik als auch mit den Möglichkeiten außeruniversitärer Institute, dieses Personal dauerhaft an die Einrichtungen binden zu können, zusammen. Dabei ist es unerlässlich, das zuständige Personal kontinuierlich auf dem neuesten Stand zu halten und ihnen eine entsprechende professionelle Weiterentwicklung und Fortbildung zu ermöglichen.

– *Wissenschaftlich-technisches Personal.* Das Wissenschaftssystem bietet in Deutschland wenig gesicherte Karriereperspektiven für junge talentierte Forscherinnen und Forscher. Gerade für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die sich aus verschiedenen Wissenschaftsbereichen kommend auf die Schnittstelle von Wissenschaft und Technik im Feld der Forschungsinfrastrukturen spezialisieren, sind die Karrierewege nicht immer klar vorgezeichnet. In bestimmten Bereichen, zum Beispiel für *beamline scientists*, existiert ein attraktiver Arbeitsmarkt, in anderen Bereichen fehlen entsprechende Karriereoptionen. Dabei sind der Aufbau dieser Expertise und die langfristige Bindung des Personals an die Forschungsinfrastruktur für ihren erfolgreichen Betrieb unerlässlich. Primär aber nicht allein in den Biowissenschaften und der Medizin scheinen bislang geeignete berufliche Entwicklungsperspektiven zu fehlen, um diesen Bereich auch für wissenschaftliche Spitzenkräfte dauerhaft attraktiv zu gestalten. Ein Personalentwicklungskonzept, das die spezifischen Anforderungen einer umfangreichen Forschungsinfrastruktur berücksichtigt, und damit Serviceleistungen und den Betrieb auf kontinuierlich hohem Niveau sichert, ist daher ebenfalls von Bedeutung für die Konzeption und Umsetzung umfangreicher Forschungsinfrastrukturen.

Die mit dem spezifischen Personalbedarf verbundenen Herausforderungen gehen letztlich über die Konzeption der einzelnen Forschungsinfrastruktur hinaus, da sie das gesamte Wissenschaftssystem betreffen. Dennoch spielt es für den Erfolg von Forschungsinfrastrukturen eine Rolle mit Blick auf ihre Leistungsfähigkeit, ob ausreichend Anreize und Karriereperspektiven für

die unterschiedlichen Personalkategorien, insbesondere für das wissenschaftlich-technische Personal geschaffen werden können. |⁸⁶

3 – Management von Forschungsinfrastrukturen

Für Forschungsinfrastrukturen entwickelt sich ein neues Berufsbild, dasjenige der Infrastrukturmanagerin bzw. des -managers. Diese kommen nicht unbedingt aus der Disziplin selbst und benötigen spezielle Kompetenzen zur Koordination komplexer Vorhaben. Insbesondere in europäischen oder internationalen Forschungsinfrastrukturen und für den Typus einer verteilten Infrastruktur ist ein kompetentes Infrastrukturmanagement unbedingt erforderlich und erfolgskritisch. Es gibt Ansätze, wie die Ausbildung im Bereich des Infrastrukturmanagements professionalisiert werden kann. |⁸⁷ Dabei ist es eine offene Frage, welche Rolle die auf die fachliche Ausrichtung der Forschungsinfrastruktur bezogene Expertise der Managerin oder des Managers spielt bzw. wie stark das Management in der Hand von Fachwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern liegen sollte. |⁸⁸ Die Frage des Managements geht deutlich über die Personalfrage hinaus. Darin liegt eine Herausforderung, deren Bewältigung vielfach unterschätzt wird und die an dieser Stelle allein benannt werden kann.

4 – Evaluierung von Forschungsinfrastrukturen – *Impact*

Forschungsinfrastrukturen entwickeln einen *impact* nicht allein in die wissenschaftlichen *communities* hinein, sondern auch in die Umgebung, in der sie verortet sind. Das *Science and Technology Facilities Council* (STFC) in Großbritannien führte eine Fallstudie zum *impact* der *Daresbury Synchrotron Radiation Source* durch, nachdem diese im Jahr 2008 nach fast 30-jährigem Betrieb geschlossen worden war. |⁸⁹ Sie verdeutlicht, in welchem Umfang unvorgesehene Effekte wie die Gründung von *spin-offs* aufgetreten sind. Solch umfassende, methodisch herausfordernde Studien sind jedoch noch selten, sehr aufwendig und wegen des langen Zeithorizontes von begrenztem Nutzen für Entscheidungsprozesse.

| ⁸⁶ Vgl. dazu auch Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020 (Drs. 2359-12), Berlin Juli 2012, S. 69-72.

| ⁸⁷ Das Projekt *Realising and Managing International Research Infrastructures* (RAMIRI) widmet sich der Fortbildung dieses Berufszweiges gerade im Hinblick auf Governance-Fragen. Vgl. <http://www.ramiri.eu/> vom 29.08.2012.

| ⁸⁸ Vgl. dazu auch Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020 (Drs. 2359-12), Berlin Juli 2012, S. 68.

| ⁸⁹ STFC: *New Light on Science - the social and economic impact of the Daresbury Synchrotron Radiation Source*, (1981-2008), <http://www.stfc.ac.uk/resources/PDF/SRSImpact.pdf> vom 13.08.2012.

Es ist derzeit unklar, wie die Herausforderungen des vorausschauenden Erfassens von für den *impact* relevanten Daten adressiert sowie die Zuschreibung von Erfolgen oder Misserfolgen realisiert werden können. Allerdings sollte einerseits der Aufwand für die Forschenden selbst und die Trägereinrichtungen der Forschungsinfrastrukturen möglichst gering gehalten werden. Daher gibt es Bestrebungen, den *impact* anhand ohnehin verfügbarer oder automatisch erfassbarer Daten wie Lebensläufe, Beschäftigungsverhältnisse, abgeschlossene Promotionen usw. zu messen.^{|⁹⁰} Andererseits sollte jedes Vorhaben selbst Erfolgsindikatoren für sich entwickeln. Wenn die für diese *metrics of success* relevanten Grunddaten mit Aufnahme des Betriebs kontinuierlich erfasst werden, lassen sich regelmäßige Evaluationen ohne großen Aufwand auch seitens der Trägereinrichtungen vorbereiten.

Eine weitere Aufgabe einer Forschungsinfrastruktur besteht darin, ihre Ergebnisse in eine breitere Öffentlichkeit zu vermitteln mit dem Ziel, einen *impact* hinsichtlich gesellschaftlicher Entwicklungen zu erzeugen und in politischen Entscheidungsprozessen beratende Aufgaben übernehmen zu können. Ein Beispiel aus dem Bereich der Umweltwissenschaften ist das *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)^{|⁹¹}, eine Organisation von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die mit Hilfe ihrer Forschung und ihrer Erkenntnisse dazu beitragen wollen, den Klimawandel zu verstehen und seinen Herausforderungen bestmöglich zu begegnen. Auch zur Lösung weiterer *Grand Challenges* wie beispielsweise der Probleme einer alternden Gesellschaft ist eine Beteiligung der Wissenschaft unabdingbar. Forschungsinfrastrukturen sollten daher ein Konzept für den Transfer ihrer Ergebnisse in die politische und in eine breitere Öffentlichkeit entwickeln und dafür Sorge tragen, dass dieser Transfer auch gelingt.

|⁹⁰ Vgl. Lane, J: *STAR METRICS and the Science of Science Policy*, in: *Review of Political Research*, 29 (2012) 3, S. 431-438 und Lane, J.; Bertuzzi, S.: *Measuring the Results of Science Investments*, in: *Science*, 331 (2011) 6018, S. 678-680.

|⁹¹ „The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is the leading international body for the assessment of climate change. It was established by the United Nations Environment Programme (UNEP) and the World Meteorological Organization (WMO) to provide the world with a clear scientific view on the current state of knowledge in climate change and its potential environmental and socio-economic impacts“ (<http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml> vom 03.06.2012).

Die Bedeutung von Forschungsinfrastrukturen für die Leistungsfähigkeit von Wissenschaft und Forschung wächst – **wissenschaftlich**, da heute alle Disziplinen auf den Einsatz von Forschungsinfrastrukturen angewiesen, **organisatorisch**, weil Forschungsinfrastrukturen immer komplexer werden, und **finanziell**, weil der Ressourceneinsatz immer größer wird. Ein Roadmap-Verfahren auf der Grundlage einer wissenschaftsgeleiteten Bewertung zielt vor diesem Hintergrund darauf, Fehlinvestitionen zu minimieren, aus wissenschaftlicher Sicht den Ressourceneinsatz mit Blick auf ein leistungsstarkes Wissenschaftssystem zu optimieren und sich international zu positionieren.

Unterschiedliche Wissenschaftsorganisationen in Deutschland haben bereits Anstrengungen unternommen, den Bedarf an Forschungsinfrastrukturen systematisch zu erheben. Die Helmholtz-Gemeinschaft hat im September 2011 ihre erste Roadmap für Forschungsinfrastrukturen veröffentlicht. |⁹² Auch die Leibniz-Gemeinschaft plant eine eigene Roadmap. |⁹³ Auf europäischer Ebene spielt die ESFRI-Roadmap die zentrale Rolle. Alle Forschungsinfrastrukturvorhaben der Pilotphase sind bereits auf der ESFRI- oder der Helmholtz-Roadmap gelistet.

Diese Roadmaps haben den Charakter von „Wunschlisten“, insofern sie nicht zu einer unmittelbaren Förderung der Realisierung von Forschungsinfrastrukturen führen. Der Ausschuss begrüßt ausdrücklich das Ziel des BMBF, mit der jetzt erprobten Anlage über das Konzept einer Bedarfsanalyse, die keine finanzielle Förderverbindlichkeit beinhaltet („Wunschliste“), hinauszugehen.

Deutschland zählt zu den wenigen Ländern in Europa, die noch keine Roadmap erarbeitet haben. Auch über Europa hinaus haben zahlreiche Länder einschließlich der USA, Chinas, Japans, Australiens und Neuseelands eine eigene Roadmap für Forschungsinfrastrukturen – jeweils mit spezifischen Ansätzen – entwickelt.

Mit der Erarbeitung einer Nationalen Roadmap für Forschungsinfrastrukturen wird Deutschland seine Position im europäischen und internationalen Kontext ausbauen. Eine solche Roadmap soll zum ersten Mal öffentlich machen, welche Investitionsschwerpunkte Deutschland in den nächsten Jahren setzt. Dadurch

|⁹² Die Helmholtz-Roadmap bildet eine Grundlage für Verhandlungen mit den Zuwendungsgebern und richtet sich zugleich an die Nutzergemeinschaften der Forschungsinfrastrukturen sowie an die Mitglieder der Helmholtz-Gemeinschaft für eine kontinuierliche interne Diskussion. Vgl. HGF: Helmholtz-Roadmap für Forschungsinfrastrukturen. Stand 2011, Bonn 2011, S. 5.

|⁹³ Vgl. Leibniz-Gemeinschaft: Zukunft durch Forschung. Positionspapier der Leibniz-Gemeinschaft, 2012, S. 14.

kann die Rolle Deutschlands als eines der führenden Wissenschaftsländer gestärkt werden.

Darüber hinaus konnten im Rahmen des Bewertungsprozesses übergeordnete Herausforderungen für Forschungsinfrastrukturen identifiziert werden. Nicht alle der genannten Herausforderungen lassen sich zugleich bewältigen. Ihre Bearbeitung ist jedoch dringend erforderlich mit Blick auf die Vielzahl von Forschungsinfrastrukturen unter deutscher Beteiligung, deren Realisierung jetzt ansteht. Viele wissenschaftliche *communities*, insbesondere diejenigen, die im Unterschied beispielsweise zur Astrophysik noch nicht auf eine lange Geschichte und reiche Erfahrung in der Ausarbeitung und dem Betrieb von Forschungsinfrastrukturen zurückblicken, können von den Empfehlungen profitieren.

Die Erarbeitung und Veröffentlichung einer Roadmap für Forschungsinfrastrukturen trägt somit auf unterschiedlichen Ebenen zur Stärkung der Leistungsfähigkeit des deutschen Wissenschaftssystems und zur besseren Positionierung Deutschlands im europäischen und im globalen Kontext bei.

AISBL	<i>Association Internationale Sans But Lucratif</i>
ASPERA	<i>AStroParticle ERAnet</i>
AWI	<i>Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung</i>
BMBF	<i>Bundesministerium für Bildung und Forschung</i>
CARIBIC	<i>Civil Aircraft for the Regular Investigation of the atmosphere Based on an Instrument Container</i>
CTA	<i>Cherenkov Telescope Array</i>
DESY	<i>Deutsches Elektronen-Synchrotron</i>
DFG	<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>
DOE	<i>Department of Energy</i>
ECBD	<i>European Chemical Biology Database</i>
ECBL	<i>European Chemical Biology Library</i>
EIROforum	<i>European Intergovernmental Research Organizations forum – Mitglieder: Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN), European Fusion Development Agreement – Joint European Torus (EFDA-JET), European Molecular Biology Laboratory (EMBL), European Space Agency (ESA), European Southern Observatory (ESO), European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), European X-Ray Free-Electron Laser (European XFEL) und Institut Laue-Langevin (ILL).</i>
ELIXIR	<i>European life-science infrastructure for biological information</i>
EMBL	<i>European Molecular Biology Laboratory</i>
EMBL-EBI	<i>European Molecular Biology Laboratory – European Bioinformatics Institute</i>
EMFL	<i>European Magnetic Field Laboratory</i>
EMSO	<i>European Multidisciplinary Seafloor Observatory</i>
EPOS	<i>European Plate Observing System</i>
ERIC	<i>European Research Infrastructure Consortium</i>
ESA	<i>European Space Agency</i> <i>Europäische Weltraumorganisation</i>

126	ESFRI	<i>European Strategy Forum on Research Infrastructures</i>
	ESKAPE	<i>Enterococcus faecium, Staphylococcus aureus, Klebsiella pneumoniae, Acinetobacter baumannii, Pseudomonas aeruginosa und Arten der Gattung Enterobacter.</i>
	ESO	<i>European Southern Observatory</i> Europäische Südsternwarte
	EU	Europäische Union
	EU-OPENSREEN	<i>European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology</i>
	Euro-BioImaging	<i>European Research Infrastructure for Imaging Technologies in Biological and Biomedical Sciences</i>
	FhG	Fraunhofer-Gesellschaft e. V.
	FMP	Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie (ehem. Forschungsinstitut für Molekulare Pharmakologie)
	FRAM	<i>Frontiers in Arctic Marine Monitoring</i>
	FZJ	Forschungszentrum Jülich
	GEBI	<i>German Euro-BioImaging</i>
	GEMIS	<i>Global Earth Monitoring and Validation System</i>
	GEO	<i>Group on Earth Observations</i>
	GEOSS	<i>Global Earth Observing System of Systems</i>
	GFZ	GeoForschungsZentrum Potsdam
	GMES	<i>Global Monitoring for Environment and Security</i>
	GPS	<i>Global Positioning System</i>
	HALO	<i>High Altitude Long range research aircraft</i>
	H.E.S.S.	<i>High Energy Stereoscopic System</i>
	HLD	Hochfeld-Magnetlabor Dresden
	HGF	Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e. V.
	HZI	Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung
	IAGOS	<i>In-service Aircraft for a Global Observing System</i>
	IAGOS-DS	<i>In-service Aircraft for a Global Observing System – Design Study</i>

IAGOS-ERI	<i>In-service Aircraft for a Global Observing System – European Research Infrastructure</i>
IFW	Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden
IMI	<i>Innovative Medicines Initiative</i>
IMT	<i>Institute for Medical Technology</i>
INSTRUCT	<i>Integrated Structural Biology Infrastructure</i>
KDM	Konsortium Deutsche Meeresforschung
LED	Lichtemittierende Diode
MAGIC	<i>Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescopes</i>
MERIL	<i>Mapping of the European Research Infrastructure Landscape</i>
MDC	Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin
MLP	<i>Molecular Libraries Program</i>
MOZAIC	<i>Measurements of OZone, water vapour, carbon monoxide and nitrogen oxides by in-service Airbus airCraft</i>
MPG	Max-Planck-Gesellschaft
MPI	Max-Planck-Institut
MRT	Magnetresonanztomographie
MR-PET	Magnetresonanztomographie-Positronenemissionstomographie
NHMFL	<i>National High Magnetic Field Laboratory</i>
NIH	<i>National Institutes of Health</i>
NMR	<i>Nuclear Magnetic Resonance</i> Kernspinresonanz
OOS	<i>Ocean Observing System</i> Ozeanbeobachtungssystem
SIOS	<i>Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System</i>
VDI/VDE-IT	VDI/VDE Innovation und Technologie GmbH
WGL	Wissenschaftsgemeinschaft Wilhelm Gottfried Leibniz e. V.
WR	Wissenschaftsrat

Anhang

Anhang 1	Ausführliche Projektbeschreibungen	133
Anhang 1.1	Ausführliche Projektbeschreibung von CTA	133
Anhang 1.2	Ausführliche Projektbeschreibung von EMFL	137
Anhang 1.3	Ausführliche Projektbeschreibung von IAGOS	141
Anhang 1.4	Ausführliche Projektbeschreibung von Cabled OOS FRAM	145
Anhang 1.5	Ausführliche Projektbeschreibung von EPOS	150
Anhang 1.6	Ausführliche Projektbeschreibung von GEMIS	153
Anhang 1.7	Ausführliche Projektbeschreibung von EU-OPENSREEN	156
Anhang 1.8	Ausführliche Projektbeschreibung von GEBI	161
Anhang 1.9	Ausführliche Projektbeschreibung von INSTRUCT	166
Appendix 2	Complementary and competing research infrastructures	171
Appendix 2.1	Complementary research infrastructures of CTA	171
Appendix 2.2	Competing and complementary research infrastructures of EMFL	177
Appendix 2.3	Complementary research infrastructures of IAGOS	182
Appendix 2.4	Complementary research infrastructures of Cabled OOS FRAM	187
Appendix 2.5	Complementary research infrastructures of EPOS	194
Appendix 2.6	Complementary research infrastructures of EU-OPENSREEN	199
Appendix 2.7	Complementary research infrastructures of GEBI	202
Appendix 2.8	Competing and complementary research infrastructures of INSTRUCT	204

In diesem Anhang sind die ausführlichen Projektbeschreibungen der neun Forschungsinfrastrukturvorhaben zusammengefasst. Sie wurden anhand der eingereichten Konzepte erstellt und in der englischen Fassung mit den verantwortlichen Trägerinstitutionen abgestimmt.

Anhang 1.1 Ausführliche Projektbeschreibung von CTA

Wissenschaftliches Potenzial laut Konzept

Die Hochenergie-Gammastrahlen-Astronomie befasst sich mit Herkunft und Wechselwirkungen der energiereichsten Photonen des Universums. Bei der kosmischen Hochenergie-Gammastrahlung handelt es sich um eine äußerst energiereiche Form elektromagnetischer Strahlung, die beispielsweise von Supernovae oder schwarzen Löchern freigesetzt wird. Der typische Energiebereich erstreckt sich von einigen zehn Gigaelektronenvolt (GeV) bis zu Hunderten von Teraelektronenvolt (TeV).

Die Erdatmosphäre absorbiert diese Gammastrahlung. Trifft Gammastrahlung auf ein Atom in der Luft, wird durch die Wechselwirkung ein Schauer geladener Teilchen freigesetzt, die wiederum mit anderen Atomen wechselwirken können. Die Teilchen des Schauers bewegen sich mit Überlichtgeschwindigkeit durch die Atmosphäre und geben dabei kegelförmig ein bläuliches Licht ab, die sogenannte Cherenkov-Strahlung. Dieser Vorgang entspricht dem Überschallknall, den Flugzeuge erzeugen, die sich schneller als mit Schallgeschwindigkeit bewegen. Die Beobachtung der Cherenkov-Strahlung mit mehreren Teleskopen ermöglicht die genaue Rekonstruktion des Teilchenschauers und damit der ursprünglichen Energie und Richtung der Photonen der Gammastrahlung.

Das Gammastrahlen-Observatorium CTA verfügt über eine Empfindlichkeit, die eine Größenordnung über der bestehender Instrumente liegt. Die leitenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler heben hervor, dass CTA für die nächsten 10 bis 20 Jahre die wichtigste Einrichtung der Hochenergie-Astrophysik sein wird. Die erwarteten Ergebnisse werden den Angaben der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zufolge nicht nur das Wissen über Hochenergieteilchen im Universum und ihre Beschleunigungsmechanismen erweitern, sondern außerdem grundlegende Fragestellungen der Physik vorantreiben. Dies sind beispielsweise die Suche nach den Teilchen, aus denen die dunkle Materie besteht, die Natur der fundamentalen Wechselwirkungen und mögliche Veränderungen der Raumzeitstruktur durch Quantengravitationseffekte. Der Gammastrahlen-Astronomie wird eine zentrale Rolle bei der Erforschung von Hochenergiephänomenen zukommen.

Das CTA-Observatorium wird hauptsächlich von Astronominnen und Astronomen sowie von Physikerinnen und Physikern genutzt werden, die in der Hochenergie-Astrophysik und in der Astroteilchenphysik tätig sind und derzeit auf den Gebieten der Röntgenastronomie sowie der satelliten- und bodengestützten Gammastrahlen-Astronomie forschen. Daneben wird die Nutzergruppe Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den verwandten Gebieten der Kosmologie, der Plasmaphysik, der Physik der fundamentalen Wechselwirkungen und der theoretischen Astrophysik umfassen. Des Weiteren werden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Gebiet der Atmosphärenphysik Interesse an der Nutzung von CTA-Messungen haben.

Die zuständigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Deutschland geben an, dass gegenwärtig mehr als 860 Forscher an über 120 Instituten in 25 Ländern am CTA-Projekt beteiligt sind. Das entspricht einem substanziellen Anteil der weltweiten Nutzergemeinschaft von mehr als 1.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die auf dem Gebiet der Hochenergie-Gammastrahlen-Astronomie tätig sind. Neben den europäischen Ländern sind auch die USA, Argentinien, Brasilien, Südafrika, Namibia, Indien und Japan beteiligt. Es wird betont, dass erstmalig alle Forschungsgruppen auf diesem Gebiet ihre Anstrengungen auf ein Projekt vereinen.

Trotz der überwiegend europäischen Zusammensetzung der beteiligten Teams handelt es sich bei CTA um eine globale Forschungsinfrastruktur. Wie auch bei anderen offenen Observatorien wird der Zugang zu den CTA-Arrays in erster Linie auf der Grundlage wissenschaftlich begründeter Anträge auf Beobachtung gewährt. Die Anträge werden von unabhängigen Expertinnen und Experten bewertet und bewilligt. Erfolgreichen Bewerberinnen und Bewerbern werden die Messergebnisse für einen begrenzten Zeitraum exklusiv zur Verfügung gestellt. Nach Ablauf dieser Frist kann eine größere Gruppe an Nutzerinnen und Nutzern auf die archivierten Daten zur wissenschaftlichen Auswertung zugreifen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler heben hervor, dass die direkte Nutzung, d. h. die Analyse der Daten, der bestehenden Hochenergie-Gammastrahlungsinstrumente auf eine vergleichsweise kleine Gruppe von Expertinnen und Experten beschränkt ist. Die einfach anwendbaren Werkzeuge, die für die Analyse von CTA-Daten zur Verfügung stehen werden, werden jedoch einer wesentlich größeren Gruppe aktiver Nutzerinnen und Nutzer die Verwendung von CTA-Daten ermöglichen. Diese Analyse-Software wird auf Werkzeugen der Röntgenastronomie aufbauen, sodass Forschende aus diesem Gebiet leicht umsteigen können.

Die wissenschaftliche Nutzung wird höchstwahrscheinlich Forschungsgruppen vorbehalten sein, deren zuständige Ministerien oder Trägerinstitutionen Bau und Betrieb von CTA finanzieren. Über die konkreten Nutzungsbedingungen

und mögliche Zeitkontingente wird gemeinsam mit den Förderern zu entscheiden sein.

Umsetzbarkeit laut Konzept

Bisher wurde dieser Typ der Gammastrahlen-Astronomie mit den H.E.S.S.- (Namibia) und den MAGIC-Teleskopen (Kanarische Insel La Palma) durchgeführt, die hauptsächlich von europäischen Gruppen betrieben werden, sowie mit den Teleskopen von VERITAS (*Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System*), das überwiegend von einer US-Kooperation in Arizona getragen wird. 2006 begannen Vertreter der H.E.S.S.- und MAGIC-Konsortien an einer Reihe von Instituten mit der Entwurfsplanung von CTA. Das CTA-Konsortium wurde gegründet und führte zwischen 2008 und 2010 eine Designstudie durch. Danach startete die dreijährige ESFRI-Vorbereitungsphase für das *Cherenkov Telescope Array*. In diesem Rahmen wurde die Leistungsfähigkeit des CTA-Teleskopsystems anhand anwendungserprobter Simulationsrechnungen belegt. Die derzeitigen Arbeiten konzentrieren sich auf die Vorbereitung der effizienten und kostengünstigen Herstellung der Teleskopkomponenten, die Auswahl der Standorte und das Governance-Konzept für CTA.

An die laufende Vorbereitungsphase schließt sich eine fünfjährige Bauphase für die CTA-Anordnungen auf der Nord- und der Südhalbkugel an. Ein eingeschränkter wissenschaftlicher Betrieb kann zwei bis drei Jahre nach Baubeginn aufgenommen werden. Der Betrieb ist auf ein Jahrzehnt nach Fertigstellung sowie nach einem angemessenen *upgrade* auf weitere zehn Jahre ausgelegt.

Der aktuelle Entwurf sieht für die Zukunft einen unabhängigen Rechtsträger, das *CTA Observatory*, vor. Diese Institution ist für den Bau der Infrastruktur, die Tätigkeiten an den einzelnen Standorten, den wissenschaftlichen Betrieb der Anlagen und das Management des Projekts insgesamt zuständig. Als Vorbild dafür werden europäische Erfahrungen mit der erfolgreichen ESO-ähnlichen Governance und dem entsprechenden Betrieb herangezogen. Im April 2011 wurde ein CTA-Ressourcenausschuss eingerichtet, dessen Aufgabe die Ausarbeitung der rechtlich bindenden Verpflichtungen zum Bau von CTA ist. Für Deutschland sind das Bundesministerium für Bildung und Forschung, die Helmholtz-Gemeinschaft und die Max-Planck-Gesellschaft (MPG) an diesem Ausschuss beteiligt.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland laut Konzept

Den zuständigen Institutionen zufolge sind deutsche Teams auf dem jungen Gebiet der Gammastrahlen-Astronomie bei sehr hohen Energien führend. CTA wird als weltweit einzigartige Forschungsinfrastruktur Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus der Astronomie, der Astroteilchen- und Teilchenphysik sowie aus der Kosmologie aus Deutschland, Europa und der gesamten Welt

136 ermöglichen, ein neues wissenschaftliches Verständnis des Universums zu erarbeiten.

In Deutschland sind bereits elf Institutionen (DESY, MPG und neun Universitäten) an der CTA-Initiative beteiligt. Der Sprecher des von ihnen gebildeten CTA-Konsortiums ist wissenschaftliches Mitglied der MPG und einer der Direktoren des MPI für Kernphysik. Das internationale Projektbüro wird in der Landessternwarte der Universität Heidelberg eingerichtet. Die zuständigen Institutionen gehen davon aus, dass die Rolle Deutschlands bei Bau und Nutzung der Forschungsinfrastruktur in erster Linie von der finanziellen Beteiligung deutscher Institutionen, der Art der Organisation von CTA und der Größe der deutschen Nutzergemeinschaft abhängen wird.

Wissenschaftliches Potenzial laut Konzept

Magnetfelder sind ähnlich wie Druck und Temperatur ein wichtiger externer physikalischer Parameter für die Zustandsbeschreibung eines Materials. Daher helfen sie, in den unterschiedlichsten Forschungsgebieten tiefere Erkenntnisse über Stoffeigenschaften zu gewinnen. Bei diesen Gebieten handelt es sich in erster Linie um Physik, Materialwissenschaften, Chemie sowie zunehmend um Lebenswissenschaften und Medizin. Die Konzeptverantwortlichen führen an, dass die Hochfeldforschung vielfach bahnbrechende Entdeckungen von grundlegender Bedeutung hervorgebracht hat. Durch solche Beobachtungen konnten der Wissensstand in den Materialwissenschaften weiterentwickelt und neue technische Anwendungsmöglichkeiten und Bereiche eröffnet werden.

Den Projektwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern zufolge ist die wissenschaftliche und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit Deutschlands stark von der Einführung neuer und innovativer Produkte und Fertigungsverfahren abhängig. Für diese Produkte und Verfahren werden in zunehmendem Maße funktionelle Materialien wie z. B. leistungsfähige spezialisierte Halbleiter, Batteriespeichermedien, Dünnschichtmaterialien, nanostrukturierte Materialien, Supraleiter oder auch geeignete Alternativen zu ferromagnetischen Seltenerdverbindungen benötigt. Bei der Entwicklung mancher dieser Materialien könnten Experimente in hohen Magnetfeldern eine ausschlaggebende Rolle spielen. Die grundlegenden Eigenschaften neuartiger Materialien werden in den Partnerlaboren von EMFL bestimmt. Auf dieser Grundlage können die Materialien gezielt für spezifische Anwendungen der Magnet- und Informationstechnologie verändert werden. Insbesondere die elektronischen und magnetischen Eigenschaften werden detailliert untersucht. Ziel sowohl des internen Forschungsprogramms wie auch der externen Nutzung des Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD) sind Untersuchungen, um die Entwicklung solcher Materialien zu unterstützen. Das HLD befasst sich darüber hinaus mit der Technologie- und Verfahrensentwicklung für Hochleistungsanwendungen und Hochfeldmagneten.

Das Ziel des im vorliegenden Konzept beschriebenen Teils der EMFL-Forschungsinfrastruktur ist es, vollständig supraleitende statische Magnetfelder von mehr als 30 Tesla für Nutzerinnen und Nutzer sowie die interne Forschung verfügbar zu machen. Diese Magnetfelder von über 30 Tesla sollen mit einer noch zu entwickelnden neuen Generation vollständig supraleitender Spulen erzeugt werden. Den Konzeptverantwortlichen zufolge eröffnet dieses wissenschaftlich und technologisch äußerst anspruchsvolle Ziel neue potenzielle Anwendungen. Die im Rahmen des Projekts entwickelte Technologie wird sich nicht nur für neuartige Hochfeldmagnete für die Grundlagenforschung, sondern beispielsweise auch für Anwendungen in der Medizin wie der Magnetresonanztomographie

oder der Ionenstrahltherapie eignen. Langfristig ist es höchst erstrebenswert, kostenintensive Ohm'sche Magnete für statische Felder durch supraleitende Magnete zu ersetzen, wo dies möglich ist. Die Kommerzialisierung zu einem späteren Zeitpunkt durch interessierte Unternehmen stellt eine realistische Option dar.

Nutzung laut Konzept

Das HLD wird aktuell intensiv von externen Nutzerinnen und Nutzern als Einrichtung für gepulste Felder genutzt. Etwa 75 % der Messzeit wird an externe Nutzergruppen vergeben. Davon entfallen etwa 65 % auf internationale Anwenderinnen und Anwender. Ähnliche Zahlen gelten auch für die anderen EMFL-Partnerlabore. Die Ausschreibung von Zeitkontingenten sowie die Auswahl von Projekten erfolgen derzeit über das europäische Projekt *EuroMagNET II*. Der Nutzerzugang zu den EMFL-Partnerstandorten wird von einem internationalen Komitee koordiniert. Zweimal jährlich bewertet dieses Komitee alle Anträge ausschließlich auf Grundlage der wissenschaftlichen Qualität. Die Nachfrage nach Messzeit an den Magneten ist so groß, dass das Komitee in vielen Fällen nur eingeschränkte Messzeiten bewilligen kann. Aus diesem Grund streben die EMFL-Partner die Erweiterung ihrer Laborstandorte an. In der aktuellen Nutzerdatenbank der EMFL-Labore sind mehr als 1.500 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der ganzen Welt eingetragen. Dabei handelt es sich um Nutzerinnen und Nutzer aus der Physik und den Materialwissenschaften (85 %) sowie aus der Chemie und den Ingenieurwissenschaften, die zu neuartigen funktionellen Materialien forschen. Diese sind meist an Universitäten und außeruniversitären Forschungsinstitutionen tätig. Insbesondere in den Forschungsgebieten Supraleitung, Magnetismus und Halbleiterphysik werden Felder von über 20 Tesla genutzt. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des HLD leisten Unterstützung für externe Nutzerinnen und Nutzer im Hinblick auf methodische Fragen und die Bewertung der Messergebnisse.

Potenzielle neue Nutzergruppen werden wie bisher auch in Zukunft über gezielte Maßnahmen (wie Vorträge auf Fachkonferenzen und Workshops, mit Hilfe von Flyern oder über Webseiten und Pressemitteilungen) auf die Möglichkeiten der EMFL-Forschungsinfrastrukturen aufmerksam gemacht. Den leitenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zufolge konnten dank der verfügbaren Hochfeld-Magnete bereits mehrere interdisziplinäre Kooperationen initiiert werden; die Einrichtung wird daher auch in Zukunft beständig neue Nutzergruppen anziehen.

Derzeit besteht kein belegtes Interesse von Unternehmen an der Nutzung der Einrichtungen. Es existieren jedoch einige wenige Kooperationen zur gemeinsamen Technologieentwicklung. Beispielsweise hat das HLD eine Puls-Umform-Technologie für das elektromagnetische Formen, Fügen und Schweißen von Me-

tallen entwickelt. Die angestrebte Forschungstätigkeit zur Entwicklung eines supraleitenden 30+ Tesla-Magneten hat die Aufmerksamkeit von Unternehmen gewonnen; die Vermarktung dieser bisher nicht kommerziell verfügbaren supraleitenden Magnete erscheint realistisch.

Umsetzbarkeit laut Konzept

Der erste Abschnitt des HLD wurde in den Jahren 2003 bis 2006 errichtet. Die Konzeptverantwortlichen betonen, dass das HLD seitdem unter den internationalen Forschungsinstitutionen der Festkörperphysik eine führende Rolle auf dem Gebiet der gepulsten Felder erreicht hat. Das Labor wird derzeit (2011 bis 2013) auf etwa die doppelte Größe erweitert, während der volle Forschungsbetrieb aufrechterhalten wird. Die Integration des HLD in die Struktur des EMFL wird im Rahmen einer ESFRI-Vorbereitungsphase (2011 bis 2013) geplant und von der Leitung des HLD und dem Vorstand der übergeordneten Institution aktiv vorangetrieben.

Der vorgeschlagene Teil der Forschungsinfrastruktur beinhaltet die Errichtung von zwei 30+ Tesla-Magnetsystemen am HLD in den nächsten drei Jahren. Der Umsetzungsplan für diese Systeme umfasst neben den beiden Magnetsystemen auch einen Helium-Verflüssiger, einen Erweiterungsbau, die benötigte Infrastruktur und die Versuchsausrüstung.

Die Infrastruktur ist auf eine Betriebsdauer von mindestens 20 Jahren ausgelegt. Durch die stetige Verbesserung der Magnettechnologie und der Messinfrastruktur ist eine wesentlich längere Betriebsdauer möglich, was auch angestrebt wird.

Die Governance-Strukturen des HLD und der EMFL-Partner entsprechen denen der jeweiligen Dachorganisationen. Dabei handelt es sich um das *Centre national de la recherche scientifique* in Frankreich, die Radboud-Universität und die *Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie* in den Niederlanden sowie die Helmholtz-Gemeinschaft in Deutschland. Das HLD ist entsprechend seiner Zugehörigkeit zum Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf dort als Institut organisiert.

Derzeit besteht keine gemeinsame Governance-Struktur des EMFL. Eine solche Struktur wird den Angaben zufolge jedoch derzeit intensiv diskutiert. Bevorzugt soll eine AISBL (*Association Internationale Sans But Lucratif*) nach belgischem Recht mit Sitz in Belgien gegründet werden. EMFL soll durch den Vorstand geleitet werden, der sich aus den Direktorinnen und Direktoren der drei beteiligten Dachorganisationen zusammensetzt. Einer der drei Direktorinnen bzw. Direktoren wird für einen festen Zeitraum (voraussichtlich zwei Jahre) zur bzw. zum Vorstandsvorsitzenden ernannt. Die Aufsicht über den Vorstand führt ein Leitungsgremium, dem Vertreterinnen und Vertreter der Dachorganisationen angehören. Das Leitungsgremium ist die höchste Instanz, die über alle finan-

140 ziellen Belange entscheidet, und ernennt einen wissenschaftlichen Beirat. Die Aushandlung und Vereinbarung weiterer Details steht noch aus.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland laut Konzept

Die deutsche Nutzergemeinschaft ist groß. Wie die intensive internationale Nutzung belegt, machen die in Deutschland einzigartige Zielsetzung und das Anliegen, die höchsten gepulsten Magnetfelder bis zur gegenwärtigen Machbarkeitsgrenze von rund 100 Tesla bereitzustellen, das HLD zu einer attraktiven und sichtbaren Einrichtung.

Der Standort Dresden eignet sich hervorragend für die Umsetzung des 30+ Tesla-Magnetprojekts. Die Forschung zu Grundlagenthemen und zur angewandten Supraleitung wird auf hoher internationaler Ebene wahrgenommen. Es wird angeführt, dass angesichts der wissenschaftlichen Ausrichtung auf die Gebiete der Materialwissenschaften und der Festkörperphysik eine entsprechend hohe Nachfrage an Forschung mit den höchsten möglichen Magnetfeldern besteht.

Wissenschaftliches Potenzial laut Konzept

Den Konzeptverantwortlichen zufolge wird IAGOS langfristig, häufig und regelmäßig genaue und orts aufgelöste Vor-Ort-Messungen der atmosphärischen Zusammensetzung der oberen Troposphäre und der unteren Stratosphäre liefern, d. h. in einer Region, in der im Vergleich zur Erdoberfläche nur spärliche Informationen verfügbar sind. IAGOS kombiniert zwei sich ergänzende Ansätze: IAGOS-CORE und IAGOS-CARIBIC. Die Komponente CORE umfasst Implementierung und Betrieb autonomer Instrumente, die zwecks fortlaufender Messungen wichtiger reaktiver Gase und Treibhausgase (z. B. Kohlendioxid, Methan und Wasserdampf) sowie von Aerosol- und Wolkenpartikeln in bis zu 20 Langstreckenflugzeugen internationaler Fluggesellschaften montiert werden. Die vollautomatischen Instrumente sind für den mehrwöchigen Betrieb im unüberwachten Modus an Bord von Flugzeugen ausgelegt. Die Datenübertragung erfolgt automatisch. Die komplementäre Komponente CARIBIC beinhaltet den monatlichen Einsatz eines Frachtcontainers, der mit Geräten zur Messung einer großen Gruppe von atmosphärischen Bestandteilen ausgestattet wird. Zu dieser Ausrüstung zählen neu entwickelte Instrumente zur Messung beispielsweise von organischen Verbindungen oder Wasserdampfisotopen. Der Container enthält Geräte für Vor-Ort-Messungen, Fernerkundung und die Probenahme für die Laboranalyse nach den Flügen. Zweck dieser Doppelstruktur von IAGOS ist es, die täglichen Messungen der Schlüsselparameter (CORE) durch einen Satz an komplexen und neuartigen Messungen mit begrenzter räumlicher und zeitlicher Abdeckung (CARIBIC) zu ergänzen.

Die Analyse des Klimawandels und die Entwicklung von Bekämpfungs- und Minderungsstrategien erfolgen mithilfe numerischer Modelle auf verschiedenen Skalen (von der urbanen bis zur globalen Skala). Zu den Produkten dieser Modellstudien gehören die Validierung der Emissionen von Spurengasen und Partikeln, die Quantifizierung ihrer Auswirkungen auf Luftqualität und Klima sowie Luftqualitäts- und Klimaprognosen oder Kosten-Nutzen-Analysen von Minderungsoptionen. Die Qualität der Modellprodukte und die Genauigkeit der Prognosen hängen von der Fähigkeit der Modelle ab, die entsprechenden atmosphärischen Vorgänge exakt zu simulieren. Um Unsicherheiten in diesen Modellen zu verringern, werden Messdaten benötigt. Die Konzeptverantwortlichen von IAGOS führen an, dass regelmäßige Messungen mithilfe von Flugzeugen die einzige Möglichkeit zur Erfassung detaillierter und repräsentativer Informationen für den Höhenbereich darstellen, in dem der natürliche wie der anthropogene Treibhauseffekt im Wesentlichen verursacht werden. Die dort herrschende dynamische Komplexität sowie die aufgrund physikalischer Gegebenheiten bestehenden Einschränkungen (z. B. bei Satelliten- oder anderen Fernerkun-

dungsinstrumenten) erschweren die repräsentative Überwachung mit sonstigen derzeit verfügbaren Plattformen. Passagierflugzeuge werden darüber hinaus als einzige Möglichkeit zur repräsentativen Durchführung von Vor-Ort-Messungen der Vertikalprofile vieler Spurengase und Aerosole in der Troposphäre betrachtet. Wie auch bei der simulationsgestützten Wettervorhersage kommt diesen Profilen eine wesentliche Bedeutung für die Validierung von numerischen Modellen und Satellitendatenprodukten zu. Dank der Echtzeitübertragung der IAGOS-Mehrkomponenten-Datensätze können Wetterdienste und Fluglinien die Daten für eine verbesserte (chemische) Wettervorhersage und potenziell für ein optimiertes Krisenmanagement bei Vulkanausbrüchen nutzen.

Der Rückgriff auf Forschungsflugzeuge anstelle gewerblicher Flotten ist angesichts der wesentlich höheren Betriebskosten keine Alternative; Forschungsflugzeuge werden aufgrund dieses Umstands nur in Kurzprojekten von meist wenigen Wochen und zu konkreten Zwecken eingesetzt. Darüber hinaus ist die Tropopause nur mit zehn der weltweit vorhandenen Forschungsflugzeuge erreichbar. Der IAGOS-Ansatz, auf gewerbliche Flugzeuge zurückzugreifen, ist eindeutig die einzige Möglichkeit, fortlaufende Langzeitmessungen in der Tropopause auf nahezu globaler Skala zu erheben.

Nutzung laut Konzept

Die IAGOS-Infrastruktur wird im Allgemeinen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern genutzt werden, die auf dem Gebiet der Atmosphären- und Klimaforschung tätig sind. An der Analyse und wissenschaftlichen Verwendung der Daten aus den Vorläuferprojekten MOZAIC und CARIBIC sind über 100 Forschungsgruppen beteiligt. Diese Gruppe direkter Nutzerinnen und Nutzer umfasst rund 500 Personen weltweit. Interesse an Beteiligung an der neuen Forschungsinfrastruktur besteht außerdem im Rahmen technischer Entwicklungen. Zudem haben Forscherinnen und Forscher aus den USA und aus Taiwan Interesse daran signalisiert, sich uneingeschränkt am Betrieb von IAGOS zu beteiligen. Darüber hinaus gibt es im Luftfahrtsektor großes Interesse seitens der Fluglinien, die den kostenlosen Transport der Ausrüstung zugesagt haben. Sie wollen so einen Beitrag zu einem besseren Verständnis des Klimawandels und insbesondere der Auswirkungen der Luftfahrt sowie zu den wissenschaftlichen Grundlagen des Emissionshandels leisten.

IAGOS ist in zweierlei Hinsicht als offene Infrastruktur vorgesehen. Die an Bord gemessenen Daten werden an eine zentrale Datenbank übertragen, auf die interessierte Nutzerinnen und Nutzer nach der Unterzeichnung eines Datenprotokolls kostenlos zugreifen können. Auch der Zugriff auf Echtzeitdaten soll im Rahmen von *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES) über das Netzwerk europäischer Wetterdienste kostenlos möglich sein. Der Datenzugriff wird in Form von Verträgen mit der Europäischen Umweltagentur geregelt, die mit

der Bereitstellung der Vor-Ort-Daten für das GMES beauftragt wird. Die Bereitstellung der komplexeren und nicht vollautomatischen CARIBIC-Messdaten von Luftproben, die in Laboren analysiert werden müssen, kann einige Monate beanspruchen. Was Versuchsbeteiligungen oder -partnerschaften betrifft, entscheidet die IAGOS-Generalversammlung über die Bewilligung von Anträgen hinsichtlich der Entwicklung neuer Instrumente und der Aufnahme neuer Partner in das Konsortium. Als Entscheidungsgrundlage dienen vorhergehenden Beurteilungen des wissenschaftlichen Beirats.

Umsetzbarkeit laut Konzept

Den leitenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zufolge baut die Forschungsinfrastruktur auf der 15-jährigen Erfahrung mit den Projekten MOZAIC und CARIBIC auf. Des Weiteren wurden seit 2005 im Rahmen von zwei europäischen Dreijahresprojekten, IAGOS-DS und IAGOS-ERI, umfassende vorbereitende Arbeiten durchgeführt. Hauptziele des ESFRI-Projekts IAGOS-ERI waren der Abschluss der Zulassung der wissenschaftlichen Ausrüstung für den Luftverkehr und der Aufbau der wissenschaftlichen Datenbank. Daneben wurden die rechtlichen und organisationstechnischen Voraussetzungen für die neue Forschungsinfrastruktur geschaffen, der Finanzierungsbedarf bestimmt und die rechtlichen Bedingungen für Einbau, Betrieb und Wartung der neuen Geräte an Bord von Passagierflugzeugen nach den geltenden Luftfahrtvorschriften aufgestellt. IAGOS ist damit mit Abschluss der Vorbereitungsphase für die Umsetzung bereit.

Innerhalb der ersten sechs Jahre soll der Einbau der Geräte in 20 Flugzeuge erfolgen. Der Betrieb der drei verbleibenden MOZAIC-Flugzeuge soll in dieser Phase im Rahmen von IAGOS fortgesetzt werden, solange die Flugzeuge von Lufthansa und Air Namibia genutzt werden. Auch der Betrieb des CARIBIC-Containers wird weitergeführt. In den folgenden fünf Jahren sollen einige der älteren Instrumente durch leistungsfähigere Geräte ersetzt werden. Die Umstellung der Vorrichtung auf ein neueres Flugzeug ist für 2016/2017 geplant. Die neue Forschungsinfrastruktur soll über mindestens 20 Jahre, begleitet durch regelmäßige wissenschaftliche Begutachtungen, bei einer kontinuierlichen Anpassung an neue wissenschaftliche Fragestellungen und technische Möglichkeiten betrieben und weiterentwickelt werden. Die IAGOS-CORE-Ausrüstung wird auf rund 500 Flügen pro Flugzeug und Jahr betrieben, der CARIBIC-Container soll auf rund 50 Flügen jährlich eingesetzt werden.

IAGOS hat bereits mit Planungsbeginn die Anforderungen für eine E-Infrastruktur berücksichtigt. Unter Leitung französischer Partner und der *World Meteorological Organization* werden derzeit zwei Datenportale eingerichtet. Dabei handelt es sich um ein Datenportal für Nutzerinnen und Nutzer aus der Wissenschaft und um ein Datenportal, das auf die bestehende E-Infrastruktur

der Wetterdienste für einen Zugriff in Echtzeit aufsetzt. Mit der Anpassung der bestehenden Strukturen sind erhebliche Vorteile für die Nutzenden verbunden, da sie in einer gewohnten Umgebung arbeiten können.

Die IAGOS-ERI-Partner haben vereinbart, IAGOS zunächst als AISBL (*Association Internationale Sans But Lucratif*) nach belgischem Recht zu betreiben und nach der anfänglichen Bauphase die Möglichkeit zur Gründung eines *European Research Infrastructure Consortium* (ERIC) zu prüfen. Standort des Projektbüros wird das Forschungszentrum Jülich sein. Derzeit zirkulieren Satzungsentwürfe unter den Partnern.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland laut Konzept

Die neue Forschungsinfrastruktur bündelt die Tätigkeiten großer deutscher Forschungsinstitutionen, die auf dem Gebiet der Atmosphärenforschung aktiv sind, insbesondere der Helmholtz-Gemeinschaft, der Max-Planck-Gesellschaft, der Leibniz-Gemeinschaft und der entsprechenden Universitäten. Den leitenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zufolge kommt der Finanzierung von IAGOS eine wesentliche Bedeutung bei der Sicherung der deutschen und europäischen Möglichkeiten für hochwertige Vor-Ort-Messungen der Zusammensetzung der Atmosphäre zu.

Deutschland hat bereits in der Vorbereitungsphase die Leitung von IAGOS übernommen. Deutsche Institute haben die Mehrheit der innovativen Messsysteme für IAGOS entwickelt. Die deutsche Projektkoordination geht davon aus, dass die Finanzierung von IAGOS angesichts der mehrheitlichen Beteiligung deutscher Institute an der Forschungsinfrastruktur die führende deutsche Rolle in diesem wissenschaftlich wichtigen Gebiet sichern und darüber hinaus die Sichtbarkeit Deutschlands in der weltweiten Gemeinschaft der Atmosphärenforschung sowie die Attraktivität von Deutschland für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler sowie Studierende aus anderen Ländern erhöhen wird.

Wissenschaftliches Potenzial laut Konzept

Die Projektverantwortlichen beschreiben die vorgeschlagene Infrastruktur als einen neuen Ansatz der Meeresbeobachtung in den Polarregionen. Sie soll eine Vielzahl von Innovationen für die internationale Meeres- und Polarforschung, für die Entwicklung und den Betrieb von Meerestechnik sowie für E-Infrastrukturen zur Erdbeobachtung fördern. Daneben stellt sie den Trägerinstitutionen zufolge die einzige technische Lösung für langfristige ganzjährige Ozeanbeobachtungen dar. Die Infrastruktur überwindet die Hindernisse bei der Beobachtung der Umweltveränderungen in den Polarregionen. Insbesondere werden der Zugang zu kontinuierlichen und multidisziplinären synchronen Beobachtungen eisbedeckter Meere, die Bereitstellung frei zugänglicher Daten nahezu in Echtzeit und ein bidirektionaler Datenaustausch ermöglicht. Auf diese Weise können mit diesem Beobachtungssystem die Folgen und Rückkopplungsmechanismen schneller Klima-, Meeres- und Ökosystemveränderungen am Übergang zwischen Atlantik und Arktischem Ozean untersucht werden.

Die geplante Infrastruktur ergänzt Expeditions- und Fernerkundungsdaten mit fortlaufenden Messungen von der Meeresoberfläche bis zur Tiefsee auch in den ganzjährig eisbedeckten Gebieten durch die Kombination von stationären und beweglichen Instrumentenplattformen. Auf diese Weise können Veränderungen und Wechselbeziehungen der physikalischen, chemischen, biologischen und geologischen Eigenschaften untersucht werden. Das Vorhaben Cabled OOS FRAM soll einen neuen Zugang zu den folgenden wissenschaftlichen Phänomenen eröffnen:

- _ Erhöhung des Süßwasseranteils in den Nordpolarmeerströmen und Auswirkungen dieses Vorgangs auf die globalen umwälzenden Strömungen,
- _ Volumen-, Wärme- und Salzaustauschvorgänge zwischen dem Nordatlantik und der Arktis,
- _ Kohlenstoffzyklus, -export und -speicherung im Meer,
- _ Wassermassen- und Partikeltransport mittlerer Größenordnung über den gesamten Tiefenbereich der Wassersäule,
- _ jährliche und jahreszeitliche Schwankungen von Biodiversität und Funktion von Plankton und Benthos,
- _ geologische Dynamiken der Region einschließlich Wechselbeziehungen mit Gashydratvorkommen,
- _ Verschmutzung durch zunehmenden Schiffsverkehr und andere Arten anthropogener Einflüsse.

Die Implementierung und der langfristige Betrieb der FRAM-Verkabelung sollen einen Beitrag zur integrativen Beobachtung des Systems Erde leisten. Dabei sol-

len die naturgegebenen Dynamiken, aber auch die Auswirkungen des globalen Wandels in verschiedenen Raum- und Zeithorizonten objektiv bestimmt werden. Das geplante integrierte Netzwerk aller Kabelstationen wird für die kommenden 25 bis 50 Jahre eine wichtige Rolle bei der Meeresbeobachtung einnehmen. Den Trägerinstitutionen zufolge stellt Cabled OOS FRAM eine einzigartige Möglichkeit zur Behandlung des Ökosystemwandels in der Arktis durch fortlaufende multidisziplinäre Beobachtung dar, das so einen Beitrag zu mehreren wissenschaftlichen Programmen leisten kann, darunter FONA (BMBF) |⁹⁴, EMSO und SIOS (EU) sowie die internationalen Programme des Arktischen Rats. Des Weiteren hängt der Erfolg der internationalen Initiative *Group on Earth Observations* (GEO) von der Implementierung und Unterstützung dieser Art nationaler Beobachtungsinfrastrukturen an den Krisenherden des Klimawandels ab.

Nutzung laut Konzept

Das Konsortium Deutsche Meeresforschung (KDM) repräsentiert insgesamt rund 2.200 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im gesamten Gebiet der Meeres- und Polarforschung in Deutschland, einschließlich der über 15 außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Universitäten, die auf dem Gebiet der Meeres-, Küsten- und Polarforschung tätig sind. Die Forschungstätigkeit ist in nationale, europäische und internationale Wissenschaftsnetzwerke eingebettet, von denen viele direkt (durch die Teilnahme an Expeditionen) oder indirekt (über E-Infrastrukturen) von dem konzipierten Beobachtungssystem profitieren würden, wie verschiedene Broschüren und sogenannte *white paper* zur Zukunft der Arktisüberwachung und Erdbeobachtung belegen.

An dem Kabelobservatorium werden zwei Arten von Nutzergruppen der nationalen und internationalen *communities* der Polar- und Meeresforschung beteiligt sein. Die direkten Nutzerinnen und Nutzer der Infrastruktur werden mit Instrumenten zum Kabelobservatorium beitragen und/oder für umfassende Studien in dem durch das Netzwerk abgedeckten Gebiet kontextuelle Proben entnehmen und Messungen durchführen. Im Einzelnen sind die folgenden Nutzergruppen für die konzipierte Infrastruktur zu erwarten: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Gebieten operationelle Ozeanographie, Klimaüberwachung und -modellierung, Meeresumweltüberwachung und -modellierung, Satellitenfernerkundung, Unterwassertechnologie und Tiefseexploration, Gashydratstabilität und Georisiken, Bildung und Öffentlichkeitsarbeit sowie Arktisfischerei. Die potenzielle Nutzergemeinschaft würde damit die Größe bei bisherigen Schiffseinsätzen weit übertreffen. Weitere Nutzerinnen

| ⁹⁴ Vgl. BMBF: Forschung für nachhaltige Entwicklungen. Rahmenprogramm des BMBF, Bonn, Berlin 2009.

und Nutzer können sich über das FRAM-Webportal registrieren und über die E-Infrastruktur-Komponente des Kabelobservatoriums die bereitgestellten Daten für wissenschaftliche Analysen, für die Modellierung, für Schulungs- und Unterrichtszwecke sowie für die Öffentlichkeitsarbeit (indirekt) nutzen.

Dem Konzept zufolge würde sich der integrierte und grundsätzlich frei zugängliche Betrieb auf die bestehende Planung großer Meeres- und Erdbeobachtungsinfrastrukturen europäischer und internationaler Projekte stützen und dem modernsten Stand für die Beobachtung des Systems Erde entsprechen. Im Rahmen dieser Betriebsweise soll eine virtuelle Forschungsumgebung aufgebaut werden, die neben der Messdatenerfassung und Bereitstellung der Datenströme auch Softwaremodule für Datenassimilierung sowie für Aggregation und Visualisierung der Datensätze umfasst und die mit Proben- und Produktarchiven verbunden ist. Diese Umgebung wird anhand der Grundsätze des *Global Earth Observation System of Systems* (GEOSS) entwickelt, die gemeinsame Standards und eine vernetzte E-Infrastruktur vorantreiben. So können Daten Tausender unterschiedlicher Instrumente zu kohärenten multidisziplinären Datensätzen kombiniert werden. Die Hauptpartner des FRAM-Ozeanbeobachtungssystems in Deutschland sind an den europäischen ESFRI-Projekten *European Multidisciplinary Seafloor Observatory* (EMSO) und *Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System* (SIOS) beteiligt, mit denen die Grundlage für gemeinsame Standards und Interoperabilität geschaffen wurde.

Umsetzbarkeit laut Konzept

Die vorgeschlagene Infrastruktur baut auf bestehende Stationen für Zeitreihenbeobachtungen auf, die seit 1997 vom Alfred-Wegener-Institut (AWI) und seinen nationalen und internationalen Partnern betrieben werden. 2011 wurde im Rahmen des Roadmap-Prozesses der Helmholtz-Gemeinschaft ein Antrag auf Einrichtung eines integrierten autonomen Ozeanbeobachtungssystems FRAM eingereicht. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Integration und Aufrüstung der bereits bestehenden Sensor- und Instrumentennetzwerke für Meeresbeobachtungen der nächsten Generation auf den Gebieten der physischen und biologischen Ozeanographie. Das KDM plant im Rahmen des EU-Projekts EMSO seit 2006 ein größeres multidisziplinäres Meeresbeobachtungssystem und in diesem Rahmen auch Lösungen für Instrumente und Plattformen, die eine durchgängige Stromversorgung und Datenübertragung voraussetzen. Diese Aktivitäten mündeten in Zusammenarbeit mit norwegischen Partnern in verwandten Projekten in eine Initiative zur Einrichtung einer Verkabelung des FRAM-Ozeanbeobachtungssystems als neue tragfähige Infrastruktur für die Polar- und Meeresforschung, die eine Verbindung von den Küsten bis zur Tiefsee und von West-Spitzbergen bis Ostgrönland herstellen würde. Die Infrastruktur würde bestehende und neue Sensorsysteme und Instrumentenplattformen integrieren und einsetzen, ausreichend Energie selbst für anspruchsvolle Probennahme-

systeme liefern, große Datenmengen übertragen können und die interaktive Steuerung des Systems erlauben. Erste Unterseekabelsysteme wurden in den letzten fünf Jahren in den USA, Kanada, Japan und Taiwan eingerichtet. Das Kabelobservatorium FRAM wird das einzige Kabelobservatorium der Erde in einer eisbedeckten Region des offenen Meeres sein.

Für die Planung des konzipierten FRAM-Kabelobservatoriums schlagen die leitenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Einzelnen die folgenden vier Phasen vor. In der ersten Phase mit einer Dauer von drei Jahren wird eine Machbarkeitsstudie mit sorgfältiger Bestimmung der wissenschaftlichen Voraussetzungen, der Prüfung der Umweltverträglichkeit, der langfristigen Realisierbarkeit, der Kostenaufstellung, des logistischen Rahmens und der Finanzierungsoptionen erstellt. Die Phase wird mit internen und externen Evaluationen der detaillierten Durchführungspläne abgeschlossen. Je nach Ergebnis folgt eine vierjährige Phase zur Entwicklung und Implementierung der Flachwasser- und Tiefseeknoten und -instrumente. Das FRAM-Kabelobservatorium wird nach sieben Jahren uneingeschränkte Funktionsfähigkeit erreicht haben und sollte dann über die typische Lebensdauer von Untersee-Kabelinfrastrukturen von 10 bis 20 Jahren Daten und Forschungsmöglichkeiten für nationale und internationale Nutzer bereitstellen.

Das FRAM-Kabelobservatorium wird vom Steuerungsausschuss des Observatoriums als höchstem beschlussfassendem Organ geführt. Ihm gehören Vertreterinnen und Vertreter des KDM an, darunter auch das Direktorium des AWI. Eine am AWI ansässige Koordinierungsstelle erstellt die jährlichen Haushalts- und Wissenschaftsberichte und unterstützt die Arbeit der Geschäftsführung und Leitungsorgane. Ein internationaler wissenschaftlicher Beirat und ein technischer Beirat mit internationalen Expertinnen und Experten beraten den Steuerungsausschuss.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland laut Konzept

Die Konzeptverantwortlichen heben hervor, dass das Konzept in vollständiger Übereinstimmung mit den nationalen und europäischen Forschungsprioritäten eine Vielzahl strategischer Pläne der in der Meeres- und Polarforschung tätigen nationalen und internationalen *communities* abdeckt. Die Infrastruktur werde hohe wissenschaftliche, strategische und gesellschaftliche Wirkungen in den Meereswissenschaften zeitigen und Deutschland in die Lage versetzen, zentralen politischen und ökologischen Problemen der Gegenwart von nationaler und internationaler Bedeutung zu begegnen, wie Klimawandel, Umweltüberwachung, nachhaltiges Management mariner Ressourcen und Georisikowarnung. Daneben wird davon ausgegangen, dass die Infrastruktur die Entwicklung von Meerestechnologie fördern und in diesem Sinne für die deutsche Industrie wirtschaftlich relevant sein wird. Langfristig kann das Vorhaben einen Beitrag zum

nachhaltigen Management mariner Ressourcen leisten. Die Grundlagenforschung ist jedoch der Hauptantrieb des Vorhabens. Es wird angeführt, dass die deutsche Meeres- und Polarforschung international hohe Anerkennung genießt, insbesondere im Hinblick auf ihre Stärke bei der Forschung im offenen Meer und in den Polarregionen.

Das KDM war an der Konzepterstellung für das Kabelobservatorium beteiligt und wird auch in Zukunft die gemeinsamen Forschungsinteressen aller deutschen Meeresforschungsinstitutionen definieren. Es liegen eine Vielzahl von *letters of support* der internationalen *communities* der Meeresforschung sowie *letters of interest* der deutschen Meerestechnik-Community vor. Den leitenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zufolge dient das vorgeschlagene Kabelobservatorium einer konsequenten weiteren Stärkung dieses Forschungsgebietes in Deutschland und der Initiierung einer neuen Ära der Meeresbeobachtung. Die Forschungsdaten des Kabelobservatoriums sollen nahtlos in das internationale Erdbeobachtungsnetzwerk GEO integriert werden, sodass das Vorhaben zusätzliches Interesse aus anderen Wissenschaftsgebieten und aus der Öffentlichkeit wecken wird.

Wissenschaftliches Potenzial laut Konzept

Zur Erforschung des Systems Erde müssen eine Vielzahl verschiedener Instrumente verknüpft und die erfassten Daten zusammengeführt werden. Die Forschungsinfrastruktur EPOS umfasst die folgenden Komponenten:

- _ Systeme von Messinstrumenten: Dazu zählen eine Reihe verschiedener Sensorsysteme, skalenübergreifende dreidimensionale Dreikomponenten-Arrays, mobile seismische Arrays, Seismometer auf dem Meeresgrund, Geodäsiesysteme und GPS sowie Magnetfeld-Messstationen.
- _ Modellierung und Simulation: Diese Komponente umfasst komplexe Software zur Auswertung, Visualisierung und weiteren Verarbeitung der Messdaten.
- _ Integrationsportal: Damit werden über eine definierte Schnittstelle Daten der einzelnen Sensorsysteme verfügbar gemacht sowie hochwertige Datenprodukte (auch in Echtzeit) bereitgestellt, die aus standardisierten Datenanalyseverfahren resultieren. Außerdem werden hier die Metadaten der Infrastruktur verwaltet.

Die Projektwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler gehen davon aus, dass die lückenlose und systematische Erfassung von Beobachtungs- und Überwachungsdaten in den einzelnen geowissenschaftlichen Disziplinen in einem europäischen Rahmen neue technologische Perspektiven für die Entwicklung von Verfahren, Instrumenten, innovativen Beobachtungs- und Überwachungsstrategien und die modellbasierte Datenanalyse und -auswertung eröffnen wird. Die verschiedenen geowissenschaftlichen *communities* werden zu Kooperationen veranlasst, was neue Forschungsfelder, Modellierungsansätze und Anwendungsmöglichkeiten eröffnen wird. Die Möglichkeit, mithilfe der Forschungsinfrastruktur weltweit qualitativ einheitliche homogene Datenreihen zu erfassen, ist ein weiterer wichtiger Aspekt.

Die geplante integrierte, koordinierte und verteilte E-Infrastruktur ist ein wesentliches Element von EPOS. Sie gewährleistet die langfristige Datenverfügbarkeit und optimale Bedingungen für die Datenanalyse für eine große Nutzergruppe, die neben Geowissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern auch Akteure aus dem öffentlichen und dem privaten Sektor umfasst. Diese E-Infrastruktur wird auch *data mining* im europäischen Rahmen und die Kommunikation mit Umweltwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern im Allgemeinen sowie den Anbietern von Satellitendaten erlauben.

Die zuständigen Projektwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler können derzeit noch nicht genau angeben, welche Auswirkungen die Forschungsinfrastruktur auf das wissenschaftliche Verständnis des Systems Erde haben wird, gehen jedoch davon aus, dass EPOS u. a. die Katastrophenvorbeugung, die Min-

derung von Katastrophenfolgen und die Suche nach neuen natürlichen Ressourcen wesentlich beeinflussen wird.

Nutzung laut Konzept

Die potenzielle Nutzergruppe wird anhand des Ansatzes des bereits laufenden europäischen EPOS-Projekts bestimmt, an dem 26 Länder und Organisationen mit ihren geowissenschaftlichen *communities* gemeinsam aktiv beteiligt sind. Die Partner haben sich offiziell dazu verpflichtet, ihre nationalen Forschungsinfrastrukturen einzubringen und den Daten- und Informationsaustausch sicherzustellen, der für den Betrieb einer integrierten Forschungsinfrastruktur erforderlich ist. Es wird davon ausgegangen, dass durch die hohe Sichtbarkeit eines europaweit aktiven integrierten Projekts neue Nutzergruppen für die Infrastruktur gewonnen werden.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler können die gesamte Infrastruktur oder ihre Komponenten wie beispielsweise die mobilen Seismometer-Arrays nach einem positiv beurteilten Antrag nutzen. Die Anträge müssen die wissenschaftlichen Ziele des Projekts, die benötigten Infrastrukturkomponenten und die Nutzungsdauer angeben; sie werden ein- oder zweimal jährlich durch einen Steuerungsausschuss beurteilt, dem auch externe Mitglieder angehören. Dadurch soll sichergestellt werden, dass eine angemessene Nutzung auf der Grundlage der wissenschaftlichen Begründung objektiv gewährt wird. Die Daten sollen über die E-Infrastruktur frei zugänglich sein.

Umsetzbarkeit laut Konzept

Im November 2010 startete die vierjährige Vorbereitungsphase für das ESFRI-Projekt EPOS. Diese Phase dient der Vorbereitung der fünfjährigen Bauphase, die daran anschließt. Die nachfolgende Betriebsphase soll sich über mindestens zehn Jahre erstrecken. Es wurde eine europaweite Struktur aus klar definierten Arbeitspaketen (Management, technische Vorbereitung, Steuerung, Recht, Finanzen, Strategie) und technischen Arbeitsgruppen (Seismologie, Vulkanologie, Geologie, Geodäsie, Gesteinsphysik und Labore, Informationstechnologie, Satellitendaten) aufgebaut. Die laufende Vorbereitungsphase umfasst folgende Tätigkeiten:

- _ Bestimmung der in Europa und den Nachbarregionen bestehenden Forschungsinfrastrukturen und Anlage eines „Forschungsinfrastrukturregisters“ (Abschluss 2011),
- _ Katalogisierung der spezifischen Merkmale der bestehenden Forschungsinfrastrukturen, Festlegung der Datenrichtlinien und Bestimmung der Datenaustauschformate,

- _ Entwicklung und Umsetzung eines Architekturmodells zur Integration der bestehenden Forschungsinfrastrukturen zu einer europäischen E-Infrastruktur,
- _ Aufbau eines Prototyps der E-Infrastruktur.

Die Forschungsinfrastruktur wird analog zu einer üblicherweise vom GeoForschungsZentrum Potsdam für das Management verteilter Infrastrukturen eingesetzten Struktur organisiert und verwaltet. Zentrales Gremium ist der Vorstand (*board of directors*), in dem alle an Konzipierung, Aufbau und Betrieb des Projekts beteiligten Institutionen vertreten sind und in dem Entscheidungen über Betrieb und Nutzung der Infrastruktur getroffen werden. Er kann die Meinung des bereits erwähnten Steuerungsausschusses zum Ausbau der Forschungsinfrastruktur und zu anderen möglichen Maßnahmen einholen. Auch die beteiligten Institutionen erkennen dieses Verfahren im Hinblick auf ihre eigenen Projekte an. Anhand der Empfehlungen des Steuerungsausschusses wird ein Zeit- und Nutzungsplan erstellt, der durch den Vorstand genehmigt werden muss. Dies stellt sicher, dass alle am Aufbau und Betrieb der integrierten Infrastruktur beteiligten Institutionen ein Mitspracherecht haben. Darüber hinaus ist EPOS an globalen Initiativen wie der *Group on Earth Observations* (GEO) und dem *Global Earth Observation System of Systems* (GEOSS) beteiligt.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland laut Konzept

Die EPOS-Infrastruktur soll in den Geowissenschaften den Bedarf der EU an einem langfristigen wissenschaftlichen Integrationsplan decken und den damit verbundenen gesellschaftlichen Nutzen und die entsprechende Wertschöpfung erbringen. Den deutschen Projektwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern zufolge haben die geowissenschaftliche Beobachtung und Überwachung in Deutschland eine sehr lange Tradition und sind hoch entwickelt. Beispiele für die Leistungsfähigkeit sind die Einrichtung von Frühwarnsystemen in Indonesien und der Betrieb eines globalen Erdbebenüberwachungssystems. Es wird angeführt, dass die ganze wissenschaftliche *community* in Deutschland der EPOS-Infrastruktur enormes Potenzial zuschreibt, da durch diese Integration bestehende Forschungsstrukturen aufgewertet werden und so der Weg zur Lösung internationaler Probleme von hoher gesellschaftlicher Relevanz bereitet wird. Deutsche Kooperationspartner von EPOS sind die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, die Helmholtz-Gemeinschaft und sechs Universitäten.

Den maßgeblichen Institutionen zufolge existiert weltweit keine vergleichbare geowissenschaftliche Infrastruktur mit diesem Ansatz. Das von der *National Science Foundation* geleitete Projekt *EarthScope* der USA stellt jedoch eine ähnliche, ergänzende Einrichtung dar, mit der auch eine Kooperation geplant ist.

Wissenschaftliches Potenzial laut Konzept

Das Ziel eines globalen integrierten Multi-Parameter-Erdbeobachtungssystems ist die räumlich und zeitlich hochauflösende Erfassung wichtiger geologischer und ökologischer Variablen, die Überwachung des Zustands und der Entwicklungstrends im System Erde, die Messung abiotischer und biotischer Schlüsselparameter und die Langzeiterfassung globaler und regionaler Veränderungen. Auf dieser Grundlage sollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein besseres Verständnis der im System Erde ablaufenden Prozesse gewinnen können. Besondere Bedeutung kommt den Projektverantwortlichen zufolge der weltweiten Erfassung homogener und qualitativ einheitlicher Datenreihen zu, um die Auswirkung der Unsicherheiten in den Daten auf die Modellkalibrierung und Szenarioberechnung zu minimieren und auf diese Weise die Qualität modellbasierter Prognosen als Entscheidungsgrundlage zu verbessern. Weiterhin soll der landgestützte Teil der Infrastruktur für alle Typen von Erdbeobachtungssatelliten die Funktion des dringend benötigten wissenschaftlichen Bodensegments übernehmen, mit dem die Satellitendaten validiert und kalibriert werden.

Globale Umweltveränderungen, wie der Klimawandel, die begrenzte Trinkwasserverfügbarkeit, die zunehmenden Umwelteingriffe des Menschen und die wachsende Notwendigkeit zur Nutzung des Untergrunds für die Erschließung von Energieträgern und für den Abbau sowie die kurz- oder langfristige Lagerung von Materialien, bergen Probleme, zu deren Lösung die Umweltwissenschaften einen entscheidenden Beitrag leisten können. Eine integrierte Multi-Sensor-/Multi-Parameter-Forschungsinfrastruktur wird als Grundlage für die Bereitstellung der qualitätsgesicherten Eingabeparameter und Zeitreihen angesehen, die für numerische Simulationen und modellgestützte Prognosen vonnöten sind. Des Weiteren wird sie die Entwicklung von Sensorsystemen ermöglichen, die benötigt werden, um die Sicherheit der Nutzung geologischer Strukturen durch den Menschen zu überprüfen.

Nutzung laut Konzept

Die Forschungsinfrastruktur ist als Mehrzweckplattform konzipiert, in die Nutzerinnen und Nutzer nach dem Aufbau der grundlegenden Infrastruktureinrichtungen weitere Sensoren und Messgeräte integrieren können. Darüber hinaus wird sie neue Daten und wissenschaftliche Erkenntnisse für alle erdwissenschaftlichen Disziplinen bereitstellen, wie Geophysik, Geodäsie, Fernerkundung, Geologie und Klimaforschung. Eine Schätzung der Nutzergemeinschaft ist derzeit noch nicht möglich; es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Initiative durch die Bereitstellung global kompatibler Multi-Parameter-Daten mit eindeutigem regionalem Bezug hohe internationale Anerkennung

erzielen und die Infrastruktur von allen relevanten wissenschaftlichen Gruppen genutzt werden wird.

Der vorgesehene vereinfachte Zugang zu den Daten ermöglicht die weitestgehende Datennutzung. Den leitenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zufolge wird für den Datenzugriff anders als bisher kein besonderes Wissen vorausgesetzt. Kompetente Rohdatenanalysen müssen zwar auch weiterhin von Spezialistinnen und Spezialisten vorgenommen werden, mit der Bereitstellung von Datenprodukten wird jedoch eine holistische Analyse stark vereinfacht. So wird Forschung jenseits der herkömmlichen Disziplinengrenzen möglich. Die leitenden Projektwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler gehen davon aus, dass die Bereitstellung integrierter Datenprodukte den Transfer von geowissenschaftlichen Erkenntnissen in den privaten Sektor und zu den politischen Entscheidungsträgerinnen und -trägern erleichtern wird.

Die Frage nach der Regelung des Zugangs zu der Infrastruktur ist noch ungeklärt.

Umsetzbarkeit laut Konzept

In einer zweijährigen Vorbereitungsphase soll ein detailliertes Konzept erarbeitet werden. Dieses soll eine Bedarfsanalyse mit den potenziellen Nutzerinnen und Nutzern, eine Studie zur Ausführung und zur Machbarkeit des Minisatelliten-Systems, die Bestimmung der Grundausstattung, der Ausrüstung und der Standorte der integrierten Multi-Parameter-Observatorien, ein IT- und Kommunikationskonzept, eine Governance-Struktur sowie ein Finanz- und ein Zeitplan umfassen. In der sich anschließenden vierjährigen Bauphase werden die Satelliten gefertigt und in ihre Umlaufbahn gebracht sowie die Bodenstationen errichtet, zu denen insbesondere die Multi-Parameter-Observatorien zählen.

Die Betriebsphase der Satelliten und des zugehörigen Steuerungszentrum wird auf ein Jahrzehnt veranschlagt. Die Multi-Parameter-Observatorien dagegen sollen nach Ablauf der veranschlagten Betriebsphase an die jeweiligen Standortländer übergeben werden, in denen sie weiterhin genutzt werden können. Bereits mit der Bauphase der Observatorien soll ein Programm für das *capacity development* starten, um die erforderlichen Kompetenzen für den Betrieb in den Standortländern zu gewährleisten.

Ein zentrales Element der vorgeschlagenen Forschungsinfrastruktur ist eine integrierte E-Infrastruktur, die wahrscheinlich auf bestehenden E-Infrastrukturen aufbauen soll. Beispielsweise ist das GeoForschungsZentrum in führender Rolle am Projekt *European Plate Observing System* (EPOS) beteiligt, dessen Hauptziel der Aufbau einer E-Infrastruktur ist. GEMIS soll in globale Initiativen wie die *Group on Earth Observations* (GEO) und das *Global Earth Observation System of Systems* (GE-OSS) einbezogen werden.

Der verantwortlichen Institution zufolge sind Multi-Parameter-Observatorien für die internationalen Partner in den Standortländern und darüber hinaus für die global vernetzte umweltwissenschaftliche *community* äußerst attraktiv. Ein umfassend ausgestattetes globales Basisnetzwerk war bisher weder im nationalen Rahmen noch auf europäischer oder internationaler Ebene geplant und stellt einen bisher fehlenden wichtigen Baustein für den Aufbau eines globalen Überwachungssystems dar. Deutschland würde damit eine einzigartige Spitzenposition im internationalen Rahmen besetzen.

Der gemeinsame Betrieb dieser Art von Forschungsinfrastruktur bietet auch weiterhin eine hervorragende Grundlage für das *capacity development* sowohl in Entwicklungs- als auch in Schwellenländern und für ihre Anbindung an internationale Entwicklungen (Außenwissenschaftspolitik).

Wissenschaftliches Potenzial laut Konzept

Das Forschungsfeld der chemischen Biologie ist aus den klassischen Disziplinen der Pharmakologie und der Zellbiologie hervorgegangen und untersucht die Auswirkungen exogen eingebrachter Wirkstoffe auf lebende Arten. Die heutige chemische Biologie untersucht biologische Prozesse anhand einer Reihe hoch entwickelter chemischer Verfahren und Instrumente. Die Biologie wendet eine bioaktive Verbindung an, um (1) die Zellstruktur des Zielmoleküls mithilfe z. B. eines kovalent konjugierten Farbstoffs per Fluoreszenzbildgebung oder per Ganzkörpertomographie sichtbar zu machen (*seeing*), (2) das Zielmolekül mithilfe einer kovalent konjugierten Markierung von den behandelten Proben abzusondern (*grabbing*) und (3) die Funktionsweise des Zielmoleküls, z. B. die Enzymaktivität oder die Wechselwirkung mit anderen Zellkomponenten, zu verändern (*interfering*). Mit der Bindung an das *target* in einer Zelle oder in einem Modellorganismus entfalten chemische Substanzen ihre Wirkung unmittelbar. Auf diese Weise können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler komplexe Prozesse wie Zellteilung, Transport, Bewegung oder die Signalausbreitung zeit- aufgelöst beeinflussen. Der Transport und die dynamische Verteilung von Zielmolekülen in Zellen und Modellorganismen lassen sich über hoch entwickelte Bildgebungsverfahren untersuchen, bei denen die Verbindungen als Visualisierungs- bzw. Diagnoseinstrumente eingesetzt werden. Viele grundlegende Fragen zu den molekularen Mechanismen von biologischen Prozessen können erfolgreich und in manchen Fällen ausschließlich mithilfe solcher chemischer Sonden behandelt werden.

Zentrales Verfahren hinsichtlich der zielgerichteten Ermittlung bioaktiver Substanzen ist das systematische empirische Screening großer Verbindungssammlungen mit dedizierten biologischen Tests (*bioassays*), die für die Auslösung eines robusten Signals bei einer antizipierten biologischen Wirkung entwickelt wurden. Das Screening liefert erfolgreiche Verbindungen, die als Ansatzpunkte zur Weiterentwicklung wertvoller Instrumente und potenzieller Produkte dienen. Die Screening-Sammlung von EU-OPENSREEN (*European Chemical Biology Library*, ECBL) soll mit Hilfe der Expertise europäischer Chemikerinnen und Chemiker aufgebaut werden und die Erforschung des sogenannten *chemical space* unterstützen. Anhand Hunderter jährlich in den Screening-Zentren des Netzwerks durchgeführter Tests sollen dazu Verbindungsprofile angelegt werden. Die ECBL soll auf den Bedarf der wissenschaftlichen *community* und der Gesellschaft zugeschnitten werden. Sie wird eine globale, diversitätsbasierte Auswahl von 100.000 bis 200.000 Verbindungen aus gewerblichen Quellen, mehrere 100.000 zugelassene Arzneimittel und Umweltchemikalien und rund 100.000 geschützte Verbindungen wissenschaftlicher Chemielabore sowie kleiner und mittlerer

Unternehmen umfassen. Einen erheblichen Anteil sollen Naturstoffe stellen, die in der Industrie zurzeit nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Für alle Verfahren werden von EU-OPENSREEN einheitliche Standards festgelegt, die von allen beteiligten Forschungsgruppen angewendet werden. Mithilfe dieser Standards wird es erstmals möglich sein, Screening-Ergebnisse (z. B. Screening-Daten, Testprotokolle sowie chemische Informationen über Substanzen und deren biologische Wirkungen) verschiedener europäischer Plattformen zu bündeln und im Rahmen einer gemeinsamen Datenbank zu vergleichen (*European Chemical Biology Database*, ECBD). Gegenwärtig werden solche Daten, die durch kostspielige Forschungsprojekte generiert werden, nur begrenzt und eingeschränkt veröffentlicht (z. B. nur positive Daten). Mit der ECBD werden sämtliche Daten uneingeschränkt für die wissenschaftliche Gemeinschaft verfügbar gemacht.

Langfristiges Ziel von EU-OPENSREEN ist es, die routinemäßige Nutzung von Verfahren der biochemischen (pharmakologischen) Modulation biologischer Prozesse in einem sehr frühen Stadium der biologischen und medizinischen Grundlagenforschung zu etablieren. Dem Konzept zufolge lassen sich so deutliche Fortschritte hinsichtlich des pharmakologischen und (bio-)chemischen Wissens erzielen.

Nutzung laut Konzept

Den zuständigen Institutionen zufolge zählen die folgenden Gruppen zu den Hauptnutzerinnen und -nutzern:

- _ Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Biologie und der Medizin, die an der Identifizierung von Molekülen mit einer bestimmten biologischen Aktivität arbeiten (z. B. Hemmung eines untersuchten Enzyms oder Rezeptors) und diese in der Grundlagenforschung als chemische Sonden zur Untersuchung biologischer Prozesse oder zur Weiterentwicklung von potenziellen pharmakologischen Wirkstoffen oder anderer Produkte verwenden wollen.
- _ Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die auf dem Gebiet der chemischen Synthese tätig sind und ihre chemischen Verbindungen für *bio-profiling* und Screening in verschiedensten biologischen Tests zur Verfügung stellen, um das biologische Wirkpotenzial der Verbindungen erforschen zu können.
- _ Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die auf dem Gebiet der theoretischen Chemie und Bioinformatik tätig sind und die anhand der in der ECBD verfügbaren Daten theoretische Modelle entwickeln und ihre Vorhersagen durch experimentelles Screening überprüfen wollen.
- _ Ingenieurwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler, die neue Testverfahren, Instrumente oder Roboter entwickeln (z. B. für die Handhabung von Flüssig-

keiten oder die Lagerung von Verbindungen) und diese in Nasslaboratorien erproben wollen.

Mit EU-OPENSREEN sollen neue Nutzergruppen in den Disziplinen, in denen das volle Potenzial der chemischen Biologie noch nicht ausgeschöpft wird, wie beispielsweise in den Pflanzenwissenschaften, gewonnen werden. Dabei sollen ihnen neuartige Werkzeuge für ihre Forschungsfelder zur Verfügung gestellt werden. Das Screening chemischer Verbindungen in unterschiedlichsten *bioassays* generiert außerdem umfangreiche Erkenntnisse zu der (positiven wie potenziell schädlichen) biologischen Wirkung von Chemikalien. Dieses Wissen stellt auch eine wertvolle Informationsquelle für Aufsichtsbehörden dar, unter anderem um die Risiken von Chemikalien zu bewerten (z. B. REACH |⁹⁵) oder um In-vitro-Tests zu entwickeln, die möglicherweise Tierversuche ersetzen können.

Um die Größe der zukünftigen Forschungsinfrastruktur EU-OPENSREEN angemessen abschätzen zu können, wird der seit mehr als acht Jahren externen Nutzerinnen und Nutzern zur Verfügung stehende deutsche Standort am Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie (FMP) als repräsentatives Beispiel herangezogen. Ausgehend von den Erfahrungen an der Screening-Einheit des FMP und des deutschen *ChemBioNet* (siehe unten) gehen die Trägerinstitutionen von 20 zusätzlichen Projekten jährlich für die deutsche Plattform aus. Zusammen mit den erwarteten bereits laufenden 25 nationalen Projekten (interne Projekte, Kooperationen und *ChemBioNet*) ergeben sich insgesamt rund 45 Projekte für die deutsche Plattform pro Jahr. Bei einer zurückhaltenden Planung, die für EU-OPENSREEN ein Netzwerk von zehn Screening-Standorten mit vergleichbarer Kapazität vorsieht, ist für ganz Europa mit etwa 200 Projekten jährlich zu rechnen.

Umsetzbarkeit laut Konzept

Das Konzept von EU-OPENSREEN basiert auf dem deutschen Netzwerk zur Unterstützung der wissenschaftlichen Forschung in der chemischen Biologie *ChemBioNet*. Diese Initiative wurde 2003 nach einem Treffen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der beteiligten Disziplinen in einem *bottom-up*-Prozess gegründet und besteht derzeit aus zehn deutschen Laboratorien. *ChemBioNet* betreibt am FMP und Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI) eine offen zugängliche zentrale Screening-Plattform. In deren Rahmen wurden bereits über 150 Screening-Projekte für die *community* durchgeführt und eine

| ⁹⁵ REACH steht für *Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals* und ist die Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe in der Europäischen Union.

Substanzbibliothek erstellt, die gemeinsam mit neun weiteren Screening-Einrichtungen in Europa geteilt wird.

2004 reichte *ChemBioNet* einen Antrag zur Bildung eines europäischen Typs von *ChemBioNet* ein: EU-OPENSREEN. Seither dient *ChemBioNet* als Modell für ähnliche nationale Netzwerke in anderen europäischen Ländern. EU-OPENSREEN baut auf diesen bestehenden Netzwerken und Einrichtungen auf. Mit seinem transnationalen und integrativen Konzept wird EU-OPENSREEN die europäische Expertise in diesem Gebiet einen und Europa in die Lage versetzen, mit einer Stimme zu sprechen und einer globalen Zielgruppe geschlossen gegenüberzutreten, um eine umfassendere und allgemeinere Nutzung der chemischen Biologie zu fördern.

Die einzelnen Partnerstandorte von EU-OPENSREEN haben bereits betriebsfähige Infrastrukturen zur Unterstützung von wissenschaftlichen Screening-Projekten aufgebaut und bieten ihre Dienste im jeweiligen Land sowie zunehmend auch im Ausland an. Während der Vorbereitungsphase dieser ESFRI-Forschungsinfrastruktur werden die Kriterien festgelegt, die ein Screening-Zentrum erfüllen muss, um als Partner für die zukünftige Infrastruktur infrage zu kommen. Daher sind keine technischen Innovationen für die Inbetriebnahme von EU-OPENSREEN erforderlich. Essenziell für das synergetische Zusammenspiel der Plattformen ist dagegen die Harmonisierung der Standards (Daten- und Screening-Formate für die Datenübertragung an die ECBD und Inter-Screen-Analysen, europäische Standards für Betriebsprotokolle, Qualitätsstandards). Entsprechende Arbeiten zur Festlegung dieser Standards sind Teil der Vorbereitungsphase und werden vor Beginn der Betriebsphase durch Expertinnen und Experten des Partners EMBL-EBI (*European Molecular Biology Laboratory – European Bioinformatics Institute*) erbracht. Bereitstellung und Wartung der Infrastruktureinrichtungen werden von den Partnerinstituten übernommen. Die laufenden Kosten der EU-OPENSREEN-Projekte (einschließlich der Gehälter, der Verbrauchsmaterialien und der Wartung der Substanzsammlung) sollen kofinanziert werden, beispielsweise über Nutzungsentgelte.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland laut Konzept

EU-OPENSREEN wurde von den drei federführenden Institutionen FMP, Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC) und HZI konzipiert und initiiert. Alle drei Institutionen sind an der derzeit laufenden Vorbereitungsphase beteiligt, die vom FMP koordiniert wird. Den beteiligten Institutionen zufolge ist es für Deutschland erstrebenswert, dass es auch nach der Vorbereitungsphase eine führende Rolle einnimmt und satzungsmäßiger Sitz des *European Research Infrastructure Consortium* (ERIC) wird. Obwohl die Governance-Struktur in den Details noch nicht endgültig verabschiedet ist, hat sich das EU-OPENSREEN-Konsortium jedoch für ein ERIC als seine Rechtsform entschieden. Ein

solches ERIC hat als Hauptaufgabe den Aufbau und den Betrieb einer nicht profitorientierten Forschungsinfrastruktur und muss die meisten seiner Ressourcen dieser Aufgabe widmen. Diese Rechtsform wurde entwickelt und mit einem Regelwerk versehen, um der EU ein passendes Instrument für die Organisation und Schaffung supranationaler forschungsorientierter Infrastrukturen bereitzustellen. Das ERIC ist die einzige Rechtsform, die speziell für den Betrieb paneuropäischer Forschungsinfrastrukturen zugeschnitten ist. FMP, MDC und HZI bilden zusammen den anfänglichen deutschen EU-OPENSSCREEN-Standort und reservieren einen fixen Teil ihrer Kapazitäten für EU-OPENSSCREEN. Die *ChemBioNet*-Partner werden in den vor- und nachbereitenden Phasen der Screenings als Kooperationsstandorte mit speziellem Fachwissen beteiligt. Weitere deutsche Screening-Plattformen können in der Zukunft einbezogen werden.

EU-OPENSSCREEN verknüpft mit seinem integrativen Ansatz die wichtigsten Screening-Zentren in Europa mit der zentralen Koordinierungsstelle, dem sogenannten *hub*, in Deutschland. Den beteiligten Institutionen zufolge werden mit diesem koordinierten Netzwerk die begrenzten Möglichkeiten der einzelnen Zentren überwunden. Auch Deutschland wird so von einer Vielzahl neuer Optionen profitieren. Beispielsweise bestehen in Deutschland Spitzenforschungsgruppen auf allen Gebieten der Chemie (insbesondere der Naturstoffforschung), die Quellen einer neuen chemischen Diversität sind. Zugleich bleibt die Anzahl der für biochemische Forschungen zur Verfügung stehenden bioaktiven Substanzen äußerst begrenzt. Daher erlangen Gruppen, die neue Substanzen besitzen und neue *targets* identifizieren, einen signifikanten Wettbewerbsvorteil. EU-OPENSSCREEN soll auf breiter internationaler Basis eine Interaktion zwischen chemischen und biologischen Forschungsgruppen ermöglichen und damit eine attraktive Ausgangssituation eröffnen, international herausragende Projekte in Deutschland anzusiedeln. EU-OPENSSCREEN will Deutschland und Europa dabei unterstützen, seine führende Rolle in der Gesundheits- und Ernährungsforschung zurückzugewinnen und die Wettbewerbsfähigkeit der eigenen Chemie- und Pharmaziebranche zu stärken.

Wissenschaftliches Potenzial laut Konzept

Die Bildgebung ist ein zentrales Verfahren in den Lebenswissenschaften, die gleichermaßen in der biologischen und der medizinischen Forschung eingesetzt wird. Die molekulare und medizinische Bildgebung hat sich zu einer Schlüsseldisziplin entwickelt, die Grundlagenforschung und präklinische Forschung mit klinischen Studien und Anwendungen verknüpft; diese verändern letztendlich das Patientenmanagement. Neue Bildgebungsverfahren können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern gänzlich neue Forschungsfelder erschließen. Die zuständigen Institutionen illustrieren dies anhand von Beispielen: Ausgehend von der Möglichkeit zur Untersuchung von Molekülen in nanometergenauer Auflösung per Lichtmikroskopie bildet sich derzeit eine neue Disziplin heraus, die sich als Nanobiologie bezeichnen ließe und die Struktur- und Zellbiologie mit molekularer Genauigkeit und Auflösung kombiniert. So lässt sich direkt erkennen, wie molekulare Maschinen die Grundfunktionen von Leben und Krankheit ausführen.

Durch die Integration biologischer und molekularer Bildgebungsmodalitäten können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erstmals die molekularen Grundlagen menschlicher Krankheiten wie der Tumorentwicklung oder von Alzheimer in lebenden Zellen und Geweben in Echtzeit sichtbar machen. Die Kooperation von Biologinnen und Biologen mit medizinisch Forschenden unter Nutzung einer gemeinsamen Bildgebungsinfrastruktur erlaubt die direkte Übertragung grundlegender biologischer Zellbefunde in Tiermodelle menschlicher Krankheiten. Dieses Übertragungskonzept der vorliegenden deutschen Bildgebungsforschungsinfrastruktur ermöglicht den nahtlosen Transfer von Bildgebungsverfahren buchstäblich von der Zelle auf Mäuse und auf Menschen und die Entwicklung neuer molekularer Behandlungsansätze. Bildgebungsverfahren leisten so einen wesentlichen Beitrag zur Entdeckung von Biomarkern und Arzneimitteln. Die Datenexplosion in der Genom-, Proteom- und Metabolomforschung in den letzten zehn Jahren hat zwar den Aufbau einer breiten Wissensgrundlage erlaubt, doch die verwertbaren Ergebnisse für Diagnose- und Therapieinstrumente sind eher dürftig. Bildgebungsverfahren sind das zentrale Element, um „omics“-Informationen durch Visualisierung der in lebenden Zellen aktiven molekularen Maschinen in nanometergenauer Auflösung in der pharmazeutischen Industrie erfolgreich als Leitstrukturen nutzen zu können. Die „omics“-Verfahren können Dynamik, Wechselwirkungen und Zustand eines gegebenen Moleküls in seiner natürlichen Umgebung in dem entsprechenden zeitlichen Verlauf schlichtweg nicht darstellen. Dieser funktionale Kontext kann jedoch mithilfe von Bildgebungsverfahren wiedergegeben werden, sodass sich Biomarker identifizieren und validieren lassen und Hochdurchsatztests für

die Arzneimittelentwicklung bereitgestellt werden können. GEBI bietet für die erfolgreiche Umsetzung präklinischer Daten eine nahtlose Abdeckung medizinischer Bildgebungsverfahren, die von der Molekularbildgebung bei Nagetieren über die Großtierbildgebung bis zu Spitzenbildgebungsverfahren beim Menschen reichen (7 Tesla MRT, MR-PET und andere Verfahren) und für die dedizierte, über das nationale *radiotracer*-Netzwerk bereitgestellte *tracer* eingesetzt werden.

Nutzung laut Konzept

Die vorgeschlagene nationale Bildgebungsforschungsinfrastruktur für Deutschland richtet sich eng am Euro-BioImaging-Konzept aus und basiert auf einem sogenannten *hub-and-node*-Modell. Die deutschen Knoten werden über langfristige Vereinbarungen mit dem *hub* in die verteilte Infrastruktur eingebunden, ohne dadurch ihre rechtliche Eigenständigkeit zu verlieren. GEBI ist an die langfristige Strategie der koordinierenden Institution *European Molecular Biology Laboratory* (EMBL), der Institutionen EMBL, Universität Konstanz und Institut für Medizintechnologie (IMT) der Universität Heidelberg, die die Trägereinrichtungen des *hubs* sind, und aller Knoten-Institutionen angepasst. Den für die Gesamtleitung zuständigen Institutionen zufolge stammen die Nutzerinnen und Nutzer der Knoten aus allen Gebieten der Biowissenschaften und der Medizin sowie aus verwandten Disziplinen wie der (Bio-)Physik, der chemischen Biologie, der Radiochemie, der Medizintechnik und der Tiermedizin. Zusätzlich zu den Nutzerinnen und Nutzern aus der Wissenschaft wird bei diesem Vorhaben auch mit einer erheblichen Anzahl von Nutzerinnen und Nutzern aus der Industrie gerechnet.

Die Kapazitäten der bestehenden Einrichtungen für die biologische und medizinische Bildgebung in Deutschland werden fast vollständig durch interne Nutzerinnen und Nutzer ausgelastet. Daher haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Institutionen ohne große zentrale Einrichtungen nur sehr begrenzten Zugang zu den benötigten Bildgebungstechnologien und der erforderlichen Expertise. Der offene Zugang zu einer nationalen Infrastruktur soll diese Lücke zwischen dem belegten Bedarf auf Nutzerseite und den verfügbaren Bildgebungsplattformen schließen. Angesichts des schnellen Bedeutungszuwachses von Bildgebungsverfahren in der lebenswissenschaftlichen Forschung wird auch für bereits bestehende zentrale Einrichtungen von zukünftig höheren Nutzerzahlen ausgegangen. Die Projektwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler gehen davon aus, dass 75 % aller Forschungsgruppen in den Lebenswissenschaften Bildgebungsverfahren regelmäßig anwenden würden, wenn sie Zugang zu den entsprechenden Instrumenten und der Expertise hätten.

Der *hub* von GEBI soll alle bestehenden nationalen Bildgebungseinrichtungen in Deutschland über eine Reihe von Maßnahmen koordinieren und unterstützen.

Erstens ist der *hub* der zentrale Zugangspunkt für die Nutzung der deutschen Infrastrukturknoten. Der Zugang der Nutzerinnen und Nutzer zu der deutschen Infrastruktur basiert auf den *proof-of-concept*-Studien von Euro-BioImaging, mit denen ein Modell für den transnationalen und nationalen Nutzerzugang zu verschiedenen Einrichtungen in Europa erfolgreich getestet wurde. Der *hub* wird über EMBL einen zentralen, transparenten Webzugangspunkt für die Nutzerinnen und Nutzer bereitstellen, über den sie detaillierte Informationen zu allen deutschen Infrastrukturknoten für die verschiedenen Bildgebungsverfahren abrufen können. Dies schließt Kontaktdaten für spezifische technische Fragen zur Planung der Nutzung ein. Die Zugangsmodalitäten zu den biologischen und medizinischen Bildgebungsverfahren werden dann für die jeweilige *community* entweder vom IMT in Mannheim (für die Medizin) oder von der Universität Konstanz (für die Biologie) geregelt. Zweitens wird der *hub* gemeinsam mit beteiligten akademischen Institutionen neue Schulungscurricula für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Bereich der biomedizinischen Bildgebung vom Grundlagen- bis zum Fortgeschrittenenniveau entwickeln und regelmäßig regional rotierende Schulungen für die Nutzerinnen und Nutzer der Bildgebungsinfrastruktur durchführen, mit denen die Kenntnisse über diese Technologie ausgebaut und ihre Nutzung in der lebenswissenschaftlichen *community* verstärkt werden sollen. Neben den Nutzerschulungen sollen Schulungscurricula für das Management sowie für das technische Personal der Einrichtungen aufgestellt werden, um die größtmögliche Expertise und einen optimalen Service zu gewährleisten. Die Kurse werden allen deutschen Bildgebungseinrichtungen offen stehen. Drittens koordiniert der deutsche *hub* ein nationales Netzwerk aller bestehenden Einrichtungen der biologischen und der medizinischen Bildgebung, um ihre nationale und internationale Sichtbarkeit zu steigern, den Austausch von *best practices* zu Einrichtungsmanagement und Nutzerzugang sowie zu neuen technischen Entwicklungen auf diesem Forschungsgebiet zu ermöglichen. Es sollen tragfähige Karriereoptionen für die Geschäftsführung der Einrichtungen etabliert und ein Forum für gemeinsame Finanzierungsanträge und Diskussionen zur Forschungspolitik geboten werden, insbesondere Diskussionen zusammen mit den Förderern wie der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zum Aspekt der Finanzierung des Nutzerzugangs. Viertens stellt der *hub* eine gemeinsame Datenbank für die Bildgebung bereit. Fünftens gewährleistet er die Konformität der in Europa führenden deutschen Bildgebungsknoten mit der paneuropäischen Euro-BioImaging-Infrastruktur mit dem Ziel ihrer zukünftigen Integration. Dies soll transnationalen Zugang deutscher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu den Euro-BioImaging-Knoten außerhalb Deutschlands bereitstellen und transnationale Nutzerinnen und Nutzer an die deutschen Knoten holen.

Die Knoten der deutschen Infrastruktur für den integrierten Zugang zu biologischer und medizinischer Bildgebung werden aufgerüstet, um Bildgebungstechnologien anbieten zu können, die – obwohl kommerziell verfügbar – auf dem neuesten Stand der Technik sind. Die Knoten für hochauflösende Verfahren, Hochdurchsatzmikroskopie und innovative medizinische Bildgebung werden auch bisher nicht kommerziell verfügbare Technologien anbieten, die im akademischen Umfeld zu ausreichend robustem Niveau entwickelt wurden, um sie externen Nutzerinnen und Nutzern zugänglich zu machen. Die Implementierung der Infrastruktur wird damit nicht von technischen Innovationen abhängen oder durch ihre fehlende Umsetzbarkeit verzögert. Alle deutschen Knoten werden anhand ihrer Qualitätskriterien für das Einrichtungsmanagement und koordiniert vom deutschen *hub* regelmäßig im Hinblick auf ihre Performance beim Nutzerzugang und die Qualität des Services für die Nutzerinnen und Nutzer evaluiert. Um die Bildgebungseinrichtungen auf dem jeweils modernsten Stand zu halten, sind die deutschen Knoten eng mit Zentren der bildgebungsbasierten Spitzenforschung verbunden und werden intensiv mit Entwicklerinnen und Entwicklern wissenschaftlicher Instrumente und der Biooptik- und Medizintechnikindustrie zusammenarbeiten.

Seit 2004 werden im Rahmen von ESFRI Vorstudien zur Planung verteilter Infrastrukturen in den biologischen und medizinischen Wissenschaften durchgeführt. Euro-BioImaging ist seit 2008 Teil der ESFRI-Roadmap und ging 2009 in die Vorbereitungsphase. Die Grundsätze, nach denen das Konzept von GEBI angelegt ist, basieren auf den Ergebnissen der Studien aus der Euro-BioImaging-Vorbereitungsphase. Im Jahr 2011 führte Euro-BioImaging eine europaweite Befragung zu den bestehenden Forschungsinfrastrukturen im Bereich der Bildgebung in Europa durch. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer, bei denen es sich um Nutzende, Anbieter und Geldgeber biologischer und medizinischer Bildgebungsinfrastrukturen sowie um Interessenten aus der Industrie handelte, übermittelten 660 vollständige Datensätze. In der ersten Jahreshälfte 2012 wies Euro-BioImaging die Machbarkeit des Betriebs nach, indem über 100 der *proof-of-concept*-Nutzerprojekte an Bildgebungseinrichtungen in ganz Europa durchgeführt wurden. Den leitenden Institutionen zufolge belegen die Befragung und die *proof-of-concept*-Studie eindeutig einen enormen, nicht gedeckten Bedarf aufseiten der deutschen und europäischen Lebenswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler nach Zugang zu innovativen Bildgebungsverfahren. Durch die gemeinsame Koordinierung mit Euro-BioImaging profitiert die deutsche Bildgebungsinfrastruktur auch weiterhin von den Vorbereitungs- und Implementierungsarbeiten und den entsprechenden Erfahrungen bei Euro-BioImaging.

Das deutsche Konsortium beantragt zusätzlich zu den genannten deutschen Knoten weitere 30 % dediziertes flexibles Budget für die zukünftige Integration

neuer Infrastrukturknoten. Diesem flexiblen Budget kommt entscheidende Bedeutung zu, da somit auf Veränderungen des Nutzerbedarfs eingegangen und die nationale Forschungsinfrastruktur, je nach Entwicklungen im Bereich neuer hochmoderner Bildgebungsverfahren für den freien Nutzerzugang, modernisiert werden kann.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland laut Konzept

Die nationalen Bildgebungsforschungsinfrastrukturen in den einzelnen Mitgliedsstaaten werden auf europäischer Ebene über die paneuropäische Infrastruktur Euro-BioImaging integriert, die 2012/2013 anhand von konkurrierenden Anträgen im Rahmen einer offenen Ausschreibung mit der Identifizierung von Knoten beginnt. Den verantwortlichen Institutionen zufolge zeichnet sich bereits ab, dass Knoten mit nationaler Finanzierung im Rahmen nationaler Infrastrukturen (wie beispielsweise in Frankreich und den Niederlanden) im Wettbewerbsumfeld hervorragend aufgestellt sind, um als europäische Knoten ausgewählt zu werden. Um auch die deutschen Knoten in eine starke Position bei der Bewerbung als europäische Knoten für Euro-BioImaging zu bringen und um Deutschlands Position bei der Bewerbung als Sitzland für den *hub* der zukünftigen paneuropäischen Infrastruktur zu stärken, haben die beteiligten Institutionen den *hub* und die Knoten in Deutschland unter klarer Ausrichtung auf die zukünftige europäische Integration gemäß den Grundsätzen von Euro-BioImaging organisiert. Wie bei Euro-BioImaging übernimmt EMBL die Funktion der koordinierenden Institution, während die für die *communities* spezifischen Koordinierungsaufgaben vom IMT (für die medizinische Bildgebung) und von der Universität Konstanz (für die biologische Bildgebung) übernommen werden.

GEBI soll die Wertschöpfung für Deutschland insbesondere im Hinblick auf eine bessere Rentabilität (*return on investment*) bei Bildgebungsinfrastrukturen durch die gemeinsame Nutzung komplementärer Technologien mit europäischen Ländern erhöhen. Die Bildgebungsinfrastruktur in Deutschland wird daneben durch Anwendung der Standards, *best-practice*- und Betriebsmodelle von Euro-BioImaging ihre Qualität steigern, und Deutschland wird von dem Zuwachs an hochqualifizierten europäischen Forschenden (*brain gain*) profitieren, die die Euro-BioImaging-Knoten in Deutschland nutzen.

Wissenschaftliches Potenzial laut Konzept

Den beteiligten Institutionen zufolge ist es entscheidend, die Lücke zwischen den klassischen Methoden der hochauflösenden Strukturbio- logie, der Zellbio- logie und dem entstehenden Gebiet der Systembiologie zu schließen, um sich künftigen Herausforderungen der Strukturbio- logie zu stellen und damit ein in- tegratives Verständnis biologischer Systeme zu erreichen. Künftig wird daher Methoden – besonders der Elektronen-/Lichtmikroskopie und deren korrelativer Anwendung mit hochauflösenden Analysen von Makromolekülen –, die es er- lauben, diese Lücke zu schließen, eine zentrale Rolle in der modernen Struktur- biologie zukommen. Durch die nahtlose Integration von strukturellen Daten, die mittels unterschiedlicher Technologien und auf verschiedenen Längen- und Zeitskalen *in vitro* und *in vivo* abgeleitet wurden, wird die Forschung die Prinzi- pien identifizieren, die die dynamische Wechselwirkung von Proteinen, Prote- inkomplexen oder ganzen Zellen bzw. Erregern mit ihrer Umgebung ermögli- chen.

Das Gebiet der Strukturbio- logie ist derzeit in einem grundlegenden Wandel begriffen, da die Forschung zunehmend darauf abzielt, die großteils *in vitro* ge- wonnenen molekularen Daten mit funktionellen Beobachtungen auf der Ebene der Zelle und des Organismus zu verknüpfen. Ein solcher integrativer Ansatz der Strukturbio- logie, der vielfach als „zelluläre Strukturbio- logie“ bezeichnet wird, erlaubt eine detaillierte, strukturbio- logische und mechanistische Be- schreibung zellulärer Prozesse. Zelluläre Funktionen basieren auf abgestimm- ten Wechselwirkungen eines breiten Spektrums sogenannter „funktionaler Module“. An dem einen Ende des Spektrums stehen stabile Interaktionen, die ausreichend robust sind, um Reinigungsprozessen standzuhalten (molekulare Komplexe). Sie lassen sich anhand der etablierten Methoden der Strukturbio- logie untersuchen. Am anderen Ende des Spektrums erfolgen die Interaktionen eher flüchtig und erlauben dynamische Wechselwirkungen innerhalb von und zwischen funktionalen Modulen. Eine der Herausforderungen der Strukturbio- logie ist die Entwicklung von Methoden, um diese kurzlebigen Komplexe oder Interaktionsnetzwerke zu untersuchen. Ausgehend von diesen Methoden und der Korrelation von molekularen und zellulären Daten sind neue grundlegende Erkenntnisse zu physiologischen und pathophysiologischen Prinzipien zu er- warten, die für eine Vielzahl von Aspekten in Biologie und Medizin entschei- dend sind.

Die von INSTRUCT bereitgestellte Forschungsinfrastruktur wird in erster Linie europäischen Nutzerinnen und Nutzern zur Verfügung stehen. Strukturbiologinnen und -biologen, die sich mit der Analyse von Makromolekülen in zellulären Prozessen befassen, dürften zwar den Großteil der Nutzergemeinschaft von INSTRUCT stellen; es wird jedoch mit weiteren Nutzerinnen und Nutzern aus den Bereichen der Zellbiologie und der Biomedizin gerechnet, die an der Identifizierung molekularer Mechanismen oder der Charakterisierung therapeutischer Zielmoleküle arbeiten. Daneben haben Nutzerinnen und Nutzer aus der Industrie, speziell der Instrumentenhersteller, großes Interesse an INSTRUCT bekundet. Diese möchten durch die Kooperation mit den INSTRUCT-Zentren Fortschritte bei der Methodenentwicklung erzielen.

Jedes INSTRUCT-Zentrum wird externen Nutzerinnen und Nutzern mindestens 20 % seiner gesamten Infrastrukturkapazität gewähren. Diese Begrenzung wurde festgelegt, um den Zentren eine ausreichende interne Nutzung sowie die Nutzung durch Kooperationspartner und internationale Gäste zu erlauben. Sofern durch öffentliche Mittel zusätzliche Ressourcen verfügbar gemacht werden, ist mit einer stärkeren externen Nutzung zu rechnen. INSTRUCT steht in jedem Fall nur Nutzerinnen und Nutzern aus denjenigen Ländern offen, die sich an INSTRUCT beteiligen, und die sogenannte *subscription fee* in Höhe von 50 Tsd. Euro für die ersten beiden Jahre entrichtet haben. Die beteiligten deutschen Institutionen und das *European Molecular Biology Laboratory* (EMBL – Details siehe unten) haben die derzeit fällige Gebühr entrichtet, um damit sicherzustellen, dass Deutschland zumindest bis 2013 weiterhin ein Partner der Forschungsinfrastruktur ist.

Der Zugang zu der Infrastruktur wird über ein Bewerbungsverfahren geregelt. Auf der INSTRUCT-Website wurde ein Online-System für die Einreichung von Forschungsanträgen eingerichtet, das sich derzeit in der Testphase befindet. Jedem Antrag wird eine Moderatorin bzw. ein Moderator zugewiesen. Diese bzw. dieser stellt ein unabhängiges *peer-review*-Komitee zusammen, die den Antrag hinsichtlich wissenschaftlicher Relevanz und Qualität sowie technischer Eignung und Machbarkeit prüft. INSTRUCT bevorzugt im Allgemeinen Konzepte, die einen integrativen Ansatz mit verschiedenen Technologieplattformen erfordern. Die Kommission beurteilt und bewertet das Konzept und empfiehlt gegebenenfalls Änderungen. Die Antragstellerin bzw. der Antragsteller hat die Möglichkeit, den Antrag zu ändern und zu überarbeiten, bevor die Kommission endgültig über den Antrag entscheidet.

Notwendige Vorstudien sind bereits abgeschlossen. Während der dreijährigen Vorbereitungsphase für INSTRUCT (2008-2011) wurden Machbarkeitsstudien durchgeführt. Darüber hinaus wurde für jeden INSTRUCT-Partner ein Business-Plan und Finanzierungskonzept erstellt. Seit April 2011 befindet sich INSTRUCT in der Konstruktionsphase, an die sich die Betriebsphase anschließt.

Die deutschen INSTRUCT-Partner (darunter auch das EMBL) haben Ende 2011 gemeinsam ein *memorandum of understanding* (MoU) unterzeichnet, um ab 2012 an INSTRUCT teilzunehmen und um allen deutschen Nutzerinnen und Nutzern die Beteiligung an INSTRUCT (einschließlich Zugang zu der Infrastruktur, Teilnahme an Schulungen usw.) zu ermöglichen. Die Partner haben vereinbart, die *subscription fee* für 2012 und 2013 jeweils zu gleichen Teilen zu übernehmen, um das betriebsfähige Fortbestehen von INSTRUCT zu sichern.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland laut Konzept

Den beteiligten Institutionen zufolge ist die strukturebiologische Forschung in Deutschland traditionell sehr stark, und es wird hervorgehoben, dass fast alle wichtigen Methoden der Strukturbioogie ihren Ursprung in Deutschland haben. Die führenden deutschen Zentren sind dabei sehr gut ausgestattet und im Hinblick auf die Verfahren auch methodisch hoch spezialisiert. Vor diesem Hintergrund ist mit dem INSTRUCT-Konsortium die Intention verbunden, Deutschlands Stärke auf dem Gebiet der Strukturbioogie voll auszuschöpfen und ein integrierendes Dach für diese einzelnen hoch spezialisierten Zentren zu bilden. Die INSTRUCT-Zentren in Deutschland sind anhand ihrer wissenschaftlichen Exzellenz und ihrer Erfolgsbilanz hinsichtlich der Etablierung modernster Infrastrukturen auf dem Gebiet der Strukturbioogie ausgewählt worden. Es liegt im Interesse Deutschlands, dass diese Zentren ihre führende Rolle weiter stärken und ausbauen. Den beteiligten Institutionen zufolge kommt einer optimalen Anbindung an wissenschaftliche und technologische Entwicklungen insbesondere im europäischen Rahmen eine äußerst wichtige Rolle zu. Ebenso wichtig ist die Verpflichtung von INSTRUCT, dem wissenschaftlichen Nachwuchs Zugang zu exzellenter Forschungsinfrastruktur zu gewähren und ihre Forschungstätigkeit zu unterstützen.

INSTRUCT hat sich das Ziel gesetzt, die Nutzung der besten in Europa vorhandenen Forschungsinfrastrukturen auf dem Gebiet der Strukturforchung zu optimieren und ihre Entwicklung voranzutreiben, um weiterhin an der Spitze des Fortschritts zu bleiben. Zu diesem Zweck haben sich Institutionen der bedeutendsten europäischen Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen, um der strukturebiologischen *community* in Europa den Zugang zu Geräten auf dem neuesten Stand der Technik mit optimaler Wartung, fachlichem Know-how und Expertise zu gewährleisten. Dieses Vorhaben gilt als zentrales Element für die

Integration regionaler Stärken in die Gesamtentwicklung des europäischen Forschungspotenzials. Angesichts des verschärften globalen Wettbewerbs um Wissen, Innovationen, Märkte und Arbeitskräfte wird es immer wichtiger, die regionalen Potenziale in Europa effizient zu nutzen, den Wissens- und Technologietransfer zu verbessern und die regional verteilten Forschungsstärken in Europa zu integrieren. INSTRUCT ist ein Beispiel dafür, wie solche verteilten Einrichtungen zu einer gemeinsamen Forschungsinfrastruktur integriert werden können.

Appendix 2 Complementary and competing research infrastructures

Appendix 2.1 Complementary research infrastructures of CTA

The following chart contains the major complementary infrastructures of CTA. The list is not exhaustive and the listed complementary research infrastructures have mainly been provided by the responsible scientists. For CTA, there is no competing research infrastructure.

The complementary projects are sorted in the categories “Forerunners”, “Existing research infrastructures” and “Planned research infrastructures/under construction”. Within each category, the projects are classified into the following sub-categories:

- _ Ground-based gamma-ray astronomy
- _ Satellite-based gamma-ray astronomy
- _ Air shower arrays
- _ Ground-based multi-spectral astronomy
- _ Satellite-based multi-spectral astronomy
- _ E-infrastructure

Within these categories, the most recent project is mentioned first.

Table 2: Complementary research infrastructures of CTA

CTA			
Name	Brief description and Internet link	Time frame	Location, involved countries
Forerunners			
<i>Ground-based gamma-ray astronomy</i>			
VERITAS - Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System	VERITAS is a ground-based gamma-ray instrument operating at the Fred Lawrence Whipple Observatory in southern Arizona, USA. It is an array of four 12 m optical reflectors for gamma-ray astronomy in the GeV - TeV energy range. These imaging Cherenkov telescopes are deployed such that they have the highest sensitivity in the very high energy (VHE) band (50 GeV – 50 TeV), with maximum sensitivity from 100 GeV to 10 TeV. This VHE observatory effectively complements the NASA Fermi mission. http://veritas.sao.arizona.edu/ of 10 May 2012.	Prototype: 2003; Four-telescope array: 2007; Dislocation of telescope 1: 2009	Arizona, US CA, IE, UK, US
H.E.S.S. - High Energy Stereoscopic System (name also as homage to	H.E.S.S. is a system of imaging atmospheric Cherenkov telescopes that investigates cosmic gamma rays in the 100 GeV to 100 TeV energy range. The initial four H.E.S.S. telescopes (phase I) are arranged in form of a square with 120 m side length, to provide multiple stereoscopic views of air showers. In phase II of the project,	First telescope: 2002; Four H.E.S.S.	Khomas Highland, NA AM, CZ, DE

Victor Hess, who received the Nobel Prize in 1936 for the discovery of cosmic radiation)	a single huge dish with about 600 m ² mirror area will be added at the centre of the array, increasing the energy coverage, sensitivity and angular resolution of the instrument. http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/ of 10 May 2012.	I telescopes: 2003; H.E.S.S. II expected: 2012	(leader), FR, IE, NA, PL, UK, ZA
MAGIC – Major Atmospheric Gamma-Ray Imaging Cherenkov Telescopes	The MAGIC Collaboration has built in 2001–2003 a first large atmospheric imaging Cherenkov telescope, MAGIC-I, with a mirror surface of 236 m ² and equipped with photomultiplier tubes of optimal efficiency. In 2009, a second telescope of essentially the same characteristics was added; MAGIC-II was installed at a distance of 85 m from MAGIC-I. With the accent of these instruments on large mirror surface and best light collection, cosmic gamma-rays at an energy threshold lower than any existing or planned terrestrial gamma-ray telescope have become accessible. A threshold of 25 GeV has been achieved so far. http://magic.mppmu.mpg.de/index.en.html of 10 May 2012.	MAGIC I: 2001–2003; MAGIC II: 2009	La Palma, Canary Island, ES BG, CH, DE (leader), ES, FI, HR, IT, JP, PL
Existing research infrastructures			
<i>Satellite-based gamma-ray astronomy</i>			
AMS – Alpha Magnetic Spectrometer	The Johnson Space Center is home to the Alpha Magnetic Spectrometer Project Office. The AMS-02 experiment is a state-of-the-art particle physics detector being constructed, tested and operated by an international team composed of 60 institutes from 16 countries and organized under United States Department of Energy sponsorship. The AMS flew in space in June of 1998 aboard the Space Shuttle Discovery, and it is being integrated and tested to fly on the International Space Station (ISS). The AMS-02 was transported in the cargo bay of the Space Shuttle for installation on the ISS. Once on the ISS S3 Upper Inboard Payload Attach Site, the AMS will remain active for the duration of ISS. http://ams.nasa.gov/ of 10 May 2012. http://ams-02project.jsc.nasa.gov/ of 10 May 2012.	Launch of AMS-02: 2011	US
Fermi – in honour of E. Fermi; Former name: GLAST – Gamma-ray large area telescope	The Fermi Gamma-ray Space Telescope is an international and multi-agency space mission that studies the cosmos in the energy range 10 keV – 300 GeV. The main instrument, the Large Area Telescope (LAT), has superior area, angular resolution, field of view, and deadtime that together will provide a factor of 30 or more advance in sensitivity, as well as provide capability for study of transient phenomena. The Gamma-ray Burst Monitor has a field of view several times larger than the LAT and provides spectral coverage of gamma-ray bursts that extends from the lower limit of the LAT down to 10 keV. http://fermi.gsfc.nasa.gov/ of 10 May 2012.	Launch: 2008; Primary mission planned: for 5 years	AT, DE, ES, FR, IS, IT, JP, SE, US
Swift Gamma-Ray Burst Mission	The Swift Gamma Ray Burst Explorer carries three instruments to enable the most detailed observations of gamma ray bursts to date: the X-ray Telescope (XRT), the UV/Optical Telescope (UVOT) and the Burst Alert Telescope (BAT). The XRT and UVOT are X-ray and a UV/optical focusing telescopes respectively which produce sub-arcsecond positions and multiwavelength lightcurves for gamma ray burst (GRB) afterglows. Broad band afterglow spectroscopy produces redshifts for the majority of GRBs. BAT is a wide Field-Of-View coded-aperture gamma ray imager that produces arcminute GRB positions onboard within 10 s. http://www.swift.psu.edu/ of 10 May 2012.	Launch: 2004	IT, UK, US

INTEGRAL - INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory	ESA's INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory is detecting some of the most energetic radiation that comes from space. It is the most sensitive gamma-ray observatory ever launched. INTEGRAL is an ESA mission in cooperation with Russia and the United States. Integral is the first space observatory that can simultaneously observe objects in gamma rays, X-rays and visible light. Its principal targets are violent explosions known as gamma-ray bursts, powerful phenomena such as supernova explosions, and regions in the Universe thought to contain black holes. http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=21 of 16 May 2012. http://www.esa.int/esaMI/Integral/ of 16 May 2012.	Launch: 2002; Mission end plan- ned: 2014	CH, DE, DK, ES, ESA (leader), FR, IT, NL, RU, US
<i>Air shower arrays</i>			
ARGO-YBJ - Astrophysical Radiation with Ground- based Obser- vatory at YangBajing	The aim of the ARGO-YBJ experiment is to study cosmic rays, mainly cosmic gamma-radiation, at an energy threshold of ~ 100 GeV, by means of the detection of small size air showers. The detector consists of a single layer of RCPs (Resistive Plate Counters) covering an area of ~ 6700 m ² and providing a detailed space-time picture of the shower front. ARGO-YBJ is devoted to a wide range of fundamental issues in Cosmic Rays and Astroparticle Physics, including in particular Gamma-Ray Astronomy and Gamma-Ray Bursts Physics. http://argo.na.infn.it/ of 10 May 2012.	Stable data taking: since 2007	Yangba- jing, Tibet CN, IT
Tibet-Array	The Tibet air-shower array is designed not only for observation of air showers of nuclear-component origin but also for that of high energy celestial gamma rays. Because of such multiple purposes, the detector is constructed to cover a wide dynamic range for particle density covering 0.1 to 5000 and a good angular resolution for the arrival direction of air showers with energy in excess of a few TeV being better than 1 degree. http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/em/ of 10 May 2012. http://jp.arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0801/0801.1803v2.pdf of 10 May 2012.	Tibet-I: 1990; Tibet-II: 1994; Tibet-III: 1999	Yangba- jing, Tibet CN, JP
<i>Ground-based multi-spectral astronomy</i>			
ALMA - Atacama Large Milli- meter/ sub- millimeter Array	The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), an international partnership of Europe, North America and East Asia in cooperation with the Republic of Chile, is the largest astronomical project in existence. ALMA will be a single telescope of revolutionary design, composed initially of 66 high precision antennas located on the Chajnantor plateau, 5000 m altitude in northern Chile. http://www.almaobservatory.org/ of 25 October 2012.	First opera- tions: 2011; Com- pletion plan- ned: 2013	Atacama desert, CL Europe (ESO), North America, East Asia, CL
LOFAR - Low Fre- quency Array	LOFAR started as a new and innovative effort to force a breakthrough in sensitivity for astronomical observations at radio-frequencies below 250 MHz. LOFAR is the first telescope of this new sort, using an array of simple omni-directional antennas instead of mechanical signal processing with a dish antenna. The electronic signals from the antennas are digitised, transported to a central digital processor, and combined in software to emulate a conventional antenna. The cost is dominated by the cost of electronics and will follow Moore's law, becoming cheaper with time and allowing increasingly large telescopes to be built. So LOFAR is an IT-telescope. The antennas are simple enough but there are a lot of them - about 7000 in the full LOFAR design. To make radio pictures of the sky with ade-	First test- facility: 2004; Cycle 0: 2012	DE, FR, NL, SE, UK

	quate sharpness, these antennas are to be arranged in clusters that are spread out over an area of 100 km in diameter within the Netherlands and over 1500 km throughout Europe. http://www.lofar.org/ of 25 October 2012.		
VLT - Very Large Telescope array	The Very Large Telescope array (VLT) is the flagship facility for European ground-based astronomy at the beginning of the third Millennium. It is the world's most advanced optical instrument, consisting of four Unit Telescopes with main mirrors of 8.2 m diameter and four movable 1.8 m diameter Auxiliary Telescopes. The telescopes can work together, to form a giant "interferometer", the ESO Very Large Telescope Interferometer (VLTi), allowing astronomers to see details up to 25 times finer than with the individual telescopes. The light beams are combined in the VLTi using a complex system of mirrors in underground tunnels where the light paths must be kept equal to distances less than 1/1000 mm over a hundred metres. With this kind of precision the VLTi can reconstruct images with an angular resolution of milliarc-seconds, equivalent to distinguishing the two headlights of a car at the distance of the Moon. The VLT instrumentation programme is the most ambitious programme ever conceived for a single observatory. It includes large-field imagers, adaptive optics corrected cameras and spectrographs, as well as high-resolution and multi-object spectrographs and covers a broad spectral region, from deep ultraviolet (300 nm) to mid-infrared (24 μm) wavelengths. http://www.eso.org/public/teles-instr/vlt.html of 21 January 2013.	First Unit Tele- scope: 1999; All four Unit Tele- scopes: since 2000	Atacama desert, CL Europe (ESO), CL
Planned research infrastructures/under construction			
<i>Ground-based gamma-ray astronomy</i>			
MACE - Major At- mospheric Cherenkov Experiment	In view of the present developments in the field of GeV/TeV astronomy, the Division proposes to set up a 21 m diameter imaging telescope at the high altitude (4200 m) observatory site at Hanle in the Ladakh region of northern India. Operating at an energy threshold of ~ 20 GeV this telescope is expected to detect a large number of sources in the GeV sky. http://www.geocities.ws/goalsnrl/mace.html of 19 November 2012.	Planned	Tibetan plateau, IN
LHAASO - Large High Altitude Air Shower Ob- servatory	The LHAASO detector is planned to be established in two phases, consisting of three parts: the 1 km² complex array (LHAASO-KM2A), including 5100 scintillation detectors and 40 km² distributed detectors, 24 air fluorescence/Cherenkov detectors (LHAASO-WFCTA) and 100 m² burst detectors array (LHAASO-SCDA), and 90 km² water Cherenkov detector (LHAASO-WCDA). In the second phase, advanced detection technology will be introduced through international cooperation, such as full coverage track detection technology, and two MAGIC (Major Atmospheric Gamma-Ray Imaging Cherenkov Telescopes)-like telescopes, etc., so that they can improve the spatial resolution and lower the threshold energy. The first stage is expected to close within 5 years, with construction cost about 850 million RMB. The second stage would be completed in 6 to 7 years, or an even shorter period, depending on the international cooperation progress, and about 200 million RMB worth foreign investment is planned to be introduced. The measurement of cosmic rays energy spectra will cover the widest energy ranges, from 20 TeV to a few EeV.	Planned	Yang- bajing, Tibet CN, FR, IT, RU

	http://english.ihep.cas.cn/ic/ip/LHAASO/ of 15 May 2012.		
HAWC – The High-Altitude Water Cherenkov Observatory	The High-Altitude Water Cherenkov Observatory is a facility designed to observe TeV gamma rays and cosmic rays with an instantaneous aperture that covers more than 15 % of the sky. With this large field of view, the detector will be exposed to half of the sky during a 24-hour period. HAWC is currently under construction on the flanks of the Sierra Negra volcano near Puebla, Mexico. Located at an altitude of 4100 m, HAWC will be used to perform a high-sensitivity synoptic survey of the sky at wavelengths between 100 GeV and 100 TeV. http://hawc.umd.edu/index.php of 15 May 2012.	Under construction	Puebla, MX MX, US
<i>Ground-based multi-spectral astronomy</i>			
E-ELT – European Extremely Large Telescope	Since the end of 2005 ESO has been working together with its user community of European astronomers and astrophysicists to define the new giant telescope needed by the middle of the next decade. More than 100 astronomers from all European countries have been involved throughout 2006, helping the ESO Project Offices to produce a novel concept, in which performance, cost, schedule and risk were carefully evaluated. Dubbed E-ELT for European Extremely Large Telescope, this revolutionary new ground-based telescope concept will have a 39 m main mirror and will be the largest optical/near-infrared telescope in the world: “the world’s biggest eye on the sky”. With the start of operations planned for early in the next decade, the E-ELT will tackle the biggest scientific challenges of our time, and aim for a number of notable firsts, including tracking down Earth-like planets around other stars in the “habitable zones” where life could exist – one of the Holy Grails of modern observational astronomy. It will also perform “stellar archaeology” in nearby galaxies, as well as make fundamental contributions to cosmology by measuring the properties of the first stars and galaxies and probing the nature of dark matter and dark energy. On top of this astronomers are also planning for the unexpected – new and unforeseeable questions will surely arise from the new discoveries made with the E-ELT. The ability to observe over a wide range of wavelengths from the optical to mid-infrared will allow scientists to exploit the telescope’s size to the fullest extent. http://www.eso.org/public/teles-instr/e-elt.html of 25 October 2012.	Under construction; Start of operations planned: early in the next decade	Atacama desert, CL Europe (ESO)
SKA – Square Kilometre Array	The Square Kilometre Array, or SKA, is a next-generation radio telescope currently planned by institutions from over 20 countries. The SKA will be the largest and most capable radio telescope ever constructed. During its 50+ year lifetime, it will expand our understanding of the universe and drive technological development worldwide. Dishes will form a substantial part of the SKA; around 3000 dishes, each 15 m in diameter, are currently planned. http://www.skatelescope.org/ of October 29 2012. http://www.ska.ac.za/ of October 25 2012. http://www.ska.gov.au/Pages/default.aspx of 25 October 2012.	Construction of phase 1 planned: 2016–2020	AU, NZ Consortium of institutions from over 20 countries
<i>Satellite-based multi-spectral astronomy</i>			
JWST – James Webb Space Telescope	The James Webb Space Telescope (sometimes called JWST) is a large, infrared-optimized space telescope. The project is working to a 2018 launch date. Webb will find the first galaxies that formed in the early Universe, connecting the Big	Start planned: 2018	CA (CSA), ESA, US (NASA)

named after the NASA Administrator who crafted the Apollo programme, and who was a staunch supporter of space science	Bang to our own Milky Way Galaxy. Webb will peer through dusty clouds to see stars forming planetary systems, connecting the Milky Way to our own Solar System. Webb's instruments will be designed to work primarily in the infra-red range of the electromagnetic spectrum, with some capability in the visible range. Webb will have a large mirror, 6.5 m (21.3 feet) in diameter and a sunshield the size of a tennis court. Both the mirror and sunshade won't fit onto a rocket fully open, so both will fold up and open once Webb is in outer space. Webb will reside in an orbit about 1.5 million km (1 million miles) from the Earth. http://www.jwst.nasa.gov/ of 25 October 2012.		
<i>E-infrastructures</i>			
CTA's e-infra-structure	The development and implementation of the CTA observatory research ICT-based infrastructures for efficient and high performance data management and data archiving will be based on modern European e-infrastructures such as EGEE/EGI (Enabling Grids for E-science/European Grid Infrastructure), GÉANT (pan-European communication infrastructure) and International Virtual Observatory Alliance (IVOA). A science user gateway including user-configured tools for access to shared computing resources, tools for data access, data processing, and data analysis will be developed, as well as the implementation plans for the offline CTA e-infrastructure. http://www.cta-observatory.org/?q=node/178 of 15 May 2012.	Planned	

Source: The brief descriptions of the projects have literally been taken from the main project homepages (with all the further leading pages such as "About us"). Generally, only the main project homepages are listed as source of information. If the information on the homepage was not sufficient, further information from scientific publications is used. Those links are listed in the table as well.

Appendix 2.2 Competing and complementary research infrastructures of EMFL

The following charts contain the major competing and complementary infrastructures of EMFL. The lists are not exhaustive and the listed competing and complementary research infrastructures have mainly been provided by the responsible scientists.

The competing and complementary projects are sorted in the categories “Fore-runners”, “Existing research infrastructures” and “Planned research infrastructures/under construction”. Within each category, the projects are classified into the following sub-categories:

- _ Steady fields and pulsed fields
- _ Steady fields
- _ Pulsed fields
- _ Networks

Within these categories, the most recent project is mentioned first.

Table 3: Competing research infrastructures of EMFL

EMFL			
Name	Brief description and Internet link	Time frame	Location, involved countries
Existing research infrastructures			
<i>Steady fields and pulsed fields</i>			
The Magnet Lab at Florida State University Part of NHMFL (National High Magnetic Field Laboratory)	The Tallahassee site is home to four of the lab’s seven user programmes and more than a dozen high-field magnets, spectrometers and other instruments, e.g.: _ The 45 T, world-record hybrid magnet, which produces the highest field of any continuous field magnet in the world, _ Two 36 T, world-record resistive magnets, _ 25 T, wide-bore magnet for magnetic resonance research _ 14.5 T, shielded superconducting magnet for ion cyclotron resonance. Other key resources include: _ A world-renowned Magnet Science and Technology group, which includes materials development and characterization facilities and the Large Magnet Component Test Laboratory, _ The Applied Superconductivity Center, which relocated to the Magnet Lab from the University of Wisconsin in 2006, _ A state-of-the-art image furnace capable of growing crystals such as magnetic oxides and high-temperature superconductors, _ The Center for Integrating Research and Learning, offering programmes and resources to teachers and students at all levels, _ An impressive utility infrastructure that features a 56 megawatt power supply and a 4.2 million gallon chilled-water plant.	Since 1990s	Tallahassee, US

	http://www.magnet.fsu.edu/about/tallahassee.html of 15 May 2012.		
--	--	--	--

Source: The brief descriptions of the projects have literally been taken from the main project homepages (with all the further leading pages such as “About us”). Generally, only the main project homepages are listed as source of information. If the information on the homepage was not sufficient, further information from scientific publications is used. Those links are listed in the table as well.

Table 4: Complementary research infrastructures of EMFL

EMFL			
Name	Brief description and Internet link	Time frame	Location, involved countries
Forerunners			
<i>Networks</i>			
EuroMagNET II - Research Infrastructures for High Magnetic Field in Europe	A coordinated approach to access, experimental development and scientific exploitation of all European large infrastructures for high magnetic fields. For the EU's Seventh Framework Programme for Research, the principal actors of Europe's high magnetic field research, the Grenoble High Magnetic Field Laboratory (GHMFL), the High field magnet laboratory (HFML), the Dresden High Magnetic Field Laboratory (HLD) and the <i>Laboratoire National des Champs Magnétiques Pulsés</i> (LNCMP) propose to unite all their transnational access, together with joint research activities and networking activities into one I3 (Integrated Infrastructures Initiative), called “EuroMagNET II”. This I3 is considered as a very important step towards full collaboration between Europe's high field facilities, and as a necessary intermediate step towards the creation of a multi-site European Magnetic Field Laboratory (EMFL). http://www.euromagnet2.eu/spip.php?rubrique1 of 15 May 2012.	Since 2009	DE, FR, NL
Existing research infrastructures			
<i>Steady fields and pulsed fields</i>			
LNCMI - Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses Part of EMFL	The <i>Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses</i> is the French large scale facility enabling researchers to perform experiments in the highest possible magnetic field. Continuous fields are available at the Grenoble site (LNCMI-G) and pulsed fields at Toulouse (LNCMI-T). The LNCMI is open to European and other visitors for their high field projects, which can be submitted through the EuroMagNET website. http://lncmi.cnrs.fr/ of 15 May 2012.	Since 2009	FR
LNCMI-G - Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses Grenoble	The LNCMI-G gives access to researchers to static high magnetic fields up to 35 T in a 34 mm bore. Former Name: GHMFL - Grenoble High Magnetic Field Laboratory http://ghmfl.grenoble.cnrs.fr/?lang=en of 15 May 2012.	Since 1990s	Grenoble, FR
LNCMI-T - Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses Toulouse	The <i>Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses de Toulouse</i> (LNCMI-T, for High Magnetic Field National Laboratory of Toulouse) is a host laboratory for experiments in pulsed magnetic fields. http://www.toulouse.lncmi.cnrs.fr/?lang=en of 15 May 2012.	Since 1970	Toulouse, FR

High field magnet facility, University of Oxford + Nicholas Kurti Magnetic Field Laboratory (NKMFL)	The high field magnet facility enables the Department of Physics to continue its strong track record in high-field, low-temperature experiments on new and novel materials. World-class superconducting magnets provide steady fields up to 21 T, while liquid helium cryogenic systems allow access to temperatures in the mK range. In addition, the Nicholas Kurti Magnetic Field Laboratory supplies the UK's highest available magnet fields by the use of pulsed magnet technology. Experimental techniques possible in their magnet systems include magnetometry, electronic transport and optical measurements. _ Mobile superconducting magnet systems up to 21 T _ Custom-built superconductive magnets dedicated to individual experiments _ A pulsed field facility http://www2.physics.ox.ac.uk/enterprise/high-field-magnet-facility of 15 May 2012. http://www.physics.ox.ac.uk/magnet/ of 15 May 2012.	Currently operating	Oxford, UK
NHMFL - National High Magnetic Field Laboratory	This large and high-powered magnet laboratory consists of three institutions. http://www.magnet.fsu.edu/ of 15 May 2012.	Since 1990s	US
The Magnet Lab at Los Alamos National Laboratory Part of NHMFL	The Pulsed Field Facility houses both semi-destructive and non-destructive magnets. This collection includes the most powerful non-destructive magnet in the world, a 100 T multi-shot magnet jointly developed by the Department of Energy and the National Science Foundation. Among the facility's magnets are: 50 T mid pulse (300 ms pulse), 50 T short pulse (35 ms pulse), 65 T short pulse (35 ms pulse), 60 T short pulse (35 ms pulse), 60 T short pulse (35 ms pulse), 300 T single turn magnet system (6 μ s pulse) (in this type of system, the magnet is destroyed by explosives during operation, but the sample is preserved), 100 T multi-shot (15 ms pulse), 60 T long pulse (2 s controlled waveform pulse). http://www.magnet.fsu.edu/about/losalamos.html of 15 May 2012.	Since 1990s	Los Alamos, US
The Magnet Lab at the University of Florida Part of NHMFL	The University of Florida is home to two Magnet Lab user programmes, the Advanced Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy (AMRIS) and High B/T (the "B" stands for high magnetic fields, the "T" refers to the extremely low temperatures) user programs. AMRIS: _ A powerful 11.7 T magnetic resonance imaging (MRI) system, _ A 17.5 T, 750 MHz wide bore nuclear magnetic resonance (NMR)/MRI magnet system, _ A 3 T human system, _ An on-site radio frequency coil lab. High B/T Facility: _ Bay 3 of the μ K Laboratory: a 16 T magnet system with a 10 T demagnetization stage, _ Bay 2 of the μ K Laboratory: a 10 T magnet system with an 8 T demagnetization system, _ Williamson Hall Annex: a 10 T magnet system, _ An ultra-quiet environment that insulates experiments from outside interference due to vibrations and electromagnetic fields. http://www.magnet.fsu.edu/about/gainesville.html of 15 May 2012.	Since 1990s	Gainesville, US

<i>Steady fields</i>			
HFML – High Field Magnet Laboratory Part of EMFL	The HFML is a Large European Research Infrastructure and a Dutch national research facility. The HFML is committed to generate the highest available continuous magnetic fields. 33 T magnets are available, a 38 T resistive magnet and a 45 T hybrid magnet are under development. They perform research with these fields and make them available to qualified external users. Local research interests are (1) magnet technology, (2) soft condensed matter and molecular material, (3) strongly correlated electron systems and (4) semiconductors and nano-systems. http://www.ru.nl/hfml/ of 15 May 2012.	Since 2003	Nijmegen, NL
TML – Tsukuba Magnet Laboratory	Tsukuba Magnet Laboratory is one of the largest high magnetic field facilities in the world. TML is capable of generating highest steady magnetic field and is engaged in the development of technology utilizing magnetic fields: _ Hybrid magnet inserted with a superconducting magnet creates a high magnetic field at room temperature; 32 T in 52 mm bore or 35 T in 30 mm bore, _ Water-Cooled Magnet 25 T in 32 mm bore, _ Superconducting Magnets for General Purpose, _ Superconducting Magnet for Solid-State Physics, _ Nuclear magnetic resonance (NMR) Magnet, _ Water-Cooled Pulsed Magnet 30 T in 30 mm bore, _ N ₂ -Cooled Pulsed Magnet 50 T in 16 mm bore. http://www.nims.go.jp/TML/english/ of 19 November 2012.	Since 1993	Tsukuba, JP
High Field Laboratory for Superconducting Materials	The high field laboratory consists of several magnets: _ Hybrid magnet which generates steady high magnetic fields up to 31 T (consists of a superconducting outer coil and a water-cooled inner coil), _ Many cryogenfree superconducting magnets which have been developed by their laboratory are installed. The cryogenfree superconducting magnet makes great progress. Recently, they succeeded in developing the world's first cryogenfree hybrid magnet, and achieved a static field generation of 27.5 T using the newly developed magnet. The laboratory also provides instruments for measuring various physical properties. These facilities are open to scientists and engineers on superconductors and other materials research. Cooperative research programmes are under way in a nation-wide scale. http://www.hflsm.imr.tohoku.ac.jp/cgi-bin/index-e.cgi of 15 May 2012. http://www.imr.tohoku.ac.jp/en/org/facility/03.html of 15 May 2012.	First established: 1981; Laboratory restart: 2001	Sendai, JP
<i>Pulsed fields</i>			
IMGSL – International MegaGauss Science Laboratory Part of the Institute for Solid State Physics, University of Tokyo	The aim of this laboratory is to study the physical properties of matters under ultra-high magnetic field conditions. Such a high magnetic field is also used for realizing the new material phase and functions. Their pulse magnets can generate up to 80 T by non-destructive way (the world record), and from 100 up to 730 T (the world strongest as an indoor record) by destructive (the single turn coil and the electromagnetic flux compression) methods. The former offers physical precision measurements (the electro-conductance, the optics, and the magnetization). The multiple extreme physical conditions combined with ultra-low temperature and ultra-high pressure are also available, and are open for domestic and international scientists. The magnet technologies are intensively devoted to the quasi-steady long pulse	Currently operating	Kashiwa, JP

	magnet (an order of 1-10 s) energized by the world largest DC (direct current) generator (51.3 MW, 210 MJ), and also to a 100 T non-destructive magnet. Consists of four laboratories: Takeyama Lab, Kindo Lab, Tokunaga Lab, Matsuda Lab. http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/mgsl/indexe.html of 15 May 2012.		
Wuhan National High Magnetic Field Center at HUST - Huazhong University of Science & Technology	The main task of the centre is the development of a pulsed high magnetic field facility (two measuring stations). The prototype 1 MJ/25 kV/30 kA capacitor bank, 50-70 T magnets and helium cryostats together with a measuring and control system are available for a variety of scientific research. A 12 MJ capacitor bank and a 100 MJ/100 MVA pulse generator power supply will be developed and built in order to generate pulsed magnetic fields in the range from 50 T to 80 T with pulse duration from 15 ms to 1000 ms. http://www.whmfc.cn/ of 15 May 2012 (in Chinese only). http://english.hust.edu.cn/Optoelectronics.html?id=6 of 15 May 2012.	Established: 2005; Opening of the new facility planned: 2012	Wuhan, CN
Planned research infrastructures/under construction			
<i>Steady fields and pulsed fields</i>			
HMFL - High Magnetic Field Laboratory, Chinese Academy of Sciences	Infrastructure for the generation of high static magnetic fields. HMFL was founded to provide first class steady high magnetic field facilities to researchers and to better develop high magnetic field science: _ Hybrid magnet: 40 T, 32 mm, _ Resistive magnets: 33 T, 32 mm; 25 T, 50 mm; 19,5 T, 200 mm; 26 T, 32 mm, _ Superconducting magnet: 10 T, 100 mm; 18 T, 52 mm; 18,8 T, 54 mm; 94 T, 310 mm. The facility is planned to be open for external users in 2011 with the implementation of various experimental techniques in pulsed magnetic fields up to 80 T. Pulse durations are in the range from 15 to 1000 ms with the magnet bore sizes from 12 to 34 mm. The pulsed power supplies are a 12 MJ, 25 kV capacitor bank and a 100 MVA/100 MJ flywheel pulse generator. http://english.hfcas.ac.cn/High_Magnetic_Field_Science_and_Technology.htm of 15 May 2012. http://www.chinatechgadget.com/the-pulsed-high-magnetic-field-laboratory-in-china.html of 15 May 2012.	Founded: 2008; Completion planned: 2012	Hefei, CN
<i>Steady fields</i>			
High-field magnet for neutron scattering investigation, Helmholtz-Zentrum Berlin	Possible candidate for EMFL membership At the Helmholtz Centre Berlin for materials and energy a new high field magnet is under construction: internationally unique and with a magnetic field strength of 25 to 30 T. http://www.helmholtz-berlin.de/zentrum/perspektiven/hfm/index_en.html of 15 May 2012.	Under construction	Berlin, DE

Source: The brief descriptions of the projects have literally been taken from the main project homepages (with all the further leading pages such as "About us"). Generally, only the main project homepages are listed as source of information. If the information on the homepage was not sufficient, further information from scientific publications is used. Those links are listed in the table as well.

Appendix 2.3 Complementary research infrastructures of IAGOS

The following chart contains the major complementary infrastructures of IAGOS. The list is not exhaustive and the listed complementary research infrastructures have mainly been provided by the responsible scientists. For IAGOS, there is no competing research infrastructure.

The complementary projects are sorted in the categories “Forerunners”, “Existing research infrastructures” and “Planned research infrastructures/under construction”. Within each category, the projects are classified into the following sub-categories:

- _ Airborne
- _ Observation Systems
- _ E-infrastructures
- _ Programmes, networks, missions and organizations (these mostly are beneficiaries of research infrastructures)

Within these categories, the most recent project is mentioned first.

Table 5: Complementary research infrastructures of IAGOS

IAGOS			
Name	Brief description and Internet link	Time frame	Involved countries
Forerunners			
<i>Airborne</i>			
CARIBIC – Civil Aircraft for the Regular Investigation of the atmosphere Based on an Instrument Container	CARIBIC is an innovative scientific project to study and monitor important chemical and physical processes in the Earth’s atmosphere. Detailed and extensive measurements are made during long distance flights. They deploy an air-freight container with automated scientific apparatus which are connected to an air and particle (aerosol) inlet underneath the aircraft. The CARIBIC project is integrated in IAGOS. http://caribic.de/ of 10 May 2012.	Since 2004	BE, CH, DE, FR, NL, SE, UK
MOZAIC – Measurements of OZone, water vapour, carbon monoxide and nitrogen oxides by in-service Airbus aircraft	MOZAIC consists of automatic and regular measurements of reactive gases by five long range passenger airliners. The research project MOZAIC evolves towards the European Research Infrastructure IAGOS. Its goal is to collect experimental data on atmospheric composition and its changes under the influence of human activity, with particular interest in the effects of aircraft. In MOZAIC, regular measurements of ozone (O ₃), water vapour (H ₂ O), carbon monoxide (CO) and nitrogen oxides (NO _y) are made by autonomous instruments deployed aboard five long range passenger airliners of the type AIRBUS A340-300. http://www.iagos.fr/web/rubrique2.html of 10 May 2012.	Initiated: 1993; 1st phase: 1994–1996; 2nd: 1997–2000; 3rd: 2001–2004	DE, FR, UK

Existing research infrastructures			
<i>Airborne</i>			
Geophysica	The Geophysica is currently the only aircraft in Europe capable of carrying instruments to the altitude range of 15-20 km, which plays an important role in the climate system. The topics of planned projects include the climate forcing of the tropics (e.g. Asian monsoon) as well as of aerosols and clouds, interactions between ozone and climate in the stratosphere and the demonstration of future satellite instruments [e.g. see below PREMIER (Process exploration through measurements of infrared and millimetre-wave emitted radiation), ATMOSAT (Adjustment of atmospheric correction methods for local studies)]. In atmospheric research with Geophysica, successful long-standing cooperations exist between IEK-7 (Institute for Energy and Climate Research Stratosphere), KIT (Karlsruhe Institute of Technology), DLR (German Aerospace Centre), five German universities and a large number of international institutions. HALOX (Halogenoxide monitor) is placed in the wingpod under the left wing of the M-55 Geophysica. http://www.fz-juelich.de/iek/iek-7/EN/Forschung/Projekte/Geophysica/geophysica_node.html of 10 May 2012.	Plan of use in 2010: 5-8 years of operation	DE, RU
HALO – High Altitude and Long range research aircraft	IEK-7 (Institute for Energy and Climate Research Stratosphere) will make a significant contribution to the instrumentation of the new German research aircraft HALO by developing an ice-water package (Lyman-α hygrometer, tunable diode laser for water vapour, particle measurements) and the novel remote sensing instrument GLORIA-AB (up to 40 trace gases, aerosols, clouds). The German Research Foundation (DFG) has also earmarked funds from the priority programme Atmospheric and Earth System Research with HALO for IEK-7 to develop and operate two instruments for measuring water and particles, respectively, HAI (Hygrometer for Atmospheric Investigations) and NIXE-CAPS (New Ice eXperiment – Cloud and Aerosol Particle Spectrometer). Within the scope of the DFG project Lagrangian Support of Stratospheric Operations of HALO (LASSO), scientists from IEK-7 will also support the HALO measurement campaigns with model predictions for flight planning in order to optimize the flight patterns. http://www.halo.dlr.de/ of 10 May 2012. http://www.fz-juelich.de/iek/iek-7/EN/Forschung/Projekte/HALO/halo_node.html of 10 May 2012.	Since 2009	DE
HIAPER – High-performance Instrumented Airborne Platform for Environmental Research	The research jet, known as the HIAPER, has a range of about 7,000 miles (11,000 km), which allows scientists to traverse large regions of the Pacific Ocean without refueling, gathering air samples along the way. Researchers will take the jet from an altitude of 1,000 feet (300 m) above Earth's surface up to as high as 47,000 feet (14,000 m), into the lower stratosphere. The project, HIAPER Pole-to-Pole Observations (HIPPO), brings together scientists from organizations across the nation, including National Center for Atmospheric Research (NCAR), Harvard University, the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), the Scripps Institution of Oceanography, the University of Miami, and Princeton University. National Science Foundation (NSF) and NOAA are funding the project. Many of the instruments aboard HIAPER have been designed especially for the HIPPO project. They will enable scientists to measure CO₂ and other gases across the planet in real time, in-	Five missions: 2009-2011	US (NSF, NOAA)

	stead of collecting a limited number of samples in flasks and bringing them back to the lab for later analysis. https://www2.ucar.edu/atmosnews/news/881/pole-pole-flights-provide-first-global-picture-greenhouse-gases of 10 May 2012. http://www.hiaper.ucar.edu/ of 10 May 2012.		
PGGM – Pacific Greenhouse Gases Measurement	The PGGM programme was started in 2008 by Taiwanese scientist, aircraft manufacturers and airlines. Its goal is to establish a highly horizontal resolution observation about greenhouse gases such as ozone (O₃), water vapour (H₂O), carbon dioxide (CO₂) etc. through the autonomous instruments deployed aboard the China-airline's passenger airliners of the type AIRBUS A340, A300, the EVERGREEN MARINE CORP international vessels, and the CPC Corporation international oil tankers. By the measurements of greenhouse gases they can assist the research about the global warming and climate change. http://140.115.35.249/h/PGGM-new/Index-1.htm of 10 May 2012. http://www.iagos.org/Related_Projects of 10 May 2012.	Since 2008	TW
CONTRAIL – Comprehensive Observation Network for TRace gases by Air-Liner	CONTRAIL is the second phase of a project initiated 1993 in Japan to monitor greenhouse gases from passenger aircraft operated by JAL (Japanese Airlines). Therefore a new Automatic air Sampling Equipment (ASE) for flask sampling and a new Continuous CO₂ Measuring Equipment (CME) for in-situ CO₂ measurements were installed on Boeing 747-400 and Boeing 777-200ER aircraft. In all, one or both of these instruments have been installed on several Boeing aircraft operated by JAL with regular flights from Japan to Australia, Europe, East, South and Southeast Asia, Hawaii, and North America, providing significant spatial coverage, particularly in the Northern Hemisphere. http://www.jal-foundation.or.jp/shintaikikansoku/Contrail_index.htm (in Japanese only) of 10 May 2012. http://www.iagos.org/Related_Projects of 10 May 2012. http://www.cger.nies.go.jp/contrail/index.html of 10 May 2012.	Since 2005	JP
<i>Observation Systems</i>			
ICOS – Integrated Carbon Observation System	ICOS is a new European Research Infrastructure for quantifying and understanding the greenhouse balance of the European continent and of adjacent regions. ICOS aims to build a network of standardized, long-term, high precision integrated monitoring of: _ atmospheric greenhouse gas concentrations of CO₂, CH₄, CO and radiocarbon-CO₂ to quantify the fossil fuel component _ ecosystem fluxes of CO₂, H₂O, and heat together with ecosystem variables. The ICOS infrastructure will integrate terrestrial and atmospheric observations at various sites into a single, coherent, highly precise dataset. These data will allow a unique regional top-down assessment of fluxes from atmospheric data, and a bottom-up assessment from ecosystem measurements and fossil fuel inventories. Target is a daily mapping of sources and sinks at scales down to about 10 km, as a basis for understanding the exchange processes between the atmosphere, the terrestrial surface and the ocean. http://icos-infrastructure.eu/ of 10 May 2012.	Preparation: 2008-2011; Operation: 2012-2031	BE, CH, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, IE, IT, NL, NO, PL, PT, SE, UK

ESRL/GMD – Earth System Research Laboratory/ Global Monitoring Division	ESRL's Global Monitoring Division (formerly CMDL, Climate Monitoring Diagnostics Laboratory) of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), conducts sustained observations and research related to source and sink strengths, trends and global distributions of atmospheric constituents that are capable of forcing change in the climate of Earth through modification of the atmospheric radiative environment, those that may cause depletion of the global ozone layer, and those that affect baseline air quality. http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ of 10 May 2012.	Since 2005	US (NOAA)
IGACO – Integrated Global Atmospheric Chemistry Observations	IGACO is a strategy for bringing together ground-based, aircraft and satellite observations of 13 chemical species in the atmosphere. IGACO will be implemented as a strategic element of the Global Atmospheric Watch (GAW) programme of the World Meteorological Organization (WMO). The implementation will be organised in four focus areas: Ozone, Aerosols, Greenhouse gases and Air Quality / Long-range transport. IGACO is a theme in the International Global Observing Strategy (IGOS). http://www.igaco-o3.fi/en/index.html of 10 May 2012.	Implementation: since 2005	FI
<i>E-infrastructure</i>			
WIS – WMO (World Meteorological Organisation) Information System	The WMO Information system (WIS) is the single coordinated global infrastructure responsible for the telecommunications and data management functions. It is the pillar of the WMO strategy for managing and moving weather, climate and water information in the 21st century. WIS provides an integrated approach suitable for all WMO Programmes to meet the requirements for routine collection and automated dissemination of observed data and products, as well as data discovery, access and retrieval services for all weather, climate, water and related data produced by centres and Member countries in the framework of any WMO Programme. http://www.wmo.int/pages/prog/www/WIS/ of 10 May 2012.	Implementation: since 2012	WMO has 189 member states and territories
Planned research infrastructures/under construction			
<i>Observation Systems</i>			
GEOSS – Global Earth Observation System of Systems	This “system of systems” will proactively link together existing and planned observing systems around the world and support the development of new systems where gaps currently exist. It will promote common technical standards so that data from the thousands of different instruments can be combined into coherent data sets. The “GEOPortal” offers a single Internet access point for users seeking data, imagery and analytical software packages relevant to all parts of the globe. http://www.earthobservations.org/geoss.shtml of 10 May 2012.	Currently in preparation: 10-year implementation plan 2005-2015	75 involved nations

<i>Programmes, networks and organizations</i>			
GMES – Global Monitoring for Environment and Security	GMES is the European Programme for the establishment of a European capacity for Earth Observation. In practice, GMES consists in a complex set of systems which collects data from multiple sources (earth observation satellites and in situ sensors such as ground stations, airborne and sea-borne sensors), processes these data and provides users with reliable and up-to-date information through the services. Over the last 10 years, numerous research and development projects have contributed to the development of the GMES infrastructure and services. http://gmes.info/ of 10 May 2012.	Since 1998; Full operation: 2014	ESA, EU

Source: The brief descriptions of the projects have literally been taken from the main project homepages (with all the further leading pages such as “About us”). Generally, only the main project homepages are listed as source of information. If the information on the homepage was not sufficient, further information from scientific publications is used. Those links are listed in the table as well.

Appendix 2.4 Complementary research infrastructures of Cabled OOS FRAM

The following chart contains the major complementary infrastructures of FRAM. The list is not exhaustive and the listed complementary research infrastructures have mainly been provided by the responsible scientists. For FRAM, there is no competing research infrastructure.

The complementary projects are sorted in the categories “Existing research infrastructures” and “Planned research infrastructures/under construction”. Within each category, the projects are classified into the following sub-categories:

- _ Observation Systems
- _ Research Vessels (RV), Remotely Operated Vehicles (ROV)
- _ E-infrastructures
- _ Programmes, networks and organizations (these mostly are beneficiaries of research infrastructures)

Within these categories, the most recent project is mentioned first.

Table 6: Complementary research infrastructures of FRAM

FRAM			
Name	Brief description and Internet link	Time frame	Involved countries
Existing research infrastructures			
<i>Observation Systems</i>			
COSYNA - Coastal Observation System for Northern and Arctic Seas	COSYNA aims to develop and to test analysis systems for the operational synoptic description of the environmental status of the North Sea and of Arctic coastal waters. Following an open data policy, COSYNA provides real-time or near real-time data and forecasts via Internet to the public. The main characteristic of the COSYNA system is the integrated approach that combines observations and numerical modelling. http://www.cosyna.de of 11 May 2012.	Start of measurements: 2009	DE
MACHO - Marine Cable Hosted Observatory	The purpose of MACHO project has several folds. Firstly, the extension of seismic stations on land to offshore area can increase the resolution of earthquake relocating. Secondly, the extension of seismic stations may obtain tens of second before the destructing seismic waves arrive on land or tens of minute before the arrival of giant tsunami, which is helpful for earthquake or tsunami warning. Thirdly, the seafloor scientific station can monitor the active volcanoes in the Okinawa Trough, which is directly adjacent to the Ilan plain in northeastern Taiwan. Fourthly, the seafloor observatory can be used to continuously study the Kurosho current, off eastern Taiwan. http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4231138&tag=1 of 11 May 2012.	Expected to be fulfilled: 2009	TW

NEPTUNE Canada	The NEPTUNE Canada regional cabled ocean network, located in the Northeast Pacific, is part of the Ocean Networks Canada (ONC) Observatory. The network extends the internet from the rocky coast to the deep abyss. It gathers live data and video from instruments on the seafloor, making them freely available to the world, 24/7. NEPTUNE Canada is the world's first regional-scale underwater ocean observatory network that plugs directly into the Internet. People everywhere can "surf the seafloor", while ocean scientists run deep-water experiments from labs and universities anywhere around the world. NEPTUNE Canada is located off the west coast of Vancouver Island, British Columbia. The network, which extends across the Juan de Fuca plate, gathers live data from a rich constellation of instruments deployed in a broad spectrum of undersea environments. Data are transmitted via high-speed fibre optic communications from the seafloor to an innovative data archival system at the University of Victoria. This system provides free Internet access to an immense wealth of data, both live and archived throughout the life of the planned 25-year project. http://www.neptunecanada.ca of 11 May 2012.	Since 2009	CA
ICOS – Integrated Carbon Observation System	ICOS is a new European Research Infrastructure for quantifying and understanding the greenhouse balance of the European continent and of adjacent regions. ICOS aims to build a network of standardized, long-term, high precision integrated monitoring of: _ atmospheric greenhouse gas concentrations of CO₂, CH₄, CO and radiocarbon-CO₂ to quantify the fossil fuel component _ ecosystem fluxes of CO₂, H₂O, and heat together with ecosystem variables. The ICOS infrastructure will integrate terrestrial and atmospheric observations at various sites into a single, coherent, highly precise dataset. These data will allow a unique regional top-down assessment of fluxes from atmospheric data, and a bottom-up assessment from ecosystem measurements and fossil fuel inventories. Target is a daily mapping of sources and sinks at scales down to about 10 km, as a basis for understanding the exchange processes between the atmosphere, the terrestrial surface and the ocean. http://icos-infrastructure.eu/ of 11 May 2012.	Preparation: 2008-2011; Operation: 2012-2031	BE, CH, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, IE, IT, NL, NO, PL, PT, SE, UK
HAFOS – Hybrid Arctic/ Antarctic Float Observation System	HAFOS provides oceanic data under the sea ice cover. To measure the variations of the watermass properties of the warm deep water with sufficient spatial and temporal resolution to be able to conclude on the origin and the effect of the changes a float system is established in the HAFOS project, which is providing comparable data as the Argo project (see below) in the open ocean. http://www.awi.de/en/research/research_divisions/climate_science/observational_oceanography/projects/ of 11 May 2012. http://www.whoi.edu/science/po/arcticgroup/projects/ipworkshoppresentations/ipworkshop_awi.pdf of 11 May 2012.	Prototype expected: 2007/2008	DE
DONET – Dense Ocean-floor Network System for Earthquakes and Tsunamis	DONET is a unique development programme of submarine cabled real-time seafloor observatory network. This programme has aimed to establish the technology of large scale real-time seafloor research and surveillance infrastructure for earthquake, geodetic and tsunami observation and analysis. The first phase of this programme has been carried out since 2006 to settle on To-Nankai region in Nankai	1st phase: since 2006; 2nd: since 2010	JP

	trough as the target of observation. The initial plan scheduled to install twenty sets of complex cabled monitoring observatories to cover the active seismogenic zone of To-Nankai earthquakes. http://www.jamstec.go.jp/jamstec-e/maritec/donet/ of 11 May 2012.		
MARS - Monterey Accelerated Research System	Providing electrical power and data connections for new research instruments in the deep-sea. That's the vision behind the MARS. The system consists of a 52 km (32 mile) undersea cable that carries data and power to a "science node" 891 m (2,923 feet) below the surface of Monterey Bay. More than eight different science experiments can be attached to this main hub with eight nodes. Additional experiments can be daisy-chained to each node. The undersea cable was installed in 2007. http://www.mbari.org/mars/ of 11 May 2012.	Initia- tion: 2002; Opera- tion: since 2008	US
HAUS- GARTEN - Deep-sea long-term observatory	Enabling the detection of expected changes in abiotic and biotic parameters in a transition zone between the northern North Atlantic and the central Arctic Ocean, the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research established the deep-sea long-term observatory HAUSGARTEN in the eastern Fram Strait. HAUSGARTEN comprises 16 permanent stations covering a depth range of 1.000 to 5.500 m water depth. Repeated sampling and the deployment of moorings and different free-falling systems, which act as observation platforms, has taken place since the beginning of the studies in summer 1999. At regular intervals, a Remotely Operated Vehicle (ROV) is used for targeted sampling, the positioning and servicing of autonomous measuring instruments and the performance of <i>in situ</i> experiments. A 3.000 m depth-rated Autonomous Underwater Vehicle (AUV) will further extend the sensing and sampling programmes. HAUSGARTEN represents a key site of the European Network of Excellence ESONET (European Seas Observatory Network) and is a member of the German Long Term Ecological Research - Network (LTER-D). http://www.awi.de/en/research/deep_sea/deep_sea_ecology/deep_sea_long_term_observatory_hausgarten/ of 11 May 2012.	Re- peated sam- plings: since 1999	DE
<i>Research Vessels (RV), Remotely Operated Vehicles (ROV)</i>			
RV Maria S. Merian	The 95 m multipurpose Research Vessel is for use in the Atlantic Ocean to the edge of the ice, for the North and Baltic Sea, but also suitable for trips to the equator. http://www.io-warnemuende.de/tl_files/forschung/schiffe/datenblatt_merian.pdf of 11 May 2012. http://www.io-warnemuende.de/fs-maria-s-merian.html (only in German) of 11 May 2012.	Since 2006	DE
ROV QUEST	The ROV QUEST, based at Marum, is dedicated to scientific work and research operations in water depths down to 4000 m. http://www.marum.de/QUEST_4000_m.html of 11 May 2012.	Since 2003	DE
RV Polar- stern	Since the ship was first commissioned on December 9th 1982 Polarstern has completed a total of more than fifty expeditions to the Arctic and Antarctic. It was specially designed for working in the polar seas and is currently one of the most sophisticated polar research vessels in the world. The Polarstern spends almost 310 days a year at sea. Between November and March it usually sails to and around the waters of the Antarctic, while the northern summer months are spent in Arctic waters.	Since 1982	DE

	http://www.awi.de/en/infrastructure/ships/polarstern/ of 11 May 2012.		
<i>Programmes, networks and organizations</i>			
EuroSITES	Successor project is FixO3 (Fixed point open ocean observatory network). EuroSITES forms an integrated European network of nine deep-ocean observatories sited in waters off the continental shelf and of greater than 1000 m depth, measuring variables from sea surface to sea floor. EuroSITES will integrate and enhance the existing European open-ocean observational capacity to encompass the ocean interior, seafloor and subseafloor. http://www.eurosites.info/ of 11 May 2012.	Launch: 2008	UK (coordination), 13 partners across Europe, Cape Verde Islands
Arctic-ROOS – Arctic Regional Ocean Observing System	Arctic ROOS aims to foster and develop Arctic ocean observing and forecasting systems. Objectives: (1) Build a circumpolar Arctic GOOS Regional Alliance as a contribution to the Global Ocean Observing System (GOOS) (2) Develop operational oceanography in the Arctic and sub-Arctic seas by: _ In situ observing systems (ice buoys, ships, moorings, floats, drifters, etc.) _ Satellite remote sensing using active and passive microwave, optical and infrared data from polar orbiting satellites _ Modelling, data assimilation, now casting, short-term forecasting, seasonal forecasting, hind casting and validation _ Dissemination of information products to users. www.arctic-roos.org of 11 May 2012. http://www.damocles-eu.org/artman2/uploads/1/poster_Sopot_task_7.1.pdf of 11 May 2012.	Since 2007	DE, DK, FI, FR, NO, PL, RU, SE, UK
NOON – Norwegian Ocean Observing Network	The Vision of NOON is to actively engage Norway in research based mapping of the sea bed and understanding of the natural processes and phenomena and processes created by human interventions. The main objective is the long term monitoring of environmental processes related to the interaction between hydrosphere, geosphere and biosphere during global warming. The data enable the understanding of the dynamics related to change, the robustness and the effect of influence from ocean current systems, fisheries, sediment transport processes, installations and pollution. The sub objectives are: _ Establish a cable-based test ocean observatory at an O&G (oil and gas) installation together with NCE (Norwegian Centres of Expertise) Subsea, where EMSO (European Multidisciplinary Seafloor Observatory)/ESONET (European Seafloor Observatory Network) is invited to participate, _ Establish a fjord laboratory (a cable-based test ocean observatory in a fjord), _ Establish a larger cable-based observatory off the Norwegian continental shelf. NOON has submitted a proposal on research infrastructure (Cabled Observatories for Monitoring of the Ocean System – COSMOS) to the Research Council of Norway: The vision of the COSMOS project is to establish a next-generation infrastructure for a permanent and interactive presence in the ocean, enabling sustainable monitoring and management of the marine environment. This includes understanding ecosystems, marine resources, bio-geological processes, and challenges from global climate and environmental change. The observatory will contribute to operational forecasting of natural environmental disasters, climate change and its effects. http://oceanobservatory.com/ of 11 May 2012.	Since 2007	NO

ISAC – International Study of Arctic Change	ISAC is a programme that provides a scientific and organizational framework focused around its key science questions for pan-Arctic research including long-term planning and priority setting. ISAC establishes new and enhances existing synergies among scientists and stakeholders engaged in arctic environmental research and governance. ISAC promotes observations, synthesis, and modelling activities to provide an integrated understanding of the past, present and future arctic environment needed for responding to change. ISAC fosters links between arctic environmental change initiatives and relevant global programmes. http://www.arcticchange.org/ of 11 May 2012.	Since 2003	SE (office location)
ASOF – Arctic/ Subarctic Ocean Fluxes	ASOF is an international programme on the oceanography of the Arctic and Subarctic seas and their role in climate. ASOF focuses on ocean fluxes of mass, heat, freshwater, and ice in the Arctic and Subarctic oceans. The first ASOF phase had the overall goal to: measure and model the variability of fluxes between the Arctic Ocean and the Atlantic Ocean with the view to implementing a longer-term system of critical measurements needed to understand the high-latitude ocean's steering role in decadal climate variability. http://asof.npolar.no/ of 11 May 2012.	1st phase: 2000–2008; 2nd: since 2008	Sponsored by 16 agencies and institutes in 7 countries
GMES – Global Monitoring for Environment and Security	GMES is the European Programme for the establishment of a European capacity for Earth Observation. In practice, GMES consists in a complex set of systems which collects data from multiple sources (earth observation satellites and in situ sensors such as ground stations, airborne and sea-borne sensors), processes these data and provides users with reliable and up-to-date information through the services. Over the last 10 years, numerous research and development projects have contributed to the development of the GMES infrastructure and services. http://gmes.info/ of 11 May 2012.	Since 1998; Full operation: 2014	ESA, EU
CLIVAR – Climate Variability and Predictability	CLIVAR is an international research programme dealing with climate variability and predictability on time-scales from months to centuries. CLIVAR is the World Climate Research Programme (WCRP) project that addresses climate variability and predictability, with a particular focus on the role of ocean-atmosphere interactions in climate. It works closely with its companion WCRP projects on issues such as the role of the land surface, snow and ice and the role of stratospheric processes in climate. CLIVAR is one of the four core projects of the WCRP. WCRP was established in 1980 under the joint sponsorship of the International Council for Science (ICSU) and the World Meteorological Organisation (WMO), and since 1992 has also been sponsored by the Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) of UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). http://www.clivar.org/ of 25 June 2012.	Established: 1995	International, UK and US (coordination)
Planned research infrastructures/under construction			
<i>Observation Systems</i>			
FRAM – Frontiers in Arctic marine Monitoring Observatory	The planned FRAM integrated marine observation system will be installed in Fram Strait, the key region for exchange between the North Atlantic and Arctic Ocean. It will combine existing observatories of the Alfred Wegener Institute (AWI) into a multidisciplinary Earth-monitoring system. FRAM provides new, innovative sensor modules and interfaces, which facilitate the study of complex interactions between physical, chemical, biological and geological components of the Arctic Ocean. FRAM contributes to improved monitoring of seasonal, inter-annual and long-term environ-	Construction: 2013–2016	DE (coordination), FR, NO, PL, UK

	mental changes in this climate-sensitive region – from the coast and ocean surface, to the deep sea. Monitoring of local variations will be linked with information about the global climate system. http://www.helmholtz.de/fileadmin/user_upload/publikationen/pdf/11_Helmholtz_Roadmap_EN_WEB.pdf of 10 September 2012.		
SIOS – Svalbard Integrated Observation System	SIOS is the central node in the global monitoring of the High Arctic. The goal of SIOS is to understand ongoing and future environmental and climate related changes which requires an integrated - Earth System - approach, in particular in the polar regions. While Earth System Models already have reached far in the integration process, observation systems have not been developed with the same systematic approach so far. SIOS envisages to fill this gap at a regional scale by: _ Establishing an Arctic Earth observing system in and around Svalbard that integrates and complements existing research and monitoring platforms for geophysical, biological and chemical studies with the aim to match integrated models; _ Utilizing satellite remote sensing data that are available via the Svalbard receiving stations and the space agencies using this station; _ Building up close cooperation with other ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures) projects that plan activities in the European Arctic, existing regional research networks in the European Arctic and to pan-Arctic initiatives such as the Sustained Arctic Observing Network (SAON). http://www.sios-svalbard.org/ of 11 May 2012.	Preparation: until 2013	CN, DE, DK, FI, FR, IT, JP, KR, NL, NO (leader), PL, RU, SE, UK
EMSO – European Multidisciplinary Seafloor Observatory	EMSO is the European infrastructure composed by seafloor observatories for long-term monitoring of environmental processes related to ecosystems, climate change and geohazards. EMSO nodes are placed in specific marine sites of the European Continental Margin from the Arctic to the Black Sea through the Mediterranean Basin. EMSO will constitute the sub-sea segment of GMES (Global Monitoring for Environment and Security) and GEOSS (Global Earth Observation System of Systems). http://www.emso-eu.org/management/images/documents/EMSOposter_VISO.pdf of 11 May 2012.	Preparation: 2008-2012	DE, ES, FR, GR, IE, IT (leader), NL, NO, PT, SE, TR, UK
<i>E-infrastructures</i>			
OOI CI – Ocean Observatories Initiative Cyberinfrastructure	OOI Cyberinfrastructure manages and integrates data from many different sources, including OOI sensors, select ocean community models, and external observatories. Data from three external observatories are integrated: the Integrated Ocean Observing System (IOOS), the World Meteorological Organization (WMO), and NEPTUNE Canada. The integration project schedules are staggered; they have started working on IOOS integration already, with NEPTUNE. http://ci.oceanobservatories.org/ of 11 May 2012.	Start of five-year construction period: 2009	US
<i>Programmes, networks and organizations</i>			
OOI – Ocean Observatories Initiative	The OOI, a project funded by the National Science Foundation, is planned as a networked infrastructure of science-driven sensor systems to measure the physical, chemical, geological and biological variables in the ocean and seafloor. The OOI will be one fully integrated system collecting data on coastal, regional and global scales. http://www.oceanobservatories.org of 11 May 2012.	1st data expected: 2012; Going online: late 2014	US

GEOSS – Global Earth Observation System of Systems	This “system of systems” will proactively link together existing and planned observing systems around the world and support the development of new systems where gaps currently exist. It will promote common technical standards so that data from the thousands of different instruments can be combined into coherent data sets. The “GEOPortal” offers a single Internet access point for users seeking data, imagery and analytical software packages relevant to all parts of the globe. http://www.earthobservations.org/geoss.shtml of 11 May 2012.	Plan for ten-year imple- menta- tion: 2005- 2015	75 coun- tries in- volved
---	--	--	---------------------------------

Source: The brief descriptions of the projects have literally been taken from the main project homepages (with all the further leading pages such as “About us”). Generally, only the main project homepages are listed as source of information. If the information on the homepage was not sufficient, further information from scientific publications is used. Those links are listed in the table as well.

Appendix 2.5 Complementary research infrastructures of EPOS

The following chart contains the major complementary infrastructures of EPOS. The list is not exhaustive and the listed complementary research infrastructures have mainly been provided by the responsible scientists. For EPOS, there is no competing research infrastructure.

The complementary projects are sorted in the categories “Existing research infrastructures”, “Planned research infrastructures/under construction” and “Expired research infrastructures”. Within each category, the projects are classified into the following sub-categories:

- _ Observation Systems
- _ Ground-based
- _ Satellites
- _ E-infrastructures
- _ Programmes, networks and organizations (these mostly are beneficiaries of research infrastructures)

Within these categories, the most recent project is mentioned first.

Table 7: Complementary research infrastructures of EPOS

EPOS			
Name	Brief description and Internet link	Time frame	Involved countries
Existing research infrastructures			
<i>Observation Systems</i>			
GITEWS – German-Indonesian Tsunami Early Warning System	Different Components of the Tsunami Early Warning System: seismometer, global positioning system (GPS) station, risk maps and education of the population, buoy, inauguration of the early warning centre, simulation, satellite-hub, warning centre, tide gauge. GEOFON was appointed to design and implement the land based seismic component of GITEWS. Transfer of ownership to Indonesia in 2011. http://www.gitews.org/index.php?id=23&L=1 of 11 May 2012.	Development launch: 2005	DE, ID
<i>Ground-based</i>			
USArray Part of EarthScope	USArray is a 15-year programme to place a dense network of permanent and portable seismographs across the continental US. The seismographs record local, regional, and distant (teleseismic) earthquakes. The USArray consists of four important observatories. Key USArray facilities include the Transportable Array, which is being deployed progressively across the 48 contiguous states and Alaska, and the pool of portable seismometers in the Flexible Array. They directly permit acquisition of the requisite seismic data for imaging subsurface structure at multiple scales and for studying earthquakes in many environments. USArray also consists of permanent broadband seismic stations—	Since 2003	US

	Reference Network—that provide a large-aperture, fixed grid of observing sites essential for tying together the 70-km-spaced grid of sequential Transportable Array deployments. Data acquired by USArray's Magnetotelluric Facility supplement the seismic data by providing images of crustal and lithospheric conductivity structure. Transportable Array and Reference Network station distribution together provide unprecedented spatial coverage and uniformity of seismic wavefield sampling, enabling well-established and new seismological analyses to reveal deep Earth structure and to characterize earthquake sources throughout the continent. The scientific community is able to conduct a host of re-research projects with Transportable Array data and with separately funded field deployments of Flexible Array sensors. Data collected from these EarthScope facilities are openly available to the scientific and educational communities. http://www.usarray.org/ of 11 May 2012.		
GERESS Array - GERman Experimental Seismic System	The GERESS Array in the Bavarian Forest (<i>Bayerischer Wald</i>) consists of 24 shortperiod stations and a three-component broadband station in four concentric rings with a maximum diameter of about 4 km. http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Seismologie/___Content_alt/Seismo_Stationen_en_alt/seismo_stationen_node_en.html of 11 May 2012. http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Erdbeben-Gefaehrdungsanalysen/Seismologie/Kernwaffenteststopp/Ueberwachungsnetz/Deutsche-IMS-Stationen/GERES/geres_inhalt.html (in German only) of 11 May 2012.	Construction: 1989–1991	DE
GRF - Gräfenberg Array	Thirteen broadband stations in the Franconian mountain region (<i>Fränkische Alb</i>) form the Gräfenberg Array (GRF). It extends about 100 km north-south and about 40 km in east-west direction. http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Seismologie/___Content_alt/Seismo_Stationen_en_alt/seismo_stationen_node_en.html of 11 May 2012.	Since 1976; Full operation: since 1980	DE
<i>Satellites</i>			
ESA Swarm mission	The objective of the Swarm mission is to provide the best ever survey of the geomagnetic field and its temporal evolution, and gain new insights into improving our knowledge of the Earth's interior and climate. The Swarm concept consists of a constellation of three satellites in three different polar orbits between 400 and 550 km altitude. High-precision and high-resolution measurements of the strength and direction of the magnetic field will be provided by each satellite. In combination, they will provide the necessary observations that are required to model various sources of the geomagnetic field. Global positioning system (GPS) receivers, an accelerometer and an electric field instrument will provide supplementary information for studying the interaction of the magnetic field with other physical quantities describing the Earth system – for example, Swarm could provide independent data on ocean circulation. http://www.esa.int/esaLP/ESA3QZJE43D_LPswarm_0.html of 11 May 2012. http://en.wikipedia.org/wiki/Swarm_%28spacecraft%29 of 11 May 2012.	Launch planned: before mid-2012	ESA
<i>E-infrastructure</i>			
VERCE - Virtual Earthquake and	The strategy of VERCE, driven by the needs of data-intensive applications in data mining and modelling, aims to provide a comprehensive architecture and framework adapted to the	Start: 2011	DE, FR, IT, NL, UK

seismology Research Community e-science environment in Europe	scale and the diversity of these applications, and integrating the community Data infrastructure with Grid and High Performance Computing (HPC) infrastructures. http://www.verce.eu/ of 11 May 2012.		
NERA – Network of European Research Infrastructures for Earthquake Risk Assessment and Mitigation	NERA (2010-2014) is an infrastructure project that integrates key research infrastructures in Europe for monitoring earthquakes and assessing their hazard and risk. NERA integrates and facilitates the use of these infrastructures and access to data for research, provides services and access to earthquake data and parameters, and hazard and risk products and tools. NERA activities are coordinated with other relevant European-Commission-projects and European initiatives, and contribute to the ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures) EPOS infrastructure and the OECD GEM (Global Earthquake Model) programme. http://www.nera-eu.org/ of 11 May 2012.	2010-2014	AT, BE, CH, DE, ES, FR, GR, IS, IT, NL, NO, PT, RO, TR, UK
TRIDEC – Collaborative, Complex and Critical Decision Support in Evolving Crises	TRIDEC focuses on new technologies for real-time intelligent information management in collaborative, complex critical decision processes in earth management. Key challenge is the construction of a communication infrastructure of interoperable services through which intelligent management of dynamically increasing volumes and dimensionality of information and data is efficiently supported; where groups of decision makers collaborate and respond quickly in a decision-support environment. The research and development objectives include the design and implementation of a robust and scalable service infrastructure supporting the integration and utilisation of existing resources with accelerated generation of large volume of data. These include sensor systems, geo-information repositories, simulation- and data-fusion-tools. http://www.tridec-online.eu/ of 11 May 2012.	Since 2010	AT, DE, IT, PT, TR, UK
<i>Programmes, networks and organizations</i>			
GEOFON	GEOFON seeks to facilitate cooperation in seismological research and earthquake and tsunami hazard mitigation by providing rapid transnational access to seismological data and source parameters of large earthquakes, and keeping these data accessible in the long term. Rapid global earthquake information is a major task of the GEOFON Programme of GFZ (German Research Centre for Geosciences) Potsdam. As a key node of the European Mediterranean Seismological Centre (EMSC) GFZ has the responsibility for rapid global earthquake notifications. GFZ has also become a driving force in earthquake monitoring for tsunami warning in the Mediterranean and the North-East Atlantic as well as for the Indian Ocean. Most of the acquired European networks are members of the Virtual European Broadband Seismic Network (VEBSN). The GFZ Seismological Data Archive (GIDA) is a major node in the European Integrated Data Archive (EIDA). GEOFON is part of the Modular Earth Science Infrastructure (MESI) housed at the GFZ providing services within the “Permanent networks”, “Data Distribution and Archiving” and “Communications” groups of MESI. http://geofon.gfz-potsdam.de/ of 11 May 2012.	-	DE
EarthScope	The EarthScope scientific community conducts multidisciplinary research across the Earth sciences utilizing freely available data from instruments that measure motions of the Earth’s surface, record seismic waves, and recover rock samples from depths at which earthquakes originate. EarthScope deploys thousands of seismic, global positioning	Since 2004	US (NSF)

	system (GPS), and other geophysical instruments to study the structure and evolution of the North American continent and the processes the cause earthquakes and volcanic eruptions. The Plate Boundary Observatory (PBO) is the geodetic component of EarthScope, operated by UNAVCO (University Navstar Consortium). The PBO consists of several major observatory components: a network of 1100 permanent, continuously operating GPS stations many of which provide data at high-rate and in real-time, 78 borehole seismometers, 74 borehole strainmeters, 28 shallow borehole tiltmeters, and six long baseline laser strainmeters. These instruments are complemented by InSAR (interferometric synthetic aperture radar) and LiDAR (light detection and ranging) imagery and geochronology acquired as part of the GeoEarthScope initiative. Further observatories in addition to PBO are USArray and San Andreas Fault Observatory at Depth (SAFOD). UNAVCO is a consortium of research institutions that supports and promotes a better understanding of Earth by using high-precision techniques to measure crustal deformation. http://earthscope.org/ of 11 May 2012.		
ECGN – European Combined Geodetic Network	Objectives of the ECGN as an integrated European Reference System for Spatial Reference and Gravity are: _ Maintenance of a long time stability of the terrestrial reference system with an accuracy of 10^{-9} for Europe especially in the height component _ In-situ combination of global positioning system (GPS) with physical height and other Earth gravity parameters in 1 cm accuracy level _ Modelling of influences of time-dependent parameters of the solid Earth of the Earth gravity field, the atmosphere, the oceans, the hydrosphere for different applications of positioning. Among the further aims rank _ contribution to the European gravity field modelling _ the modelling of gravity field components to validate the satellite gravity missions CHAMP (CHALLENGING Minisatellite Payload), GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) and GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) _ and to be a platform for further geo-components [Global Monitoring for Environment and Security (GMES), Global Earth Observation System of Systems (GEOSS), Global Geodetic Observation System (GGOS)]. The ECGN is considered as a European contribution to the International Association of Geodesy (IAG) project GGOS. The primary concern of the project consists in connecting the height component with the gravity determination while allowing for measuring data that are acquired in the European coastal regions and above adjacent seas. http://www.bkg.bund.de/geodIS/ECGN/EN/Home/homepage__node.html__nnn=true of 11 May 2012.	1st call for participation: 2003; 2nd call planned	BE, CZ, DE, FI, FR, HU, LU, MC, UK
Hi-net – High sensitivity seismograph network	Hi-net consists of 696 stations. At most of Hi-net stations strong-motion seismographs are also equipped both at depth and the ground surface. The National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) Hi-net, uniformly covers the Japanese Islands with a spacing of 20-30 km. NIED Hi-net borehole stations are equipped with a three-component short-period velocity seismometer, three-component strong motion accelerometer and horizontal-component high-sensitivity accelerometer. The high-sensitivity accelerometer covers a wide response range	Since 2003	JP

	from ground tilting to long-period seismic waves. There are four advantages of Hi-net; high sensitivity, high signal-to-noise ratio, broadband property of sensors and high density of stations. As a result, detection capability for micro earthquakes has been dramatically improved and some new geophysical phenomena have been discovered. http://www.terrapub.co.jp/journals/EPS/pdf/2004/5608/5608xv.pdf of 11 May 2012. http://adsabs.harvard.edu/abs/2008AGUFM.G21B0696O of 11 May 2012. http://rsi.aip.org/resource/1/rsinak/v76/i2/p021301_s1?isAuthorized=no of 11 May 2012. http://www.hinet.bosai.go.jp/ (in Japanese only) of 11 May 2012.		
Planned research infrastructures/under construction			
<i>Observation Systems</i>			
EMSO – European Multidisciplinary Seafloor Observatory	EMSO is the European infrastructure composed by seafloor observatories for long-term monitoring of environmental processes related to ecosystems, climate change and geo-hazards. EMSO nodes are placed in specific marine sites of the European Continental Margin from the Arctic to the Black Sea through the Mediterranean Basin. EMSO will constitute the sub-sea segment of GMES (Global Monitoring for Environment and Security) and GEOSS (Global Earth Observation System of Systems). http://www.emso-eu.org/management/images/documents/EMSOposter_VISO.pdf of 11 May 2012.	Pre- para- tion: 2008- 2012	FR, DE, ES, GR, IE, IT (leader), NL, NO, PT, SE, TR, UK
<i>E-infrastructures</i>			
EUDAT	EUDAT project aims to contribute to the production of a Collaborative Data Infrastructure (CDI). The project's target is to provide a pan-European solution to the challenge of data proliferation in Europe's scientific and research communities. http://www.eudat.eu/ of 11 May 2012.	Pilot service: 2012; Full opera- tion: 2014	13 coun- tries; FI (coordina- tion)
Expired research infrastructures			
<i>Satellites</i>			
CHAMP – CHALLENGING Minisatellite Payload	CHAMP is a German small satellite mission for geoscientific and atmospheric research and applications, managed by GFZ (German Research Centre for Geosciences). With its highly precise, multifunctional and complementary payload elements [magnetometer, accelerometer, star sensor, global positioning system (GPS) receiver, laser retro reflector, ion drift meter] and its orbit characteristics (near polar, low altitude, long duration) CHAMP will generate for the first time simultaneously highly precise gravity and magnetic field measurements over a 5 year period. In addition with the radio occultation measurements onboard the spacecraft and the infrastructure developed on ground, CHAMP will become a pilot mission for the pre-operational use of space-borne GPS observations for atmospheric and ionospheric research and applications in weather prediction and space weather monitoring. Follow up mission is GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment). http://op.gfz-potsdam.de/champ/ of 11 May 2012.	End: 2010	DE

Source: The brief descriptions of the projects have literally been taken from the main project homepages (with all the further leading pages such as "About us"). Generally, only the main project homepages are listed as source of information. If the information on the homepage was not sufficient, further information from scientific publications is used. Those links are listed in the table as well.

Appendix 2.6 Complementary research infrastructures of EU-OPENSOURCE

The following chart contains the major complementary infrastructures of EU-OPENSOURCE. The list is not exhaustive and the listed complementary research infrastructures have mainly been provided by the responsible scientists. For EU-OPENSOURCE, there is no competing research infrastructure.

The complementary projects are sorted in the categories “Forerunners” and “Existing research infrastructures”. All projects can be classified as “Screening facilities”.

The most recent project is mentioned first.

Table 8: Complementary research infrastructures of EU-OPENSOURCE

EU-OPENSOURCE			
Name	Brief description and Internet link	Time frame	Involved countries
Forerunners			
<i>Screening facilities</i>			
ChemBioNet - Network Supporting Academic Chemical Biology Research	The ChemBioNet was initiated by biologists and chemists from academia who realized the need for interdisciplinary open access platforms to support research projects for systematic usage of small molecules to explore biological systems. This initiative wants to provide chemists with bioprofiles for their unique synthetic molecules and biologists developing unique assay systems, with access to high throughput technologies to identify compounds useful for dosage dependent, temporally or locally controlled interference with biological functions. In summary a novel discipline termed Chemical Biology. http://www.chembionet.info/index.php?id=6 of 11 May 2012.	Since 2009	DE (leader) (five partner institutes and joint Chemical Biology Division)
Existing research infrastructures			
<i>Screening facilities</i>			
Broad Institute – Chemical Biology Platform	The Chemical Biology Platform empowers researchers in the broad community to discover small-molecule probes (used to understand cell circuitry and disease biology) and small-molecule therapeutics (used to treat disease). A central goal of chemical biology is to harness the power of synthetic organic chemistry to discover and to elucidate molecular pathways fundamental in cellular, developmental and disease biology. The creation and use of small molecules to probe the genome is a fertile area of research that facilitates the translation of biological insights into powerful new medicines. The Chemical Biology Platform comprises scientists from a wide range of disciplines (chemistry, biology, computational science, software and automation engineering), innovating and working cooperatively towards these goals. The platform team works in an extraordinary research environment that has high-throughput research capabilities in organic synthesis and small-molecule screening. Informatics and computational analysis teams integrate these capabilities to enable collaborating researchers to design new experiments and members of the global re-	Since 2004	US

	search community to benefit from the resulting discoveries. http://www.broadinstitute.org/scientific-community/science/platforms/chemical-biology of 18 May 2012.		
ESP – European Screening Port	European ScreeningPort is a public private partnership which offers fee-for-service small molecule screening to academic institutions. The goal is to transform the exciting new science, taking place at the benchtops of Europe's academic laboratories, into chemical tools and high quality assets of explicit value to potential major partners in the pharmaceutical industry and - ultimately to patients. http://www.screeningport.com/ of 14 May 2012.	Since 2007	BE, DE, UK, Scan- dinavia
IMI – The Innova- tive Medi- cines Initia- tive	IMI is Europe's largest public-private partnership aiming to improve the drug development process by supporting a more efficient discovery and development of better and safer medicines for patients. With a 2 billion euro budget, IMI supports collaborative research projects and builds networks of industrial and academic experts in Europe that will boost innovation in healthcare. Acting as a neutral third party in creating innovative partnerships, IMI aims to build a more collaborative ecosystem for pharmaceutical research and development (R&D). IMI will provide socio-economic benefits to European citizens, increase Europe's competitiveness globally and establish Europe as the most attractive place for pharmaceutical R&D. IMI supports research projects in the areas of safety and efficacy, knowledge management and education and training. Projects are selected through open calls for proposals. The research consortia participating in IMI projects consist of: (1) large biopharmaceutical companies that are members of European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations (EFPIA), (2) and a variety of other partners, such as: small- and medium-sized enterprises, (3) patients' organisations, (4) universities and other research organisations, (5) hospitals, (6) regulatory agencies, (7) any other industrial partners. IMI is a Joint Undertaking between the European Union and the EFPIA. http://www.imi.europa.eu/ of 14 May 2012.	FP7 2007- 2013	Industry, EU
LDC – Lead Discov- ery Center GmbH	LDC was established in 2008 by the technology transfer organization Max Planck Innovation (MPI), as a novel approach to capitalize on the potential of excellent basic research for the discovery of new therapies for diseases with high medical need. The LDC seeks to advance promising research projects into the development of novel medicines in a professional manner. There is a great fundamental need for novel drugs. In order to respond to this need, the pharmaceutical industry is increasingly interested in innovative compounds that can become the basis for new drugs. With a world-class team of interdisciplinary scientists, drug discovery experts, pharmacologists and seasoned project managers, the LDC offers the full scope of drug discovery support – from target to lead – according to the highest industry standards. As an independent company with an entrepreneurial outlook, the LDC closely collaborates with research institutions, universities and industry. Our aim is to transform promising early-stage projects into innovative pharmaceutical leads that reach initial proof-of-concept in animals. http://www.lead-discovery.de/english/home.htm of 11 May 2012.	Since 2008	DE (re- search organiza- tions, uni- versities and com- panies)

MLP – Molecular Library Program of the National Institutes of Health (NIH)	The flagship of the MLP is the Molecular Libraries Probe Production Centers, a network of national laboratories, whose aim is generate novel small molecule probes by performing HTS (High-Throughput-Screening), secondary screens and medicinal chemistry. The assays for these probes are sourced from the scientific community. Small molecules, often with molecular weights of 500 or below, have proven to be extremely important to researchers to explore function at the molecular, cellular, and in vivo level. Such molecules have also been proven to be valuable for treating diseases, and most medicines marketed today are from this class. A key challenge is to identify small molecules effective at modulating a given biological process or disease state. The Molecular Libraries Roadmap, through one of its components, the Molecular Libraries Probe Production Centers Network (MLPCN), offers biomedical researchers access to the large-scale screening capacity, along with medicinal chemistry and informatics necessary to identify chemical probes to study the functions of genes, cells, and biochemical pathways. This will lead to new ways to explore the functions of genes and signalling pathways in health and disease. NIH anticipates that these projects will also facilitate the development of new drugs, by providing early stage chemical compounds that will enable researchers in the public and private sectors to validate new drug targets, which could then move into the drug-development pipeline. This is particularly true for rare diseases, which may not be attractive for development by the private sector. http://mli.nih.gov/mli/ of 18 May 2012.	Since 2005; MLSCN (Molecular Libraries Screening Centers Network) Pilot phase end: 2008; MLPCN Production phase: since 2008	US
--	---	---	----

Source: The brief descriptions of the projects have literally been taken from the main project homepages (with all the further leading pages such as “About us”). Generally, only the main project homepages are listed as source of information. If the information on the homepage was not sufficient, further information from scientific publications is used. Those links are listed in the table as well.

The following list contains the major complementary infrastructures of GEBI. The list is not exhaustive and the listed complementary research infrastructures have mainly been provided by the responsible scientists. For GEBI, there is no competing research infrastructure.

All complementary projects belong to the category “Existing research infrastructures”. Within this category, the projects are classified into the following sub-categories:

_ Imaging facilities

_ E-infrastructures

Within these categories, the most recent project is mentioned first.

Table 9: Complementary research infrastructures of GEBI

GEBI			
Name	Brief description and Internet link	Time frame	Involved countries
Existing research infrastructures			
<i>Imaging facilities</i>			
ALMF - Advanced Light Microscopy Facility	Biological imaging facilities are at the laboratory for Advanced Light Microscopy Facility at EMBL (European Molecular Biology Laboratory) Heidelberg (open access for external scientists). The Advanced Light Microscopy Facility at EMBL in Heidelberg offers a collection of state-of-the-art light microscopy equipment including high-content screening and accessory services. The ALMF was set up as a co-operation between the EMBL and Industry to improve communication between users and producers of high end microscopy technology. To support in-house scientists and visitors in the use of all kinds of microscopy methods for their research. http://www.embl.de/almf/almf_services/about_us/index.html of 18 May 2012.	Since 2010	DE, FR, IT, SE, UK (all leaders)
AMMRF - Australian Microscopy & Microanalysis Research Facility	Established in July 2007 under the Commonwealth Government's National Collaborative Research Infrastructure Strategy (NCRIS), the AMMRF is a joint venture between Australian university-based microscopy and microanalysis centres. The AMMRF is a national grid of equipment, instrumentation and expertise in microscopy, microanalysis, electron and x-ray diffraction and spectroscopy providing nanostructural characterisation capability and services to all areas of nanotechnology and biotechnology research. The Euro-Biolmaging consortium will sign a collaboration framework with the Australian Microscopy and Microanalysis Research Facility (The AMMRF is a national grid of leading edge expertise and instrumentation in microscopy and microanalysis.) In the collaboration framework, Euro-Biolmaging and AMMRF will collaborate on defining best practice and benchmark performance in the areas of user access and experience; training; operation, facility management; stakeholder reporting; areas of research supported, publication output, research outcomes etc. Furthermore, they envision	Since 2007	AU

	developing joint research programmes in the areas of biological and medical sciences, advanced light microscopy and imaging techniques and instrumentation. http://sydney.edu.au/acmm/about/ammrf.shtml of 18 May 2012.		
ICMICs – In vivo Cellular and Molecular Imaging Centers	The NIH (National Institutes of Health) has recently set up a nation-wide funding programme named “In vivo Cellular and Molecular Imaging Centers (ICMICs)” that supports seven major scientific sites among them five of the above already mentioned MGH (Massachusetts General Hospital), MSKCC (Center for Multidisciplinary In Vivo Molecular Imaging in Cancer), Stanford, UCLA (University of California Los Angeles – Center for In vivo Imaging in Cancer Biology) and the Johns Hopkins University. http://icmic.rad.jhmi.edu/ of 18 May 2012.	Since 2003	US
SAIRP – Small Animal Imaging Resource Programs	Small Animal Imaging Resource Program grants support shared imaging research resources to be used by cancer investigators and support research related to small animal imaging technology. SAIRs will enhance capabilities for conducting basic, clinical, and translational cancer research relevant to the mission of the NCI (National Cancer Institute). Major goals of these resources are to increase efficiency, synergy, and innovation of such research and to foster research interactions that cross disciplines, approaches, and levels of analysis. Building and strengthening such links holds great potential for better understanding cancer, and ultimately, for better treatment and prevention. http://imaging.cancer.gov/programs&resources/specializedinitiatives/sairp of 16 July 2012.	Since 2000	US
<i>E-infrastructures</i>			
ELIXIR – European life-science infrastructure for biological information	The mission of ELIXIR is to construct and operate a sustainable infrastructure for biological information in Europe to support life science research and its translation to medicine and the environment, the bio-industries and society. http://www.elixir-europe.org/ of 14 May 2012. http://ec.europa.eu/research/infrastructures/pdf/esfri-strategy_report_and_roadmap.pdf of 14 May 2012.	Preparation: 2007-2011; Construction: 2011	DE (leader) 14 participating countries

Source: The brief descriptions of the projects have literally been taken from the main project homepages (with all the further leading pages such as “About us”). Generally, only the main project homepages are listed as source of information. If the information on the homepage was not sufficient, further information from scientific publications is used. Those links are listed in the table as well.

Appendix 2.8 Competing and complementary research infrastructures of INSTRUMENT

The following charts contain the major competing and complementary infrastructures of INSTRUMENT. The lists are not exhaustive and the listed competing and complementary research infrastructures have mainly been provided by the responsible scientists.

All complementary projects belong to the category “Existing research infrastructures”. Within this category, the projects are classified into the following sub-categories:

- _ NMR
- _ Sample screening/sample analysis
- _ Sample preparation
- _ Imaging/Microscopy
- _ E-infrastructures

Within these categories, the most recent project is mentioned first.

Table 10: Competing research infrastructures of INSTRUMENT

INSTRUMENT			
Name	Brief description and Internet link	Time frame	Involved countries
Existing research infrastructures			
<i>NMR</i>			
Bio-NMR - Bio-Nuclear Magnetic Resonance	Bio-NMR is a project that aims to further the structuring of the Biological NMR infrastructures, their user community and biological NMR research in Europe into a coherent research community prepared to tackle scientific and bio-medical challenges of increasing complexity at the forefront of research worldwide. Bio-NMR involves a comprehensive group of top NMR research infrastructures providing access in Europe and related stakeholders. Bio-NMR completely subsidizes access by European scientists of the instrumentation and expertise available at the partner infrastructures. http://www.bio-nmr.net/ of 21 May 2012.	FP 7: 2007–2013	14 participating countries
CRMN - Centre de Résonance Magnétique Nucléaire À Très Hauts Champs	The Centre for High Field NMR (Nuclear Magnetic Resonance) in Lyon, France, is the home to multidisciplinary research groups actively involved in developing NMR spectroscopy in chemistry, physics and biology included medicine. The Centre is a European large scale NMR facility and hosts the first commercial 1 GHz spectrometer worldwide since August 2009. Partnership for Structural Biology (PSB) with ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), ILL (<i>Institut Laue-Langevin</i>) and the Grenoble Outstation of the EMBL (European Molecular Biology Laboratory). http://www.ens-lyon.fr/crmn/crmn/index.html of 6 August 2012.	Since 1998; PSB: since 2002	FR

Source: The brief descriptions of the projects have literally been taken from the main project homepages (with all the further leading pages such as “About us”). Generally, only the main project homepages are listed as source of information. If the information on the homepage was not sufficient, further information from scientific publications is used. Those links are listed in the table as well.

Table 11: Complementary research infrastructures of INSTRUCT

INSTRUCT			
Name	Brief description and Internet link	Time frame	Involved countries
Existing research infrastructures			
<i>Sample screening/sample analysis</i>			
EU-OPEN-SCREEN - European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology	EU-OPENSOURCE integrates high-throughput screening platforms, chemical libraries, chemical resources for hit discovery and optimisation, bio- and cheminformatics support, and a database containing screening results, assay protocols, and chemical information. http://www.eu-openscreen.de/ of 21 May 2012.	Preparation: 2010-2013; Construction: 2014	DE (leader), 12 participating countries
<i>Sample preparation</i>			
P4EU - EMBL - Protein Production and Purification Partnership	The INSTRUCT centres [HZI (Helmholtz Centre for Infection Research), EMBL (European Molecular Biology Laboratory) Heidelberg, Grenoble, MPI (Max Planck Institute) und Goethe University Frankfurt] are building-up a social E-network in the area of protein production. This “Protein Production and Purification Partnership” in Europe (P4EU) was founded in 2010. The aim of the partnership is to assemble as many partners from academic research and industry as possible that are involved in the production of recombinant proteins. Together, the exchange of knowledge, new methods and efficient further training in new technologies will be made available for the partners. A new interactive website will provide modern communication possibilities for an efficient exchange of information. http://www.embl.de/pepcore/pepcore_services/P4EU_network/ of 14 May 2012.	Since 2010	DE (leader)
<i>Imaging/Microscopy</i>			
Euro-BiolImaging - European Biomedical Imaging Infrastructure	Euro-BiolImaging will be a European Research Infrastructure for biomedical imaging stretching from basic biological imaging up to medical imaging of humans and populations. It will consist of a number of distributed and strongly coordinated biomedical imaging infrastructures (“nodes”), which will serve European scientists by providing access to, and training in, advanced imaging technologies across the full scale of biological and medical applications. At the same time, the infrastructure will provide the possibility for many existing imaging research institutions or laboratories to contribute to technology development and training. Euro-BiolImaging will also serve as a platform delivering knowledge and expertise, allowing exchange of methodologies and the joint use of acquired data. http://www.eurobioimaging.eu/ of 14 May 2012. http://ec.europa.eu/research/infrastructures/pdf/esfri-strategy_report_and_roadmap.pdf of 14 May 2012.	Preparation: 2010-2013; Construction: 2013-2017; Operation: 2013	DE (leader), 17 participating countries
<i>E-infrastructures</i>			
ELIXIR - European life-science infrastructure for	The mission of ELIXIR is to construct and operate a sustainable Infrastructure for biological information in Europe to support life science research and its translation to medicine and the environment, the bio-industries and society.	Preparation: 2007-2011;	DE (leader), 14 participating

biological information	http://www.elixir-europe.org/ of 14 May 2012. http://ec.europa.eu/research/infrastructures/pdf/esfri-strategy_report_and_roadmap.pdf of 14 May 2012.	Construction: 2011	countries
theBiotech-Knows	This platform resembles a social network, but is currently developed into a specialized facility for the analysis of collaborative projects and in particular for protected data exchange. In the long run, it will serve the joint analysis of projects and will offer a simple platform for data exchange. theBiotechKnows is a scientific networking and consulting platform developed by the EPISODE (Exploiting the Potential of Structural Biology through NMR and Associated Technologies) project, with the aim of: _ profiling the involved actors (people, companies, institutes...) and their resources _ stimulating the free exchange of information _ facilitating navigation to the points where expertise, equipment or products are available http://thebiotechknows.com/ of 21 May 2012.	-	-

Source: The brief descriptions of the projects have literally been taken from the main project homepages (with all the further leading pages such as "About us"). Generally, only the main project homepages are listed as source of information. If the information on the homepage was not sufficient, further information from scientific publications is used. Those links are listed in the table as well.